

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN DE LA BROYE

THESE N° 393 (1981)

PRESENTEE AU DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE

POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES

PAR

AURELE PARRIAUX

Géologue diplômé de l'Université de Lausanne
originaire de Ste-Croix

T A B L E D E S M A T I E R E S

	<u>Page</u>
- INTRODUCTION GENERALE	1
- PREMIERE PARTIE. HYDROLOGIE GENERALE	5
- CADRE GEOGRAPHIQUE	5
- DELIMITATION DU BASSIN VERSANT	6
- Dérivations artificielles	6
- VEGETATION	7
- GEOMORPHOLOGIE	8
- Relief	8
- Hydrographie	9
- PROFIL EN LONG DE LA BROYE	14
- LE CYCLE HYDROLOGIQUE	16
- Les précipitations	16
- MODULE PLUVIOMETRIQUE ANNUEL SUR LE BASSIN	18
- Homogénéité des séries	21
- Ajustement statistique	21
- Méthodes de détermination de la pluie annuelle moyenne sur le bassin	25
- Moyenne arithmétique	25
- Méthode de Thiessen	25
- Méthode des isohyètes	27
- Critique des trois méthodes	27
- PRECIPITATIONS JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES	28
- L'évapotranspiration	29
- Les écoulements	30
- EQUIPEMENT DU BASSIN	30
- REGIME DE LA BROYE A PAYERNE	30
- DEBITS ANNUELS MOYENS	32
- Test d'homogénéité	32
- Ajustement statistique	32
- Calcul du débit annuel moyen	32
- DEBITS JOURNALIERS	35
- LES PHENOMENES DE CRUE	36
- Etude historique	36
- Forme des hydrogrammes de crue	37
- Prédétermination des crues	39
- Ajustement graphique	40
- Méthode du gradex	40
- LES ETIAGES DE LA BROYE	42
- Ajustements statistiques	43
- COURBES DE TARISSEMENT	44
- Bilan hydrologique	46
- CONCLUSION	48

	<u>Page</u>
- DEUXIEME PARTIE. HYDROGEOLOGIE	49
- METHODE D'ACQUISITION ET D'INTERPRETATION DES DONNEES	50
- 1) Collecte des données existantes	50
- a) LEVERS GEOLOGIQUES	50
- b) CARTES HYDROGEOLOGIQUES ET CADASTRE DES SOURCES	51
- c) CARTES GEOPHYSIQUES	51
- d) RECHERCHES HYDROGEOLOGIQUES LOCALISEES	52
- e) RECONNAISSANCES GEOTECHNIQUES	52
- f) ARCHIVES DES SERVICES DE L'ETAT	53
- 2) Etude géologique complémentaire	53
- 3) Visite des captages principaux	54
- 4) Prospection géophysique	54
- METHODES ELECTRIQUES	55
- Trainé électrique	55
- Sondages électriques	56
- 1) Dépouillement préparatoire	57
- 2) Ajustement fin	57
- 3) Test de l'équivalence électrique des structures	58
- SISMIQUE REFRACTION	59
- 5) Création d'un réseau d'observations hydrogéologiques et traitement des données	60
- 6) Réinterprétation des essais de pompages archivés	61
- 1) Ecoulements permanents	62
- 2) Ecoulements non permanents	62
- a) Hétérogénéité des terrains	63
- b) Cas des nappes multiples et semi-captives	64
- c) Calculs dans les puits à drains rayonnants	65
- MOYENS DE REPRESENTATION DES RESULTATS	66
- 1) Texte de description	66
- 2) Cartes géophysiques	68
- 3) Carte de base et registre	68
- 4) Carte et profils hydrogéologiques	69
- ECHELLE	70
- SYSTEMES DE REPRESENTATION ET LEGENDE	71
- A) Les cartes à données essentiellement qualitatives	71
- B) Les cartes à données plus quantitatives	71
- 1) Cartes de perméabilité	71
- 2) Cartes de transmissivité	72

	<u>Page</u>
- 1) Distinction entre terrains aquifères ou non aquifères	74
- a) Carte hydrogéologique	75
- A) Domaine des terrains quaternaires stratifiés aquifères	75
- B) Domaine des terrains secs et temporaire-ment ou localement aquifères	75
- b) Profils hydrogéologiques	76
- 2) Zonation de la perméabilité	77
- a) Choix des domaines de perméabilité	77
- b) Détermination de la perméabilité des terrains	78
- Méthode directe	78
- Corrélacion granulométrie - perméabilité	79
- Corrélacion résistivité électrique - perméabilité	79
- 3) Choix de la couche aquifère représentée	81
a) Carte hydrogéologique	81
- Règle A	81
- Règle B	83
- Règle C	84
b) Profils hydrogéologiques	84
- Règle D	84
- 4) Composition granulométrique	85
- PROPRIETES HYDROGEOLOGIQUES GENERALES DES TERRAINS CONSTITUTIFS DU BASSIN	86
- 1) Le flysch	86
- 2) La molasse subalpine	87
- 3) La molasse du Plateau	88
- a) L'AQUITANIEN	88
- b) LE BURDIGALIEN	89
- ROLE HYDROGEOLOGIQUE DES ASSISES MOLASSIQUES SELON LEUR SITUATION GEOLOGIQUE	91
- La molasse des fonds de vallée	91
- La molasse des versants	91
- 4) Les dépôts quaternaires	93
- a) TERRAINS QUATERNAIRES STRATIFIES	93
- b) TERRAINS QUATERNAIRES NON STRATIFIES	95
- DESCRIPTION HYDROGEOLOGIQUE DETAILLEE	97
- Tronçon les Alpettes - Palézieux-Gare	97
- Tronçon Palézieux - Oron	100
- LA MOLASSE	101
- LA MORAINES	101
- LES ALLUVIONS	102
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	107
- Tronçon Oron-la-Ville - Gillarens	107
- LA MOLASSE	108
- LA MORAINES	108
- LES ALLUVIONS	108
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	110

	<u>Page</u>
- Tronçon Châtillens - Auboranges	110
- LA MOLASSE	111
- LA MORAINES	111
- LES ALLUVIONS	111
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	113
- Tronçon Moulin de Copet - Bressonnaz	114
- LA MOLASSE	115
- LA MORAINES	117
- LES ALLUVIONS	118
- 1) Les alluvions de Champ du Caron	120
- 2) Delta de la Broye et du Parimbot	122
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	123
- Tronçon de l'ancien Carrouge	125
- Tronçon Bressonnaz - Moudon	127
- LA MOLASSE	127
- LA MORAINES	128
- LES ALLUVIONS	128
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	131
- Tronçon Moudon - Lucens	131
- LA MOLASSE	132
- LA MORAINES	132
- LES ALLUVIONS	133
- Dépôts interstadiaires	133
- Dépôts du retrait glaciaire et postglaciaires	133
- Note générale sur la nature et la genèse du remplissage de la plaine de la Broye moyenne, de Moudon à Granges	134
- Remplissage alluvial entre Moudon et Lucens	139
- Secteur des gravières	139
- Secteur du Villaret	141
- Secteur du nouveau puits de Plan	144
- Secteur des anciens puits de Plan	151
- Secteur la Clergère - terrasses de Bergère	154
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	157
- 1) Partie déjà en exploitation : Moudon - le Plan	157
- Zone des gravières, rive gauche	157
- Zone des gravières, rive droite	157
- Zone du Villaret	158
- Zone des anciens puits de Plan	158
- 2) Partie non exploitée (la Clergère - Lucens)	159
- Tronçon Lucens - cône de Treize-Cantons	161
- LA MOLASSE	161
- LA MORAINES	162
- LES ALLUVIONS	163
- Secteur du cône de la Cerjaule	164
- Secteur du cône du Ruisseau des Vaux	165
- Secteur du puits de la Caséine	166
- Secteur Champ du Vuaz - Pra la Mort	169
- Secteur du puits communal des Grands Champs (Lucens)	175
- Secteur les Iles - puits des Arzils	184

	<u>Page</u>
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	189
- Tronçon Treize-Cantons - Henniez - Villeneuve	193
- LA MOLASSE	193
- LA MORAINES	194
- LES ALLUVIONS	195
- Secteur cône de Treize-Cantons - Fin d'en Haut	195
- Secteur du cône de la Trémeule	200
- Secteur les Ouches - Ruisseau de Surpierre	205
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	208
- Tronçon Henniez - Villeneuve - Granges-près-Marnand	209
- LA MOLASSE	209
- LA MORAINES	210
- LES ALLUVIONS	211
- Secteur du sillon des eaux minérales, d'Henniez - Marnand	211
- Secteur central les Broyons - les Iles	215
- Secteur du cône de déjection du Vauban	217
- Secteur du cône du Ruisseau de Marnand	217
- Secteur du débouché de la Lembe	218
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	219
- Sillon des eaux minérales d'Henniez	219
- Cas des eaux souterraines de la plaine	221
- Tronçon Marnand - Brit - Etrabloz	222
- LA MOLASSE	222
- LA MORAINES	223
- LES ALLUVIONS	224
- Secteur de la prolongation septentrionale du sillon d'Henniez	224
- Secteur du sillon de Longeraies	226
- Secteur de la plaine entre Granges et Boulex	229
- Secteur du cône du Ruisseau de Trey	230
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	232
- Cas de la prolongation du sillon d'Henniez	232
- Cas du sillon de Longeraies	233
- Cas de la plaine alluviale	234
- Cas du cône du Ruisseau de Trey	234
- Tronçon Granges - Boulex - Payerne - Vesin	235
- LA MOLASSE	236
- LA MORAINES	236
- LES ALLUVIONS	237
- Secteur du barrage morainique et des terrasses glacio-lacustres de la Lembe	238
- Secteur des terrasses bordières, de Ménières à Payerne	239
- Secteur fluvioglaciaire de Granges des Bois	240
- Secteur du débouché du Ruisseau de Vesin	243
- Secteur des dépôts lacustres de Fétigny (lac de 480 m)	243
- Secteur du cours épigénétique Boulex - Collin (Fétigny)	245
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	249

	<u>Page</u>
- Tronçon Fétigny nord - Payerne	250
- LA MOLASSE	250
- LA MORAINES	251
- LES ALLUVIONS	252
- Secteur du sud de la ville de Payerne	252
- a) Voisinage du cours actuel de la Broye	252
- b) Partie occidentale de la plaine de la Coula	254
- Secteur du cône de la Broye au nord de Payerne	258
- a) Quartier du Pavement (Payerne W)	258
- b) Zone des casernes	258
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	262
- 1) Zone des chenaux graveleux de la Coula	262
- 2) Zone alluviale sous la ville de Payerne	262
- 3) Partie frontale du cône de la Broye	263
- Tronçon du débouché de la Petite Glâne (Montet-Cugy - Bussy)	263
- LA MOLASSE	264
- LA MORAINES	264
- LES ALLUVIONS	265
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	266
- Tronçon de la Basse-Broye (Corcelles - Faoug - Salavaux - Bussy)	267
- LA MOLASSE	269
- LA MORAINES	273
- a) Moraines peu ou pas remaniées	274
- b) Moraines partiellement remaniées	274
- LES ALLUVIONS	275
- Secteur du delta perché de l'Arbogne (Cousset)	275
- Secteur du cône de l'Arbogne	277
- Secteur du cône du Ruisseau de Coppet	284
- Secteur du cône du Chandon	284
- Secteur central de la plaine	287
- POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT	302
- Delta perché de l'Arbogne	303
- Cône de l'Arbogne	303
- Cône du Ruisseau de Coppet	304
- Cône du Chandon	304
- Secteur central	305
- LE REGIME DES EAUX SOUTERRAINES	307
- 1) NIVEAUX ANNUELS MOYENS	309
- 2) NIVEAUX MAXIMA ANNUELS	311
- 3) NIVEAUX MINIMA ANNUELS	311
- 4) AMPLITUDES MAXIMALES ANNUELLES DES NIVEAUX INSTANTANES	312
- 5) VITESSE D'ASCENSION MAXIMALE	312
- 6) TEMPS DE REPOSE MINIMUM PAR RAPPORT AUX PRECIPITATIONS	313
- 7) VITESSE D'ABAISSEMENT MAXIMALE	313
- Interaction rivière - nappe souterraine	314

	<u>Page</u>
- LA COMPOSITION DES EAUX SOUTERRAINES ET SES VARIATIONS AU COURS DU TEMPS	315
- A : Puits en Plan, Moudon, PR 552-170-1	317
- B : Puits des Grands Champs, Lucens, PR 555-174-3	319
- C : Puits des Arzils, Henniez-Lithinée SA, PR 555-175-1	321
- D : Puits de la Taillaz, Seigneux, PV 556-174-1	323
- E : Puits du Clos à Georges, Henniez-Santé SA, P 557-177-1	325
- F : Puits Nestlé, Payerne, PV 561-185-2	327
- G : Puits de Vuaz-Vauchy, Payerne, PV 561-186-1	330
- H : Puits de la Verna, Corcelles-Payerne, PR 562-187-1	331
- SYNTHESE DES RESULTATS SUR LA COMPOSITION DES EAUX	333
- 1) TEMPERATURE DE L'EAU	334
- 2) SATURATION EN OXYGENE	336
- 2') CONDUCTIVITE ELECTRIQUE	337
- 3) DURETE TOTALE	339
- 4) DURETE TEMPORAIRE/DURETE TOTALE	339
- 5) OXYDABILITE	340
- 6) NITRATES	340
- 7) CHLORURES	341
- 8) SULFATES	341
- 9) ORTHOPHOSPHATES	342
- ESSAI DE SYNTHESE SUR LES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN	343
- Etat actuel	343
- RESSOURCES EXPLOITABLES SUR LE PLAN ADMI- NISTRATIF	343
- RESSOURCES REELLEMENT EXPLOITEES	345
- Perspectives de développement futur	345
- CALCUL DES RESERVES	346
- Réserves permanentes	347
- Réserves régulatrices ou ressources régularisées	348
- Capacité d'emmagasinement	358
- PARTIE EXPLOITABLE DES RESSOURCES ET DES RESERVES	360
- NOUVELLE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES	361
- DEVELOPPEMENT A COURT TERME	362
- Aquifères des plateaux et des versants de la vallée	362
- Aquifère alluvial de la plaine	363
- DEVELOPPEMENT A LONG TERME	363
- Eaux de surface	363
- Eaux du Lac de Morat	363
- Eaux de la Broye	368
- Réalimentation artificielle de l'aquifère alluvial	374
- 1) Réalimentation induite	374
- 2) Infiltration artificielle	374

	<u>Page</u>
- Eaux souterraines du fond des alluvions	377
- Eaux du substratum rocheux	377
- 1) Soubassement molassique	377
- Le Burdigalien	378
- L'Aquitaniien	378
- Le Chattien	379
- 2) Soubassement mésozoïque	380
- CONCLUSION GENERALE	381
- BIBLIOGRAPHIE	383
- ANNEXE I : Variation du niveau de la nappe alluviale aux stations L1 - L2 - L3, variation du débit de la rivière à Payerne, variation des précipitations à Lucens	
- ANNEXE II : Variation de la composition chimique des eaux souterraines au cours du temps	
- Annexe III : Cartes des résistivités électriques apparentes	
- Annexe IV : Carte de base	
- Annexe V : Carte hydrogéologique et profils	
- Annexe VI : Registre	

INTRODUCTION GENERALE

Depuis plusieurs années, l'augmentation incessante de la consommation des eaux potables se trouve confrontée au problème de la quantité limitée des ressources. Si l'on détermine ce facteur par un bilan hydrologique général, on obtient sous nos climats des valeurs qui nous mettent à l'abri de toute pénurie. Mais, si on tient compte du problème toujours plus aigu de la qualité des eaux consommables, le volume précédemment obtenu se réduit d'une manière importante. En considérant encore les coûts de captage et de traitement, on arrive à des valeurs du même ordre de grandeur que celles des besoins.

En conséquence, il est urgent de pouvoir esquisser une évaluation des ressources à disposition selon le type de réserve hydrologique et des facilités d'utilisation. Dans le cas des principaux bassins versants du Plateau molassique, les eaux de première qualité sont tirées à bas prix de divers réservoirs hydrogéologiques. Cette exploitation est toutefois limitée dans l'espace par les variations des propriétés hydrologiques des terrains et parfois par la qualité chimique ou bactériologique des eaux souterraines.

A cet apport de la subsurface vient se joindre d'une manière toujours plus massive celui des lacs du Plateau. Leur eau est conduite par des canalisations à gros diamètre jusqu'aux centres de consommation à la suite d'un traitement important qui comporte dans la plupart des cas des problèmes d'une grande acuité. Quoiqu'il en soit, leur qualité en tant qu'eau potable demeure en général bien inférieure à celle des eaux souterraines. C'est tout de même grâce à cette ressource en eau de surface que des villes pauvres en terrains aquifères peuvent être normalement approvisionnées.

Une saine gestion des richesses en eau potable se doit avant tout d'exploiter en régime de renouvellement les gisements hydrogéologiques de qualité. Contrairement aux eaux de surface, la recherche de ces gisements est souvent complexe et nécessite des études hydrogéologiques ainsi que divers moyens de prospection.

Or, dans la plupart des cas, les travaux de recherche sont faits à la demande d'un intéressé, sur une série de sites dispersés dans l'espace et dans le temps. Leurs résultats restent en bonne partie disséminés dans différents bureaux d'étude sans qu'une synthèse en soit tirée.

Sous l'impulsion des milieux scientifiques traitant de la protection des eaux, les juristes ont rendu obligatoires des études très générales portant sur l'ensemble d'un canton. Dans le canton de Vaud notamment, le Professeur H. Badoux a mené à bien une cartographie hydrogéologique complète du territoire sous la forme de feuilles au 1:25'000. Cette étude à grande échelle est couplée au Cadastre cantonal des sources (BADOUX et MAUTNER). Elle constitue un document de base fort utile comme point de référence pour d'autres études.

Grâce aux travaux menés dans le bassin de l'Orbe par PETCH (1970), l'étude hydrogéologique détaillée de bassins de Suisse romande a débuté. Les monographies de ce type constituent un trait d'union entre la cartographie à grande échelle et les études de détail appliquées à la résolution de problèmes déterminés.

C'est dans cet esprit que nous avons entrepris une étude dans le grand bassin de la Broye. Ses buts principaux sont les suivants :

- 1) Dresser un état des connaissances présentes et passées sur la structure des nappes souterraines, sur leur comportement ainsi que sur les équipements de captage existants.
- 2) Mener une prospection générale des terrains aquifères, principalement dans le Quaternaire.
- 3) Dresser une première synthèse hydrogéologique définissant les propriétés principales des nappes souterraines du bassin.

A cette fin, nous avons utilisé plusieurs moyens d'acquisition des données :

- 1) Récolte de la quasi-totalité des documents techniques et scientifiques dispersés dans l'espace et le temps.
- 2) Lever géologique de détail.
- 3) Mesures géophysiques de surface (électricité, sismique).
- 4) Examen des ouvrages de captage principaux.
- 5) Equipement d'un réseau d'observation hydrogéologique.

La présentation des résultats de cette étude est faite en deux parties (fig. 1) :

- Un premier chapitre est consacré à une étude générale de l'hydrologie de surface du bassin dans lequel nous décrivons les termes d'un bilan hydrologique global ainsi que l'étude des variations des facteurs fondamentaux (précipitations, débits de la Broye).
- La deuxième partie ou partie hydrogéologique proprement dite constitue l'essentiel du présent travail. Nous y décrivons en détail les propriétés hydrogéologiques du territoire, accompagnées par des figures explicatives et des cartes synthétiques couvrant toute la partie du bassin riche en dépôts quaternaires, ceci à l'échelle du 1:25'000. En outre, un registre complet des données est annexé.

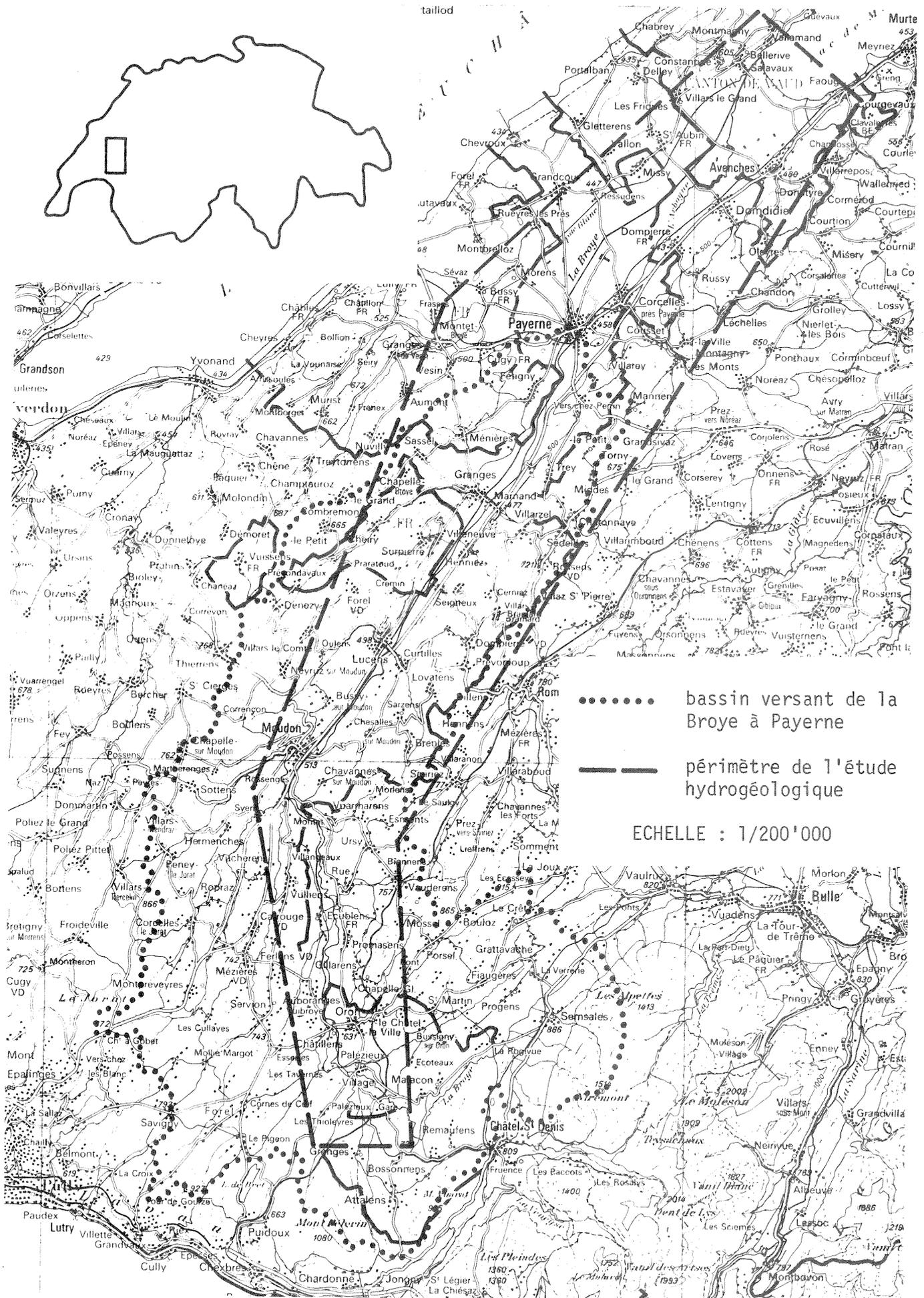


Figure 1 : Carte topographique du bassin

PREMIERE PARTIE

HYDROLOGIE GENERALE

Les principaux facteurs qui influencent les phénomènes hydrologiques à la surface du sol sont nécessaires à l'étude des eaux souterraines.

Dans ce but, nous présentons dans cette partie une première approche de l'hydrologie générale du bassin, dont l'essentiel a fait l'objet du mémoire final permettant l'accès au certificat de 3^e cycle en hydrologie opérationnelle et appliquée EPFL - OMM¹ (PARRIAUX, 1974).

Au contraire de la partie consacrée aux eaux souterraines, nous devons limiter le territoire de cette première étude en amont de la station hydrométrique de Payerne puisqu'aucune donnée n'existe sur le tronçon Payerne - Lac de Morat.

CADRE GEOGRAPHIQUE

Le bassin de la Broye représente l'une des très nombreuses alimentations du grand bassin de l'Aar, puis du Rhin, de la Mer du Nord et enfin de l'Océan Atlantique.

Il forme une vaste région s'étendant au pied des premiers massifs préalpins pour la partie amont, au centre du Plateau molassique pour les zones moyenne et inférieure. Il se partage les territoires des cantons de Vaud et de Fribourg tout au long du cours de la rivière; de sa source au lac de Morat, sa rive gauche passe dix fois d'un canton à l'autre.

¹ EPFL : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
OMM : Organisation Météorologique mondiale

DELIMITATION DU BASSIN VERSANT

Le fait de n'avoir à disposition pour la présente étude qu'une seule station hydrométrique (Payerne) sur les 67 km qui séparent la source de la Broye de son embouchure dans le lac de Morat, nous a contraint à fermer le bassin à Payerne (fig. 3).

L'imperméabilité quasi-générale des roches molassiques formant les crêtes nous permet de faire coïncider à grande échelle le bassin hydrogéologique avec le bassin topographique.

Dérivations artificielles

Celles-ci sont de deux ordres :

1) DERIVATION DU GRENET (voir fig. 3)

La Ville de Lausanne dérive par une galerie la partie amont du ruisseau "Le Grenet" vers le bassin d'accumulation d'eau potable du Lac de Bret. Les quantités d'eau prélevées sont commandées par un turbidimètre qui ferme la prise quand les eaux sont trop chargées. Leur volume n'est pas mesuré directement. Un calcul des variations journalières du volume de la retenue à l'aide d'un enregistrement limnigraphique nous donnerait, une fois soustraite la quantité puisée au lac, un volume journalier à remettre d'une manière fictive à la station de Payerne. Ce calcul laborieux n'a pas été effectué dans le cadre de cette étude.

En revanche, nous avons fait l'approximation que le débit entier du Grenet supérieur passait dans le bassin du Rhône. Le bassin de la Broye a donc été fermé au point de dérivation.

L'erreur commise en période de basses eaux est négligeable. Par contre, en cas de crue, les eaux chargées de matières solides doivent être souvent écartées par le turbidimètre de la prise et doivent donc s'écouler dans la Broye. En considérant schématiquement le rapport de la surface du bassin dérivé sur la surface totale du bassin de la Broye

(19,7 km²/413 km²), on peut avoir, en cas de crue violente, un débit de 5% trop élevé à Payerne.

Dans l'hypothèse faite ci-dessus, la surface du bassin considéré est de :

$$S = 413 - 19,7 \approx 393 \text{ km}^2$$

2) AMENEES D'EAU POTABLE EXTERIEURE

- a) La ville de Lausanne alimente partiellement en eau potable certaines communes de la Haute-Broye qui en sont dépourvues ou qui n'ont pas développé le captage des eaux souterraines (Essertes, Châtillens, Oron, etc...). Une partie de ces eaux provient de la dérivation du Grenet citée plus haut.
- b) Pour les mêmes raisons, certaines communes fribourgeoises de la rive droite de la Haute Broye reçoivent depuis peu une faible quantité d'eau potable venant du bassin de la Sarine.

Une estimation de ces débits apportés peut être faite de la manière suivante :

- Population concernée : 3000 hab.
- Consommation : 200 l/(j·hab.) (consom. partielle)
- Volume journalier : 600 m³/j

Débit en trop à la Broye ≈ 0.01 m³/s

Ce facteur peut donc représenter une erreur de 1 à 2% sur les débits d'étiage à Payerne et une erreur négligeable sur les crues.

VEGETATION

La superficie du bassin versant de la Broye est partagée approximativement de la manière suivante :

- | | | |
|---|---------|-----|
| - Forêts (hêtres et conifères princip.) | environ | 30% |
| - Pâturages et prairies | " | 30% |
| - Champs cultivés | " | 40% |

GEOMORPHOLOGIE

Relief

La morphologie de ce bassin est guidée par son histoire géologique. Bien que celle-ci soit traitée en détail dans la 2ème partie de ce travail, nous en examinons tout de même les traits principaux :

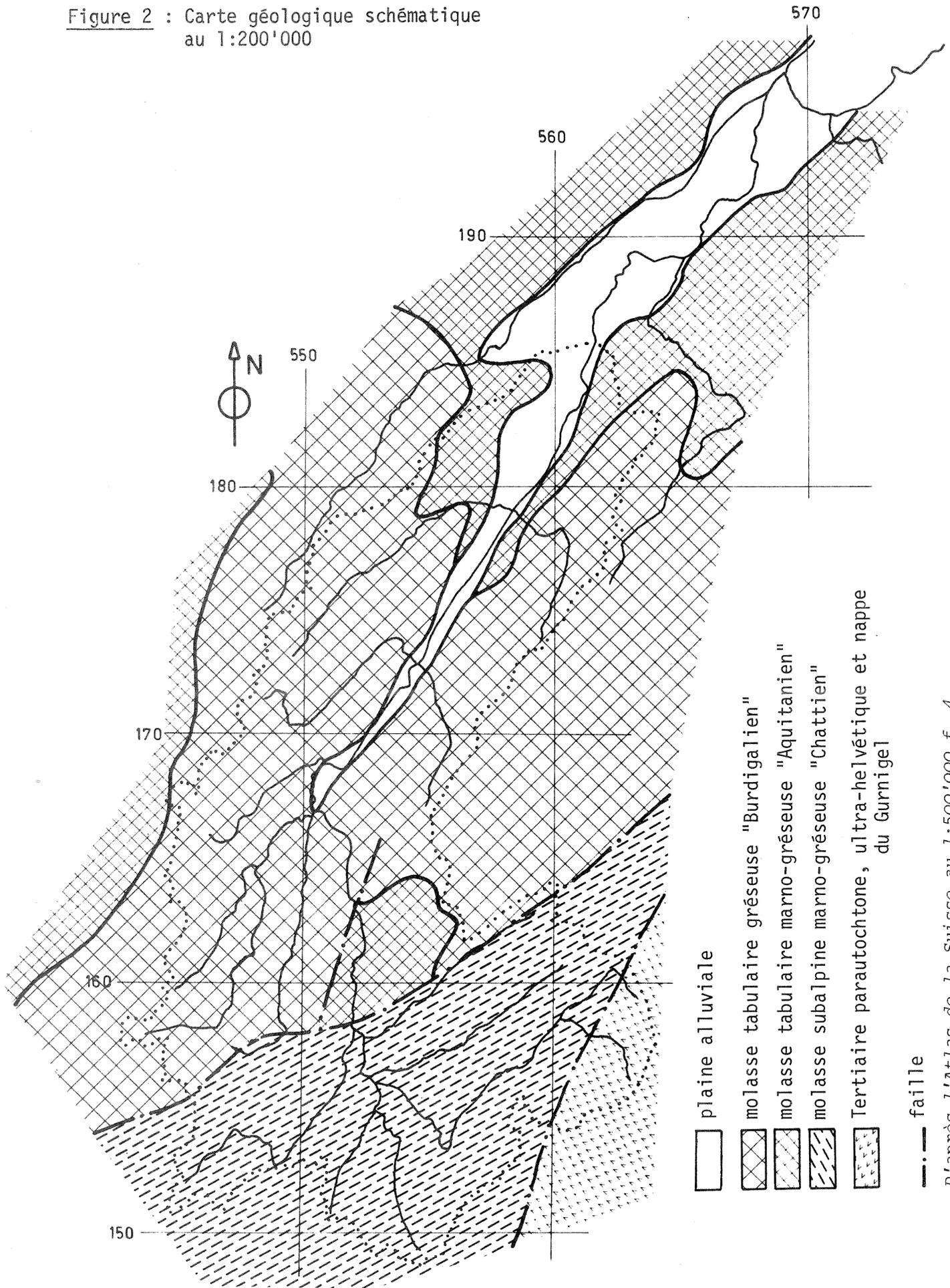
- Epoque de formation des roches tertiaires constituant l'essentiel du substratum de cette zone : sédimentation de matériaux détritiques variés provenant de l'érosion plus ou moins active de la Chaîne des Alpes naissante; transformation de ces sédiments en roches variées, dures pour les anciens graviers (poudingues du Mt. Pélerin), tendres et altérables pour les anciens sables, limons et argiles (molasses diverses, flysch). (voir fig. 2)
- Epoque de l'érosion de ces roches cénozoïques; d'abord une érosion torrentielle pliocène lors de la surélévation du Plateau molassique entaillant de grandes vallées; puis la succession des glaciations quaternaires et de leurs interglaciaires remodelant et surcreusant ce réseau hydrographique primitif. A la fin de la période glaciaire, la surélévation des niveaux de base par la fonte des calottes glaciaires entraîne un alluvionnement général des basses vallées, créant de grandes plaines du type de celle de la Broye.

Depuis lors, le relief n'a guère évolué; actuellement il se présente schématiquement comme suit :

La zone sourcière préalpine du Niremont - Les Alpettes occupe les reliefs les plus accentués, dont les altitudes varient de 900 à 1500 m avec des pentes moyennes de 25%. La position de ce massif dans la Chaîne des Préalpes en fait la première barrière orogénique face aux vents d'ouest créant de grandes ascendances météorologiques; il en résulte un abondant arrosage de ces sommets (1500 à 2000 mm/an).

Le massif du Mt. Pélerin représente un autre trait morphologique important; cette assise de poudingues bien cimentés qui a résisté aux attaques glaciaires empêche la

Figure 2 : Carte géologique schématique
au 1:200'000



Broye de rejoindre le bassin du Rhône. Son sommet culmine à près de 1100 m et ses pentes avoisinent celles du Niremont.

Le reste du bassin présente un relief moins marqué, caractéristique d'un modelé glaciaire sur une roche tendre. Le massif molassique du Jorat où la Bressonne prend sa source culmine tout de même à plus de 900 m. Puis l'altitude moyenne diminue graduellement vers le N pour atteindre une cote minimale de 450 m à la station de Payerne. Les pentes de ces zones à modelé glaciaire excèdent rarement 15%. Toutefois, sur le flanc des vallées à érosion active, surgissent d'imposantes falaises avec même des surplombs locaux (Villeneuve - Surpierre, gorges de la Broye en amont de Bressonnaz).

La plaine alluviale principale de la Broye débute à Bressonnaz, en amont de Moudon, à l'altitude de 510 mètres. Elle va en s'élargissant légèrement jusqu'à Granges-près-Marnand où elle atteint 1 km. Plus en aval, elle s'étale brusquement dès les confluences de vallées glaciaires latérales (Lembe et Petite-Glâne), pour atteindre 4 km à la station limnigraphique de Payerne.

L'altitude moyenne du bassin versant de la Broye à Payerne se situe vers 710 m (détermination OFEH).

Hydrographie

Les sols résultant de l'altération des roches-mères qui forment les versants du bassin de la Broye (moraines de fond, molasses, flysch) sont de composition essentiellement sableuse, limoneuse et argileuse, avec des quantités variables de galets et de blocs morainiques.

L'action d'une agriculture souvent intensive ajoutée à celle du gel entraîne malgré tout une capacité d'infiltration faible à moyenne dans une couche de 50 cm à 1 m. Ces infiltrations alimentent localement des nappes peu profondes, discontinues et très nombreuses (poches sablo-graveleuses de la moraine,

aquifères fissurés de la molasse altérée) donnant lieu à une multitude de sources de qualité variable.

La conséquence de ces phénomènes est la création d'un réseau hydrographique très serré répondant violemment aux fortes intensités de pluie. Le calcul du "coefficient de drainage" illustre bien numériquement cette faible perméabilité globale :

$$\text{Coefficient du drainage } C_d = \frac{\Sigma \text{ longueur des cours d'eau}}{\text{aire totale du bassin}} = \frac{685.5 \text{ km}}{416 \text{ km}^2}$$

$$\underline{C_d = 1.65 \text{ km/km}^2}$$

Notons à ce propos que la longueur totale des cours d'eau a été déterminée sur une base topographique actuelle au 1/25'000^e. Nous avons tenu compte dans les cas bien connus des tronçons mis sous canalisation. Toutefois, le nombre obtenu est certainement encore en dessous de celui de l'état naturel. Quoi qu'il en soit, sa détermination sera toujours dépendante de l'échelle considérée ainsi que du régime des précipitations.

La classification hydrographique utilisée à la figure 3 est celle de STRAHLER (1957). Nous avons tenté de numériser certains paramètres hydrographiques fondamentaux en relation avec l'ordre des affluents :

Les corrélations graphiques de la figure 4 confirment la linéarité des fonctions :

$$\log (B) = - 0,60 \cdot A + 3,23$$

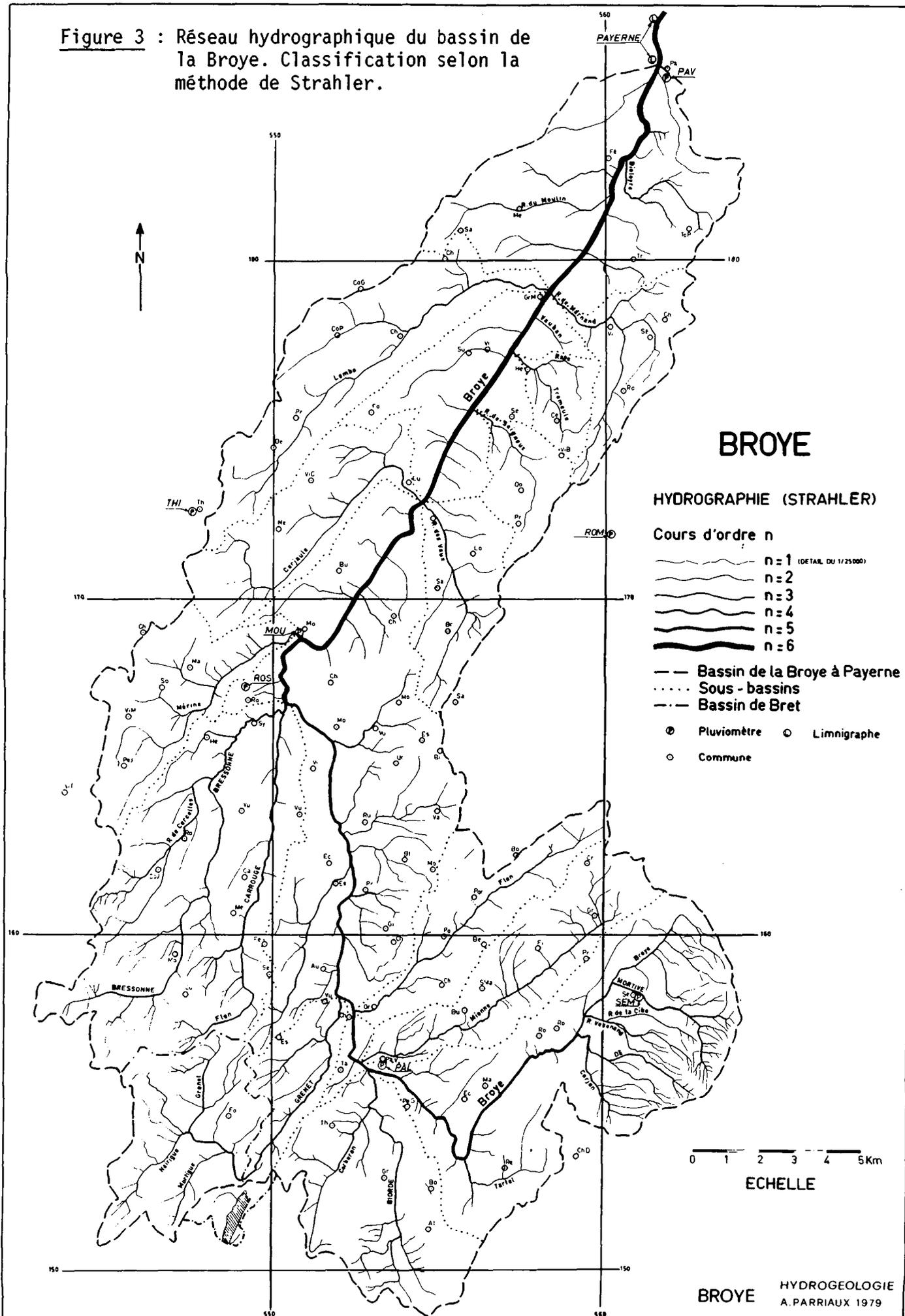
$$\log (F) = 0,34 \cdot A - 0,6$$

A = ordre des affluents considérés

B = nombre d'affluents de l'ordre considéré

F = longueur moyenne des affluents de l'ordre considéré
(km)

Figure 3 : Réseau hydrographique du bassin de la Broye. Classification selon la méthode de Strahler.



TABEAU 1 : Classification numérique des affluents selon Strahler.

A	B	C	D	E	F
6	1	-	2	50	50
5	2	2	3	25	12.5
4	6	6	4.33	28.5	4.76
3	26	15	4.81	91.5	3.52
2	125	97	4.01	142.5	1.14
1	502	381	-	348	.69

A : ordre des affluents
 B : nombre d'affluents de l'ordre considéré
 C : " " se jetant dans affl. de l'ordre direct. supérieur
 D : degré de confluence
 E : longueur totale des affluents de l'ordre considéré (km)
 F : " moyenne " " " (km)

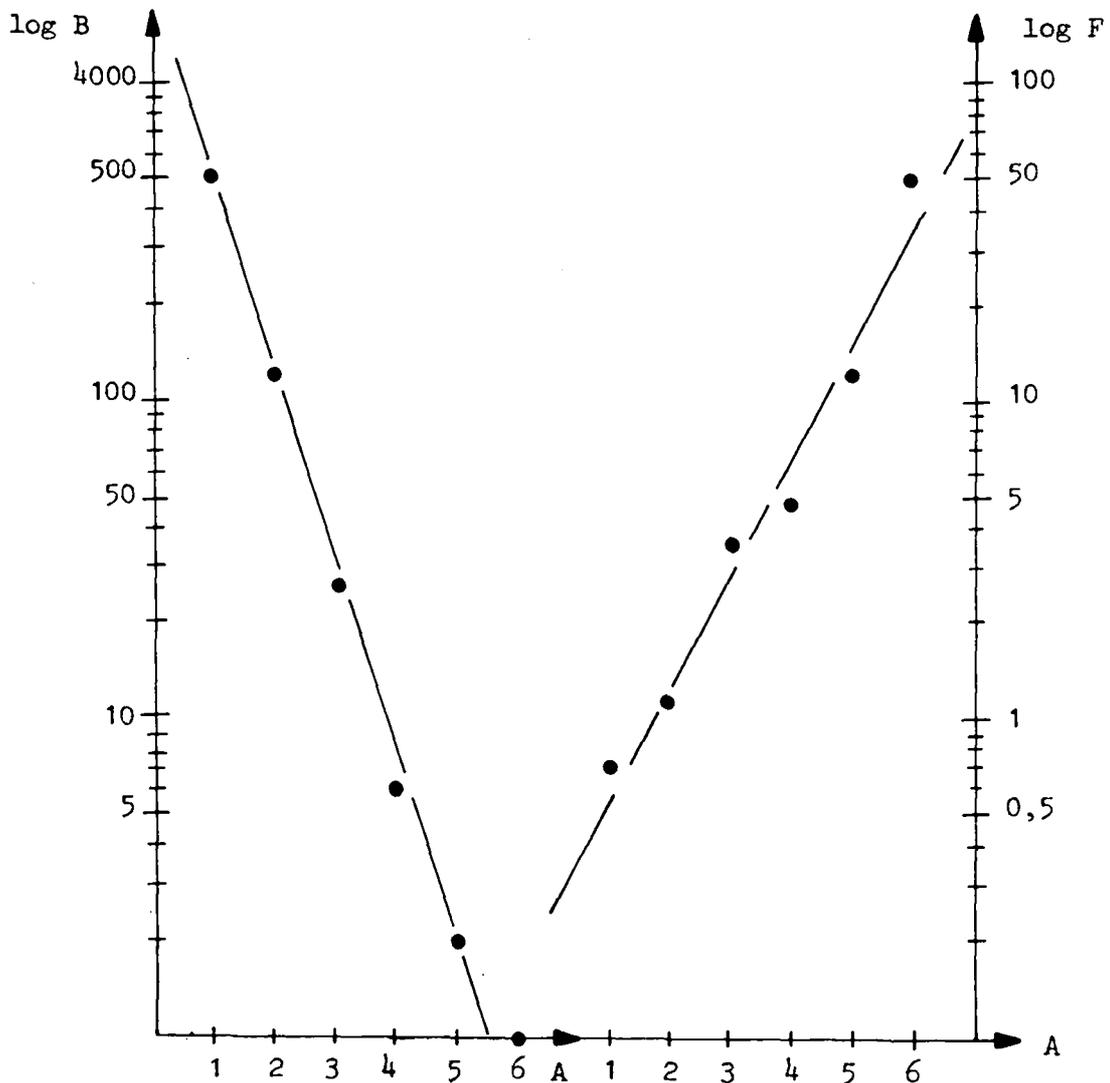


Figure 4 : Corrélations graphiques des paramètres hydrographiques (selon Strahler)

Profil en long de la Broye

La majeure partie du cours des affluents de la Broye est naturelle. La rivière principale, en revanche, a été canalisée et endiguée à la fin du siècle dernier, de Bressonnaz au lac de Morat. La régulation du niveau des lacs (Bienne, Neuchâtel et Morat) a permis d'abaisser le niveau de la Broye dans sa partie alluviale, créant la possibilité de nouveaux assainissements par drainage.

L'examen de son profil en long (fig. 5) montre nettement une succession de paliers et de pentes; les premiers sont des zones assez planes où l'alluvionnement prédomine sur l'érosion; elles correspondent exactement aux tronçons de cours subséquents, la rivière coulant parallèlement aux directions des structures tectoniques (Semsales-Bossonens, Promasens-Villageaux, Bressonnaz-Payerne). Les secondes sont le siège d'une érosion régressive active tendant au nivellement des paliers (alluvions d'Ecublens réentaillées par le recul du sommet des gorges de la Broye). Elles correspondent à des tronçons où le cours devient brusquement obséquent, la rivière coulant perpendiculairement aux discontinuités géologiques (les Alpettes-Semsales, Bossonens-Promasens, Villageaux-Bressonnaz).

Ces phénomènes illustrent l'importance de l'histoire même lointaine du bassin pour la compréhension d'une morphologie actuelle.

—|— Cours subséquents : érosion active
- - - Cours obséquents : alluvionnement
Ech. horizontale : 1/400'000
Ech. verticale : 1/10'000

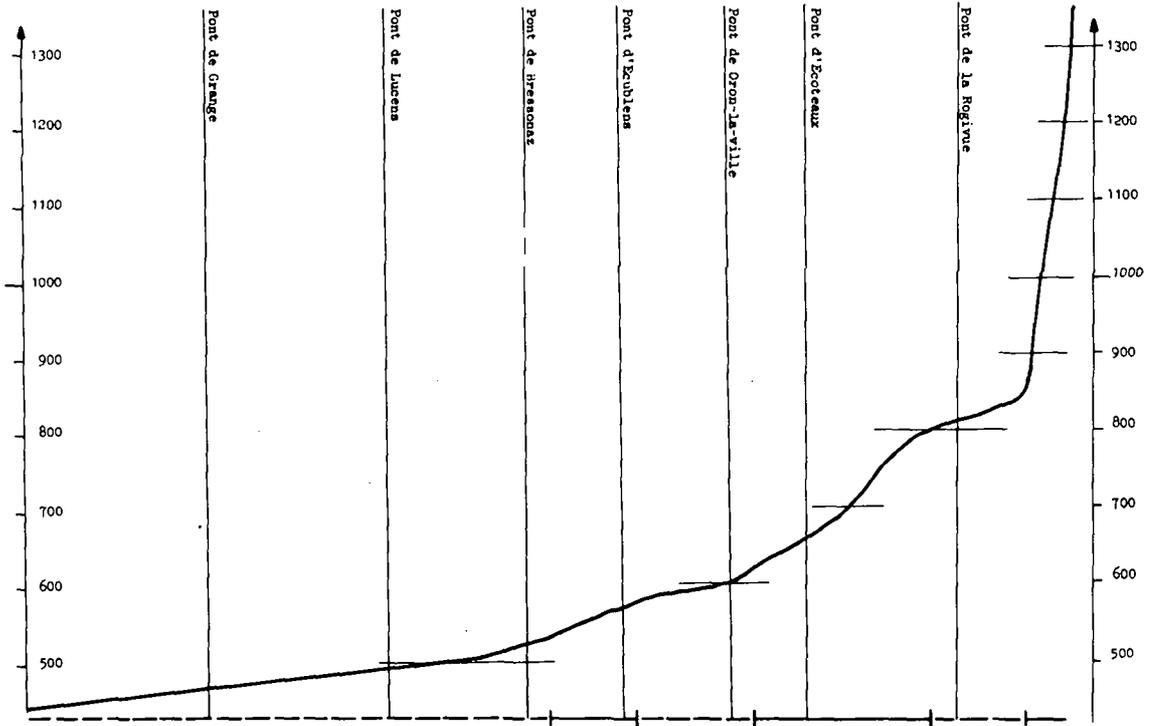


Figure 5 : Profil en long de la Broye, de sa source à Payerne

LE CYCLE HYDROLOGIQUE

L'étude du cycle hydrologique nécessite normalement le calcul des paramètres se référant à des années hydrologiques qui vont classiquement du 1er octobre d'une année au 30 septembre de l'année suivante. Ce procédé, s'il est impératif pour les bassins montagneux, est en revanche moins nécessaire dans le cas d'un bassin de plaine tel que celui de la Broye. Aussi, pour des raisons de commodité d'utilisation des données, nous nous référons, dans cette étude restreinte, aux valeurs se rapportant aux années civiles. Parallèlement, nous effectuons à titre de vérification les mêmes calculs sur les années hydrologiques.

Nous verrons plus loin que ce choix n'altère pas le bilan calculé d'une manière significative.

Parmi les nombreux facteurs du bilan hydrologique, retenons ici les trois principaux :

- Précipitations
- Evapotranspiration
- Ecoulements.

Convention : le nom des années hydrologiques est celui de l'année qui comporte les neuf derniers mois.

Les Précipitations

L'Institut suisse de météorologie a installé au cours du 20ème siècle une dizaine de stations pluviométriques à l'intérieur et aux environs immédiats du bassin. Nous avons d'emblée écarté certaines stations périphériques en raison du manque de représentativité météorologique pour le bassin étudié (Châbles, Tour de Gourze). Les huit stations restantes ont fonctionné durant des périodes très différentes (fig. 6).

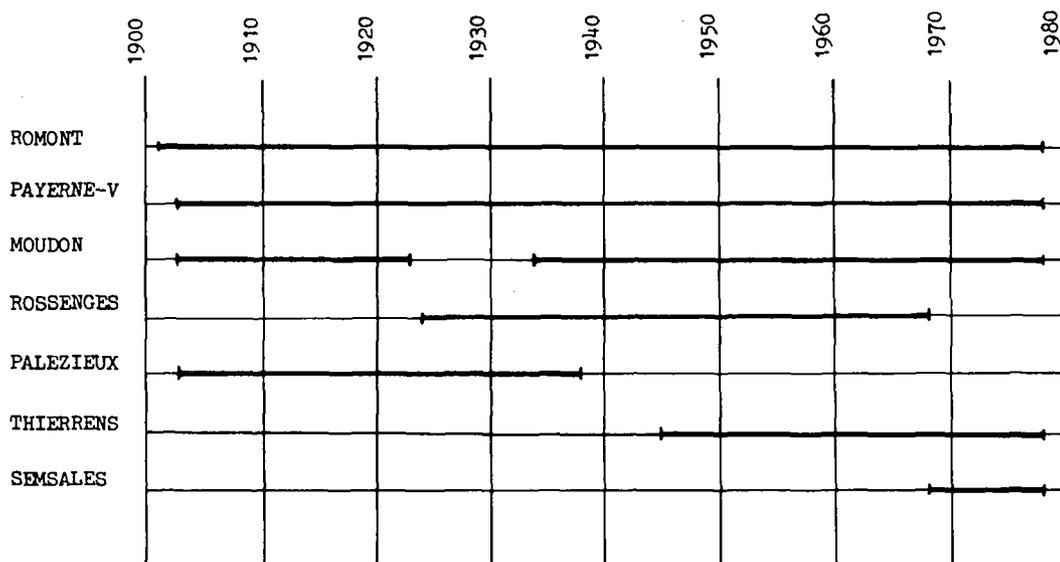


Figure 6 : Durée de fonctionnement des stations pluviométriques ISM retenues

En août 1974, nous avons installé un pluviographe à la surface de l'aquifère souterrain de Lucens, au voisinage du puits à drains rayonnants communal. Pour la détermination d'une pluie moyenne se rapportant à une longue période, cet appareil de mesures est encore peu utile. Il est en revanche précieux pour l'étude des relations entre les précipitations et les variations des réserves d'eau souterraine au cours du temps (voir annexe I).

MODULE PLUVIOMETRIQUE ANNUEL MOYEN SUR LE BASSIN

Nous avons retenu comme base de calcul les modules pluviométriques annuels des 7 stations suivantes :

<u>Nom station</u>	<u>Code informatique</u>	<u>Altitude (msm)</u>
Romont	ROM	764
Payerne ville	PAV	445
Moudon	MOU	515
Rossenges	ROS	700
Palézieux	PAL	633
Thierrens	THI	770
Semsaies	SEM	890

Les périodes de fonctionnement des diverses stations étant différentes (fig. 6), nous avons tenté une homogénéisation de 2e ordre en recréant des données manquantes sur la base d'un réseau serré de régressions simples. Les coefficients de corrélation de ces dernières, ainsi que le nombre d'années communes, nous permettent de reconstituer d'une manière optimale les données manquantes. Les calculs portent sur les années civiles (tableau 2) et sur les années hydrologiques (tableau 3)

Le groupe PAV ROM MOU ROS constitue une solide base de données pour la période 1903-1978. Les autres stations sont étendues à cette période lorsque les coefficients les corrélant à l'une des stations de base sont de bonne qualité.

Le cas de la station de Semsales est particulier de par le peu d'années communes avec les stations de base (11 années). Durant cette courte période, les données de cette station montrent avec éloquence la grande pluviosité de ce premier versant préalpin. L'alternative suivante est posée :

- ou ne pas tenir compte de cette station et affecter à cette zone pluvieuse les valeurs de la station Palézieux (nettement trop basses)
- ou transgresser une certaine prudence statistique et recréer une longue série de données manquantes.

Tableau 2 : Années civiles : modules pluviométriques annuels complétés par les valeurs recréées par régression linéaire.

ANNEES CIVILES : MODULES PLUVIOMETRIQUES ANNUELS REELS OU RECREEES (*)															
Ann.	ROM	PAV	MOU	ROS	PAL	THI	SEM	Ann.	ROM	PAV	MOU	ROS	PAL	THI	SEM
1903	1181	783	990	*1117	1287	*909	*1381	1938	954	914	794	974	1328	*715	*1173
4	888	675	847	*1002	1181	*768	*1230	39	1306	1254	1129	1341	*1638	*1047	*1529
5	1269	1016	1067	*1179	1590	*986	*1463	1940	1189	1132	981	1179	*1485	*900	*1372
6	817	609	760	*932	1031	*681	*1137	41	904	725	700	934	*1111	*622	*1074
7	1059	715	914	*1056	1200	*834	*1301	42	830	798	678	834	*1014	*600	*1050
8	952	790	940	*1077	1195	*860	*1328	43	884	754	769	936	*1085	*690	*1147
9	1100	822	1116	*1219	1466	*1034	*1515	44	1123	944	949	1182	*1398	*869	*1338
1910	1409	1152	1322	*1384	1827	*1238	*1734	45	743	670	641	808	*900	*563	*1011
11	906	811	912	*1054	1132	*832	*1299	46	1111	1029	947	1173	*1382	*867	*1336
12	1112	804	1057	*1171	1520	*976	*1452	47	822	783	703	903	*1004	*625	*1077
13	1035	746	914	*1056	*1283	*834	*1301	48	1056	894	916	1240	*1310	*836	*1303
14	1197	1164	1221	*1303	*1495	*1138	*1626	49	749	682	590	897	*908	*513	*957
15	1279	1004	1202	*1288	*1603	*1119	*1606	1950	1218	1182	1295	1681	*1523	*1212	*1705
16	1308	1114	1308	*1373	*1640	*1224	*1719	51	1076	958	1183	1426	*1337	*1101	*1586
17	1175	883	1121	*1223	*1466	*1039	*1520	52	1237	1151	1252	1499	*1547	*1169	*1659
18	1096	923	1059	*1173	1368	*978	*1455	53	854	681	762	829	*1046	*683	*1139
19	1136	791	1150	*1246	1485	*1068	*1551	54	1155	1042	1154	1223	*1440	*1072	*1555
1920	891	634	797	*962	968	*718	*1177	55	1087	970	1122	1259	*1351	*1056	*1521
21	689	493	533	*749	679	*456	*897	56	1115	926	946	1045	*1388	*1030	*1335
22	1560	1146	1284	*1354	2112	*1201	*1693	57	945	728	826	970	*1165	*780	*1207
23	1334	1107	1293	*1361	1680	*1210	*1703	58	1174	980	1091	1243	*1465	*1083	*1489
24	1077	874	*996	1041	1591	*915	*1388	59	1097	816	975	1041	*1364	*820	*1365
25	1051	828	*971	1034	1419	*891	*1361	1960	1305	1013	1216	1313	*1637	*1091	*1621
26	1251	858	*1068	1053	1279	*987	*1464	61	993	790	980	1108	*1228	*817	*1371
27	1309	1013	*1221	1258	1614	*1138	*1626	62	879	728	921	1026	*1079	*775	*1308
28	1147	949	*1064	1116	1370	*983	*1460	63	1211	1030	1121	1158	*1513	*1029	*1520
29	945	710	*868	896	920	*788	*1252	64	834	689	793	820	*1020	*662	*1172
1930	1306	1094	*1218	1297	1701	*1135	*1623	65	1473	850	1516	1368	*1857	*1526	*1939
31	1178	1045	*1094	1286	*1470	*1012	*1492	66	1121	1180	1140	1021	*1396	*1059	*1541
32	1095	953	*1013	1028	1256	*932	*1406	67	1091	848	1117	1137	*1356	*1051	*1516
33	943	754	*866	858	1141	*786	*1250	68	1524	1056	1301	1280	*1923	*1238	1684
34	927	756	853	923	1166	*774	*1236	69	1071	731	968	*1100	*1330	*829	1356
35	1372	1155	1198	1220	1469	*1115	*1602	1970	1207	971	1163	*1256	*1508	*1133	1594
36	1207	1156	1192	1151	1455	*1110	*1596	71	902	689	770	*940	*1109	*784	1075
37	1168	1211	1072	1167	1552	*991	*1468	72	899	704	841	*997	*1105	*715	1181

EQUATIONS DE REGRESSION SIMPLE UTILISEES													
ROM	PAV	MOU	ROS	PAL	THI	SEM	ROM	PAV	MOU	ROS	PAL	THI	SEM
ROM = 0,729	. PAV + 93,783	r = 0,80	n = 75				MOU = 0,971	. ROM + (-49,762)	r = 0,92	n = 66			
							ROS = 0,805	. MOU + 320,273	r = 0,85	n = 35			
							PAL = 1,310	. ROM + (-72,983)	r = 0,91	n = 29			
							THI = 0,991	. MOU + (-71,754)	r = 0,95	n = 24			
							SEM = 1,061	. MOU + 331,000	r = 0,93	n = 11			

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE CORRELATION														
		ROM	PAV	MOU	ROS	PAL	THI	SEM						
A	B													
ROMONT		0.80	0.92	0.77	0.91	0.90	0.92	0.88						
PAYERNE-V		75	0.76	0.83	0.82	0.71	0.87	0.81						
MOUDON		66	66	0.85	0.91	0.95	0.93	0.87						
ROSSENGES		44	45	35	0.85	0.84	--	0.76						
PALEZIEUX		29	30	21	14	--	--	0.88						
THIERRENS		24	24	24	14	--	--	0.88	0.97					
SEMSALES		11	11	11	--	--	11	11	0.97					
Q _{PAY}		57	58	48	45	17	24	11						
		A	coefficients de corrélation											
		B	nombre d'années communes											

Tableau 3 : Années hydrogéologiques : modules pluviométriques annuels complétés par les valeurs recréées par régressions linéaires.

ANNÉES HYDROLOGIQUES : MODULES PLUVIOMÉTRIQUES ANNUELS REELS OU RECRÉÉS (*)															
Ann.	ROM	PAV	MOU	ROS	PAL	THI	SEM	Ann.	ROM	PAV	MOU	ROS	PAL	THI	SEM
1904	1118	822	934	*1078	1381	*879	1320	1938	961	907	785	931	1149	*748	*1152
5	1111	935	1047	1164	1410	*977	*1448	39	1075	1058	958	1130	*1578	*900	*1347
6	971	594	762	*948	1170	*728	*1126	40	1261	1193	1031	1260	*1745	*963	*1430
7	1022	722	872	*1031	1097	*824	*1250	41	1096	931	888	1147	*1421	*838	*1268
8	1076	978	1078	*1187	1383	*1005	*1483	42	818	761	648	789	*1211	*629	*997
9	788	619	756	*943	1090	*723	*1119	43	899	797	808	972	*1255	*769	*1178
1910	1499	1180	1417	*1444	1889	*1301	*1866	44	856	700	717	885	*1135	*689	*1075
11	920	796	908	*1058	1133	*856	*1291	45	987	895	843	1096	*1377	*799	*1217
12	1194	919	1221	*1296	1627	*1129	*1645	46	1098	983	933	1127	*1485	*878	*1319
13	1021	751	902	*1054	*1198	*851	*1284	47	757	731	653	840	*1174	*633	*1002
14	1214	1145	1205	*1284	*1686	*1116	*1627	48	1151	981	1012	1331	*1483	*947	*1408
15	1235	958	1148	*1240	*1455	*1066	*1562	49	684	660	505	814	*1096	*504	*835
16	1159	965	1131	*1227	*1463	*1051	*1543	1950	1010	935	1017	1366	*1426	*951	*1414
17	1344	1070	1323	*1373	*1593	*1219	*1760	51	1258	1141	1392	1671	*1681	*1279	*1838
18	1084	1174	1070	*1181	*1722	*998	*1474	52	1010	939	1021	1236	*1431	*955	*1419
19	1038	731	1063	*1176	1362	*991	*1466	53	1220	1033	1161	1318	*1547	*1077	*1577
1920	1196	851	1091	*1197	1385	*1016	*1498	54	954	864	958	1008	*1338	*900	*1347
21	692	497	530	*772	667	*526	*863	55	1213	1087	1254	1375	*1614	*1158	*1682
22	1245	912	1055	*1170	1624	*954	*1457	56	1109	924	967	1069	*1412	1051	*1358
23	1116	885	970	*1105	1526	*910	*1361	57	979	765	844	954	*1216	812	*1218
24	1566	1289	*1497	*1505	2069	*1371	*1957	58	1051	877	954	1082	*1354	986	*1343
25	969	730	*885	878	1334	*838	*1265	59	985	755	893	954	*1203	746	*1274
26	1057	794	*975	1025	1303	*914	*1367	1960	1358	1017	1237	1337	*1528	1088	*1663
27	1429	1131	*1357	1375	1733	*1248	*1799	61	1086	837	982	1145	*1305	872	*1374
28	918	765	*833	883	1086	*790	*1206	62	906	794	1024	1109	*1252	844	*1422
29	947	750	*863	906	1017	*817	*1240	63	1113	958	1057	1113	*1455	963	*1459
1930	1364	1079	*1290	1338	1615	*1190	*1723	64	911	751	832	846	*1198	908	*1205
31	1360	1223	*1286	1464	*1782	*1186	*1718	65	1272	1018	1295	1235	*1529	1372	*1728
32	1048	941	*966	1009	1194	*907	*1356	66	1248	970	1285	1093	*1469	1189	*1717
33	958	750	*874	869	1132	*826	*1252	67	1038	787	1032	1056	*1243	937	*1431
34	872	728	*786	884	1160	*749	*1153	68	1657	1169	1505	1476	*1716	1414	*1966
35	1190	953	968	1034	1266	*908	*1359	69	1074	758	950	*1090	*1207	858	1356
36	1512	1373	1460	1364	1768	*1338	*1915	1970	1160	921	1115	*1215	*1409	1053	1575
37	1205	1197	1075	1198	1563	*1002	*1480	71	985	718	861	*1023	*1158	887	1192

Ann.	ROM	PAV	MOU	ROS	PAL	THI	SEM
1972	799	619	731	*924	*1035	623	994
73	983	820	957	*1096	*1284	866	1415
74	1010	692	933	*1077	*1126	834	1411
75	1189	874	1073	*1183	*1351	977	1522
76	747	488	701	*901	*977	705	975
77	1533	1032	1473	*1487	*1546	1277	1779
78	1270	913	1154	*1245	*1399	1014	1670
\bar{x}	1082	897	1014	1129	1345	948	1410
σ	234	179	222	193	313	198	252

EQUATIONS DE REGRESSION SIMPLE UTILISEES

MOU = 1,025 . ROM + (- 107,981) r = 0,93 n = 64
 PAL = 1,237 . PAV + 269,504 r = 0,86 n = 28
 THI = 0,874 . MOU + 62,340 r = 0,92 n = 23
 SEM = 1,131 . MOU + 263,825 r = 0,95 n = 10
 ROS = 0,758 . MOU + 370,12 r = 0,85 n = 34

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE CORRELATION									
A	B								
	ROM	PAV	MOU	ROS	PAL	THI	SEM	Q _{PAV}	
ROMONT									
PAVERNE-V.	0.85	0.93	0.83	0.82	0.90	0.94	0.82		
MOUDON			0.80	0.84	0.86	0.92	0.95	0.80	
ROSSIGNES				0.85	0.93	0.92	0.95	0.79	
PALEZIEUX					0.94	0.75	--	0.74	
THIERRENS						--	--	0.92	0.75
SEMSALES									0.93
Q _{PAV}	57	57	46	44	16	23	10		

A coefficients de corrélation
 B nombre d'années communes

Les coefficients de corrélation de cette station avec celles de base étant d'excellente qualité, nous avons opté pour la 2e solution.

Les valeurs des modules pluviométriques annuels complétées figurent au tableau 2 pour les années civiles et au tableau 3 pour les années hydrologiques. Les équations de régression y figurent également. Le détail des régressions simples est déposé au GEOLEP.

Homogénéité des séries

L'homogénéité statistique des diverses séries étendues de modules pluviométriques a été contrôlée par le test du double cumul où chaque série est comparée à la moyenne de toutes les autres stations.

A cette fin, nous avons créé en 1974 un programme d'ordinateur (DCUMUL) effectuant ce test pour une série de n stations avec sortie-traceur (PARRIAUX 1974).

Les stations de base ont été d'abord contrôlées entre elles (ROM PAV MOU ROS). Leur graphique de double cumul montre une homogénéité satisfaisante ne nécessitant aucune correction (Ex. Station Moudon, fig. 7).

Puis ce contrôle a été étendu à chaque station par le test de ses paramètres en regard des six stations restantes (diagrammes déposés au GEOLEP).

Ajustement statistique

Dans notre travail de 1974, nous avons créé un programme d'ordinateur (AJUST) qui réalise un ajustement graphique sur une ou plusieurs des quatre lois suivantes : GAUSS, GIBRAT, GUMBEL, FRECHET. Le programme ordonne les séries, calcule certains paramètres statistiques et les fréquences empiriques,

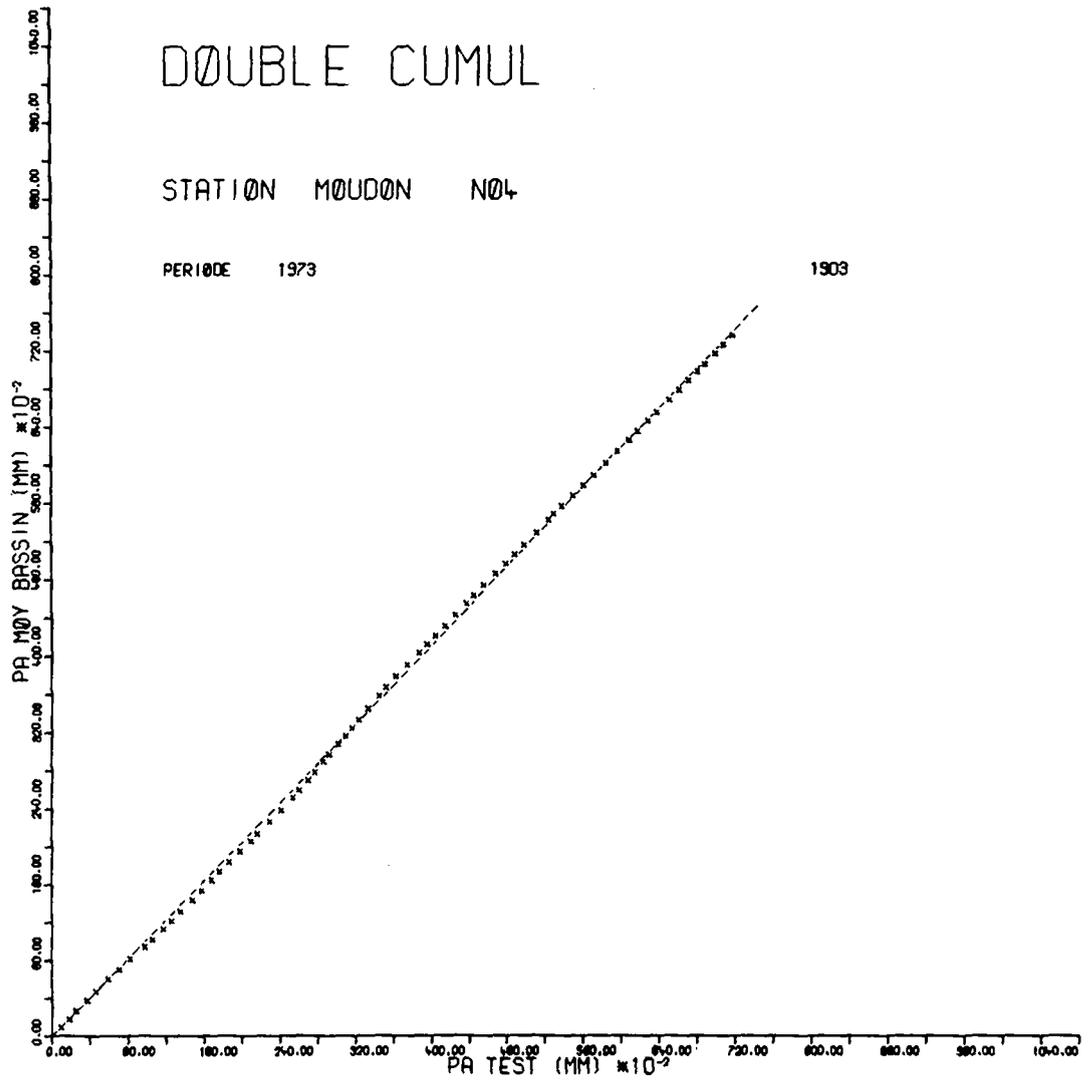


Figure 7 : Test du double cumul de la station pluviométrique Moudon en relation avec les six autres stations.

calcule et construit les papiers probabilistes des différentes lois et y reporte les variates en fonction de leur fréquence. Ce programme est également conçu pour effectuer la méthode du GRADEX (PARRIAUX, 1974).

Le programme AJUST a été utilisé sur les séries de modules pluviométriques annuels. Il a permis de choisir parmi plusieurs lois celles représentant le mieux les séries réelles.

Remarques générales sur l'ajustement des modules pluviométriques annuels.

- Gauss : bon ajustement général sur la partie centrale de la distribution. Valeurs extrêmes s'écartant de la droite soit par-dessus, soit par-dessous. (fig. 8).
- Gibrat : La distribution en papier Gibrat montre souvent une double droite à point de brisure assez bien marqué vers $T = 2$ à 5 ans. (PAL et MOU). Les T grands sont déjà mieux regroupés sur la droite.
- Gumbel : Distribution généralement inadaptée à ces valeurs moyennes. Le graphique montre une série de points disposés sur une des courbes très marquées.
- Fréchet : Distribution souvent à deux tronçons de droites. Epouse assez bien les valeurs extrêmes.

(voir PARRIAUX, 1974).

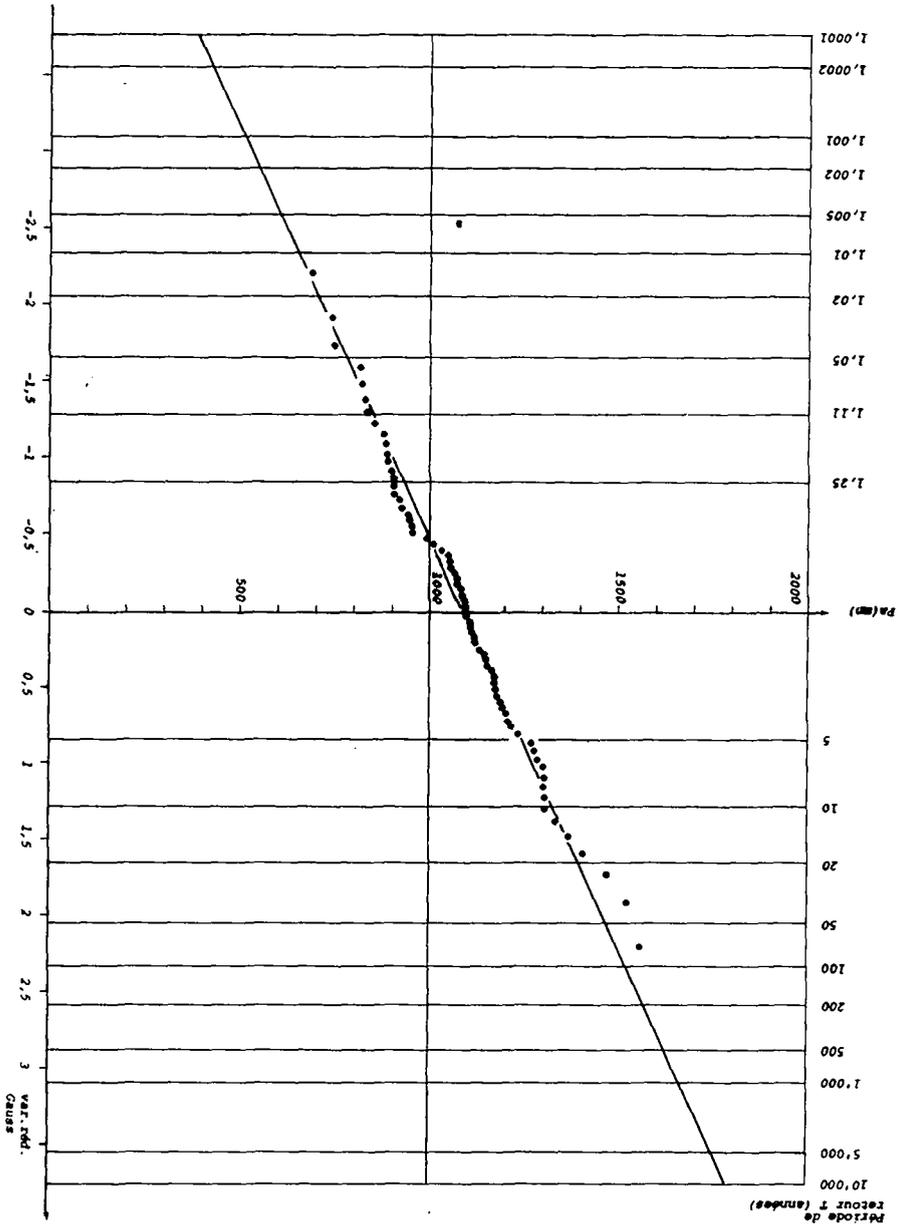


Figure 8 : Ajustement graphique des modules pluviométriques annuels de la station Romont à la loi de Gauss

Méthodes de détermination de la pluie
annuelle moyenne sur le bassin

Dans le cas des années civiles comme dans celui des années hydrologiques, la précipitation annuelle moyenne a été calculée sur la base des sept stations pluviométriques observées, réellement ou fictivement sur la période 1903-1978. Les coefficients de pondération spatiale des stations sont évalués selon les trois méthodes classiques :

1) Moyenne arithmétique

<u>Station</u>	<u>Moyenne (mm/an)</u>	
	<u>Années civiles</u>	<u>Années hydrologiques</u>
PAV	895	897
ROM	1098	1082
MOU	1013	1014
ROS	1127	1129
PAL	1357	1345
THI	932	948
SEM	1426	1410
	$\Sigma = 7848$	$\Sigma = 7825$
	$\bar{P} = 1121$	$\bar{P} = 1118$
	$\sigma = 203$	$\sigma = 194$

2) Méthode de Thiessen (fig. 9)

<u>Station</u>	<u>Moyenne mm/an</u>		<u>Fraction surf. totale %</u>	<u>Pluie annuelle pondérée mm/an</u>	
	<u>An.civile</u>	<u>An. hydrol.</u>		<u>An.civile</u>	<u>An.hydrol.</u>
PAV	895	897	11.07	99.08	99.30
ROM	1098	1082	13.10	143.84	141.70
MOU	1013	1014	11.46	116.09	116.20
ROS	1127	1129	14.61	164.65	164.95
PAL	1357	1345	27.38	371.55	368.26
THI	932	948	8.77	81.74	83.14
SEM	1426	1410	13.60	193.94	191.76

P=1171 P=1165

Figure 9 : Répartition des précipitation annuelles sur le bassin selon la méthode des polygones de Thiessen

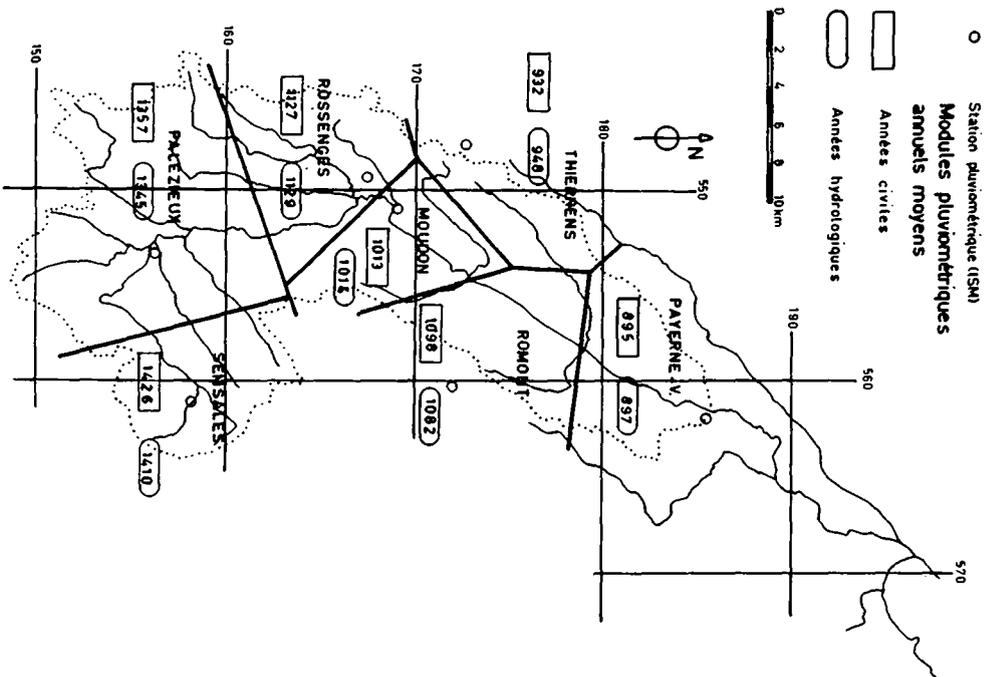
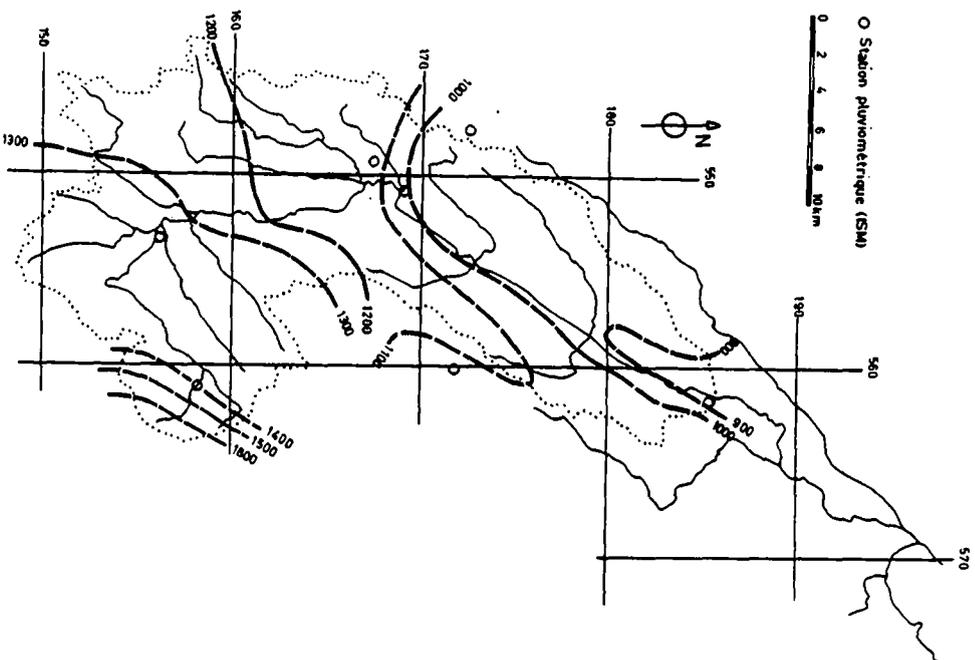


Figure 10 : Répartition des précipitation annuelles sur le bassin selon la méthode des isohyètes (années civiles et années hydrologiques)



3) Méthode des isohyètes (fig. 10).

Le très faible écart entre les valeurs calculées selon les années civiles ou hydrologiques ne nécessite pas deux cartes d'isohyètes différentes. La précipitation résultante sera donc attribuée aux deux méthodes de traitement des données.

<u>Moyenne inter-</u> <u>isohyète</u> mm/an	<u>Surface inter-</u> <u>isohyète</u> km ²	<u>Fraction surf.</u> <u>totale</u> %	<u>Pluie annuel-</u> <u>le pondérée</u> mm/an
890	9.17	2.33	20.74
950	87.5	22.19	210.81
1050	44.5	11.29	118.55
1150	83.00	21.05	242.08
1250	42.83	10.86	135.75
1350	109.83	27.84	375.84
1450	7.83	1.99	28.86
1550	5.83	1.48	22.94
1650	3.83	0.97	16.01

$$\bar{P} = 1172 \text{ mm/an}$$

Critique des trois méthodes

La méthode des isohyètes, par sa souplesse, tient compte d'une manière satisfaisante des variations pluviométriques liées aux traits morphologiques. C'est son résultat que nous considérons comme le plus vraisemblable.

Celle de Thiessen approche ce résultat à 0.6% près, différence négligeable dans le cas particulier de ce bassin.

Quant à la Moyenne arithmétique, elle n'atteint que les 95% des valeurs ci-dessus. Cette erreur par défaut peut s'expliquer principalement par le poids égal donné à deux stations très voisines et à faible pluviométrie (Moudon et Ros-senges).

PRECIPITATIONS JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES

Une analyse des corrélations simples reliant les précipitations journalières maximales annuelles des différentes stations du bassin a été menée d'une manière semblable à celle des séries de modules pluviométriques annuels. Notons que ces événements sont rattachés ici aux années civiles auxquelles ils appartiennent. (tableau 4).

Tableau 4 : Corrélations simples liant les pluies journalières maximales annuelles des diverses stations pluviométriques retenues.

B \ A	ROM	PAL	PAV	ROS	MOU	THI	SEM
ROMONT		.700	.510	.586	.687	.727	.224
PALEZIEUX	22		.295	.347	.457		
PAYERNE-V	65	27		.487	.605	.667	.179
ROSSENGES	43	14	45		.919	.646	
MOUDON	57	18	60	35		.562	.552
THIERRENS	17		17	13	17		.216
SEMSALES	5		5		5	5	

A : Coefficients de corrélation simple

B : Nombre d'années communes

La grille des coefficients de corrélation simple montre que ces valeurs extrêmes sont beaucoup moins fortement liées que ne le sont les valeurs moyennes (voir tableaux 2 et 3).

Ces séries statistiques de précipitations journalières annuelles maximales seront utilisées plus loin dans l'application de la "méthode du gradex" pour la prédétermination des crues.

L'Evapotranspiration

Les grandes difficultés d'estimation de l'évapotranspiration réelle sont bien connues.

La formule de TURC, parmi de nombreuses formules empiriques souvent sophistiquées, a l'avantage de donner une estimation de l'évapotranspiration réelle annuelle sur la base de données simples. D'autre part, elle a été testée avec succès sur de très nombreux bassins. C'est cette formule que nous utiliserons ici pour la détermination de l'évapotranspiration réelle annuelle moyenne sur la période 1903-1978.

Formule de TURC

$$ETP_r = \bar{P} (0,9 + \bar{P}^2 / L^2)^{-0,5}$$

$$\text{avec } L = 300 + 25 t + 0,05 t^3$$

où ETP_r = évapotranspiration réelle annuelle moyenne

\bar{P} = module pluv. an. moyen sur le bassin

t = température annuelle moyenne sur le bassin

Bassin de la Broye

Nous choisissons pour \bar{P} la valeur obtenue par la méthode des isohyètes sur la période 1903-1978

$$\bar{P} = 1172 \text{ mm/an}$$

Les températures moyennes sur le bassin ont été tirées de "Etude mésoclimatique du canton de Vaud" sur la période 1931-1960 (PRIMAULT 1972)

$$t = 8^{\circ} \text{ C}$$

$$L = 300 + 200 + 25,6 = 525,6$$

$$ETP_r = 1172 (0,9 + 1172^2 / 525,6^2)^{-0,5} = 483,65$$

$$\underline{ETP_r = 484 \text{ mm/an}}$$

L'erreur faite par cette approximation est difficile à évaluer pour l'instant. Nous critiquerons plus loin cette valeur en traitant du bilan hydrologique du bassin.

Les Ecoulements

EQUIPEMENT DU BASSIN

Le bassin versant de la Broye souffre actuellement d'une lacune dans son équipement hydrométrique. La première station ne se trouve qu'à Payerne au débouché d'un bassin déjà grand de 400 km². C'est l'unique station en amont de l'embouchure de la Broye dans le Lac de Morat. Les données hydrométriques utilisées pour cette étude ne proviennent donc que de la terminaison du bassin principal. Aucune étude des nombreux sous-bassins n'est concevable dans l'état actuel des choses.

Quoique seule, la station de Payerne a l'avantage de fournir des données intéressantes en raison de la longue durée de son fonctionnement (mesures de niveau depuis 1884 et de débit depuis 1921). Nous disposons donc de 58 années de mesures de débits. ¹

REGIME DE LA BROYE A PAYERNE

(fig. 11)

La Broye se caractérise par un régime essentiellement pluvial avec une influence nivale surtout dans la partie sommitale du bassin.

L'examen des débits mensuels moyens à Payerne sur une période de 58 ans nous amène à faire les remarques suivantes :

- Les périodes de crues suivent bien la répartition des fortes pluies annuelles de la fin de l'automne, de l'hiver et du premier printemps. Les grandes crues à fréquence rare se sont du reste toujours produites durant cette époque de l'année (voir annexe I).

¹ Les diagrammes du débit de la Broye à Payerne durant les années 1974-79 figurent à l'Annexe 1

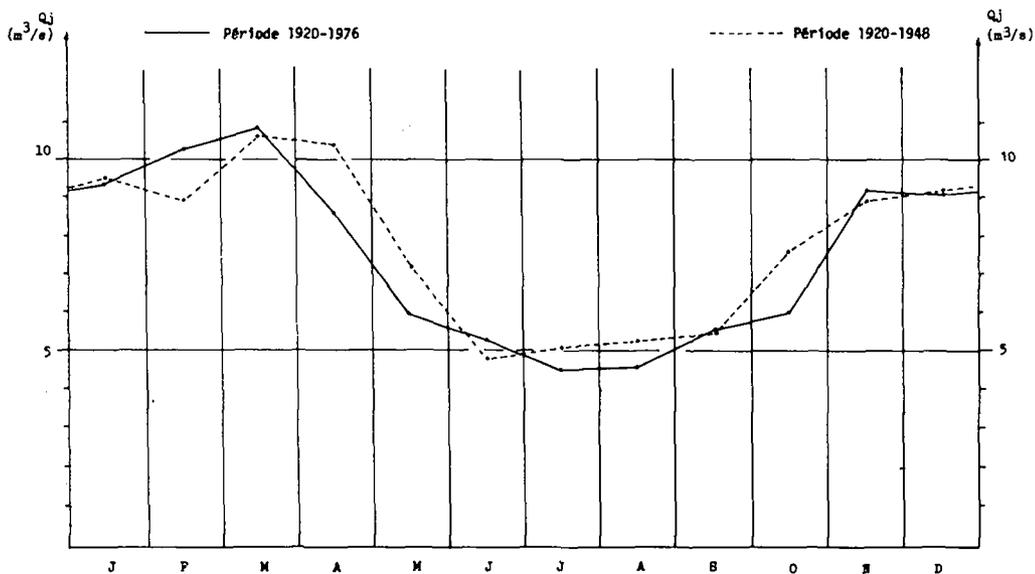


Figure 11 : Régime de la Broye à Payerne. Débits mensuels (moyennes interannuelles).

- Les étiages ont lieu en plein été jusqu'en septembre-octobre où les précipitations essentiellement orageuses, soumises d'ailleurs à une forte évaporation, représentent un faible volume d'eau.
- Les débits importants de février-mars sont augmentés par la fonte des neiges sur la partie supérieure du bassin, sous forme de petites crues de faible amplitude et à période journalière qui sont bien visibles sur les hydrogrammes enregistrés à la station; elles serviront même, plus loin, à estimer le temps de concentration du bassin. (fig. 14)
- Le rapport du débit maximal mensuel moyen sur le débit minimal mensuel moyen est représenté par :

$$r = Q_{III}/Q_{VII} = (11,1 \text{ m}^3/\text{s})/(4,45 \text{ m}^3/\text{s})$$
$$\underline{r = 2,5}$$

- La même courbe de débits moyens mensuels sur la période 1920-1948 montre que la brusque augmentation des débits de novembre ne se présente que durant les années 1948 à 1976. Pendant cette 2e période également, la durée de l'étiage estival est en nette augmentation (données OFEH).

DEBITS ANNUELS MOYENS

Test d'homogénéité

En l'absence de plusieurs stations, il ne nous est pas possible d'effectuer le test du double cumul. Le test de la médiane nous permet également d'étudier cette homogénéité. Le calcul nous confirme que cette série de valeurs est homogène au niveau de confiance de 90%. (voir PARRIAUX, 1974).

Ajustement statistique

L'ajustement statistique de cette série est assez mauvais sur les 4 lois du programme AJUST (PARRIAUX, 1974). La partie centrale de la distribution peut être ajustée à Gauss. Aucune des lois présentes n'épouse les valeurs extrêmes.

Calcul du débit annuel moyen

Afin d'évaluer un bilan hydrologique sur le bassin à l'aide de moyennes interannuelles, il est nécessaire de considérer les débits durant la même période que les précipitations annuelles.

La série de débits annuels moyens en notre possession ne couvre qu'une cinquantaine des 75 années de la période retenue pour les précipitations. Il serait par conséquent utile de recréer artificiellement les données manquantes par corrélation avec les pluies connues durant cette période.

Dans ce but, nous avons tenté d'expliquer les débits moyens annuels connus à l'aide d'une corrélation multiple avec les modules pluviométriques annuels des 7 stations considérées. Le résultat de cette corrélation multiple s'est révélé peu satisfaisant, les variables explicatives étant trop fortement corrélées entre elles. Aussi avons-nous retenu le calcul des débits avec les pluies de la station la mieux corrélée par régression simple, en l'occurrence la station de Romont (voir tableaux 2 et 3).

Equations de régression :

Années civiles : $Q = 0,010 \cdot ROM - 3,440; r = 0,88; n = 57$

Années hydrologiques : $Q = 0,090 \cdot ROM - 2,47; r = 0,82; n = 57$

Q = débit moyen annuel à Payerne (m^3/s)

ROM = module pluv. annuel de la station Romont (mm/an)

r = coefficient de corrélation simple

n = nombre d'années communes.

Il faut noter à ce propos que l'on pourrait s'attendre logiquement à obtenir un meilleur coefficient de corrélation en utilisant les années hydrologiques au lieu des années civiles, ceci grâce à la prise en compte du stock neigeux tombé au début de l'hiver et restitué à la fin de la saison froide. Paradoxalement, on constate que dans le cas de la Broye il n'en est rien.

La bonne qualité du coefficient de corrélation nous autorise à créer les valeurs du débit annuel manquantes. Ces séries étendues figurent au tableau 5.

Ses paramètres statistiques sont les suivants :

Années civiles : $\bar{Q}_{1903-1978} = 7,59 m^3/s$

$\sigma_Q = 2,09 m^3/s$

Années hydrologiques : $\bar{Q}_{1904-1978} = 7,56 m^3/s$

$\sigma_Q = 2,22 m^3/s$

Ce débit moyen interannuel peut s'exprimer en lame d'eau annuelle sur le bassin :

Tableau 5 : Débits moyens de la Broye à Payerne. Valeurs étendues (*) par régression simple avec les pluies annuelles à Romont.

Année	Q _a Année civile	Q _a Année hydrologique
1903	* 8,37	--
1904	* 5,44	* 7,59
1905	* 9,25	* 7,53
1906	* 4,73	* 5,37
1907	* 7,15	* 6,73
1908	* 6,08	* 7,21
1909	* 7,56	* 4,62
1910	* 10,65	* 11,02
1911	* 5,62	* 5,81
1912	* 7,68	* 8,28
1913	* 6,91	* 6,72
1914	* 8,53	* 8,46
1915	* 9,35	* 8,65
1916	* 9,64	* 7,96
1917	* 8,31	* 9,63
1918	* 7,52	* 7,29
1919	* 7,92	* 6,87
1920	* 5,47	* 8,29
1921	2,11	* 3,76
1922	11,30	8,61
1923	10,50	8,34
1924	8,42	12,40
1925	5,47	4,51
1926	6,73	7,36
1927	9,42	9,06
1928	7,84	6,38
1929	4,65	5,93
1930	11,10	9,32
1931	10,70	12,64
1932	8,58	7,83
1933	5,97	7,20
1934	5,01	4,81
1935	8,62	6,62
1936	10,40	11,71
1937	8,98	9,88
1938	5,68	5,51
1939	11,40	8,65
1940	8,50	9,67

Année	Q _a Année civile	Q _a Année hydrologique
1941	8,67	11,02
1942	4,63	4,39
1943	5,13	5,28
1944	8,51	4,30
1945	4,46	8,74
1946	6,30	6,11
1947	5,58	5,87
1948	7,60	7,59
1949	3,94	4,09
1950	7,94	4,62
1951	9,40	11,50
1952	10,30	7,09
1953	5,22	9,84
1954	8,04	5,74
1955	9,45	11,27
1956	8,29	7,98
1957	5,86	6,84
1958	8,88	7,29
1959	6,52	6,57
1960	8,93	7,33
1961	6,92	8,98
1962	6,51	7,57
1963	8,29	6,40
1964	3,90	5,03
1965	11,40	8,19
1966	9,02	11,43
1967	6,30	6,47
1968	10,10	9,97
1969	6,51	7,42
1970	9,68	9,34
1971	4,14	5,00
1972	4,70	3,67
1973	5,87	5,92
1974	7,41	5,72
1975	6,08	7,73
1976	4,61	4,34
1977	11,41	11,68
1978	9,57	10,21

* Valeurs recréées par régression simple

Années civiles $\bar{Q}_{1903-1978} = 611 \text{ mm/an}$

Années hydrologiques $\bar{Q}_{1904-1978} = 608 \text{ mm/an}$

Le débit spécifique annuel moyen est de $19,3 \text{ l/sec} \cdot \text{km}^2$. Ce résultat correspond aux ordres de grandeur des bassins du Plateau molassique à forte culture, avec une légère influence montagnaise :

Venoge à Lussery (Plateau + part. Jura) : $18,4 \text{ l/sec} \cdot \text{km}^2$

Menthue à Yvonand (Plateau seul) : $10,2 \text{ l/sec} \cdot \text{km}^2$

Sarine à Broc (Préalpes) : $37,4 \text{ l/sec} \cdot \text{km}^2$

DEBITS JOURNALIERS

La répartition fréquentielle des débits journaliers peut être approchée par une courbe des débits classés sur la base d'observations faites sur un grand nombre d'années, ici sur la période 1920-1976. (fig. 12)

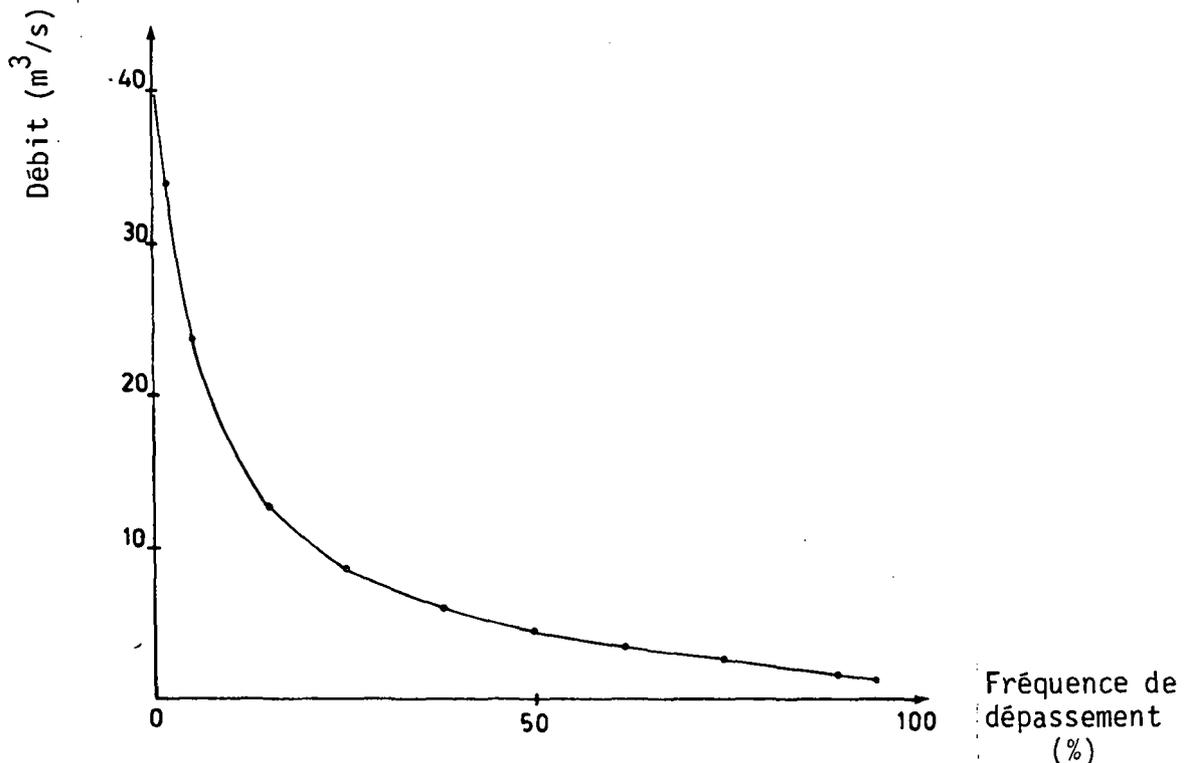


Figure 12 : Courbe des débits journaliers classés, période 1920-1976 (d'après annuaires OFEH).

Cette courbe illustre la faible durée des débits de crue. Le débit médian, quant à lui, ne dépasse pas $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les débits journaliers de fréquence rare (crues et étiages) seront étudiés plus loin.

LES PHENOMENES DE CRUES

Etude historique

Nous retrouvons trace des crues dévastatrices de la Broye du 16^{ème} jusqu'au début de notre siècle. La rivière a inondé la plaine à une douzaine de reprises, emportant passerelles, ponts de bois et même le pont de pierre massif reliant Lucens à Curtilles (1852).

Ces crues d'une violence extrême ont incité de tout temps les habitants de la plaine à s'en protéger. Hélas, à peine avait-on le temps d'oublier les effets de la dernière crue qu'une nouvelle arrivait sans qu'on ait songé à entreprendre des travaux de grande envergure. Tout de même, vers la fin du siècle passé, on canalisa et endigua d'une manière très sérieuse la rivière dans son cours inférieur.

Depuis lors, la situation est demeurée sans problème jusqu'au 8 décembre 1944 où une énorme crue ravagea à nouveau la plaine, rompant les digues, emportant une voie ferrée, recouvrant et ébranlant les ponts. Le niveau de la rivière s'était élevé à Payerne à environ 6 m au-dessus du niveau moyen, alors que le débit atteignait environ $400 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cette crue exceptionnelle résultait d'une conjonction de facteurs favorables à son développement. Parmi eux, relevons :

- Indice de précipitations antécédentes très élevé (3 mois précédents très pluvieux, p. ex. Σ oct. nov. déc. = 435 mm à Rossenges).
- Forte précipitation le jour même (P_j : 30 à 75 mm/j).
- Sol resté gelé, imperméable.

Il est étonnant de noter que cette crue de plus de $400 \text{ m}^3/\text{s}$, de fréquence très rare, précède de 8 mois l'étiage le plus bas jamais mesuré à la station : $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ (mesure probablement un peu douteuse, voir p. 42); en l'espace de huit mois, nous rencontrons donc deux débits instantanés dont l'un est 3800 fois supérieur à l'autre. Ce contraste illustre avec éloquence le régime très variable de la rivière ainsi que les faibles réserves en eau souterraine du bassin.

Forme des hydrogrammes de crues

Ce chapitre est ici à peine esquissé vu le but de cette étude. Nous nous contenterons d'émettre certaines constatations à ce sujet sur la base des enregistrements limnigraphiques de 9 ans d'observation (1970-1978).

- Pointes de crues très aiguës (fig. 13).
- Courbes de décrues à fractions d'écoulement bien individualisées. Nous avons choisi de décomposer ici une crue à l'hydrogramme particulièrement simple, celle du 27.4.71. Elle est représentée en échelle normale et monolog. (fig.13). A l'aide de cette dernière, les tronçons d'exponentielles (droites) sont très bien marqués. Les équations de décrue des diverses branches sont données à la figure 13.
- Crues de fonte des neiges : ce sont des crues périodiques journalières de 1 à $15 \text{ m}^3/\text{s}$ se produisant aux mois de mars-avril. (fig.14). Les zones encore neigeuses au mois d'avril se trouvent dans la partie du bassin la plus éloignée de la station. En raison de l'orientation de ce versant préalpin, le maximum de la fonte se situe vers 15 h. Or les crues de mi-avril 1970 ont leur maximum vers 23 h. Nous pouvons ainsi situer le temps de concentration du bassin au voisinage d'une durée de 8 heures.

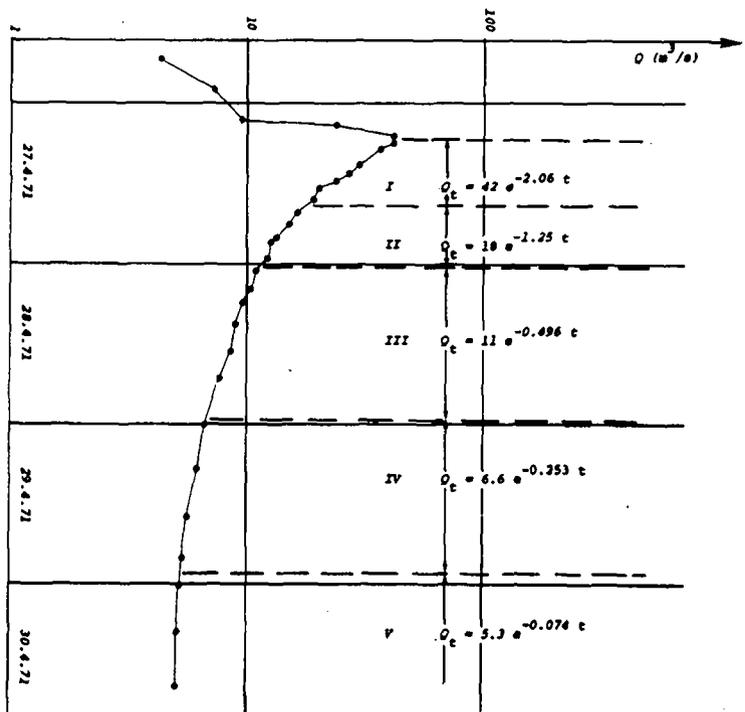
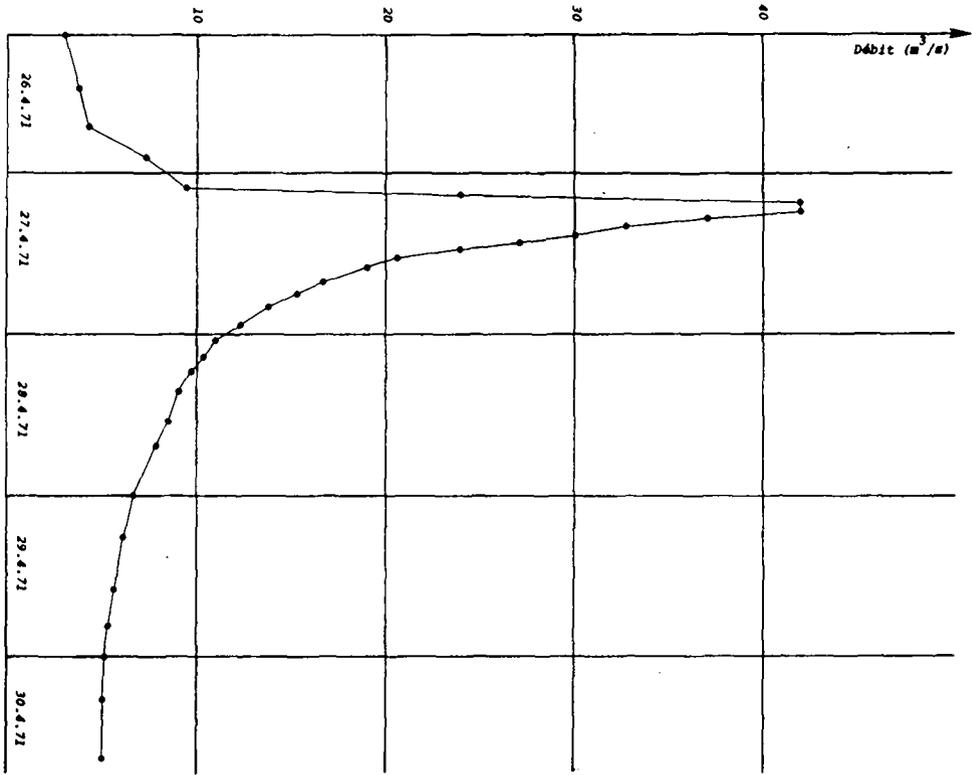


Figure 13 : Crue et décrue typique de la Broye à Payerne (27.4.71).
Décomposition de la décrue en graphique mono logarithmique

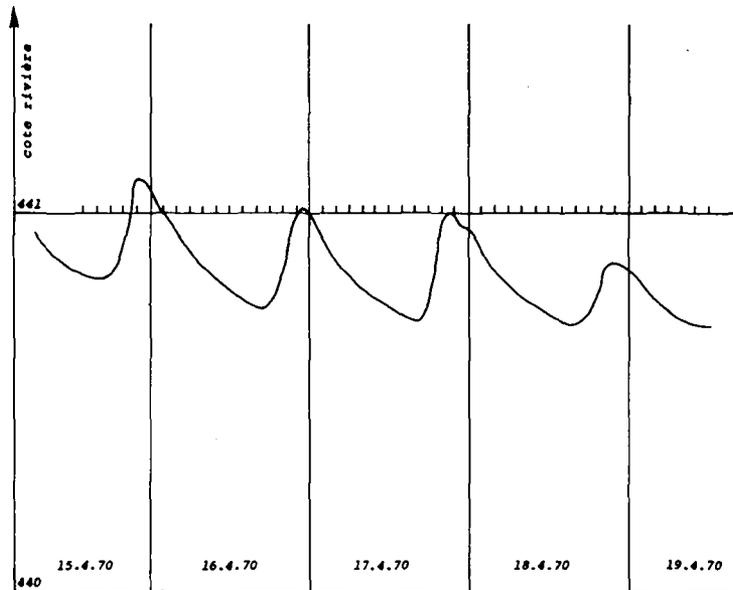


Figure 14 : Crues de fonte des neiges au printemps

Prédétermination des crues

Les deux méthodes utilisées ici pour la prédétermination des crues sont des méthodes statistiques :

- Ajustement graphique des débits de pointe maximum annuels à quelques lois théoriques.
- Méthode du gradex

Ces deux méthodes sont traitées sur ordinateur par le programme AJUST (PARRIAUX, 1974).

1°) Ajustement graphique :

La série des 52 débits de pointe max. annuels (1921-1972) est ajustée sur les 4 lois suivantes : Gauss, Gibrat, Gumbel, Fréchet.

Critique de l'ajustement pour chaque loi :

Gauss : assez bonne droite.
légère dispersion vers la droite.
 Q_{1944} serait une crue à $T > 10'000$ ans.

Gibrat : bonne droite dès $T = 1,5$ ans
Crue 1944 : environ $T = 1000$ ans.

Gumbel : bonne droite dès $F = 0,3$ ($T = 1,5$)
Crue 1944 : environ $T = 700$ ans.

Fréchet : bonne droite dès $T = 2$ ans, mais mauvaise terminaison à droite.
Crue 1944 : environ 150 ans.

voir diagrammes (PARRIAUX, 1974)

T	50	100	200	500	1000	2000	5000	10'000
Gauss	270	290	300	320	330		360	375
Gibrat	280	305	320	350	390		460	505
Gumbel	300	330	365	405	440	470	515	545
Fréchet	315	380	440	540	630	740	930	1050

Débits en m^3/s

T = période de retour (années)

2°) Méthode du gradex (GUILLOT, 1970)

L'hypothèse habituelle dans l'emploi de cette méthode a été choisie : les débits de crues s'ajustent sur la droite du gradex à partir de $T = 10$ ans.

Cette méthode est utilisée sur la base des débits journaliers maxima annuels à Payerne avec les pluies journalières maxima annuelles de plusieurs stations. (PAV - ROM - MOU - ROS - PAL).

Les valeurs de crues obtenues sont des débits journaliers. Les débits de pointe correspondants sont déterminés par multiplication avec un coefficient de pointe moyen calculé sur 52 rapports Q_p/Q_j max. annuels.

Coefficient de pointe moyen : $C_p = 1,919$

(voir détermination PARRIAUX, 1974)

Tableau des Q_j max. : (m^3/s)

T	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
ROS	230	265	310	360	400	455	510	550
MOU	215	250	285	330	360	400	445	480
PAL	220	260	295	345	385	420	470	510
PAV	230	265	300	345	380	415	460	490

Tableau des Q_p max. = Q_j max. x C_p : (m^3/s)

T	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
ROS	418	482	564	655	728	828	928	1000
MOU	391	455	518	600	655	728	809	873
PAL	400	473	537	628	700	764	855	928
PAV	418	482	546	628	691	755	837	891

T = période de retour.

A l'examen des résultats de ces deux méthodes de prédétermination des crues et des qualités des différents ajustements, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Les valeurs obtenues par la méthode du gradex paraissent visiblement trop élevées comparées avec l'ajustement des crues assez rares observées. On pourrait éventuellement appliquer la même méthode en utilisant la droite du gradex seulement à partir de $T = 50$ ans.

Pour l'instant, nous retiendrons une fourchette basée essentiellement sur les très bons ajustements des débits de pointe aux lois de Gibrat et Gumbel (PARRIAUX, 1974).

T	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
	270	300	320	340	370	410	430	460
	310	340	370	410	460	510	550	600

LES ETIAGES DE LA BROYE

A plusieurs reprises, nous avons pu déterminer des facteurs hydrologiques qui sont l'indice de faibles réserves en eau souterraine (coefficient de drainage, hydrogrammes des crues de la rivière, etc...). Nous allons voir maintenant de plus près le régime des étiages de la Broye et étudier notamment les variations de leur intensité.

En ce qui concerne l'intensité des débits minima, on relève, lors d'étés normaux, qu'elle descend rarement au-dessous de $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

On note tout de même qu'en été 1945, le débit minimum s'est abaissé à $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$. Toutefois, cette valeur est à mettre en doute au vu d'une courbe de tarissement très différente des courbes habituelles (fig. 15).

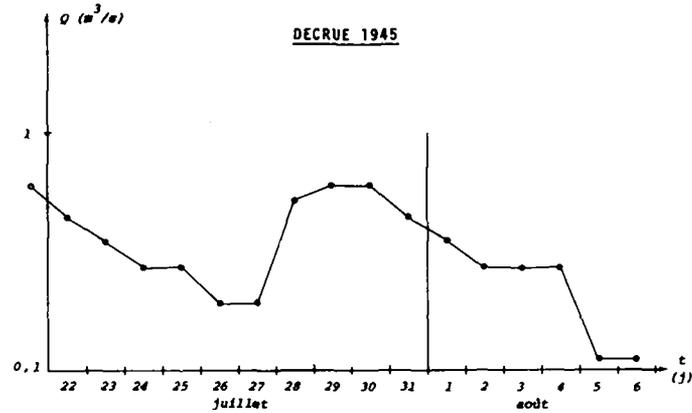


Figure 15 : Décrue anormale de l'étiage du début août 1945

Ajustements statistiques

Un essai d'ajustement a été effectué sur les quatre lois du programme AJUST : Gauss, Gumbel, Gibrat, Fréchet (PARRIAUX, 1974).

On peut faire au sujet de ces ajustements les remarques suivantes :

L'ajustement aux lois de Gibrat et Fréchet est bon pour les fréquences rares. Le graphique de Gumbel en revanche est très loin d'une droite sauf dans sa partie tout à fait terminale; c'est sur cette portion de droite que nous extrapolons l'ajustement. Nous obtenons les résultats suivants :

T	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
GIBRAT	0.46	0.40	0.35	0.30	0.28		0.22	0.20
GUMBEL	0.35	0.23	0.09	-	-	-	-	-
FRECH.	0.41	0.33	0.28	0.22	0.18	0.14	0.11	0.09

Débits en m^3/s

T = période de retour (années).

COURBES DE TARISSEMENT

L'hypothèse statistique faite plus haut peut se heurter aux limites physiques du tarissement. C'est pourquoi il est nécessaire de compléter l'analyse statistique par une observation déterministe de quelques phénomènes naturels de tarissement.

Deux périodes de décrue du débit de base vers des valeurs d'étiages annuels ont été retenues pour cet examen.

- 21.8.62 au 3.9.62 : (fig.16)

Etiage annuel : $0,8 m^3/s$

Dernière pluie le 21.8.62

Le diagramme de tarissement en papier monolog. distingue nettement la courbe exponentielle du ruissellement et celle de l'écoulement de base.

L'équation de cette dernière est la suivante :

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-0,025 t} \quad t \text{ en jour}$$

Elle est valable pour un débit initial Q_0 voisin de $1 m^3/s$.

- 26.7.1921 au 10.8.1921 : (fig. 16)

Etiage annuel : $0,48 m^3/s$

Dernière pluie le 26.7.21 sauf léger apport le 4.8.1921.

Même remarque que précédemment.

Equation courbe de tarissement :

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-0,028 \cdot t}$$

Elle est valable pour un débit initial Q_0 voisin de $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

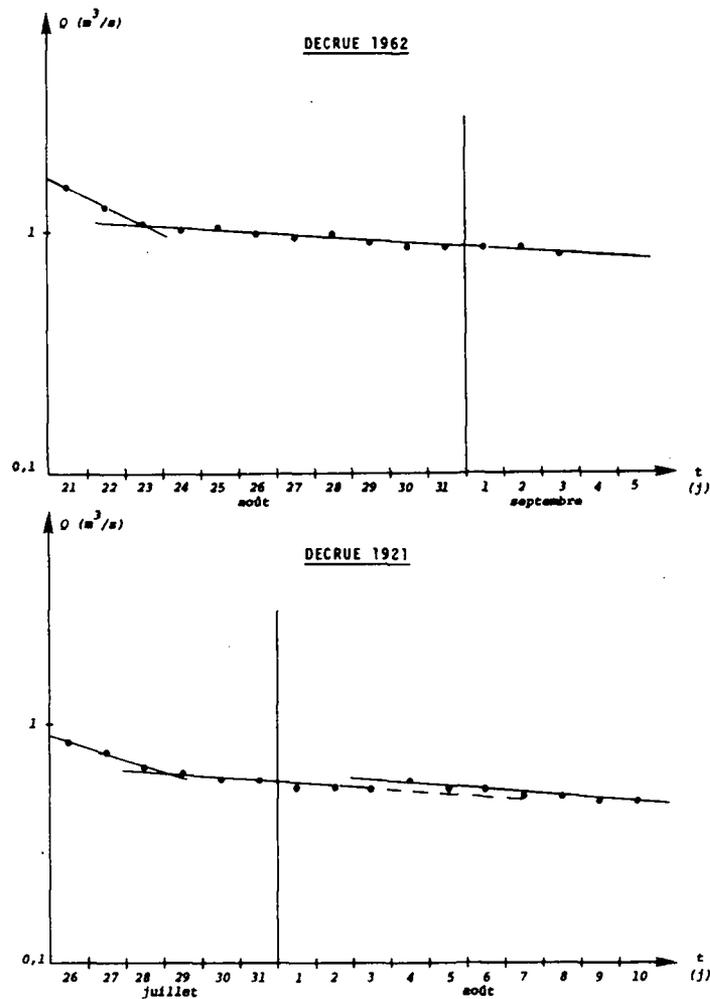


Figure 16 : Courbes de tarissement d'un étiage annuel normal (1962) et d'un étiage très prononcé (1921) (échelle verticale logarithmique)

Nous pouvons conclure à une bonne concordance des exposants de la fonction, qui convergent vers une valeur moyenne de : $\alpha = 0,026$.

En admettant un débit de base de départ de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ à Payerne et une valeur de $\alpha = 0,026$, nous obtenons des valeurs d'étiages théoriques correspondant à une période de sécheresse de t jours.

$$Q_t = 1,5 \cdot e^{-0,026 \cdot t}$$

$t(j)$	$Q(\text{m}^3/\text{s})$
0	1,5
15	1,02
30	0,69
60	0,32
90	0,14

Bilan hydrologique

Nous sommes à même, maintenant, d'effectuer un bilan hydrologique moyen interannuel portant d'une part sur 76 années civiles (1903-1978), d'autre part sur 75 années hydrologiques (1904-1978).

Années civiles

Moyennes interannuelles
1903-1978

$$I = P = 1172 \text{ mm/an}$$

$$S = \text{ETP}_r + E$$

$$\text{ETP}_r = 484 \text{ mm/an}$$

$$E = 611 \text{ mm/an}$$

$$S = 1095 \text{ mm/an}$$

$$I - S = 77 \text{ mm/an}$$

$$(I - S)/I = 7\%$$

I = entrées

S = sorties

ETP_r = évapotranspiration réelle

Années hydrologiques

Moyennes interannuelles
1904-1978

$$I = P = 1172 \text{ mm/an}$$

$$S = \text{ETP}_r + E$$

$$\text{ETP}_r = 484 \text{ mm/an}$$

$$E = 608 \text{ mm/an}$$

$$S = 1092 \text{ mm/an}$$

$$I - S = 80 \text{ mm/an}$$

$$(I - S)/I = 7\%$$

P = Précipitations

E = écoulement

Ce déficit d'écoulement de 7% identique dans les deux méthodes de calcul amène les remarques suivantes :

- Méthode de calcul du bilan :

Dans le cas de bassins situés en prédominance à basse altitude tel que celui de la Broye, le fait de considérer les valeurs hydrologiques correspondant aux années civiles plutôt qu'aux années hydrologiques classiques, n'entraîne pas d'erreur notable sur le bilan interannuel.

- Erreur sur les précipitations :

Les erreurs sur la mesure des précipitations ont plutôt tendance à donner des valeurs trop faibles. Cette tendance rendrait le bilan encore moins équilibré que celui obtenu.

Une erreur sur la courbe des isohyètes est peu probable, ce résultat ayant été confirmé par la méthode de Thiessen.

- Erreurs sur les écoulements :

Dans l'état des connaissances actuelles, un écoulement souterrain par une vidange hydrogéologique sur les flancs du bassin est fort peu probable pour de grands débits.

Le sous-écoulement à la sortie du bassin, dans les alluvions sous la station, peut être évalué de la manière suivante :

Nappe souterraine en mouvement : largeur 1500 m

épaisseur 10 m

Section transversale 15'000 m²

Perméabilité moyenne $k = 10^{-4}$ m/s

Gradient hydraulique (nappe jusqu'au Lac de Morat)

$$i = \frac{444 - 429}{13'000} \approx 0,1\%$$

Vitesse Darcy: $v = k \cdot i = 10^{-7}$ m/s

Débit souterrain : $Q = v \cdot S = 1,5 \cdot 10^{-3}$ m³/s

soit encore 1,5 l/s.

Cette perte est donc négligeable et les erreurs sur l'écoulement, très faibles.

- Erreur sur l'évapotranspiration :

C'est très certainement là qu'il faut chercher l'erreur principale. La formule de TURC ne donne qu'une valeur approximative. Une incertitude de 7% sur le bilan ou 17% sur la valeur de TURC, peut être considérée comme faible quand on compare la complexité des phénomènes de l'évapotranspiration réelle avec cette formule schématique.

Nous attribuerons donc cette erreur à un déficit sur la valeur de l'évapotranspiration. Celle-ci passe donc de 484 mm/an à environ 560 mm/an.

Le coefficient d'écoulement du bassin est donc :

$$C_e = 0,52$$

=====

CONCLUSION

Cette analyse des phénomènes de l'hydrologie de surface relève l'importance de ceux-ci dans le bassin de la Broye. Certains n'ont été qu'effleurés. Parmi ceux-ci, il serait nécessaire d'étudier plus à fond :

- l'influence des sous-bassins principaux (Bressonne, Carouge, Mérine, Cerjaule, Lembe).
- la conversion pluie - débits à l'aide d'un nouveau réseau de pluviographes et limnigraphes
- l'influence des eaux souterraines sur le régime de la rivière dans la partie alluviale.

Ces divers sujets nécessiteraient l'implantation de quelques stations complémentaires, ainsi que l'emploi de modèles de simulation.

DEUXIEME PARTIE

HYDROGEOLOGIE

Si les eaux de surface ont été l'objet de longues séries de mesures hydrologiques, les eaux souterraines par contre sont demeurées à l'abri des observateurs et des planificateurs de réseau jusqu'à ces dernières années.

Depuis peu, les services fédéraux ont décidé d'installer une surveillance permanente de certaines nappes souterraines, tout comme cela se fait sur les eaux de surface depuis plus de 50 ans. Ces informations demeurent toutefois très lacunaires. Elles se heurtent souvent au manque de connaissance des paramètres géologiques, ce qui empêche d'apprécier la continuité des valeurs au-delà des points de mesure proprement dits.

Il en résulte que l'étude du comportement des terrains aquifères doit nécessairement s'appuyer sur une description de leur structure. Cette description est toutefois loin d'être aisée si l'on compare la complexité géologique au prix des moyens d'investigation directs. Aussi, avons-nous été contraint de limiter au maximum l'application de ces derniers au profit de méthodes indirectes, certes moins précises, mais qui permettent de tester de grandes régions avec les moyens techniques et financiers à notre disposition. Il ne faudrait pas en conclure que les moyens directs ont été négligés puisque le résultat de plusieurs centaines de sondages mécaniques ont été exploités par une réutilisation d'informations recueillies dans le passé dans des buts divers (recherches d'eau localisées, fondations, etc...).

Dans un premier chapitre, nous allons traiter d'une manière plus détaillée des méthodes d'acquisition et de traitement des données. Puis, nous donnerons les principes des

moyens de représentation des résultats.

Plus loin, la description hydrogéologique proprement dite débutera par un exposé des propriétés générales des terrains constitutifs du bassin. Ensuite, nous traiterons en détail chaque région.

Enfin, nous terminerons ce travail par une synthèse des résultats ainsi que par une étude des possibilités de développement des ressources en eau à court et à long terme.

METHODES D'ACQUISITION ET D'INTERPRETATION DES DONNEES

Examinons tout d'abord le principe des méthodes utilisées conformément à la chronologie des opérations.

1) Collecte des données existantes

Une masse impressionnante d'informations antérieures à la présente étude repose sous forme dispersée dans diverses institutions privées ou d'Etat. Ce stock de données est tel qu'il est indispensable de pouvoir le réunir pour en établir une première synthèse. Malgré la bonne disposition générale des possesseurs de l'information, son accès n'est pas toujours aisé. Nous tenons ici à remercier vivement tous ceux qui en ont facilité la collecte.

Les données recueillies sont à rattacher à différents domaines :

a) LEVERS GEOLOGIQUES

Il s'agit essentiellement de levés effectués dans le cadre de thèses de doctorat. Notamment, plusieurs thèses de l'Université de Fribourg se sont attachées à décrire des portions de notre territoire d'étude. Citons :

- la région de Lucens - Granges-près-Marnand (BRIEL 1962)
- la région de Marnand à Trey (INGLIN 1960)
- la région de Payerne (RUMEAU 1954)

- la région d'Avenches (SIEBER 1959)
- la région du Lac de Morat (BECKER 1972).

On trouve également quelques cartes géologiques de territoires particuliers :

- gravière de Moudon (BERSIER, n.publ.)
- mines de charbon d'Oron - Palézieux (BERSIER, n.publ.)
- zone des sources d'Henniez (BADOUX-BERSIER, n.publ.)
- zone de Longeraies à Trey (NORBERT, n.publ.)

b) CARTES HYDROGEOLOGIQUES ET CADASTRE DES SOURCES

Ainsi que nous l'avons relevé plus haut, le seul document de synthèse générale dans ce domaine est celui établi pour le compte de l'Etat de Vaud (BADOUX + MAUTNER).

Rappelons que ce travail comprend une cartographie hydrogéologique complète du canton au 1/25'000. Elle établit la répartition des principaux ensembles hydrogéologiques sur le territoire. Elle donne aussi des indications sur la situation des sources et sur leur débit. Elle permet en plus l'accès à une impressionnante banque de données qui constitue le cadastre des sources proprement dit. On y trouve pour chaque ouvrage une série de renseignements portant notamment sur le type de captage, son débit, la température et la résistivité de l'eau.

c) CARTES GEOPHYSIQUES

Le Laboratoire de Géophysique de l'Université de Lausanne a mené depuis longtemps une grande campagne de mesures géoélectriques couvrant la partie Plateau du canton de Vaud. Ces mesures ont conduit à la constitution d'un atlas des résistivités électriques apparentes qui se présente sous la forme d'une série de cartes d'équirésistivités au 1/25'000 (MEYER DE STADELHOFEN 1973). Nous avons pu disposer des valeurs brutes qui ont servi à la rédaction de ces cartes ainsi qu'à celles se rapportant à des campagnes sur des sites plus restreints.

Ces mesures ont apporté une information considérable sur la partie vaudoise du bassin.

d) RECHERCHES HYDROGEOLOGIQUES LOCALISEES

Un grand nombre de travaux de prospection des ressources en eau a été effectué au cours des ans dans le bassin. Malheureusement, les chantiers importants ont été exécutés peu avant le début de notre étude. Nous avons donc été contraint d'accéder à l'information d'une manière indirecte au moyen de plans, d'observations, d'essais et de calculs faits par divers bureaux d'ingénieurs, de géologues ou d'entreprises. Une nouvelle interprétation dépend de la qualité de ces données.

Cet ensemble de renseignements constitue une des parties majeures de l'information nécessaire à la rédaction de notre étude.

e) RECONNAISSANCES GEOTECHNIQUES

Les reconnaissances géotechniques fournissent, avec les recherches hydrogéologiques, la quasi-totalité des observations directes des terrains en profondeur et dans les alluvions en particulier. Les résultats d'un grand nombre de sondages mécaniques exécutés dans le but de préciser la qualité des sols de fondation ont été collectés. Bien que répartis d'une manière très hétérogène dans le territoire, ils constituent une source de renseignements importants puisque nous avons pu réunir, avec les sondages hydrogéologiques, les coupes de 500 sondages mécaniques (voir registre). Leur profondeur très variable est comprise entre quelques mètres et une centaine de mètres. Au total, ils représentent environ une dizaine de kilomètres de sondages.

f) ARCHIVES DES SERVICES DE L'ETAT

Tant à Fribourg qu'à Lausanne, d'importants éléments concernant les captages ainsi que la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau sont groupés dans les offices responsables des eaux potables. On trouve également des données intéressantes dans les Départements de travaux publics (routes, gravières) ainsi que dans ceux des améliorations foncières (assainissements, stabilité de versants).

Par la collecte systématique des données provenant de ces diverses sources, nous sommes arrivés à constituer un dossier très volumineux qui permet d'établir un bon point de départ pour une synthèse régionale telle que celle que nous présentons ici.

2) Etude géologique complémentaire

Les cartes géologiques existantes couvrent une bonne part de la région centrale et septentrionale du périmètre de l'étude. Dans la moitié sud, en revanche, aucun levé de détail n'avait été effectué.

Pour ces raisons, nous avons dû premièrement dresser la carte géologique des zones non décrites; il s'agissait des régions suivantes :

- partie occidentale de la feuille Payerne 1184 (région de Cugy, Montet, Morens)
- partie occidentale de la feuille Moudon 1224 (région de Moudon, Rue, Ecublens)
- partie NW de la feuille Châtel-St.Denis 1244 (région d'Oron, Châtillens, Palézieux).

Une fois les levés de base complétés, une étude géologique de détail a été menée dans les secteurs riches en dépôts quaternaires meubles, susceptibles d'accumuler de l'eau souterraine : c'est-à-dire essentiellement la plaine alluviale principale et ses versants directs auxquels nous avons adjoint une cartographie des "sillons" bordiers (anciennes vallées remblayées). (A. PARRIAUX, 1976 et 1978 b).

L'ensemble de ces observations de terrain constitue le fondement de la carte hydrogéologique donnée en annexe.

3) Visite des captages principaux

Il était d'emblée hors de question de reprendre l'étude de l'ensemble des sources et captages repérés sur le bassin dans le cadastre des sources. Cela aurait effectivement nécessité un investissement de temps énorme qui ne correspondait pas au but du présent travail.

C'est pour cette raison que nous avons sélectionné un certain nombre d'ouvrages de captage lorsqu'ils se rattachent à des nappes souterraines quaternaires importantes. Les points retenus et visités figurent à l'intérieur du registre (annexe VI). Ce sont principalement les puits filtrants de la plaine ainsi que les ouvrages en galerie ou tranchées associés aux sillons graveleux.

Lorsqu'elles existaient, les analyses d'eau ont été recueillies. La moyenne des principaux facteurs physico-chimiques et bactériologiques est donnée dans le registre (annexes VI et II).

4) Prospection géophysique

L'électricité et la sismique réflexion ont été les deux méthodes principales utilisées. Nous ne rappellerons pas ici les principes de ces méthodes classiques. Nous nous référons aux traités généraux tels que ASTIER (1971), SEGUIN (1971), KELLER et FRISCHKNECHT (1966) etc...

METHODES ELECTRIQUES

Nous avons vu plus haut que de nombreuses mesures électriques avaient été exécutées par le Laboratoire de Géophysique de l'Université de Lausanne (MEYER DE STADELHOFFEN, 1973). Ces mesures sont exclusivement des valeurs de résistivités apparentes obtenues avec des longueurs de lignes AB = 60 m. Elles couvrent une part importante du territoire vaudois.

Dans le but de prolonger et de compléter les données acquises, nous avons appliqué les deux techniques fondamentales de la prospection électrique : le traîné et le sondage électrique

Traîné électrique

La couverture principale mesurée par le Laboratoire de Géophysique de l'Université de Lausanne consiste en un traîné de longueur de ligne moyenne, ce qui correspond grosso modo à une profondeur d'investigation d'une vingtaine de mètres.

Notre tâche a été d'abord d'assurer la couverture des zones intéressantes non encore prospectées, notamment sur territoire fribourgeois. Il s'agit en particulier de la zone alluvionnaire de la Haute-Broye (fluvio-glaciaire d'Ecublens, moraines et alluvions d'Oron - Châtillens, dépôts lacustres de la dépression de Palézieux). Une longueur de ligne légèrement inférieure (AB = 40 m) a été choisie au vu de la faible épaisseur du recouvrement quaternaire (annexe III).

Ensuite, à l'intérieur du secteur déjà reconnu selon AB = 60 m, nous avons procédé à des mesures complémentaires de traîné avec des longueurs de ligne différentes dans les zones particulièrement intéressantes. C'est le cas de la plaine alluviale entre Moudon et Treize-Cantons où des

mesures serrées avec $AB = 100$ m ont été effectuées (annexe III F).

Enfin, des valeurs supplémentaires correspondant à différentes longueurs de lignes ont été tirées des courbes de 400 sondages électriques répartis sur le territoire (voir p. 58). Elles ont permis de compléter la couverture préexistante en $AB = 60$ m, ainsi que de tracer des cartes de résistivités électriques apparentes à grande échelle pour les valeurs de $AB = 100$ m (annexe III E), $AB = 200$ m (annexe III G) et $AB = 400$ m (annexe III H). Ces dernières mettent en évidence l'influence des grandes formations géologiques, différents ensembles électriques, les zones à fortes épaisseurs d'alluvions, etc...

Un commentaire de ces diverses cartes sera donné lors de l'examen détaillé des caractéristiques hydrogéologiques de chaque région.

Sondages électriques

La mesure des variations continues des résistivités électriques en fonction de la profondeur était au début de notre étude quasi-inexistante. Pour cette raison, nous avons mis l'accent sur cette méthode en implantant 400 sondages électriques répartis dans la zone à prospector (annexes IV et VI).

Le procédé appliqué est le sondage électrique à courant continu avec un dispositif quadripole type Schlumberger. Les longueurs de déploiement de la ligne AB en fin de sondage ont varié entre 200 et 1200 m selon la profondeur d'investigation demandée ainsi que des possibilités techniques de déroulement des câbles.

Le choix de la situation des sondages électriques a été conçu sur les principes suivants :

- Etalonnage des formations molassiques de la bordure directe de la plaine et ceci sur plusieurs profils transversaux.
- Etalonnage des alluvions quaternaires sur des emplacements de sondages mécaniques profonds.
- Prospection générale des zones de dépôts quaternaires par une maille variable de points de sondages électriques.
- Prospection détaillée de certaines zones hydrogéologiquement favorables à l'aide d'un réseau de mesure serré.

Les mesures effectuées apportent dans chaque cas une courbe expérimentale de sondage électrique. Pour obtenir la configuration électrique du sous-sol qui y correspond, nous avons procédé comme suit :

- 1) Dépouillement préparatoire : une première interprétation des courbes expérimentales a été établie en utilisant les abaques conventionnelles pour des structures simples à 2 ou 3 terrains : abaques CH 1 et LCD, Standard Graphs for Resistivity Prospecting (RIJKSWATERSTAAT, the Netherlands 1969). Les valeurs de résistivité des terrains ont été choisies d'après les sondages d'étalonnage ainsi que l'expérience générale que l'on a de la géologie régionale.
- 2) Ajustement fin : les configurations obtenues ont ensuite été testées par un programme de calcul des courbes théoriques pour des structures multicouches horizontales homogènes et isotropes (ARGELO 1967, adapté sur l'ordinateur CDC de l'EPFL par le Laboratoire de Géophysique de l'Université de Lausanne). La configuration des courbes expérimentales et théoriques permet soit d'accepter la première configuration, soit de la modifier et de la faire calculer à nouveau jusqu'à ce que le résultat devienne satisfaisant. Parfois, la coïncidence n'est pas

parfaitement réalisable avec des valeurs vraisemblables de résistivités, le modèle multicouche horizontal ne correspondant pas toujours à la réalité géologique. C'est dans ce but que nous avons défini dans les interprétations données dans le registre (annexe VI) un code de qualité de l'ajustement.

Pratiquement, l'interprétation de nos 400 sondages électriques a nécessité le calcul de près de mille courbes théoriques pour tester la configuration électrique donnée pour chaque sondage à l'intérieur du registre.

- 3) Test de l'équivalence électrique des structures : chaque configuration retenue a été traitée par un programme qui calcule et trace les courbes de Dar-Zarrouk (Parriaux 1976). Ainsi que nous le verrons plus loin, les équivalences électriques sont nombreuses dans les structures que l'on rencontre dans la plaine de la Broye. Elles deviennent particulièrement bien visibles sur les courbes de Dar-Zarrouk qui permettent d'évaluer l'univocité de la solution retenue et d'en tenir compte lors de l'interprétation hydrogéologique.

La transformation des résultats géophysiques en information hydrogéologique n'est pas toujours aisée. Grâce à un étalonnage serré et à une expérience acquise sur ce genre de terrains, nous avons pu utiliser ces données dans la rédaction de la carte et des profils hydrogéologiques en tenant compte de la confiance qui leur a été accordée selon les cas.

Rappelons qu'en plus des informations sur le point de sondage même, nous avons tiré des courbes électriques les valeurs qui ont permis la rédaction de cartes de résistivités électriques apparentes à grande échelle pour différentes longueurs de ligne (voir p. 56).

La documentation complète comprenant les courbes expérimentales, les courbes théoriques avec les différentes configurations correspondantes ainsi que les

diagrammes de Dar-Zarrouk sont déposés au GEOLEP.

SISMIQUE REFRACTION

Un complément aux méthodes électriques a été apporté par l'application de la plus courante des méthodes sismiques : la sismique réfraction. Si sa mise en oeuvre est relativement simple, son interprétation dans le contexte géologique du bassin de la Broye est particulièrement difficile en raison du faible contraste sismique des milieux concernés. Il en résulte également que l'enregistrement de réfractions profondes nécessite de grandes longueurs de lignes, ce qui est rarement possible en pratique. Nous obtenons donc par cette méthode des renseignements sur les terrains assez peu profonds. C'est pour cette raison que nous l'avons appliquée presque essentiellement à la Haute-Broye où l'épaisseur des dépôts quaternaires est généralement faible.

Une centaine de sondages sismiques ont été implantés dont 80% environ en amont de Moudon (voir carte de base, annexeIV). L'appareillage utilisé était un sismographe à marteau type Bizon, avec sommation des traces. Les longueurs de lignes ont varié de quelques décamètres à plus d'une centaine de mètres. Les profondeurs d'investigation ainsi obtenues dépassent rarement une vingtaine de mètres.

Comme pour les diagrammes de sondages électriques, la qualité des dromochroniques varie selon la continuité horizontale des contacts géologiques (miroirs sismiques). Aussi avons-nous joint à l'interprétation donnée dans le registre un code de qualité de l'ajustement de la structure réelle à un modèle théorique simple.

Les diagrammes de mesure des sondages sismiques sont déposés au GEOLEP.

5) Création d'un réseau d'observations hydrogéologiques et traitement des données

Un grand nombre de piézomètres a été implanté au cours des dernières décennies dans les terrains de la vallée de la Broye. Malheureusement, leur durée de vie s'est montrée très courte dans la totalité des cas. En particulier, les recherches intensives menées entre 1960 et 1970 pour permettre la construction des ouvrages de captage principaux de la plaine (Moudon, Lucens, Villeneuve, Corcelles-Payerne, etc...), ont rendu nécessaire la pose d'une centaine de piézomètres. Dès la concession de l'Etat accordée, ces derniers ont été supprimés. La durée des mesures est en général plus courte encore dans ceux destinés aux problèmes de fondation.

En conséquence, nous n'avons pu compter au début de notre étude sur aucun tube d'observation de nappe en dehors des puits filtrants. Or, les mesures de niveau dans ces ouvrages sont fortement perturbées par le régime des pompes. Seul l'ancien puits de Plan à Moudon, qui est actuellement abandonné, nous a permis d'installer un premier limnigraphe en 1974.

Un complément de réseau d'observation a pu être mis en place grâce à une série de forages exécutés par le GEOLEP la même année. Quatre sondages d'environ 15 m, équipés de piézomètres, ont permis la construction de deux stations limnigraphiques supplémentaires (Lucens et Fétigny). Dès le début de 1978, ces trois appareils ont été transformés en thermo-limnigraphes.

Les observations continues recueillies ont été digitalisées par ordinateur pour faciliter leur traitement. Leur interprétation sera présentée plus loin (voir annexe I).

6) Réinterprétation des essais de pompages archivés

Le calcul des essais de pompage demeure le meilleur moyen d'apprécier les propriétés hydrogéologiques des terrains ainsi que les ressources renouvelables de la nappe.

L'expérience montre que l'interprétation détaillée des essais est grandement facilitée lorsqu'ils ont été conçus par la personne qui en exécutera le traitement. Ceci tient au fait que la planification du test dépend de la méthode de calcul utilisée (écoulements permanents ou transitoires, etc...). Or, dans le cas de la Broye, les principaux essais étaient achevés avant le début de nos travaux.

Un certain nombre de documents techniques se rapportant aux essais de pompage ont été stockés dans les archives de l'Etat lors des demandes de concession. Leur qualité (durée de l'essai, nombre de piézomètres, fréquence des mesures, etc...) est extrêmement variable. Pour les ouvrages récents, une durée minimale de trois semaines a été exigée. Malheureusement, la conception de l'essai ne permet pas, dans plusieurs cas, de déterminer les paramètres caractéristiques du puits et de la nappe d'une manière convenable. Ceci est dû principalement à de nombreux paliers de débits très courts, sans stabilisation réelle de la nappe. La tâche a été plus compliquée encore dans le cas des puits à drains horizontaux de plusieurs étages.

Bien qu'imparfaites, ces données nous ont servi de base pour la quantification de certains paramètres hydrogéologiques comme la perméabilité, paramètre utilisé dans la cartographie hydrogéologique de la plaine.

Différentes méthodes de calcul ont été appliquées dans le traitement de ces données d'essai de pompage et ceci avec des succès variables. Nous nous référons pour leur principe aux ouvrages classiques tels que celui de CASTANY, (1967).

1) Écoulements permanents

Les méthodes de Dupuit ou de Thiem ont été appliquées directement dans tous les cas où une stabilisation du niveau a pu être observée. Lorsque cette stabilisation n'était pas complètement réalisée, le niveau définitif a été extrapolé par prolongation de la courbe d'évolution du rabattement selon le style de cette courbe. Lorsqu'ils existent, différents paliers de débit ont été utilisés pour la détermination de la perméabilité.

2) Écoulements non permanents

Dans un bon nombre de cas, la stabilisation des niveaux était loin d'être atteinte. Nous avons tenté d'y appliquer les méthodes de calcul de Jacob (approximation logarithmique). Toutefois, les pompages exécutés sont à débit croissant, sans interruption entre les paliers. La méthode classique de calcul ne peut donc pas être appliquée directement. Il est nécessaire d'introduire un temps fictif de pompage correspondant au début de chaque palier de débit, tel que l'a défini DE GELIS (1956) :

$$t_{fn} = \left(\sum_{i=1}^{n-1} Q_i \cdot \Delta t_i \right) / Q_n$$

avec t_{fn} = temps fictif de pompage au début du palier n

Q_n = débit du palier n

Q_i = débit du palier i

Δt_i = durée du palier i

Ce procédé de calcul a été appliqué plusieurs fois, particulièrement aux essais de pompage dans les grands puits à drains rayonnants. Les résultats obtenus sont extrêmement décevants : souvent la faible durée des paliers de débit donne au diagramme en papier monologarithmique une forme de courbe dont les différentes asymptotes sont mal définies (fig. 23 et 26). La déter-

mination de la transmissivité, qui dépend de la pente des asymptotes, est assez convenable bien que peu précise. En revanche, le calcul du coefficient d'emmagasinement montre un domaine d'incertitude tel que plusieurs nombres supérieurs à 1 ont été obtenus. Ceci provient de la fixation d'un point sur un axe logarithmique par l'intersection de deux droites séparées par un angle très aigu.

Notre but étant de cartographier les terrains aquifères selon leur perméabilité, nous aurons besoin d'utiliser une méthode de détermination qui soit comparable de points en points. Nous retiendrons donc les ordres de grandeur de perméabilité calculés à l'aide des méthodes par écoulements permanents qui ont montré une plus grande homogénéité des résultats. Ces valeurs sont en outre aisément réutilisables dans la résolution des problèmes pratiques d'hydrogéologie.

Nous devons faire ici quelques remarques complémentaires se rapportant à l'obtention de ces résultats numériques :

a) Hétérogénéité des terrains

Les conditions d'application des méthodes de calcul sont rarement en accord avec la complexité structurale des strates aquifères rencontrées. Il en découle une grande incertitude sur le résultat, incertitude dont il faut tenir compte.

Notamment, la couche de terrains aquifères considérée dans l'essai de pompage (partie crépinée du puits) et dans les calculs (facteur H ou e) est faite d'un empilement de strates dont la perméabilité propre peut varier de 1 à 1000 selon les niveaux. Par un essai de pompage, nous déterminons un facteur que l'on peut appeler perméabilité apparente qui correspond à un terrain aquifère homogène fictif d'épaisseur égale à celle de l'empilement considéré et de comportement hydraulique identique.

Le choix de l'épaisseur à retenir n'est pas chose aisée. La présence de sédiments saturés montrant tous les intermédiaires entre le gravier sableux et le limon argileux pose le problème suivant : à partir de quelle perméabilité peut-on considérer un terrain comme aquifère utilisable ?

Affecter une perméabilité moyenne à l'ensemble du remplissage stratifié reviendrait à attribuer un coefficient de pondération élevé aux épaisses séries glaciolacustres. Une telle manière de procéder diminuerait la qualité de l'information se rapportant aux terrains intéressants pour le captage des eaux souterraines. Il faut donc bien limiter la description des variations en plan de la perméabilité à la couche de terrain la plus facilement utilisable comme ressource en eau. C'est cette couche qui a généralement été testée lors des essais de pompage.

Toutefois, les difficultés surgissent lorsqu'à la limite de cette couche, les terrains perméables sont remplacés graduellement par des niveaux plus fins. Dans de tels cas, nous avons fixé à la nappe décrite une limite basée sur l'expérience pratique d'exécution des puits filtrants (voir p. 81).

b) Cas des nappes multiples et semi-captives

On rencontre dans plusieurs sites alluviaux des terrains aquifères sablo-graveleux séparés par des horizons sableux ou limoneux peu perméables. On a même constaté que les couches graveleuses pouvaient avoir des pressions hydrostatiques légèrement différentes, les nappes inférieures étant en charge parfois de quelques décimètres par rapport à la nappe de surface. L'étude des structures sédimentaires d'alluvions de ce type indique que le cloisonnement des assises grossières par des sédiments plus fins est souvent discontinu dans l'espace et que les nappes qui sont localement séparées communiquent latéralement.

De plus, les terrains sablo-limoneux peuvent difficilement être considérés comme toit de nappe captive au sens classique du terme. Une importante communication verticale doit y subsister. C'est pourquoi, nous parlerons dans ce cas de nappe semi-captive.

Pour le calcul de la perméabilité, nous avons assimilé un empilement d'aquifères séparés par des niveaux peu perméables, épais de quelques mètres au maximum, à une seule nappe libre allant du premier niveau d'eau rencontré jusqu'au plancher du dernier niveau perméable (p. ex. zone du Villaret à Moudon).

Lorsqu'un mince aquifère graveleux superficiel est séparé d'un autre horizon graveleux plus épais par plus d'une dizaine de mètres de sables limoneux, le second est seul retenu. Il est alors assimilé à une nappe captive pour le calcul et la représentation cartographique (p. ex. ancien puits de Plan à Moudon carte III H).

c) Calculs dans les puits à drains rayonnants

SCHNEEBELI (1966) a proposé pour le calcul des essais de pompage dans les puits à drains horizontaux une formule assez complexe qui fait intervenir différents paramètres géométriques propres à l'ouvrage (longueur moyenne des drains, hauteur des drains sur le plancher imperméable, etc...).

Cette équation, établie pour les puits à un seul étage, n'est guère applicable aux ouvrages construits dans la Broye où la majorité des puits est à trois étages de drains. C'est pour cette raison que nous avons utilisé la formule dite approchée qui est la formule de Dupuit classique dans laquelle le rayon du puits r est égal aux $2/3$ de la longueur moyenne des drains.

Grâce à la stabilisation du niveau de leur rabattement, seuls les premiers paliers de débit ont pu être utilisés de cette manière.

Le résultat détaillé des calculs de chaque cas sera examiné lors de la description systématique des nappes souterraines. Il figure, condensé, à l'intérieur du registre.

L'examen des différents moyens utilisables dans l'étude hydrogéologique du bassin de la Broye montre que nous pouvons disposer de données et de méthodes de qualités variables. Leur utilisation pratique est très limitée en regard de ce que l'on imagine pouvoir calculer dans l'étude théorique de l'hydrogéologie. Cette difficulté dans l'application de méthodes théoriques fort satisfaisantes pour l'esprit est malheureusement constatée dans beaucoup d'études appliquées à des sujets complexes. Nous y avons été confronté tout au long de nos travaux.

MOYENS DE REPRESENTATION DES RESULTATS

Un effort tout particulier a été porté aux modes de représentation graphique des résultats. En effet, le texte de base est accompagné de cinq documents principaux : d'abord les diverses cartes géophysiques, ensuite la carte de base jumelée au registre des données, puis la carte hydrogéologique proprement dite accompagnée des profils. Voyons leur principe de rédaction plus en détail.

1) Texte de description

Pour la description des propriétés hydrogéologiques des terrains, nous avons le choix entre deux solutions : soit un traitement unité géologique après unité géologique avec un balayage géographique pour chaque unité, soit un traitement région après région avec présentation de l'ensemble des terrains qui les constituent.

La première solution n'a été retenue que pour la description des propriétés générales des terrains rencontrés dans le bassin (voir p. 86).

En revanche, nous utilisons la deuxième dans la description détaillée. D'une part, les unités géologiques ne sont pas toujours bien distinctes à petite échelle, d'autre part, l'utilisation pratique de l'information est basée d'abord sur un cadre géographique, ensuite sur un ensemble géologique déterminé. De cette manière, le cheminement du lecteur est facilité dans un cadre géographique qui ne lui est pas familier.

A l'intérieur de chaque région ou tronçon de vallée, nous commençons par décrire les traits géographiques et géologiques principaux. Puis, nous examinons l'hydrogéologie de chaque formation dans l'ordre suivant :

- soubassement rocheux
- moraine
- fluvioglaciaire bordier
- remplissage de la plaine

La description peut comprendre notamment :

- l'histoire des recherches et de l'exploitation du terrain aquifère considéré
- la structure de l'aquifère en regard des données géologiques et géophysiques
- les essais de pompage
- les relations hydrogéologiques avec les terrains avoisinants
- le régime de la nappe
- les processus d'alimentation et de décharge de la nappe
- les propriétés physico-chimiques et bactériologiques des eaux
- les possibilités de développement futur.

Le texte descriptif se réfère constamment aux annexes et en constitue le commentaire détaillé.

2) Cartes géophysiques

Le premier document est formé essentiellement d'une série de cartes de résistivités électriques apparentes à différentes échelles et longueurs de ligne. Cette matière a déjà été présentée en détail précédemment (p.55).

3) Carte de base et registre

Comme son nom l'indique, le but de cette carte est de regrouper une masse d'informations et de données hydrogéologiques diverses et de les rendre assimilables aux utilisateurs de notre travail.

Pour ce faire, nous nous sommes inspiré du système mis en pratique par l'administration cantonale bernoise (BLAU et DELLA VALLE 1970) :

Sur la carte de base sont reportés des symboles indiquant l'emplacement et la nature des différents points de renseignement. Il s'agit principalement de captages, de sondages mécaniques et géophysiques. Un numéro leur est attribué lorsqu'ils font l'objet d'une description dans le registre. Pour les sondages mécaniques et les puits exclusivement, la profondeur du forage ou du substratum rocheux est exprimée de façon numérique, sur la carte également.

De même, certains éléments concernant la protection des eaux y sont représentés, en particulier les divers remblais des excavations et les décharges d'ordures en contact avec les eaux souterraines.

Grâce à la numérotation utilisée, la carte de base permet l'accès au registre. Ce dernier concentre d'une manière partiellement codée plus de 1000 points d'information hydrogéologique qui comprennent principalement :

- les coupes hydrogéologiques des sondages mécaniques et des puits (échelle 1/200)
- la description géométrique et hydraulique des captages principaux
- la composition des eaux
- les profils de résistivité interprétés à partir des sondages électriques (échelle logarithmique : $10^1 = 6,2 \text{ cm}$)
- les profils de vitesse interprétés à partir des sondages sismiques (échelle 1/200).

Pour plus de détail, nous nous référons à la légende de la carte de base ainsi qu'à l'en-tête du registre et à son lexique des codes utilisés.

4) Carte et profils hydrogéologiques (Annexe V)

La carte hydrogéologique et les profils permettent de donner une vision synthétique et parlante des terrains aquifères du bassin. Ils doivent pouvoir apporter au lecteur une représentation spatiale de l'hydrogéologie régionale, fixer un ordre de grandeur des paramètres principaux caractérisant les aquifères ainsi que leur variation en plan et en profondeur. Une fois cette approche effectuée, l'utilisateur pourra préciser l'information qui lui est nécessaire par le texte, la carte de base et le registre.

Contrairement à ces deux derniers dossiers, la carte hydrogéologique et ses profils sont des représentations interprétatives. Elles constituent une synthèse personnelle des données de base recueillies. A cette fin, nous avons dû déterminer de la manière la plus objective possible les termes de liaison entre les différents points où la structure hydrogéologique est bien connue. Il en est de même pour les terrains très profonds, jamais ou rarement traversés par sondage.

Nous avons utilisé pour cela tous les moyens de recherche à notre disposition, notamment la prospection géophysique. Or, nous savons que ces méthodes indirectes peuvent être sujettes à des incertitudes importantes, voire à des erreurs d'interprétation dans des cas de structures complexes comme celles, fréquentes, de la vallée de la Broye.

Il faut donc considérer ce document cartographique comme une approche de la réalité.

ECHELLE

Pour une échelle de détail portant sur une surface de plus de 200 km², nous avons choisi de travailler sur des cartes au 1/10'000 pour obtenir, par réduction, une échelle de 1/25'000. La surface a été divisée en 11 feuilles A4 qui peuvent, par montage, constituer un assemblage. L'échelle et le découpage correspondent du reste exactement à ceux utilisés pour la carte de base.

Quant aux profils, ils sont représentés chacun sous deux formes :

- Profils détaillés déformés : échelle horizontale 1/25'000, échelle verticale 1/2'500. Le détail des terrains aquifères y est représenté.
- Profils non déformés : échelle 1/25'000. Seuls la topographie et le toit rocheux y figurent. Toutefois dans les cas où l'auge glaciaire est profonde, les terrains du fond du remplissage s'y trouvent également.

Grâce à ces deux types de coupe, nous pouvons représenter les détails intéressants des terrains aquifères

proches de la surface tout en conservant la forme réelle du cadre géologique.

Vingt-deux profils en travers (A à V) ont été sélectionnés et dessinés sur quatre planches A4. Leur situation est déterminée sur la carte hydrogéologique.

SYSTEMES DE REPRESENTATION ET LEGENDES

L'examen de la littérature se rapportant aux systèmes de représentation hydrogéologique permet d'en distinguer deux grands groupes :

A) Les cartes à données essentiellement qualitatives

Il s'agit principalement de cartes à grande échelle qui décrivent les caractères généraux des terrains sur de grandes étendues. En particulier, la perméabilité des terrains y est exprimée par des termes qualitatifs tels que "faible", "moyenne" ou "élevée". Il s'agit, à titre d'exemple, des cartes hydrogéologiques des cantons de Vaud (BADOUX et MAUTNER) et de Neuchâtel (KIRALY 1973).

B) Les cartes à données plus quantitatives

Ce sont des cartes de détail, portant généralement sur des territoires plus restreints. On y dessine une zonation numérisée des aquifères selon leur importance. Pratiquement, ce système se subdivise en deux sous-systèmes :

1) Cartes de perméabilité

Les différentes zones représentées sont limitées par des lignes d'équi-perméabilité déterminées numériquement sur la base d'essais de pompage en divers points de la surface. La plupart du temps, l'épaisseur de la nappe considérée est indiquée par une série de nombres affectés aux divers points de mesure. Comme exemple, citons la récente carte du Seeland bernois (KELLERHALS et TROHLER 1976).

2) Cartes de transmissivité

Une autre solution consiste à représenter des lignes d'équi-transmissivité calculées également d'après le test de la nappe à différents endroits. Elle est tantôt tirée directement d'un essai en régime non permanent, tantôt calculée par le produit d'une perméabilité obtenue en régime permanent par l'épaisseur de l'aquifère. Un tel exemple est celui de la carte du Canton de Genève (AMBERGER 1974).

Pour notre part, nous nous sommes penché d'emblée vers une cartographie à données quantitatives, celle-ci utilisant au maximum les nombreuses informations en notre possession.

Quant au choix entre la zonation des perméabilités ou des transmissivités, il y a lieu de considérer les avantages inhérents à chaque méthode :

- Les cartes de transmissivité donnent au premier coup d'oeil une idée globale des réserves d'eau souterraine. Tandis qu'avec les perméabilités et les épaisseurs, le lecteur doit intégrer les deux facteurs pour obtenir cette notion; il peut en outre être attiré paradoxalement par une zone très perméable mais peu épaisse alors qu'il négligera un autre ensemble moins perméable mais beaucoup plus volumineux. Une observation attentive permet d'éviter cet écueil.
- Le dépouillement d'une carte de transmissivité ne permet pas d'apprécier l'un des facteurs techniques essentiels : l'épaisseur de la nappe, donc le coût d'un puits filtrant devant la traverser. Par exemple, un corps aquifère de transmissivité $T = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ peut aussi bien correspondre à une nappe mince de 2,5 m d'épaisseur avec $k = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ qu'à un aquifère de 25 m avec une perméabilité de $2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Or, les deux solutions sont extrêmement diffé-

rentes à l'utilisation (type de captage, etc...). A l'aide d'une carte de l'autre système, on peut directement imaginer la nappe dans sa structure et même simuler grossièrement l'effet d'un puits par la simple application de la formule de Dupuit.

- Dans le cas d'une nappe d'épaisseur inconnue, on peut toujours calculer une perméabilité (formules du puits incomplet) et indiquer numériquement une épaisseur minimale ($h > x m$). Cette complication n'entraînera pas de perturbation dans la représentation cartographique. La détermination de la transmissivité, par contre, restera bornée à une valeur minimale que l'on ne peut exprimer graphiquement sans introduire d'ambiguïté majeure dans le système de représentation.

L'ensemble de ces raisons nous a donc fait choisir un procédé de cartographie quantitative de la perméabilité avec expression numérique de l'épaisseur de la nappe considérée.

A l'instar de la carte de base et du registre, le système utilisé dans le canton de Berne (BLAU et DELLA VALLE 1970) a été retenu dans son principe. Il est en effet particulièrement bien adapté à une cartographie détaillée des nappes souterraines quaternaires. Il a en outre été appliqué dans la prolongation aval de notre bassin, dans la vallée de l'Aar (KELLERHALS et TROHLER 1976). En l'ayant choisi, nous tendons à respecter une certaine uniformité dans la représentation des cartes hydrogéologiques.

Sans entrer dans les détails, rappelons le mode de cartographie du système bernois :

- 1) carte hydrogéologique sur fond topographique au 1:10'000 ou 1:25'000

- 2) Représentation des variations de 3 paramètres hydrogéologiques selon le symbolisme suivant :
 - a) Indication granulométrique graphique par surcharge sur le fond topographique
 - b) Indication sur les variations de perméabilité des terrains aquifères par des teintes
 - c) Indications numériques se rapportant aux épaisseurs de nappes, aux transmissivités et aux coefficients d'emmagasinement, etc...
- 3) Annexe de profils hydrogéologiques décrivant les variations des deux premiers facteurs en profondeur.

La définition complète du système de représentation et de la légende a fait l'objet de normes internes au "Wasser-u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern" (WEA). Grâce à l'amabilité des responsables scientifiques de ce service, nous avons eu accès à cette documentation dans son entier.

L'usage de ce moyen de représentation hydrogéologique dans notre cas a nécessité un certain nombre d'adaptations et de modifications du système de base. Nous les avons intégrées dans la présentation du principe de cartographie retenu pour le bassin de la Broye que nous exposons maintenant.

1) Distinction entre terrains aquifères ou non aquifères

Cette première différenciation fondamentale introduite ici n'est pas utilisée dans le système bernois où des teintes de perméabilité sont affectées indifféremment aux alluvions sèches et aquifères. L'application d'un tel système dans notre région donnerait une vision trompeuse des réserves en eau. En effet, les terrasses sèches du pied des versants porteraient des perméabilités plus prometteuses que les sédiments réellement aquifères du centre de la plaine. D'autre part, indiquer la perméabilité des terrains secs recouvrant la nappe pourrait être intéressant pour les problèmes de protection des eaux. Remarquons que c'est la perméabilité horizontale que l'on cartographie dans la nappe alors que c'est la perméabilité verticale qu'il faudrait utiliser dans la cou-

verture non saturée. Or, pour un même terrain alluvial, ces deux paramètres sont souvent très différents, ce qui risquerait d'entraîner une ambiguïté dans la représentation graphique.

La distinction utilisée est matérialisée de la façon suivante :

a) Carte hydrogéologique

Nous individualisons deux grands domaines :

A) Domaine des terrains quaternaires stratifiés aquifères

Ce domaine comprend les terrains saturés appartenant essentiellement aux alluvions fluviales, lacustres, fluvioglaciales et glacio-lacustres. Il comprend également des formations morainiques bordières très remaniées dont la stratification permet de les assimiler, au point de vue hydrogéologique, au fluvioglaciale et au fluviale. Sur la carte, la nappe occupant ces terrains est représentée en écorché, c'est-à-dire que les sols recouvrant le niveau d'eau sont ignorés.

B) Domaine des terrains secs et temporairement ou localement aquifères

Toutes les formations géologiques non décrites dans le domaine A y figurent. Ce sont les divers types de molasses, les moraines (sauf celles rangées dans A) et les alluvions sèches.

Les terrains de surface y sont représentés selon le même principe qu'une carte géologique habituelle, mais nous y avons ajouté une indication graphique de la granulométrie moyenne des dépôts quaternaires stratifiés.

La séparation des domaines A et B, qui correspond à la limite d'extension en plan de la nappe souterraine, est symbolisée par une double ligne rouge qui suggère l'écorché de la nappe. L'emplacement de cette limite n'est pas définissable avec précision puisqu'elle se déplace des hautes aux basses eaux. Telle qu'elle est utilisée, elle doit correspondre à une situation hydrologique moyenne.

D'autre part, certains ensembles alluviaux de bordure renferment à leur base des nappes souterraines épaisses de quelques décimètres, nappes fortement drainées vers le pied du versant. Nous avons considéré ces terrains de terrasse comme secs lorsque l'épaisseur de la nappe est nettement inférieure à 1 m.

b) Profils hydrogéologiques

En coupe, le problème de la représentation graphique est plus simple : les ensembles géologiques du domaine B figurent avec leur couleur propre pour les molasses diverses et la moraine. Les dépôts alluviaux demeurent incolores au-dessus du niveau de la nappe, ce niveau étant déterminé par un trait bleu.

Quant aux formations quaternaires saturées, elles sont dessinées en couleur selon la perméabilité de chaque niveau. La restriction pour les nappes d'épaisseur inférieure à 1 m persiste.

2) Zonation de la perméabilité

a) Choix des domaines de perméabilité

Nous avons distingué cinq domaines de perméabilité numérique; les valeurs dites de perméabilité élevée ont été choisies plus basses dans le cas de la Broye que dans celui de la vallée de l'Aar où l'on trouve des nappes de capacité totalement inconnue chez nous.

Nous avons choisi, pour déterminer les bornes numériques des classes de perméabilité, des limites de débit intéressantes tirées d'un puits vertical théorique implanté dans un aquifère libre homogène de 10 m d'épaisseur :

Epaisseur de la nappe	H = 10 m
Rabattement	$\Delta = 2,5$ m
Rayon du puits	r = 0,5 m
Rayon d'action	R = 200 m

Il nous a paru intéressant de retenir pour ce captage les valeurs de débit suivantes :

- Q \approx 15 l/mn : Ressource proche de la limite de rentabilité de l'ouvrage, suffisante pour un hameau (50 habitants)
- Q \approx 300 l/mn : Ressource en eau faible à moyenne, appartenant déjà au domaine public; débit suffisant à un grand village (850 habitants)
- Q \approx 800 l/mn : Ressource en eau devenant importante, surtout dans le bassin de la Broye; quantité suffisante pour une petite ville (2300 habitants)
- Q \approx 1500 l/mn : Ressource en eau élevée pour notre contexte hydrogéologique; débit suffisant à une ville de taille déjà respectable (env. 4000 habitants).

Les domaines de perméabilité K retenus sont les suivants (Tableau 6) :

Tableau 6 : Domaines de perméabilité K retenus

Perméabilité	K m/s	Q l/mn
TF = très faible	1.10^{-5}	14 l/mn
F = faible		344 l/mn
M = moyenne	$2,5.10^{-4}$	825 l/mn
E = élevée	6.10^{-4}	1376 l/mn
TE = très élevée	1.10^{-3}	

NB : les débits Q correspondants ont été calculés par l'application de la formule de Dupuit dans le puits standard.

b) Détermination de la perméabilité des terrains

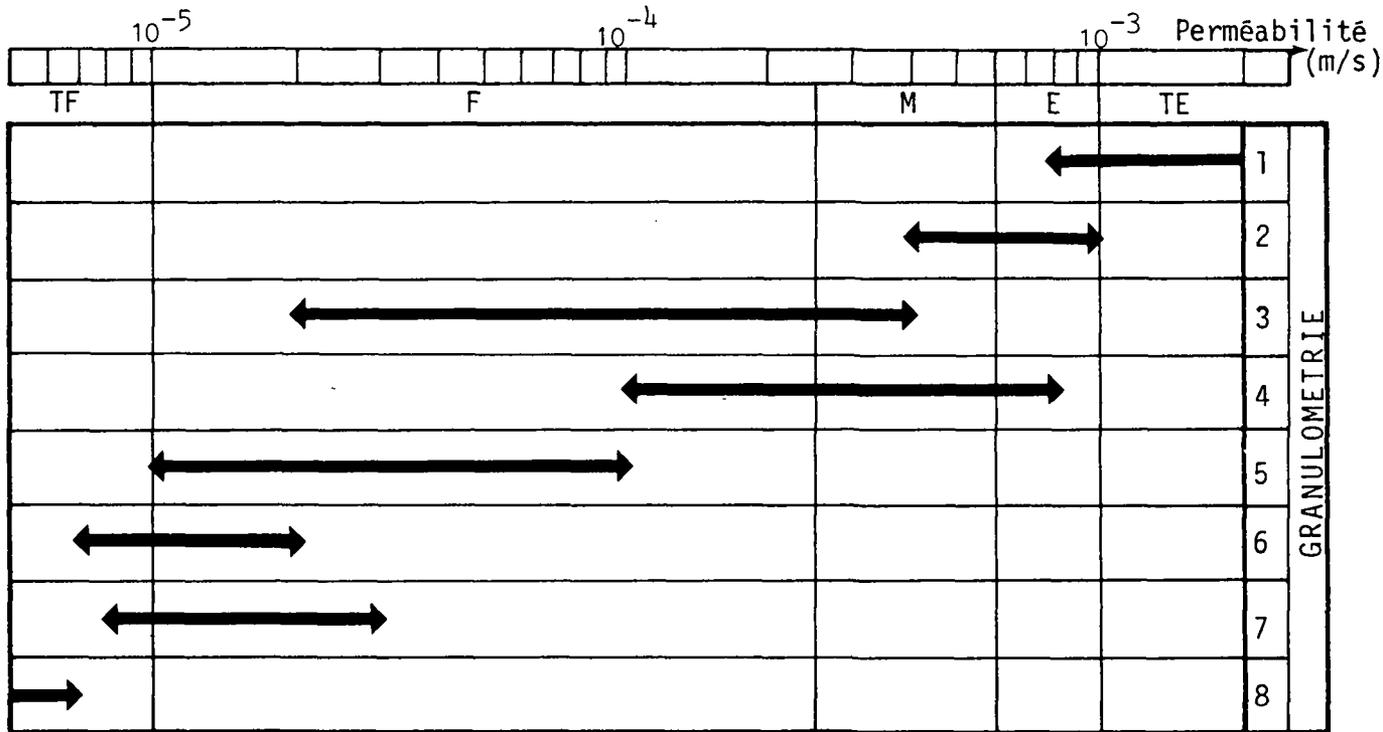
Méthode directe

Nous avons vu lors de l'examen des méthodes (p.61) que la meilleure manière d'obtenir une valeur comparative du coefficient de perméabilité était l'application des formules en écoulement permanent (Dupuit et Thiem). C'est ainsi qu'à l'intérieur de notre périmètre d'étude, nous avons pu calculer la valeur de la perméabilité des alluvions en 54 points du territoire. Le degré de confiance à affecter à chaque valeur est variable. Nous examinerons chaque cas en détail.

Les résultats numériques ainsi obtenus sont intéressants mais ils sont loin d'être suffisants pour déterminer les variations de K d'un point à l'autre. Aussi, avons-nous été contraint d'utiliser des méthodes d'appréciation indirecte de la perméabilité.

Corrélation granulométrie - perméabilité

Dans le cas où des sondages mécaniques étaient à disposition, nous avons établi, sur la base de forages avec essais de pompage dans des formations semblables, une règle de correspondance approximative (fig. 17)



Granulométrie

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1 Gravier sableux Gs | 5 Sable lég. limoneux S(1) |
| 2 Gravier sableux lég. limoneux Gs(1) | 6 Sable limoneux Sl |
| 3 Gravier sableux limoneux Gsl | 7 Sable fin F |
| 4 Sable moyen à grossier S | 8 Limon finement sableux et argileux Lfa |

Figure 17 : Corrélation approximative entre la granulométrie et la perméabilité

La corrélation proposée est peu précise, mais n'entraîne certainement pas d'erreur importante.

Corrélation résistivité électrique - perméabilité

Malgré les informations recueillies par les deux méthodes précédentes, il subsiste encore quelques zones que seule la prospection géophysique a

explorées. Nous y avons alors appliqué une règle de corrélation très approximative (fig. 18) basée sur de multiples sondages électriques d'étalonnage dans la vallée de la Broye ou ailleurs sur le Plateau, dans des dépôts géologiques analogues.

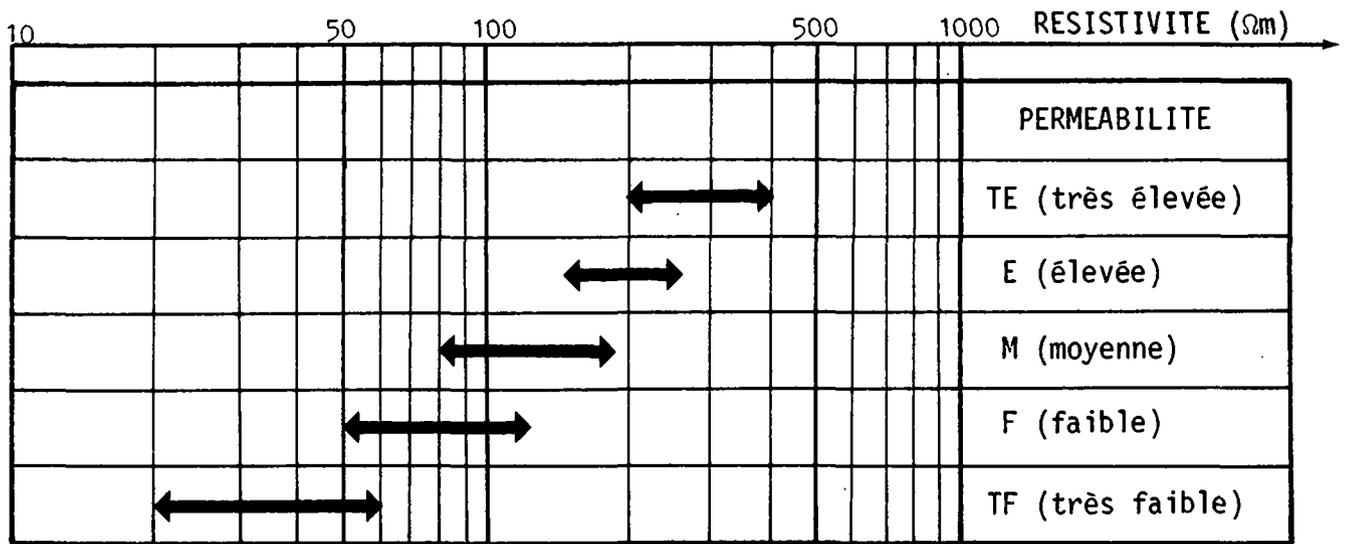


Figure 18 : Corrélation approximative entre la résistivité électrique et la perméabilité dans le cas des terrains aquifères du bassin de la Broye.

Nous venons de voir que les moyens de détermination de la perméabilité sont divers et que, selon la méthode utilisée, la précision obtenue peut varier. Nous aurions pu, comme le proposent BLAU et DELLA VALLE (1972), dédoubler chaque teinte de perméabilité en "perméabilité prouvée" et "perméabilité supposée". Pour des raisons de technique d'impression (nombre de couleurs trop élevé) nous avons dû renoncer à

utiliser ce système. Nous postulerons simplement que le lecteur pourra connaître, grâce à l'examen de la carte de base et du registre, le type de données à partir desquelles la perméabilité a été déterminée dans telle ou telle zone. En outre, les niveaux dessinés à partir d'informations peu sûres sont affectés du symbole "?" sur les profils hydrogéologiques.

3) Choix de la couche aquifère représentée

Dans le chapitre traitant des méthodes d'interprétation des essais de pompage (p 64), nous avons relevé le problème suivant : quelle tranche de terrains alluviaux aquifères doit-on considérer pour le calcul de la perméabilité, donc également pour la représentation cartographique de la nappe ?

Nous avons alors choisi de tenir compte de la couche de terrain pouvant présenter un intérêt économique en tant que site de captage. C'est elle que nous retenons pour la représentation hydrogéologique. Plus précisément, nous posons les règles suivantes :

a) Carte hydrogéologique

Règle A

La couche de terrain aquifère considérée est formée d'une série d'horizons consécutifs dont l'ensemble constitue le meilleur site possible pour l'implantation économique d'un captage. Cette couche est traitée globalement dans la détermination d'une perméabilité apparente et dans sa représentation cartographique. La limite de cette couche est matérialisée par des terrains plus étanches.

Dans le cas d'horizons perméables secondaires séparés de l'ensemble aquifère principal, leur affectation ou non à la couche considérée dépend de leur

transmissivité et de l'épaisseur de terrains peu perméables à traverser pour les atteindre. Un exemple-type est donné à la figure 19.

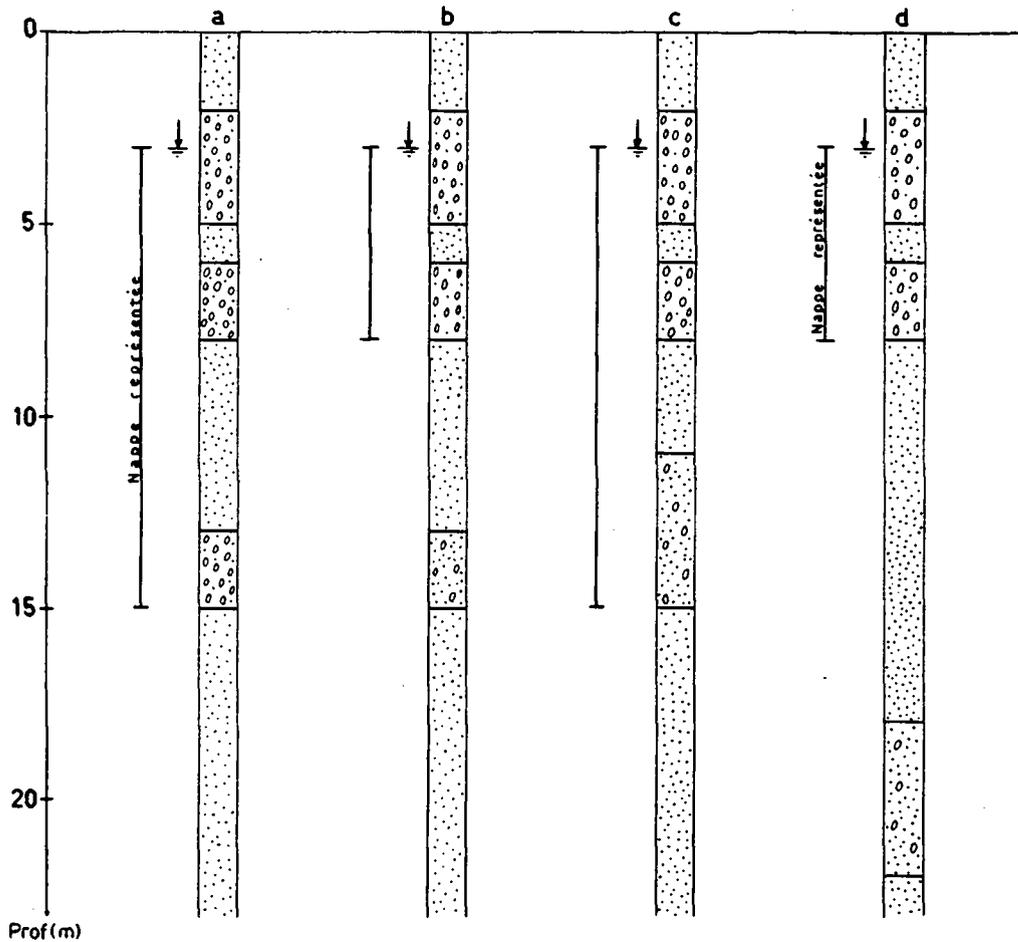


Figure 19 : Quelques cas-types de détermination de l'aquifère à représenter :

- a) Couche secondaire peu épaisse mais très perméable à 5 m sous la nappe principale
- b) Couche secondaire moins perméable, dans la même position
- c) Couche secondaire comme cas b mais plus épaisse et moins profonde
- d) Couche secondaire comme cas c mais plus éloignée de la surface.

Le choix d'un compromis entre la perméabilité du niveau secondaire et de la distance le séparant du groupe primaire est aisé dans les cas tranchés. En revanche, il existe une série de situations limites où intervient notre expérience dans l'exécution des puits. Nous essayons, dans ces cas là, d'évaluer d'autres critères tels que la continuité horizontale du niveau en question.

L'épaisseur globale retenue est indiquée en mètres entiers à côté du point d'où provient la coupe hydrogéologique. Lorsque le symbole est un point rouge, l'information provient d'une reconnaissance directe (sondages mécaniques et puits). Si c'est un cercle rouge, l'épaisseur est déduite des résultats géophysiques.

Règle B

Lorsque l'ensemble aquifère choisi n'est pas contigu avec le niveau hydrostatique de la plaine, mais passablement plus profond (terrains peu perméables au sommet de la nappe), nous devons considérer la couche retenue comme semi-captive. La grandeur numérique caractérisant son épaisseur sera inférieure à la charge hydrostatique sur le plancher de la nappe. Afin d'éviter une ambiguïté à la lecture de la carte, les zones où un aquifère semi-captif est représenté, sont surchargées d'un fin quadrillage rouge. Cela signifie qu'à l'intérieur de ces secteurs, la donnée numérique bordant les points représente l'épaisseur de la nappe semi-captive.

Règle C

Quand la couche de terrains aquifères envisagée est inférieure à 1 mètre dans son ensemble, elle n'est plus représentée sur la carte. On la remplace par le terrain aquifère moins perméable mais plus épais qui est en contact avec elle.

L'application de cette règle est particulièrement importante dans la Broye moyenne entre Lucens et Granges-sous-Trey où un aquifère graveleux très peu épais est superposé à des strates glacio-lacustres peu perméables. La valeur de 1 m d'épaisseur correspond à un ordre de grandeur parfois difficile à évaluer réellement. Les conditions changent en outre selon les variations de la pluviométrie.

b) Profils hydrogéologiques

Avec ce mode de représentation, les choses deviennent beaucoup plus simples. Une seule règle est à retenir :

Règle D

A l'intérieur des profils hydrogéologiques on affecte à tous les niveaux aquifères leur propre perméabilité dans la mesure où la finesse du dessin le permet.

Il résulte de cette règle que la perméabilité apparente ou équivalente indiquée sur la carte ne correspond pas forcément à l'une de celles qui figurent dans les profils. Si la couche considérée est homogène, la même teinte figurera sur les deux documents. Si, au contraire, elle est hétérogène, elle sera par exemple verte sur la carte alors que le profil montrera une succession de strates bleues et jaunes. Il faut donc bien distinguer la notion de perméabilité propre d'un niveau donné de celle de perméabilité apparente qui simule l'effet hydraulique global d'un empilement d'horizons différents.

Les profils sont donc un complément indispensable à la compréhension de la carte hydrogéologique.

4) Composition granulométrique

Dans son principe de base, l'administration bernoise proposait une description granulométrique du terrain aquifère lui-même (BLAU et DELLA VALLE 1972). Ces auteurs proposaient aussi l'usage de fenêtres décrivant la granulométrie et la perméabilité tant de la couverture de la nappe que de son plancher. Lors de l'application de cette méthode, KELLERHALS et TROHLER (1976) ont modifié ce système en supprimant les fenêtres sur le toit et le mur de la nappe tout en utilisant le symbolisme granulométrique continu pour décrire non pas la nature du terrain aquifère mais la couverture de la nappe.

Pour notre part, nous pensons qu'il est plus précieux de décrire la composition du squelette de la nappe que celui de son toit dont la nature peut être aisément déterminée sur les profils. Les variations à l'intérieur des terrains aquifères sont suffisamment importantes pour qu'elles soient dessinées d'une manière continue. De plus, cette représentation ne fait pas double usage avec la zonation des perméabilités. En effet, on trouve par exemple dans les terrains dits moyennement perméables aussi bien des sables propres que des graviers un peu limoneux. Or, une telle distinction est utile à l'usage pratique des cartes hydrogéologiques.

Par analogie avec la perméabilité, nous décrivons sur la carte la granulométrie moyenne de la couche aquifère représentée, alors qu'en profil chaque niveau est distingué par sa granulométrie et par sa perméabilité. Les symboles granulométriques que nous avons utilisés correspondent aux grandes classes définies en mécanique des sols. Le mélange dans le figuré des divers termes permet d'apprécier schématiquement la part relative des uns et des autres dans la composition du terrain réel (pr. ex. gravier sableux, gravier sableux légèrement limoneux, gravier sablo-limoneux, gravier limono-sableux, etc...).

Le mode de cartographie que nous venons de proposer peut paraître assez ardu et compliqué de prime abord. Toutefois, son usage s'avère fructueux dans la majeure partie des cas. Certes, il subsiste des zones dont les conditions hydrogéologiques sont telles que leur complexité peut difficilement être assimilée à un modèle schématique. En outre, le problème des limites reste crucial comme dans toute représentation continue basée sur des données isolées les unes des autres.

Nous verrons d'une manière plus illustrée l'application de ce système cartographique lors du traitement détaillé de l'hydrogéologie du bassin.

PROPRIETES HYDROGEOLOGIQUES GENERALES DES TERRAINS CONSTITUTIFS DU BASSIN

Avant d'aborder la description de sites particuliers, il est utile de présenter les propriétés hydrogéologiques générales des différents terrains qui affleurent dans le bassin. Nous les traitons selon les subdivisions choisies pour la cartographie en commençant par les roches les plus anciennes.

1) Le flysch

C'est dans la partie tout à fait supérieure du bassin que l'on rencontre ces terrains (massifs des Alpes et du Niremont). Géologiquement, nous y trouvons une fine alternance de grès calcaires et de schistes argileux. Ces massifs sont intensément soumis à l'érosion et aux mouvements de versant qui impliquent une fracturation des bancs compétents tandis que les niveaux argileux restent continus par fluage. Il en résulte au point de vue hydrogéologique un ensemble de minces nappes fissurales non karstiques séparées par des coussinets imperméables. Bien que la continui-

nuité sédimentologique des horizons rocheux soit relativement grande, les dislocations dues aux mouvements de versant rendent la structure de ces aquifères fort complexe. Les ressources en eau qu'elles renferment sont relativement faibles malgré l'exposition favorable du massif face aux vents d'ouest.

D'autres caractéristiques sont décrites plus loin dans la brève présentation hydrogéologique du tronçon les Alpettes - Palézieux-Gare (voir p.96).

2) La molasse subalpine

Les assises molassiques subalpines forment un coussin d'écailles qui séparent les massifs de flysch du grand compartiment de la molasse tabulaire du Plateau. Elles représentent le soubassement rocheux de la région Châtillens - Palézieux - Semsales.

Dans leur généralité, les caractéristiques hydrogéologiques de la molasse subalpine sont comparables à celles du flysch. Cette molasse est constituée également d'un empilement de couches gréseuses, parfois conglomératiques, fissurées, séparées par des marnes imperméables. Toutefois, certains facteurs diffèrent notablement :

- la continuité sédimentologique du niveau gréseux est nettement inférieure à celle des grès du flysch. Les nappes fissurales sont donc encore plus irrégulières.
- des niveaux calcaires apparaissent dans la molasse à charbon. Ces horizons, généralement d'une épaisseur décimétrique, jouent le rôle de drain privilégié, grâce à leur fissuration et à la dissolution karstique.

Comme dans le cas du flysch, les diaclases ouvertes des horizons aquifères fissuraux sont souvent engorgées temporairement par des argiles et des limons qui proviennent du remaniement du toit et du mur de la nappe. En période de hautes eaux, les mises en charge hydrauliques

entraînent un curage des fissures, ce qui provoque le trouble bien connu des eaux de cette origine. La capacité de filtration est d'autre part souvent insuffisante. Les ressources en eau offertes par ces formations demeurent peu élevées et les sources sont très dispersées.

Les ordres de grandeur des paramètres géophysiques utilisés sont les suivants :

- résistivité électrique : 20 à 50 Ω m
- vitesse sismique roche saine : 1800 à 3500 m/s.

3) La molasse du Plateau

Dans le périmètre du bassin de la Broye, le Tertiaire tabulaire du Plateau est formé à la base par la molasse d'eau douce inférieure ("Aquitanién") surmontée de la molasse marine supérieure ("Burdigalién").

a) L'AQUITANIEN :

La vallée inférieure est entaillée dans cette molasse qui forme la quasi-totalité des deux versants de la Basse-Broye, en aval de Payerne. Plus en amont, elle est recouverte progressivement par la molasse marine et disparaît sous les alluvions à la hauteur d'Heniez-Villeneuve. Elle ne réapparaît que dans la demi-boutonnaire de la Haute-Broye dans la région d'Ecublens.

Litologiquement, nous retrouvons une alternance de marnes, de siltstones et de grès comme dans la molasse subalpine. Cependant, l'épaisseur des terrains grossiers y atteint le plus souvent quelques mètres. De plus, ces grès sont généralement mal cimentés, laissant de la sorte une certaine porosité à la roche.

Les lacunes intergranulaires sont encore plus nombreuses lorsque l'altération superficielle intervient. On obtient même parfois, dans un stade ultime, de véritables sables meubles qui se comportent hydrogéologiquement comme des terrains quaternaires.

A cette composante de porosité et de perméabilité d'interstices vient se conjuguer une perméabilité secondaire qui provient de la fissuration de la roche. Dans la plupart des cas, ce sont les fractures principales qui situent le pointement de la source alors qu'un système serré de petites fissures draine la masse poreuse saturée. Les émergences se font communément à la base du banc de grès, au toit des marnes inférieures. Nous verrons plus loin les causes principales de l'apparition des sources molassiques dans les versants (fig. 20).

Par leur épaisseur accrue, les grès aquitaniens sont le siège de nappes déjà plus importantes, bien que le débit individuel des sources demeure assez faible.

b) LE BURDIGALIEN

Dans la molasse burdigalienne, la prédominance des éléments grossiers sur les éléments fins est accentuée. Les niveaux marneux qui y subsistent sont rarement des lits continus sur plus de quelques décimètres. Ce sont plutôt des remplissages d'auges de quelques mètres carrés qui ne peuvent retenir que de petites nappes perchées.

Les facteurs qui confèrent la porosité et la perméabilité aux grès burdigaliens sont semblables à ceux décrits dans l'Aquitaniens.

Deux éléments principaux viennent s'ajouter à ces caractéristiques :

- La pauvreté en horizons marneux continus entraîne souvent une concentration des eaux souterraines au toit de la molasse aquitanaïenne marneuse. Ce phénomène joue un rôle hydrogéologique régional très important (voir fig.20); il se peut aussi que le plancher peu perméable soit constitué de niveaux gréseux ou silteux moins altérables. Les sources qui en résultent sont toutefois de capacité plus limitée.
- L'apparition dans la partie supérieure de la série de niveaux de grès coquilliers épais de quelques mètres, plus ou moins conglomératiques, joue un rôle déterminant. En effet, leur très forte cohésion et leur faible teneur en argile et en silt confèrent à ces horizons une perméabilité fissurale bien supérieure à celle de la masse gréseuse du reste de l'étage. Alliées à leur grande extension en plan, ces propriétés permettent de considérer ces niveaux fossilifères comme de véritables couches drainantes interstratifiées dans le massif gréseux (voir fig. 20). Ce rôle est d'autant plus marqué que les mouvements de versant (tassements, fauchages, etc...) sont importants.

Au point de vue géophysique, nous pouvons ranger les valeurs communes des paramètres mesurés dans la gamme suivante :

Paramètre	Aquitanaïen	Burdigalien
Résistivité électrique	40 à 80 Ω m	70 à 120 Ω m
Vitesse sismique	1800 à 3200 m/s	1800 à 3200 m/s

ROLE HYDROGÉOLOGIQUE DES ASSISES MOLASSIQUES SELON LEUR SITUATION GÉOLOGIQUE

Une fois la couche d'altération franchie, les diverses molasses sont assimilables à des terrains très peu perméables, rarement utilisables comme ressource en eau potable.

Or, la position géologique influence fortement l'épaisseur et la perméabilité de cette frange altérée. Nous distinguons ici deux types particulièrement représentatifs de la vallée de la Broye.

La molasse des fonds de vallée

Que ce soit dans les vallées actuelles ou dans le réseau hydrographique fossile, la molasse devient très rapidement imperméable. En effet, les phénomènes qui facilitent l'ouverture des diaclases y sont en général inexistantes. On peut considérer qu'habituellement la molasse altérée est épaisse de quelques mètres. Au-dessous, la molasse saine constitue le "plancher imperméable" général de toutes les nappes pouvant livrer de l'eau potable renouvelable. Les vallées molassiques peuvent donc être assimilées à des cuvettes quasiment étanches. Elles sont donc un piège privilégié pour les eaux souterraines. On comprend mieux ainsi la nécessité de déterminer leur forme, sous les dépôts quaternaires, pour y implanter des ouvrages de captage.

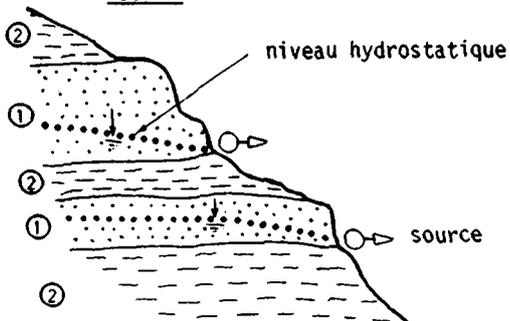
La molasse des versants

Les divers agents qui contribuent au façonnement des versants donnent à la couche de molasse altérée une épaisseur plus importante qui est la plupart du temps de l'ordre d'une dizaine de mètres mais qui peut atteindre parfois plusieurs décamètres. En certains endroits, en revanche, cette couche demeure quasi inexistante. Ces variations peuvent influencer à elles seules l'apparition des sources selon les schémas décrits à la figure 20.

MOLASSE SEULE

ROLE DE LA STRATIGRAPHIE

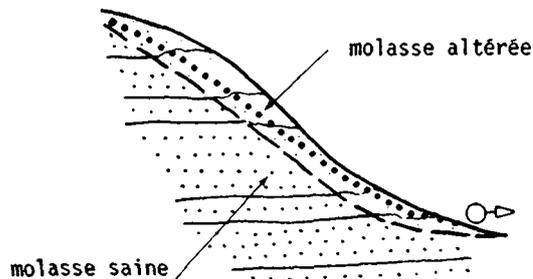
Type S



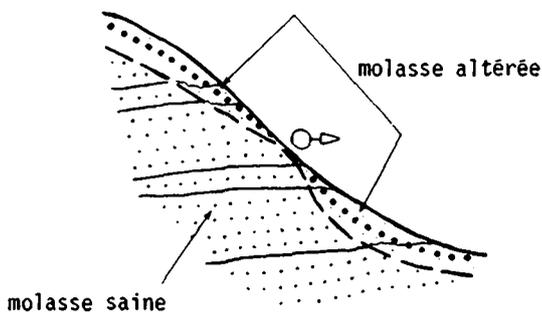
- ① Niveau perméable : - grès (C,A,B)
- calcaire (C)
- grès coquillier (B)
- ② Niveau moins perméable : - marnes (C,A,B)
- grès molassique (B)
- C = Chattien A = Aquitanien B = Burdigalien

ROLE DE L'ALTERATION

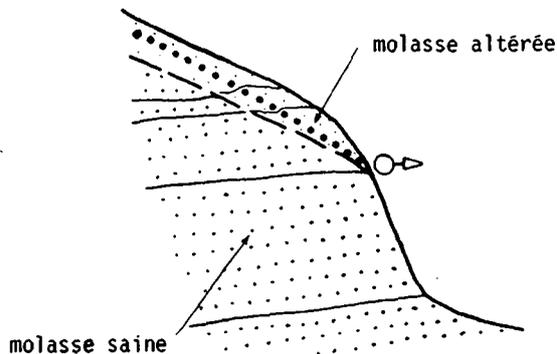
Type A1 : source de pied de versant par vidange de la couche altérée



Type A2 : source dans le versant par diminution localisée de la couche altérée

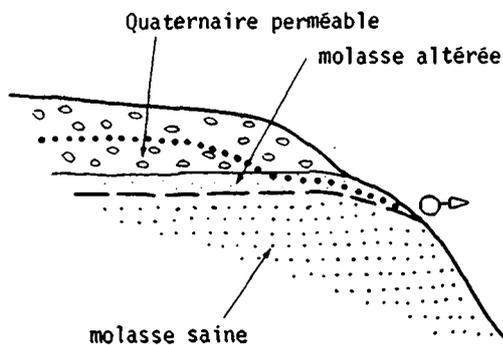


Type A3 : source dans le versant par disparition de la couche altérée



MOLASSE ET QUATERNAIRE

Type QP : drainage de terrains quaternaires perméables par la molasse altérée



Type QI : mise en charge de la molasse altérée sous des placages quaternaires imperméables

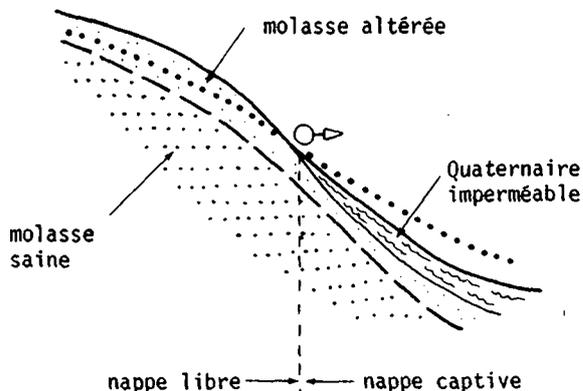


Figure 20 : Relation entre certains facteurs géologiques et le type de source molassique de versant.

L'autre facteur essentiel, les variations lithologiques à l'intérieur de la molasse, y est également représenté, de même que l'influence des terrains quaternaires de versant qui la recouvrent. Lorsque ce matériel est perméable et aquifère, la molasse joue par ses fissures le rôle de drain préférentiel. Si, au contraire, le placage est imperméable (moraine de fond, matériel de glissement, etc...), il peut isoler des nappes captives à l'intérieur de la molasse altérée entraînant l'apparition de sources de trop plein (fig. 20).

Les cas représentés à la figure 20 donnent l'illustration bien simplifiée d'une réalité où une quantité de facteurs interviennent et s'interfèrent.

4) Les dépôts quaternaires

Nous définissons ici plus précisément le groupement de l'ensemble des dépôts quaternaires en deux grandes classes hydrogéologiques distinctes :

a) TERRAINS QUATERNAIRES STRATIFIES (Symbole \varnothing /du registre)

Sont compris dans cette classe l'ensemble des dépôts meubles stratifiés (alluvions fluviatiles, lacustres, fluvioglaciaires, moraines bordières particulièrement stratifiées, etc ...) indépendamment de leur position stratigraphique.

Il va sans dire que les paramètres hydrogéologiques des composants de cet ensemble sont extrêmement dépendants de la nature des terrains et en particulier de leur granulométrie éminemment variable.

Cet ensemble étant décrit en détail dans la suite du travail, nous nous bornerons ici à quelques remarques essentielles.

En premier lieu, il se caractérise par une compaction des terrains généralement faible puisque la plupart d'entre eux n'ont pas été recouverts de glace. Il en résulte une porosité élevée. La granulométrie est échelonnée des limons argileux jusqu'aux graviers à blocs.

L'ordre de grandeur des paramètres hydrogéologiques et géophysiques pour quelques terrains typiques est donné au tableau 7.

TABLEAU 7 : Valeurs usuelles des facteurs hydrogéologiques des terrains quaternaires

Classe hydro-géol.	terrain	porosité %	perméabilité (in situ) m/s	résistivité électrique (sol saturé) Ωm	vitesse sismique (sol saturé) m/s
Quaternaire stratifié	Gravier sableux	15 - 25	$5 \cdot 10^{-3}$ - $5 \cdot 10^{-4}$	150 - 300	1800 - 2500
	Sable moyen lég. grav. et limoneux	25 - 35	$5 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-5}$	80 - 150	1400 - 1800
	Sable fin limoneux	30 - 45	$1 \cdot 10^{-5}$ - $5 \cdot 10^{-6}$	40 - 80	1200 - 1600
	Limon argileux	40 - 55	$< 1 \cdot 10^{-5}$	25 - 40	600 - 1200
Quat. non strat.	Moraine de fond	20 - 30	$< 1 \cdot 10^{-5}$	50 - 120	1800 - 2500

La granulométrie et la perméabilité des terrains quaternaires stratifiés sont cartographiées d'une manière complète sur la carte hydrogéologique.

C'est aux terrains de cette classe que l'on doit sans conteste la majorité des ressources en eau actuelles et futures du bassin.

b) TERRAINS QUATERNAIRES NON STRATIFIES (symbole *M/* du registre)

Cet ensemble est constitué essentiellement de moraines de type sous-glaciaire ou moraines de fond. Ce sont des dépôts à granulométrie très étendue, souvent de type limon sablo-graveleux et argileux. Leur degré de compaction est très élevé par la surconsolidation due au poids de l'ancien glacier (env. 60 kg/cm^2). Il en résulte une imperméabilité quasi totale. Les caractéristiques générales de ces terrains figurent au Tableau 7.

Localement, à l'intérieur de la masse, on note la présence de poches de matériel morainique remanié, plus ou moins stratifié et lavé. La perméabilité peut même devenir excellente à certains endroits. Malheureusement, les nappes qui occupent ces anomalies sont la plupart du temps cloisonnées et leur débit d'alimentation fort limité. Quoi qu'il en soit, de nombreuses petites sources du territoire ont une telle origine. Leur répartition à l'intérieur de la masse morainique est pratiquement aléatoire, ce qui rend difficile une prospection sans indice extérieur d'émergence d'eau.

A ces moraines de fond sont associées les diverses moraines périglaciaires lorsqu'elles ne montrent pas l'indice d'un fort remaniement. Lorsque leur composition paraît tout de même plus grossière que la normale, elles sont décrites sur la carte comme moraines caillouteuses.

En réalité, tous les termes de passage existent et l'attribution d'un terrain à une classe ou à une autre peut être arbitraire dans certains cas limites.

DESCRIPTION HYDROGEOLOGIQUE DETAILLEE

Dans le chapitre consacré aux moyens de représentation des résultats (p. 66), nous avons défini les principes de la description hydrologique de détail. Rappelons que nous traitons le sujet région par région, en cheminant dans le sens d'écoulement de la rivière. A l'intérieur de chaque région, les formations hydrogéologiques sont examinées en partant du substratum rocheux suivi de la moraine pour terminer par les dépôts quaternaires stratifiés.

Le choix du découpage des régions est établi selon des critères de continuité morphologique et hydrogéologique.

Tronçon Les Alpettes - Palézieux-Gare

Pour des raisons pratiques et à cause de la faible occurrence de terrains quaternaires alluviaux, nous n'avons pas intégré cette première région dans la carte hydrogéologique. Nous la représentons en revanche au moyen d'une carte schématique qui situe la position des ensembles hydrogéologiques (fig. 21).¹

La Broye prend naissance par une multitude de petites sources qui sortent des fissures du flysch; ces fissures sont elles-mêmes mises à jour par les deux agents principaux qui modèlent le relief du Niremout et des Alpettes : les glissements de terrain et l'érosion torrentielle. Ces massifs étant soumis à une forte pluviométrie, le débit global des émergences est élevé. Toutefois, les volumes d'emménagement de ces aquifères sont faibles (voir p. 86), les circulations fissurales rapides, ce qui entraîne un régime d'écoulement très variable et des eaux qui sont relativement mal filtrées.

¹ Voir également la feuille 1244 de l'atlas topographique au 1:25'000^e

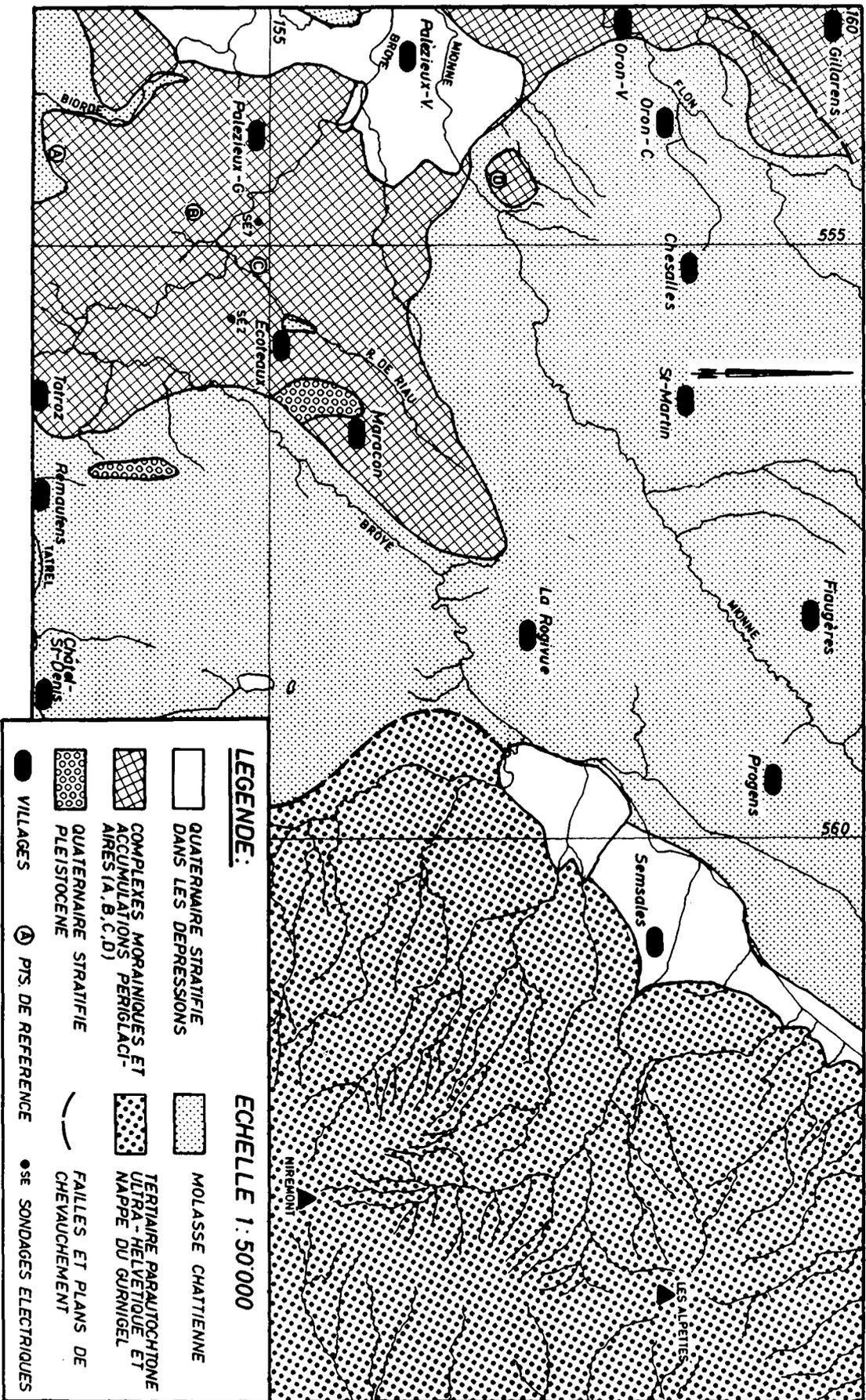


Figure 21 : Carte géologique schématique de la partie supérieure du bassin.

Ces ressources en eau de la partie la plus élevée du bassin sont utilisées par bon nombre de communes du pied du versant, de Semsales à Maracon. Le potentiel en eau souterraine de ces reliefs est toutefois loin d'être utilisé dans sa totalité. Ce désintérêt est dû en partie au prix élevé que l'on doit consacrer aux longues et nombreuses conduites drainantes et aux canalisations nécessaires au captage de ces sources dispersées sur le terrain. Il subsiste en plus le risque permanent de destruction de ces collecteurs par des mouvements de terrain.

Au pied des reliefs schisto-gréseux du flysch, la Broye traverse une première étendue de matériel quaternaire entre Semsales et La Rogivue. Cette zone d'épandage, probablement peu épaisse, est constituée de sédiments fins (sables-limons-argiles) qui représentent peu d'intérêt économique en tant que nappe souterraine.

Plus en aval, la Broye pénètre à l'intérieur d'une série de crêtes rocheuses, formées de molasse subalpine et orientées selon la direction de l'horizontale du pendage. Elle y crée une entaille profonde au-dessous de Maracon. Plus au nord, la Mionne, son affluent, longe les mêmes directions rocheuses.

Cette région possède une couverture morainique de faible épaisseur et son hydrogéologie est surtout liée à la molasse altérée et fissurée. On y trouve donc une quantité de petites sources de faible importance.

A l'ouest de la ligne Maracon - Tatroz, la couverture quaternaire prend une grande importance. Si on note quelques dépôts graveleux, reliques d'un ancien delta recouvert de moraine (W de Maracon), on observe surtout une profonde dépression remplie de moraine de fond sur laquelle se sont déposées de spectaculaires crêtes morainiques (p. ex. Franet Sorémont). Ce remplissage se révèle particulièrement imperméable, tant à l'affleurement dans la Broye que par sondages électriques, avec parfois quelques anomalies sablo-graveleuses (voir p. 95). La cote approximative du fond rocheux déterminée par sondages géophysiques (fig. 21) se situe vers

640 m soit à 65 m sous le cours de la Broye (SE 2, Franex) et 650 m plus en aval (SE 7, Fochau).

Les précipitations se répartissent principalement entre un fort ruissellement de surface et un écoulement hypodermique donnant naissance à des sources souvent temporaires et superficielles. Ce complexe morainique se prolonge jusqu'au débouché de la Broye dans la première zone alluviale importante, la région de Palézieux.

Tronçon Palézieux - Oron

Références : - Carte de base I B
- Registre (p. 1 à 4)
- Carte hydrogéologique I H
- Profil
- Cartes des résistivités électriques

Cette première dépression à remplissage alluvial notable est orientée S-N. Large en moyenne de 1,5 km, elle s'étend sur 4 km dans le sens de la longueur. Elle est limitée à l'est par les accumulations morainiques épaisses citées au chapitre précédent. Au sud, elle est reliée directement à la dépression d'Attalens en franchissant une barre de moraine à blocs et de poudingues de la base du Mt. Pélerin. A l'ouest la plaine alluviale entre en contact avec le talus régulier des Thioleyres façonné dans la molasse subalpine à charbon. Au nord, les alluvions se terminent en pointe près d'Oron contre une moraine frontale qui vient s'appuyer sur le versant molassique oriental.

A l'intérieur de ce cadre confluent plusieurs rivières importantes de cette vallée supérieure : la Broye qui débouche du SE en quittant ses moraines, la Mionne avec son grand bassin versant molassique au NE, la Biorde qui amène du sud les eaux du versant oriental du Mt. Pélerin et enfin le Corbéron du SSW qui draine les eaux de l'autre versant. Il s'agit ici de la première zone de confluence majeure de ce bassin, ce qui explique la présence d'importantes alluvions en cet endroit.

LA MOLASSE

Tectoniquement, la vallée se divise en deux écailles de molasse à charbon séparées par une lame qui doit se rattacher probablement à des strates de type "molasse rouge". Ces séries, très anisotropes, faites essentiellement d'une alternance de petits bancs de grès et de marnes, sont inclinées assez régulièrement de 20 à 60° vers 160°. Dans les séries à charbon, on rencontre en outre des niveaux de calcaires lacustres de quelques centimètres, voire quelques décimètres, associés ou non à des couches de charbon. Les propriétés hydrogéologiques générales de ces molasses ont été décrites au chapitre précédent (p.87).

La région considérée ici ne présente pas de source d'origine purement molassique de capacité importante. Par contre, le versant molassique Les Thioleyres - Les Tavernes et celui au SE d'Oron, sont couverts d'une quantité de captages à débit limité (carte I B).

LA MORAINES

La région de Palézieux est abondamment couverte de moraine dans la continuité de la dépression Tatroz - Palézieux-Gare. Il s'agit en majeure partie de moraine de fond rhodanienne argilo-limoneuse avec d'énormes blocs (jusqu'à $\emptyset > 5$ m) dont une forte proportion de poudingues du Mt. Pélerin.

Cette moraine de fond, très peu épaisse sur le versant ouest, peut en revanche atteindre plusieurs dizaines de mètres sur la bordure SE, entre la Mionne et le Corbéron. On l'observe d'abord dans les coupes naturelles de la Broye en amont de l'Ochette, ainsi que dans celui de la Biorde avant son cône de déjection.

On la traverse ensuite par forage, en particulier lors de la reconnaissance géotechnique de l'usine Albiswerk (553-154-1 et 155-4 à 10) où elle se montre légèrement aquifère. Son épaisseur varie ici de 4 à plus de 15 m. Une fouille récente faite en Morau a mis à jour une moraine à nombreuses discontinuités stratifiées sablo-graveleuses desquelles sort une source au débit soutenu.

Les dépôts glaciaires latéraux jouent un rôle géomorphologique important. Ils contribuent, avec les cônes et les terrasses d'alluvions, à la compréhension géologique du retrait glaciaire, phénomène prédominant dans la répartition spatiale des réservoirs d'eau souterraine.

Les deux éléments principaux de ce type dans la région de Palézieux sont d'une part la longue moraine latérale qui s'étend à la limite orientale de la carte, de Verdun (554,6 - 153,4) à les Bois (555 - 156,3), recoupée par la Broye et le ruisseau de Condémine.

D'autre part, cette première région est limitée au nord par la moraine frontale de la Ruerette. Cette longue croupe SSW-NNE est entaillée également par la Broye sans que celle-ci n'atteigne le soubassement molassique.

Il existe encore une petite crête morainique perchée sur le versant des Thioleyres (La Marientse) fortement déformée par les glissements qui affectent la molasse sur laquelle elle repose. Le rôle hydrogéologique direct de ces crêtes n'est que de peu d'importance. Par contre, leur présence va guider la répartition des alluvions dans ce carrefour hydrographique.

LES ALLUVIONS

On rencontre les premières accumulations au débouché des vallées principales dans la dépression. Toutes ont leur niveau de base au voisinage de la cote 700 m, cote fondamentale dans l'histoire glaciaire de la vallée de la Haute-Broye. Ces

dépôts, pour la plupart des formations périglaciaires, se trouvent légèrement en dehors de la carte hydrogéologique jointe à ce travail. Ils sont en revanche représentés à la figure 21. Citons les zones d'épandage de la Mésaleire (Pt A : 554,2 - 153,2 : ancienne Biorde), de Praz Chermin (Pt B : 554,7 - 154,4 : ancienne Broye), de Fochau (Pt C : 555,2 - 154,9 et 554,4 - 154,7 : ancien ruisseau de "le Riau"), du Bois de l'Erberey (Pt D : 554,5 - 156,9 : ancienne Mionne).

Ces amas souvent peu épais, constitués de matériel mal trié, sont abondamment drainés en raison de leur position perchée. Les nappes qu'ils contiennent sont donc minces. Elles donnent naissance à de petites sources d'affleurement au pied de ces accumulations lorsque les sédiments aquifères sont biseautés sur la moraine ou sur la molasse.

A la suite de cet épisode de sédimentation, le niveau des eaux s'est abaissé par saccades jusqu'au niveau principal de 640 m. On observe les témoins de cette transition en premier lieu dans l'empilement des cônes du ruisseau de Condémine (554,5 - 156). On y distingue en effet au moins cinq cônes encastrés, de nature essentiellement sableuse légèrement graveleuse, posés sur la moraine. Ils contiennent une nappe certainement peu épaisse qui affleure au pied du versant par quelques petites sources (carte I B). Pour ces raisons, ils n'ont pas été cartographiés comme terrains aquifères (voir p.84).

L'abaissement du niveau de base s'observe d'autre part dans les cônes de déjection perchés de la Mionne, au-dessous de l'Institut de Sérix. En particulier, le cône supérieur qui culmine à 665 m, a révélé lors de la construction du nouveau bâtiment une stratification très oblique de type deltaïque, dans de magnifiques graviers sableux propres (valeurs de ρ carte trainé, annexe IIIA). Malheureusement, ces sédiments ne sont probablement que très partiellement aquifères.

A la cote 640, les zones d'épandage fluvioglaciaires cèdent le pas à un important delta lacustre qui a dû occuper peu à peu toute la dépression glaciaire de Palézieux. A cette époque, la moraine frontale de la Ruerette faisait encore barrage aux eaux de fusion et de ruissellement, la percée de Rueyre ne s'étant que partiellement ou pas réalisée. De Pré de Sales à la Maladaire, cette eau s'est accumulée derrière ce barrage formant ainsi un lac qui devait probablement contenir encore quelques lambeaux de glace morte. C'est précisément à cet endroit, point de raccord entre la moraine frontale et le versant molassique, que s'est formé un chenal de débordement qui réglait le niveau des eaux à la cote 640 (voir p.109).

Ce débouché lacustre des vallées a donné d'abord naissance à des deltas indépendants qui se sont ensuite rejoints et qui ont rempli toute la dépression jusqu'au moment où l'ouverture de la brèche de Rueyre a permis un nouvel abaissement des eaux. L'érosion qui en a résulté a fait passer cette plaine régulière à l'état de terrasses telles qu'on les observe aujourd'hui. Ces accumulations deltaïques représentent la seule roche-réservoir importante de la région. Les observations géologiques et géophysiques montrent que leur matériel n'est pas homogène. On trouve en effet des terrains grossiers graveleux près des embouchures alors que les particules fines se sont décantées plus en avant (voir carte trainé, annexe III A). Plus précisément, deux grands amas graveleux se sont formés au débouché de la Broye et de la Mionne. Tout comme aujourd'hui, les crues dans le réseau hydrographique de l'époque devaient être accompagnées de fréquentes coulées de boue et de glissements de versants, ce qui fait que les graviers sont généralement mal triés, très hétérométriques et mélangés à une matrice assez fine, les rendant moyennement à faiblement perméables (carte IH, profil A). Leur épaisseur ne doit pas excéder une dizaine de mètres. Ils

sont le siège d'une nappe de 5 à 6 m d'épaisseur dans la partie N où l'érosion récente ne les a pas trop entaillés.

C'est dans cette zone qu'a été construit le puits de l'Institut Sérrix (553-156-1, registre p.3). Le captage déjà ancien traverse une série graveleuse à matrice sablo-limoneuse abondante pour se terminer dans un lit de sables fins posés sur un amas argilo-graveleux considéré comme de la moraine (cette attribution n'est pas certaine quand on connaît l'allure des dépôts résultant de fortes crues accompagnées de coulées de boue). Les données hydrauliques relatives au puits et à ses environs font totalement défaut. Il semble que l'on puisse compter sur un débit permanent d'une cinquantaine de l/mn.

Bien qu'on ne possède aucune mesure de sa piézométrie, on peut penser que cette nappe est alimentée, en plus des précipitations sur le delta, par une infiltration des écoulements du versant molassique dans le sommet des cônes de déjection. Le rôle joué par la Mionne reste totalement inconnu.

A part un sondage (553-156-2) hydrogéologiquement défavorable, on ne rencontre aucune autre possibilité d'observation directe dans cette partie du delta.

Sur l'ouest du delta, deux forages (562-156-1 + 2) ont traversé l'aquifère gravelo-limoneux épais de quelques mètres, avant de perforer la moraine de fond, puis la molasse à une douzaine de mètres. Il faut noter à ce propos qu'un récent sondage au rotary (Weidmann 78, communication orale) a fourni les indices peu sûrs d'un important surcreusement en amont du seuil de Rueyre (553,07 - 156,00). Une épaisseur de Quaternaire glaciaire supérieure à 40 m aurait été décelée. Ce résultat paraît être en accord avec notre sondage électrique 553-156-3.

Les données géophysiques (carte de trainé, annexe III A) montrent une diminution régulière de la perméabilité de l'amont vers l'aval du delta dans une nappe aquifère alluvionnaire ne dépassant pas une dizaine de mètres.

Contrairement au delta de la Mionne, celui de la Broye a été profondément entaillé par la rivière qui laisse actuellement des terrasses faites d'alluvions au sommet et de moraine ou de molasse à la base (profil A). C'est la coupe observée au captage de l'Ochette (553-155-1) où la nappe se déverse au pied de la terrasse entaillée jusqu'à la moraine de fond par un méandre récent de la Broye. La nappe des alluvions semble moyennement perméable mais peu épaisse. Le captage communal est affecté par de fortes variations de débit. L'infiltration des précipitations sur la terrasse de Longeraie est certainement la seule alimentation de cette nappe.

La continuité de cette terrasse vers l'ouest montre même une disparition quasi-totale de la nappe souterraine dans une langue sablo-graveleuse tronquée par la Broye d'un côté, par la Biorde de l'autre.

En s'éloignant de l'embouchure de la Broye vers le sud, on voit les résistivités électriques des alluvions s'abaisser graduellement (annexe IIIA). Ceci traduit clairement la diminution de la granulométrie de ces sédiments qui aboutissent à un dépôt lacustre limono-sablo-argileux surmonté de limons sableux palustres à Unio, Planorbis et Limnea. Ces terrains à particules fines contiennent une nappe très peu perméable qui n'a été reconnue que par géophysique. Bien que l'interprétation des résultats soit délicate, il semble que l'aquifère ne soit épais que de 5 à 10 m. Le plancher de la nappe paraît être surtout de nature morainique.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

Depuis quelques années, la difficulté de trouver de nouvelles ressources en eau a poussé les communes de cette contrée à se raccorder au réseau de Bret (eau de surface, commune de Lausanne). Cette option rend de nouvelles recherches d'eau souterraine peu probables.

Mis à part l'élément d'économie hydraulique régionale, seule la zone sommitale du delta de la Mionne mériterait d'être prospectée dans le but de rencontrer la base aquifère des graviers propres du cône supérieur avec éventuellement une réalimentation naturelle par la rivière.

Tronçon Oron-la-Ville - Gillarens

Références

- Carte de base IB
- Registre (p. 3 à 5)
- Carte IH
- Profil B
- Cartes des résistivités électriques

De même que dans le tronçon que nous venons de voir, la morphologie de cette portion de rive droite est le reflet de l'abaissement progressif des eaux postglaciaires au débouché d'une vallée latérale importante : celle du Flon d'Oron.

La structure générale de cette rive est constituée d'un versant régulier molassique recouvert d'une couche assez épaisse de moraine. La partie supérieure de ce talus est surmontée d'accumulations alluviales fluvio-glaciaires qui se trouvent tronquées à leur base par un chenal rectiligne parallèle à la vallée principale.

LA MOLASSE

Bien qu'elle ne soit pas visible directement, la faille principale juxtaposant la molasse subalpine à celle du Plateau traverse obliquement cette zone (voir carte 1H). Elle met en contact deux unités :

1) Au SE, la molasse à charbon d'Oron. Celle-ci est sub-affleurante dans la partie amont de l'ancien chenal d'Oron où elle constitue le niveau de base des sources de sa rive droite (profil B)

2) Au NW, la demi-boutonnière aquitanienne (Molasse Plateau) avec pendage type subalpin $\sim 150/30$. Dans le secteur particulier du chenal d'Oron, elle est abondamment recouverte de moraine et ne doit jouer aucun rôle hydrogéologique majeur.

LA MORAINES

Le versant dans son entier, du Flon au Moulin de Copet, est recouvert par une moraine dont l'épaisseur peut atteindre une dizaine de mètres. C'est elle qui est probablement à l'origine des sources des Bures. Toutefois, avec la molasse, elle joue surtout le rôle de niveau de base des aquifères alluviaux.

LES ALLUVIONS

Les restes des zones d'épandage les plus élevées se rencontrent, comme dans la région de la confluence Broye - Mionne - Biorde, à une altitude d'environ 700 m. En effet, sur la rive droite du Flon, le plateau à l'est de Sur le Mont est formé par les reliques d'un premier cône fluvio-glaciaire, siège d'une nappe de faible capacité qui donne naissance à deux sources captées (voir carte 1B).

Au-dessous, des terrasses de sédiments sablo-graveleux fluvioglaciaires correspondent à un niveau de base de 665 m au sud qui descend progressivement à 655 au nord. Mieux conservés, ces dépôts latéraux du glacier sont encore observables dans une ancienne gravière surmontant les sources de la Longivue (552-159-1). Ces dernières, avec leur débit relativement important, représentent la vidange principale d'un aquifère latéral peu épais - quelques mètres - à la base du fluvioglaciaire. Sa perméabilité est généralement faible sauf au droit des sources où elle doit augmenter.

Un abaissement ultérieur du niveau de base a engendré un nouvel élément géomorphologique important. Alors qu'à cette époque la sédimentation lacustre était installée dans la dépression fermée par la moraine de Ruerette, un sillon de débordement SSE-NNW a été creusé dans le flanc rive droite de la vallée, appuyé à l'W contre des dépôts de moraine ou de glace morte. Cette dernière devait occuper encore la vallée jusqu'à une cote légèrement supérieure à 600 m. Le chenal a érodé la base des terrasses fluvioglaciaires, puis la moraine et enfin la molasse jusqu'à une cote pouvant atteindre une dizaine de mètres sous le niveau actuel.

Le léger relèvement du niveau de base, dû probablement à la formation du cône de Gillarens, a entraîné alors l'alluvionnement partiel du chenal tel qu'on peut l'observer maintenant. Le Flon lui-même devait s'écouler dans cette rigole jusqu'au moment où une violente crue a dû emporter un fragment de la rive gauche devenue fragile après la disparition des glaces. Parallèlement à ce bouleversement hydrographique, l'abaissement du niveau des eaux dans la dépression de Palézieux par l'ouverture de la brèche de Rueyre (voir p. 104) a tari également la partie supérieure de l'ancien sillon d'Oron.

C'est aux derniers événements de cette histoire géologique compliquée qu'on doit la présence des alluvions remplissant le fond du chenal et par conséquent celle d'une nappe souterraine. Aucune donnée directe n'existe à son sujet. Les différentes mesures géophysiques indiquent un aquifère sablo-limoneux et graveleux, de perméabilité faible à moyenne, dont l'épaisseur passe de quelques mètres à une dizaine de mètres en amont des sources de Longivue. L'alimentation de cette nappe doit être liée à la vidange souterraine des eaux des terrasses latérales.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

Une prospection par sondages mécaniques permettrait de préciser la valeur exacte des ressources en eau des alluvions du fond du chenal.

Tronçon Châtillens - Auboranges

Références : - Carte IB
- Registre (p. 3 à 5)
- Carte IH
- Profil B
- Cartes des résistivités électriques.

Parallèlement à la nappe marginale de l'ancien chenal d'Oron et séparée d'elle par un talus morainique régulier, s'étend une nouvelle zone d'alluvions déposées par la Broye actuelle. Cette plaine prend naissance au débouché du cours molassique épigénétique de la Broye reliant Palézieux à Châtillens. Les dépôts alluviaux se terminent au nord contre un seuil molassique en amont du Moulin de Copet. La bordure occidentale est constituée d'une pente molassique recouverte d'une épaisseur assez limitée de moraine et de glissements de terrain peu épais.

LA MOLASSE

Comme dans le tronçon précédent, des alluvions recouvrent la faille subalpine principale. Dans ce cas, la majeure partie du substratum est composée de molasse aquitanienne à pendage type subalpin. Cette molasse fissurée est à l'origine de la majorité des nombreuses sources jalonnant le coteau d'Auboranges. Le captage principal est celui du Café d'Auboranges où une galerie profonde recueille un débit régulier de quelques dizaines de l/mn (551,47-159,09).

LA MORAINNE

A part les quelques sources du coteau des Bures citées au chapitre précédent, la moraine ne doit guère jouer de rôle dans cette zone sauf celui de plancher imperméable, rôle qu'elle partage avec la molasse et les formations lacustres argilo-limoneuses.

LES ALLUVIONS

A la suite du retrait des glaces du fond de la vallée, le seuil molassique joint à la moraine des Râpes a dû créer un lac à l'emplacement du surcreusement glaciaire des Planches des Bures.

On ne trouve que quelques lambeaux d'alluvions à la cote 605 (terrasse 552 - 159,5). En revanche, les sédiments du fond de la vallée forment une plaine continue dont le niveau passe de 602 à 597 m du sud au nord. Dans la partie amont, trois rivières débouchent dans cette dépression : à l'est, le Flon; au sud, la Broye et au SW le Grenet. Ces cours d'eau, à forte capacité d'érosion lors des crues, ont amené des eaux lourdement chargées de matériaux à granulométrie étendue. Aux embouchures dans le lac, un grand delta s'est formé, dont la composition

gravelo-limoneuse a été confirmée par le sondage 552 - 157 - 2. Leur épaisseur ne dépasse pas ici une douzaine de mètres sur un mince coussin morainique qui recouvre la molasse. La forte teneur en particules fines emballant ces graviers rend la nappe qui les imprègne faiblement perméable. Son épaisseur ne dépasse pas une dizaine de mètres.

Sur le devant du delta, une forte sédimentation sablo-limoneuse lacustre, finement stratifiée, a remblayé une partie importante de la dépression. Peu à peu, le delta a progressé vers l'aval provoquant ainsi l'apparition de niveaux gravelo-sableux au sommet de la série des limons et sables fins. Ces horizons sont aquifères, semi-captifs sous des dépôts de sables moyens et fins également saturés. Ils sont présents jusque dans la zone du puits des Bures (552-158-1) où ils sont exploités. Plus en aval encore, ils s'amincissent comme le montre le sondage 552-158-2. Le dernier dépôt alluvial, épais de quelques mètres, est essentiellement graveleux. L'abaissement de 2 à 3 m du niveau de base de la rivière, résultant de l'érosion progressive du seuil molassique, restreint l'épaisseur aquifère de ce dernier sédiment à 0 ou 1 m selon l'endroit et la saison. C'est probablement cet aquifère supérieur qu'utilise le puits 552-157-1.

Le captage principal est le puits filtrant des Bures (552-158-1, Registre p. 4). Cet ouvrage ancien a été implanté avec difficulté après un puits d'essai peu favorable, légèrement en aval du puits actuel. Il exploite principalement un niveau graveleux de 6 à 8 m sous la surface, limité vers le haut par un sable fin limoneux semi-perméable (Profil B). Il ne semble pas qu'il recueille d'eau de l'aquifère supérieur ou, éventuellement, uniquement au temps des hautes eaux. De toute manière, l'aquifère semi-captif doit être en communication hydraulique avec la rivière puisque les variations de cette dernière sont transmises à la nappe avec un décalage de quelques heures.

Le calcul hydraulique de la nappe au voisinage du puits est difficilement réalisable pour différentes raisons :

- Absence de diagramme d'essai de pompage. On ne retrouve en effet que quelques données numériques tirées d'un rapport
- Absence d'observations piézométriques
- Nappe semi-captive.

Au vu de ces difficultés, nous avons tenté d'estimer l'ordre de grandeur d'une perméabilité moyenne des terrains perméables et semi-perméables situés au-dessus du plancher argilo-limoneux de la nappe par application de la formule de Dupuit pour nappe libre : $K \approx 3,5 \times 10^{-4}$ m/s (voir registre).

Si les ressources en eau de ce puits se situaient à 450 l/mn lors de la construction, une exploitation longue et intensive a légèrement compromis son rendement (ensablage et entuffage) de telle sorte qu'aujourd'hui son débit permanent n'atteint plus que 300 l/mn environ.

La composition chimique de cette eau est normale pour ce genre d'aquifère. Notamment, elle accuse une dureté totale d'une trentaine de DF (voir analyse registre).

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

On ne peut guère espérer découvrir de nouvelles ressources en eau en aval du puits des Bures, sauf peut-être dans la partie tout à fait septentrionale de la nappe (voir géophysique, en particulier traîné et SE 551-159-2).

Son extrémité sud pourrait faire l'objet d'un captage par puits dont le rendement avoisinerait la centaine de l/mn. Toutefois, la forte densité d'habitation rendrait

la protection d'un captage assez complexe.

Seule la zone du puits actuel et celle légèrement en amont permettrait une extension des ressources souterraines par la création d'un puits moderne, par exemple un puits à drains horizontaux, particulièrement adapté au captage d'aquifères peu épais. Cet ouvrage pourrait en outre favoriser une réalimentation induite par la rivière.

Il faut noter cependant que les options actuelles d'économie hydraulique choisies par les communes et l'Etat sont tournées vers une alimentation d'eau de surface par extension du réseau de Lausanne.

Tronçon Moulin de Copet - Bressonnaz

Références : - Carte de base I + IIB
- Registre (p. 5 à 7)
- Carte hydrogéologique I + IIH
- Profil C
- Cartes des résistivités électriques

Cette région est le site d'une bonne partie des nappes souterraines de la Haute-Broye. Comme dans le territoire situé plus à l'amont de la vallée, leurs eaux sont logées dans les terrains quaternaires alluviaux qui résultent du comblement d'un lac en amont d'un seuil glaciaire. Cette barrière à l'écoulement des eaux prend cette fois des dimensions beaucoup plus impressionnantes puisqu'elle est moulée dans la grande croupe de molasse marine qui affleure de Chavannes/Moudon à Vuarmarens. La vallée est bordée à l'ouest par le long talus escarpé dominant Ecu-blens, et de l'autre côté par le coteau portant les villages de Promasens, Rue et Vuarmarens.

LA MOLASSE

La demi-boutonnaire aquitanaise, tronquée au sud par la faille principale d'Oron, forme le sous-sol du fond de la vallée et du pied des versants. Bien que faisant partie du compartiment dit "molasse tabulaire", sa tectonique n'en est pas tranquille pour autant. On peut observer en effet un grand nombre de discontinuités (failles, plis et variations de pendage). Leur analyse permet d'en dégager deux grands panneaux de molasse aquitanaise séparés par une faille importante.

Le premier, au sud, de pendage de type subalpin, n'est que la suite du soubassement décrit précédemment. Son extension se limite vers le nord par un grand accident transversal dont les effets sont marqués dans la molasse qui affleure en aval du Moulin de Copet. Un spectaculaire crochet de faille indique un mécanisme de chevauchement du panneau sud sur celui du nord, mouvement analogue à l'accident principal d'Oron mais de moins grande amplitude.

La majeure partie du tronçon de vallée décrit dans ce chapitre est taillée dans le compartiment nord, lui également disloqué. Son pendage général NNW varie passablement dans le détail. De plus, à l'W, l'Aquitainien bute contre la grande faille du Parimbot, faille en "touches de piano", dont les rejets semblent diminuer vers le NE. On peut tout de même en suivre le prolongement d'abord dans le ruisseau de Verna puis, plus loin, dans l'encoche Les Egras entre Vauderens et Ursy (voir feuille Romont 1/25'000^e). Cet escarpement molassique est affecté par un jeu de failles secondaires qui ont été confirmées par les récents travaux d'agrandissement des caves à fromage d'Ursy. Plus au NE encore, cette cassure chemine parallèlement à la vallée de la Glâne vers Villaranon.

Dans la région d'Ecublens, au voisinage et au NW de cette faille, les pendages s'orientent vers le NW avec des inclinaisons variant de 5 à 25°.

Plus au SE, les couches prennent assez brusquement des pendages vers le nord avec des inclinaisons du même ordre de grandeur.

A l'extrémité septentrionale de cette fenêtre, l'Aquitainien disparaît sous d'épaisses assises burdigaliennes et ne forme plus que la base de l'éperon rocheux du bourg de Rue.

La majeure partie des gorges de la Broye est entaillée dans la molasse marine. Sa composition essentiellement gréseuse montre toutefois une anomalie marneuse dans la partie inférieure du cours : entre Bressonnaz et Brivaux, des marnes beiges apparaissent dans le lit de la rivière. Plus en amont, elles passent latéralement à une étonnante marne rose et violette affleurant dans la cascade du ruisseau de Villardin à la cote 590 m. Au niveau de cette discontinuité apparaissent de nombreuses venues d'eau.

Une bonne part des sources qui émergent sur le flanc gauche de la dépression d'Ecublens jalonnent le contact stratigraphique molasse marine/molasse lacustre (source type S, fig. 20). Les sources captées du village d'Ecublens ont certainement cette origine. Elles n'ont malheureusement pas pu être examinées en détail, la commune ayant refusé notre visite.

De l'autre côté, le groupe des sources du versant occidental de la colline de Rue est probablement d'origine purement burdigalienne. Elles doivent appartenir aux types A1, A2 et A3 (fig. 20). Enfin, plusieurs autres émergences captées dans la molasse ne sont autres que des points de vidange d'aquifères quaternaires (source type QP, fig. 20).

LA MORAINNE

Ce matériel glaciaire occupe surtout la rive droite de la vallée. Il y forme de grands amas allongés environ S-N dont une partie doit représenter les restes d'anciennes moraines latérales. Leur constitution est en général argilo-limoneuse avec d'énormes blocs dont bon nombre proviennent du Mt. Pélerin. Ces allongements nous mènent du sud au nord par les collines de En Faye, La Crêta, Pra-Novi, à la zone frontale complexe Montet-Champmartin.

L'autre versant est jalonné également par un cordon morainique discontinu, perché sur le sommet du grand talus molassique Ecublens - Villangeaux.

L'épaisseur de ce dépôt glaciaire est en général de quelques mètres, sauf sous les crêtes de Le Signal et Pt776 où elle doit dépasser une dizaine de mètres. A l'extrémité nord de cet alignement, avant l'intersection avec les gorges de la Broye, on décèle par méthodes géophysiques une couverture morainique de 5 à 10 m sur la colline de Pierravau. En face, de l'autre côté des gorges, on retrouve la partie ouest de la moraine frontale du Montet.

Cette dernière, divisée en 3 ou 4 parties par l'érosion torrentielle périglaciaire, occupe le fond d'une dépression au pied du grand seuil molassique de Chavannes-Vuarmarens. Leur composition semble assez graveleuse tant à l'affleurement que par géophysique, ce qui indique un certain lavage du dépôt. Cette barrière frontale témoigne d'un stade de séjour tardif du glacier derrière le seuil de Chavannes, à une cote d'environ 630 m.

Par leur situation morphologique actuelle, ces reliefs morainiques ne sauraient contenir des réserves importantes d'eau souterraine. Il en va de même pour les moraines latérales vues précédemment. On trouve en effet à leur base un très grand nombre de petites sources dont le débit moyen est la plupart du temps inférieur à 10 l/mn.

Plus au nord encore, on peut suivre d'autres alignements morainiques à une altitude supérieure, dont l'origine est plus ancienne.

Quant à la moraine occupant le fond de la vallée glaciaire de la Haute-Broye, elle ne paraît exister que par endroits, les sédiments alluviaux étant souvent en contact direct avec la molasse. Sa présence entraîne un relèvement de quelques mètres du niveau de base des eaux souterraines alluviales.

LES ALLUVIONS

Les zones d'alluvionnement fossiles, dont on trouve les restes aujourd'hui, s'étagent depuis des altitudes élevées pour les anciennes, jusqu'au fond de la vallée actuelle pour les plus récentes.

Tout d'abord, la morphologie est marquée par la présence d'un haut-plateau molassique dominant Ursy et Vauderens (voir carte topographique au 1/25'000, feuille Moudon). Son altitude passe de 860 m au SE (Le Meytan) à 825 m au NW (Vers le Signal). Cet ensemble représente probablement une relique d'un ancien niveau d'érosion dont l'époque reste indéterminée.

Au-dessous de ces replats perchés, on observe d'anciennes vallées de débordement dans le fond des deux grands lobes glaciaires de Vuarmarens et de Chavannes (PARRIAUX 1976 + 1978b). Ces anciens chenaux montrent une baisse progressive du niveau de base qui passe de 770m à 700 m sous le village de Chavannes. Ce dernier exutoire est à mettre en relation avec les dépôts périglaciaires les plus anciens déposés lors du processus de régression et qui sont proches de ces altitudes. Dans le tronçon cartographié dans cette étude, une seule terrasse tapissant la grande combe de Vuarmarens témoigne de cette étape du retrait des glaces. Sa cote varie entre 705 et 715 m. Ses sédiments mal triés sont encore très pro-

ches des moraines dont ils proviennent.

Cette accumulation peut être corrélée avec d'autres dépôts perchés sur la rive droite de la vallée (voir feuille topo Moudon 1/25'000). Citons du nord au sud :

- Les Crosats, Ursy (553,5 - 165,3), alt. 700 m
- Les Marais des Sollies (553,5 - 164,4 et 554 - 164,2), alt. 695 - 700 m
- Fin de Buéry, Vauderens (554,35 - 163,3), alt. 702 m
- Blessens (553,9 - 162), alt. 705 m

Leur matériel, de composition intermédiaire entre de la moraine et des alluvions, reste toujours très mal trié.

Cet ensemble morphologique résulte certainement de sédimentations périglaciaires à peu près synchrones.

Au-dessous de cet alignement supérieur en apparaît un autre, moins discontinu, cantonné lui aussi essentiellement sur la rive droite de la vallée. Il s'agit plus précisément d'une ancienne plaine alluviale qui a pris naissance en aval de Promasens, endroit où les eaux périglaciaires s'écartaient de la vallée principale pour déposer leurs alluvions dans la dépression séparant Rue de Blessens. Son altitude descend de 660 m au sud à 650 m vers "Devant la Ville".

Une terrasse sur l'extrémité nord de la rive gauche (551,4 - 165,4, alt. 662) pourrait être rattachée à ce stade glaciaire.

Dans leur ensemble, ces témoins alluviaux anciens sont constitués de matériel mal trié et de mauvaise perméabilité. En outre, ils se trouvent actuellement en position perchée et sont abondamment drainés. Ils ne peuvent donc pas contenir de réserves souterraines importantes.

C'est ensuite vers la cote 600 m qu'on atteint le remplissage alluvial principal du fond de la vallée. Il

s'étend d'une manière continue du Moulin de Copet à la Millière en aval d'Ecublens. Plus au nord, on pénètre à nouveau dans le Tertiaire et la présence d'alluvions est restreinte à deux lambeaux de terrasse perchés sur la rive droite des gorges, à l'altitude d'environ 600 m : La Moille (551,9 - 164,7) et Villardin - La Gotta (551,8 - 166).

Cet horizon alluvionnaire est très probablement la conséquence d'un véritable épisode lacustre général dans la Haute-Broye, à la cote 600 m. Ce lac devait s'étendre du front du glacier stagnant à Champ du Caron, fermé jusqu'au seuil molassique de Champmartin qui n'était pas encore complètement entaillé. On retrouve en aval un segment hydrographique perché (550,7 - 166,5) pouvant avoir appartenu au chenal de débordement de l'époque.

Plus tard, l'érosion régressive de cette ancienne Broye a permis l'entaille du seuil molassique par le creusement des gorges actuelles. Elle a entraîné la vidange de la partie encore non comblée du lac et l'érosion partielle des alluvions. Aujourd'hui encore, bien que la partie aval des gorges ait été alluvionnée dans son fond par un relèvement du niveau de base de la Broye moyenne, l'érosion régressive reste très active dans le tronçon supérieur.

Le complexe alluvionnaire de Moulin de Copet à Ecublens se divise en deux masses principales partiellement séparées par le grand virage de la Broye vers l'est :

- Les alluvions de Champ du Caron
- Le delta du Parimbot au nord.

1) Les alluvions de Champ du Caron

Il s'agit d'une étendue plus ou moins plane située à la confluence de l'ancien chenal de débordement d'Oron et de la Broye, à la sortie du seuil molassique du Moulin de Copet. C'est certainement dans ce fait qu'il

faut rechercher la cause de cette concentration de matériel sablo-graveleux. Il est probable que cette accumulation, dont la cote sommitale est d'environ 600 m, ait repoussé la Broye sur le côté ouest de la vallée où elle a dû creuser un cours épigénétique lors du dernier abaissement des eaux. La bordure occidentale, particulièrement graveleuse, a fait l'objet d'une exploitation de sables et graviers sur une surface de 300 m x 100 m, avec une épaisseur d'environ 3 à 5 m. L'extension de cette exploitation s'est certainement heurtée à un environnement de plus en plus sableux et à une remontée du fond molassique à l'extrémité sud. Elle est abandonnée depuis plusieurs années. A notre connaissance, l'exploitation n'est pas descendue dans la nappe, ce qui semble indiquer que le matériau qui la contient doit être moins graveleux ou moins propre. Toutefois, l'exploitant avait construit un puits filtrant (552-160-1) dans le fond de la gravière, captage qui donnait suffisamment d'eau pour le traitement des graviers. On ne possède aucune information précise au sujet de cet ouvrage aujourd'hui disparu. Les indications données par la géophysique (552-160-4) confirment une perméabilité moyenne des sédiments contenant la nappe. Son épaisseur doit être limitée à quelques mètres.

On observe encore des dépôts graveleux plus au sud dans une petite exploitation abandonnée (552,4 - 160,4). Ici, les graviers sont très grossiers mais mal triés, proches encore des matériaux morainiques dont ils sont issus. L'épaisseur de la nappe semble être là également faible.

Parmi les quelques manifestations hydrogéologiques repérables de la surface, on remarque d'une part une source sur un pointement de molasse affleurant dans le ruisseau des Condémines, d'autre part, un horizon sourcier en bordure de l'entaille de la Broye, qui met la nappe à l'affleurement près de la rivière. Ces sources entretiennent une zone en permanence marécageuse avec d'importants dé-

pôts tuffeux.

A cet endroit, l'érosion de la rivière n'a pas atteint le plancher molassique. Il y a tout lieu de penser qu'un faible écoulement souterrain relie cette portion de nappe et sa prolongation vers le nord.

2) Delta de la Broye et du Parimbot

C'est au Parimbot, affluent de la rive gauche de la Broye, et aux eaux de fonte du glacier principal stagnant peu en amont qu'on doit la majeure partie du remblayage du tronçon septentrional de la plaine. Ces eaux chargées de sédiments ont entraîné la formation d'un grand delta lacustre qui devait occuper entièrement le fond de la vallée et dont le sommet culmine à la cote de 595 m environ. Ce delta a été particulièrement bien conservé entre Ecublens et Verna où la Broye a érodé un cours molassique épigénétique. Il a en revanche partiellement disparu par l'érosion du grand méandre de Vuibroye où seules quelques terrasses témoignent encore de son existence (voir carte II B - H). L'origine deltaïque de cette accumulation est confirmée par de nombreuses stratifications très obliques observées dans la gravière actuelle d'Ecublens.

Cet ancien delta contient une nappe d'eau relativement importante. Ses manifestations extérieures sont une inondation permanente de l'ancien méandre de la Broye au pied du delta, ainsi qu'une source captée au sud de la gravière actuelle.

Le seul véritable captage qui la pénètre est un puits filtrant implanté dans le fond de la gravière (552-162-1) qui exploite l'eau souterraine pour le lavage des matériaux. L'aquifère est à cet endroit sablo-graveleux et d'une dizaine de mètres d'épaisseur. Malheureusement, les caractéristiques hydrauliques manquent totalement. On sait toutefois que les débits sont importants et largement suffisants pour la gravière. La relativement

forte teneur en sable du matériau nous a incité à caractériser ce secteur comme moyennement perméable (carte II H).

En ce qui concerne le chimisme de ces eaux, la dureté totale est voisine de 30 DF avec un rapport dureté temporaire/dureté totale = 0,91.

Les mesures géophysiques (552-162-2-3) montrent une diminution de l'importance des graviers vers l'est et le nord de la gravière, où la nappe doit circuler dans des terrains moins perméables (carte II H).

En outre, la partie du delta érodée par le méandre de la Broye (plaine de Vuibroye) contient également une nappe souterraine sablo-graveleuse très proche de la surface. La géophysique indique une épaisseur de 2 à 4 m de terrain saturé en eau (552-161-1-2), probablement de perméabilité moyenne.

Comme dans les autres régions de la Haute-Broye qui contiennent des terrains aquifères, celle du Moulin de Copet à Ecublens n'offre que peu des moyens d'observation qui seraient nécessaires à sa connaissance hydrogéologique complète. Nous sommes donc contraint de l'approcher sur la base d'indices géologiques et géophysiques forcément peu précis.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

Ce tronçon de la Haute-Broye offre certainement la possibilité d'un développement des ressources des aquifères quaternaires qui ne sont jusqu'ici que partiellement utilisées. Sur la base des maigres connaissances que l'on a de cette zone, on peut les estimer à quelques centaines de l/mn, valeur non négligeable dans l'économie hydraulique de cette région. Ce potentiel pourrait être mis en valeur par une prospection et une exploitation conjuguées des deux aquifères graveleux décrits

plus haut, du second principalement.

Il est nécessaire toutefois de citer deux difficultés provenant de deux domaines tout à fait différents :

1° Domaine de l'économie hydraulique régionale

Comme dans les régions situées au sud de celle-ci, la politique de l'eau suivie jusqu'ici tend vers une extension des grands réseaux, de Lausanne d'une part, de Charmey de l'autre. Ces facteurs mettent un frein manifeste à un développement des ressources autochtones.

2° Domaine de la protection des eaux

Les communes de cette contrée, comme bien d'autres, ont utilisé depuis longtemps les excavations faites par les gravières pour y déposer leurs ordures. Il est évident qu'à cette époque, on ne réalisait pas encore que ces décharges entraîneraient des dommages difficilement réparables à la qualité de futures ressources en eau.

Or, les deux complexes aquifères de ce secteur de vallée ont à subir les conséquences d'une telle situation.

a) Secteur sud (Champ du Caron)

Fort heureusement dans ce cas, les ordures ont été déposées dans la partie aval de la gravière. Un captage quelque peu en amont, en direction SSE, permettrait probablement une exploitation de la nappe sans que le site pollué se trouve à l'intérieur de la zone d'influence du puits.

b) Secteur nord (Ecublens)

La situation est ici plus délicate. En effet, l'ancienne gravière qui exploitait la partie supérieure du delta, en amont des lignes CFF, a été remblayée partiellement par des ordures diverses. Or, bien qu'on n'ait

jamais pu les observer, les lignes de courant souterrain doivent être de direction générale W-E avec à l'aval deux inflexions; l'une vers le SE dans la partie méridionale, l'autre vers le NNE dans le compartiment nord. Ces considérations reposent sur l'hypothèse d'une zone d'alimentation préférentielle au pied du versant molassique d'Ecublens. Il se trouve donc que cet amas de déchets se situe dans la partie radicale de la nappe et qu'il doit disperser ses éléments polluants dans toute l'aile sud de l'aquifère du delta. Il est possible que les récentes pollutions de la source captée dans le méandre, près de la gravière actuelle, soient en relation avec ce processus.

En revanche, une incidence de cet agent polluant dans la partie nord de l'aquifère semble peu probable. A ce jour, l'eau du puits filtrant de la gravière n'a fait l'objet d'aucune analyse suffisante pour détecter une pollution. Après s'être assuré de sa qualité par des analyses systématiques, on pourrait envisager la construction d'un puits d'exploitation au voisinage du puits actuel ou éventuellement plus au nord, en direction de "Sur le Clos".

Tronçon de l'ancien Carrouge

- Références :
- Carte de base II B
 - Registre (p. 6)
 - Carte hydrogéologique II H
 - Carte des résistivités électriques

Dans sa thèse sur la géologie du Jorat, BERSIER (1938) avait déjà remarqué une brusque interruption de la molasse au sud de la gorge actuelle du Carrouge, au NW du village

de Vulliens. Cette observation s'est trouvée confirmée dans les sondages de la STEP (560-163-1) où le socle molassique n'a pas été atteint sous vingt mètres de moraine de fond argileuse extrêmement compacte. Un levé géologique détaillé de la rive gauche du Carrouge actuel permet de suivre cette accumulation de moraine en tout cas jusqu'à l'affluent descendant de Pra Berthoud. Cette coupe ne montre que de la moraine pratiquement jusqu'au niveau du Carrouge actuel.

Plus au nord, il se peut que ce chenal se prolonge jusqu'à l'intersection avec le ruisseau de Les Brits où l'on constate une nouvelle interruption du Tertiaire (carte ITH).

Ce dépôt morainique allongé S-N correspond-il à une ancienne vallée torrentielle remblayée de moraine, ou s'agit-il plutôt d'un surcreusement glaciaire avec un seuil molassique à la latitude 165,7 ? Le manque d'information sur la morphologie du toit de la molasse ne permet pas de répondre actuellement à cette question.

HYDROGEOLOGIE

Tant par l'observation sur le terrain que par géophysique, cette auge montre un remplissage morainique à granulométrie très étendue et en majeure partie peu perméable. Il ne faut donc pas s'attendre à priori à y découvrir des possibilités importantes de captage d'eau.

Tronçon Bressonnaz - Moudon

- Références : - Cartes de base II + III B
- Registre (p. 7 à 10)
- Cartes hydrogéologiques II + III H
- Profils D + E
- Cartes de résistivités électriques

Une fois le seuil de Chavannes traversé, la Broye pénètre dans sa seconde vallée glaciaire, celle de la Broye moyenne, qui prend naissance un kilomètre en amont de l'embouchure latérale actuelle. Sa morphologie est très encaissée entre deux parois burdigaliennes. Sa direction est maintenant SW-NE.

Dans la vallée glaciaire, la rivière entaille une série de dépôts mixtes fluvioglaciaires - moraine à sédimentation très chaotique, témoins d'un stade de stagnation glaciaire en amont de Moudon. Vu le caractère généralement stratifié de ces formations, elles seront traitées hydrogéologiquement comme alluvions s.l.

Signalons en outre que la rivière actuelle a entaillé plusieurs méandres épigénétiques qui ont érodé la molasse de la rive gauche (carte III H).

LA MOLASSE

Cette portion de vallée est creusée entièrement dans les assises de molasse marine. Ces roches n'engendrent pas ici de source particulièrement importante. De nombreuses venues souterraines jalonnent les versants mais leur débit reste très limité (carte II B). Notamment le versant de la Mérine, face à la vieille ville de Moudon, est le lieu de

nombreuses sources d'origine purement molassique. Elles appartiennent surtout aux types A1, A2 et A3 (fig. 20).

Un rôle privilégié est joué par quelques bancs de grès coquilliers, surtout visibles sur la rive droite de la vallée, à la cote 650 m dans le bois de Chalet à Canon (source type S, fig. 20).

On peut en outre noter que les sondages électriques situent le contact Aquitanien - Burdigalien peu au-dessous de l'auge glaciaire, soit à une cote voisine de 480 m.

LA MORAINÉ

Une moraine de fond constitue un placage de plusieurs mètres d'épaisseur sur la colline séparant la Broye de la Mérine, au SW du bourg de Moudon. Sa composition est argilo-sableuse avec de rares galets.

Sur l'autre rive en revanche, elle est presque absente. On en trouve tout de même quelques reliques à la cote 580 m, en amont de la gare de Bressonnaz.

Cette masse argileuse joue surtout le rôle de toit imperméable aux aquifères fissuraux de la molasse et permet ainsi leur mise en charge (sources type QI, fig. 20).

LES ALLUVIONS

Les récents travaux de fondation de la caserne de Valacrêt ont révélé très en détail les structures de l'amas quaternaire déposé aux débouchés de la Broye et de la Bressonne.

Cet ensemble appartient à un complexe morainique frontal mis en place au devant d'une langue glaciaire qui pénétrait latéralement dans la vallée, à l'emplacement actuel des gorges de la Broye.

Il se divise en quatre unités sédimentologiques juxtaposées; de l'est à l'ouest :

- Un premier amas morainique frontal interne, composé de gros blocs dans une matrice sablo-limoneuse, constitue le remplissage de la moitié orientale de la vallée. On le rencontre encore une vingtaine de mètres au-delà de la Broye dans son premier virage à droite au sortir des gorges.

La nature très délavée de ce matériel ainsi que sa perméabilité relativement élevée nous le fait classer dans les alluvions au sens hydrogéologique du terme. La nappe n'a été investiguée que sur 2 ou 3 mètres par des sondages courts (550-166-4+5). Son épaisseur réelle demeure inconnue. D'après les quelques observations en notre possession, sa perméabilité paraît être moyenne.

- Plus à l'ouest, la moraine passe brusquement à des sédiments deltaïques formant la majeure partie de la terrasse rive gauche, d'altitude 535-540 m. Ce niveau d'alluvionnement est constant en amont de la colline de Le Fey et correspond certainement à un ancien lac qui faisait la liaison entre les deux moraines. Les sables et graviers sont disposés en strates obliques, non déformées dans la partie occidentale. Au voisinage de la moraine interne en revanche, elles ont été complètement plissées et basculées sous l'effet d'une récurrence dans l'avance du glacier.

La nappe rencontrée par sondage n'a pas été traversée. Son épaisseur n'est donc pas connue avec précision. La forte teneur en sable de son squelette lui confère une perméabilité moyenne.

- Un cordon morainique externe limite à l'ouest les sédiments deltaïques. Morphologiquement, il forme le talus dont l'altitude passe de 540 à 560 m environ. De compo-

sition analogue à l'arc interne, il partage le rôle de terrain aquifère avec les dépôts alluviaux perchés de la Bressonne qui le cotoient.

Un pointement de la moraine de fond entraîne l'émergence de la nappe en amont du captage 550,03 - 166,81 aujourd'hui disparu (carte IIB et H).

- Contre la moraine externe et les dépôts deltaïques se sont sédimentés des sables et des limons légèrement graveleux provenant probablement du ruissellement sur le versant rive gauche ainsi que de la Bressonne alors partiellement obturée. Leur base est aquifère sur quelques mètres avec une perméabilité qui, au vu de la granulométrie des terrains, doit être faible (carte IIH).

Plus au nord, on retrouve la prolongation de l'arc frontal externe dans la colline de Le Fey. Elle est constituée à cet endroit des mêmes moraines à blocs, juxtaposées à des sédiments sablo-graveleux stratifiés, en position complètement bouleversée. On y observe même sur son flanc aval deux dolines épiglaciaires dues à la glace morte.

La base de ce complexe est certainement aquifère. Toutefois, aucun sondage mécanique n'a pu le vérifier et le sondage électrique 550-168-9 n'est pas suffisamment explicite à cet égard. En considérant qu'il existe une continuité en profondeur de ces dépôts, on peut penser que leur perméabilité est moyenne.

Sur le côté droit de la moraine de Le Fey, la topographie marque une dépression allongée parallèle à la vallée. La carte des résistivités électriques montre à cet emplacement une zone à valeurs élevées qui doit être l'indice d'un chenal assez graveleux. Cette composition est confirmée par les sondages 550-168-3+6 qui ont pénétré dans une nappe moyennement perméable d'une épaisseur supérieure à 5 m (profil E).

A l'arrière de la moraine et sur le côté ouest du chenal, la Broye a entaillé une terrasse qui s'étend à une altitude de 525 m environ. Les quelques renseignements fragmentaires fournis par les puits industriels de la cartonnerie (550-167-1 + 2 et 550-168-1) donnent à penser que la nappe est faiblement perméable. En effet, la capacité de ces ouvrages semble demeurer inférieure à une centaine de l/mn.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

Par la complexité de ses dépôts, ce tronçon de vallée ne paraît pas devoir se prêter au captage de débits très importants. Il doit en revanche pouvoir fournir des ressources de l'ordre de 500 l/mn. Leur mise en valeur nécessiterait une prospection plus intense que celle réalisée jusqu'ici et l'utilisation de sondages mécaniques pour traverser les terrains aquifères.

Relevons d'emblée que la zone la plus favorable est représentée par le chenal SW-NE séparant La Baume de la moraine de Le Fey.

Tronçon Moudon - Lucens

Références : - Carte de base III et IV B
- Registre (p. 9 à 17)
- Carte hydrogéologique III et IV H
- Profils F, G, H et I
- Cartes des résistivités électriques

C'est à l'aval de Moudon que débute le remplissage franchement alluvial de la grande fosse glaciaire de la Broye-moyenne. Ce tronçon de 5 x 0,5 km contient les terrains les plus grossiers du remblayage de la plaine.

LA MOLASSE

Dans ce tronçon encore, l'essentiel de la vallée est entaillé dans les grès burdigaliens. D'après les résultats géophysiques, le contact molasse d'eau douce - molasse marine descend légèrement en direction du NE. Il en est de même du fond de l'auge glaciaire. La pente est alors plus rapide de sorte que l'Aquitaniens devrait entrer en contact avec le remplissage quaternaire dès le hameau de Plan (voir profils).

Peu de sources de débit supérieur à 20 l/mn sortent le long des versants de la vallée. Sur la rive gauche, un important niveau de grès coquillier draine une bonne part du plateau Bussy-Créta. De nombreuses venues d'eau jalonnent sa ligne d'affleurement. On note en particulier le groupe des sources de Pra Cala (552,7 - 171,9) qui sont utilisées par la commune de Lucens. Ses débits sont élevés (50-100 l/mn). En revanche, l'origine principalement fissurale de l'aquifère n'assure pas à ces eaux une filtration suffisante, ce qui rend nécessaire une légère chloration.

LA MORAINES

Une première source importante captée dans la moraine est la source dite de Chesalles, exploitée par la commune de Lucens (554,10 - 169,85). Saisie en tête du vallon de Pré Cérjat, son débit moyen se situe entre 100 et 200 l/mn. On ignore tout actuellement de son bassin d'alimentation. Peut-être est-elle la terminaison d'un ancien vallon remblayé analogue à celui de Vaucignery (PARRIAUX 1976)? Trop peu de données existent à ce sujet pour répondre à cette question.

Le fond de l'auge glaciaire de la Broye est tapissé par un placage de moraine argileuse compacte. Ce coussin discontinu, dépassant rarement 5 m d'épaisseur, constitue le plancher de l'aquifère alluvial de la Broye moyenne. Nous verrons sa répartition de détail dans l'étude de chaque site.

LES ALLUVIONS

Dépôts interstadiaires

En 1975, les levés géologiques effectués dans le cadre de cette étude ont amené la découverte d'une ancienne gorge profonde dans la partie inférieure du R. de Vaucignery, gorge remblayée par du matériel morainique et fluvioglaciaire aquifère. L'examen détaillé de cette structure ayant fait l'objet d'une publication (PARRIAUX 1976), nous nous contenterons de rappeler que les terrains aquifères sont peu volumineux, de perméabilité faible (graviers sableux assez limoneux). Dans la partie inférieure du tronçon, le ruisseau actuel rabat cette nappe en faisant apparaître plusieurs venues souterraines dont le débit moyen global est de 30 l/mn environ.

Dépôts du retrait glaciaire et postglaciaires

Les premières terrasses périglaciaires du retrait se sont déposées à des altitudes considérables.

Avant de parler des dépôts proprement dits, il faut d'abord signaler la présence d'une ancienne vallée périglaciaire culminant à 680 m et qui recoupe l'alignement morainique Bois-Devant - Pt.727,2 m, au N de Moudon. Sa morphologie est le témoin d'un bassin versant glaciaire aujourd'hui disparu. C'est probablement à cette époque qu'il faut également rattacher le fluvioglaciaire perché à l'W de Chesalles (cote 650 m). Sa composition assez graveleuse reste sans influence hydrogéologique notable.

Plus bas, à la cote 585-600 m, les deux terrasses de Gréchon entre Moudon et Bussy semblent assez sableuses. Ici encore, le rôle hydrogéologique de ce fluvioglaciaire perché reste mineur.

Plus au nord, on observe la double terrasse Les Envers - Communs d'en Haut, à l'W de Lucens, dont les altitudes se situent entre 605 et 590 m. Le débouché de la Cerjaule dans le bassin glaciaire de la Broye est probablement à l'origine de cette double accumulation. Son matériel paraît assez mal

trié. Au contact avec le plancher molassique, plusieurs sources émergent tant dans le vallon de la Cerjaule que dans la vallée de la Broye. Ce sont des sources d'affleurement d'une petite nappe contenue à la base du Quaternaire (type QP, fig. 20).

La nature du cône de déjection fluvioglaciaire de Granges-Vernet est tout aussi difficile à déterminer. Sa surface descend de 565 à 540 m, altitude où l'érosion fait ressortir le substratum molassique. A cet endroit, trois sources apparaissent, manifestation d'une petite nappe au contact Quaternaire - Tertiaire.

C'est probablement à ce système d'alluvions périglaciaires que doivent se rattacher les reliques de l'ancien cône du R. de Pré Cerjat (535 m) ainsi que la terrasse dominant le méandre épigénétique de Bergère (530 m). Cette dernière, ultime lambeau d'un ancien cône du R. des Vaux, a été exploitée dans le passé pour ses graviers.

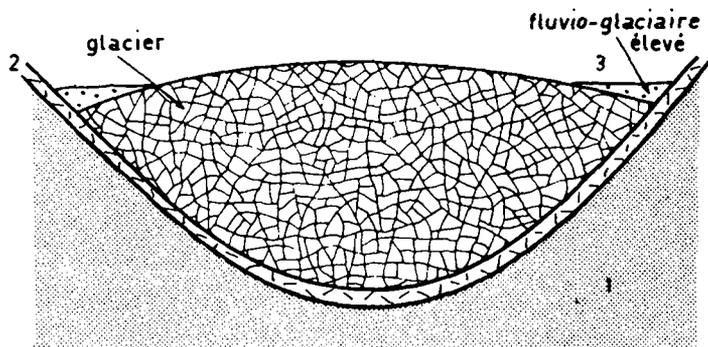
Note générale sur la nature et la genèse du remplissage de la plaine de la Broye moyenne, de Moudon à Granges.

Le complexe alluvial de la Broye moyenne est constitué de plusieurs unités géologiques que l'on retrouve d'une manière plus ou moins constante en amont du barrage morainique Ménières - Boulex. Nous en décrivons maintenant les traits généraux communs à chaque tronçon traité en détail par la suite.

Un profil en travers standard est fortement schématisé à la figure 22. Il montre sur le soubassement molassique (1), de bas en haut, les ensembles géologiques suivants :

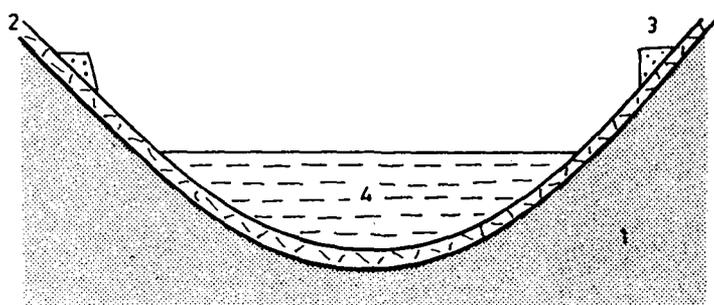
Figure 22 : Profil en travers schématique et modèle de genèse du remplissage quaternaire de la Broye moyenne .





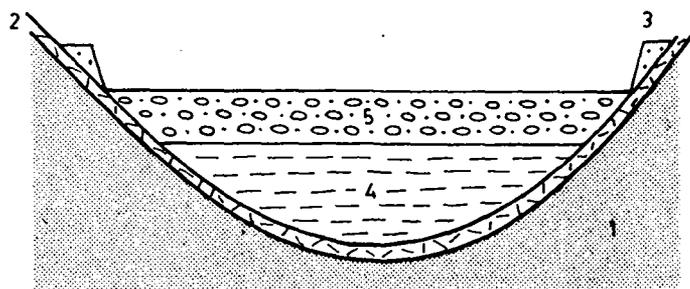
ETAPE A

Dernier retrait glaciaire.
Dépôt des terrasses de Kames.



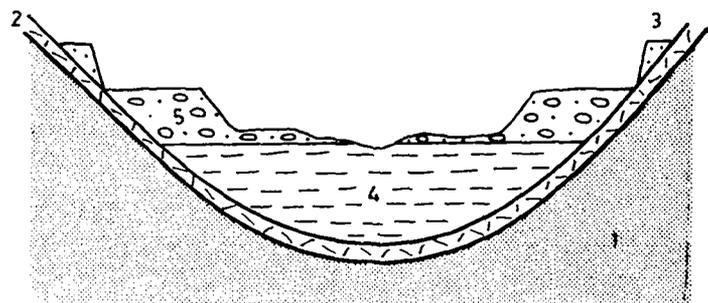
ETAPE B

Formation du lac de 485 m
et alluvionnement lacustre



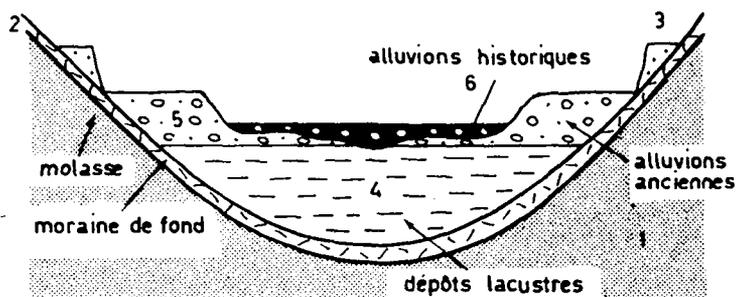
ETAPE C

Croissance de la plaine alluviale
ancienne sur les dépôts
lacustres.



ETAPE D

Erosion de la plaine alluviale
ancienne par abaissement du
niveau de base.



ETAPE E

Formation de la plaine alluviale
actuelle.

La moraine de fond (2)

Un coussinet de moraine argilo-graveleuse compacte a été trouvé dans les quelques sondages suffisamment profonds implantés dans la partie supérieure de la Broye moyenne. Son épaisseur ne dépasse pas quelques mètres.

Les terrasses de kames (3)

Plusieurs étages de terrasses fluvioglaciaires jalonnent les versants et marquent ainsi les étapes du retrait des glaces.

Les dépôts lacustres (4)

Une énorme épaisseur de limons plus ou moins argileux et finement sableux représente la majeure partie du remplissage. Ces sédiments sont très finement stratifiés avec apparition de quelques galets transportés par la glace flottante. Leur compaction est très faible sur toute l'épaisseur reconnue par sondage (90 m à Henniez). Leur partie inférieure paraît être légèrement plus grossière (sables plus ou moins graveleux et limoneux).

La cote du sommet des terrains lacustres se situe vers 485 m.

Dépôts fluviatiles historiques (6)

Dans la partie centrale de la plaine, les strates lacustres passent à des alluvions plus grossières composées de sables et de graviers. Leur épaisseur diminue de l'amont vers l'aval où elles sont réduites à quelques mètres.

Le toit de cette couche, sous le sol actuel, est composé de sables plus ou moins limoneux et terreux épais de 0 à 3 m selon les endroits.

Dépôts fluviatiles de la première terrasse (5)

Tout au long de la plaine, une terrasse surplombe les alluvions récentes d'une dizaine de mètres. Ces amas renferment des séries de sables et graviers qui ont été passablement exploités. Actuellement, leur structure interne est très peu visible.

Le modelé génétique le plus simple qui permet d'obtenir une telle configuration géologique est illustré schématiquement aussi à la figure 22. Nous y avons représenté la succession des étapes suivantes :

Etape_A :

Le glacier occupe entièrement le fond de la cuvette (1+2) au début du retrait des glaces, créant de la sorte les terrasses de kames dans la partie supérieure des versants (3).

Etape_B :

Une fois le glacier retiré, il laisse la dépression occupée par un lac à la cote de 485 m. Il s'étend probablement de la moraine de Boulex-Ménières à Moudon.

Progressivement, les sédiments de délavage des moraines et de la molasse le comblent complètement (4).

Etape_C :

Par-dessus les sédiments de remblaiement du lac, s'installe une plaine alluviale dont les restes forment la terrasse inférieure (5). Nous avons montré en effet (Parriaux 1978a) que la terrasse du lac de 510 m de Briel (1962) descendait vers le NE avec une variation d'altitude quasi parabolique pour devenir tangente au toit des sédiments lacustres de Fétigny.

On peut tout de même se demander si ces accumulations de la bordure de la vallée ne sont pas plutôt des dépôts de kames sédimentés en bordure de la langue glaciaire. Plusieurs arguments nous permettent d'écarter cette possibilité :

- A Bergère (sud de Lucens), seul endroit où la Broye a taillé un cours épigénétique mettant à l'abri de l'érosion les dépôts du remplissage, la terrasse se transforme en un tronçon de plaine alluviale continue.
- La terrasse allant de la Chaumière (NE de Lucens) à la halte d'Henniez en passant par Taille et Grande Raye est bâtie sur des dépôts lacustres identiques à ceux du centre de la vallée (4). Ce fait a été prouvé par de nombreux sondages mécaniques.

- Dans l'hypothèse de dépôts de bordure de glacier, la base de la terrasse représenterait un coin de matériel grossier juxtaposé aux limons lacustres. Nous aurions là un site idéal pour une nappe souterraine épaisse et perméable qui aurait été déjà certainement mise en valeur. Or, il n'en est rien.

Il faut donc en conclure que les terrains de la terrasse inférieure sont purement fluviatiles, qu'ils reposent sur les dépôts lacustres et qu'ils sont par conséquent plus récents.

Etape_D

Un abaissement du niveau de base des eaux par la percée de la moraine de Boulex entraîne une érosion de la plaine alluviale. Par sa divagation, une nouvelle surface plane s'établit au pied de la terrasse inférieure. Dans cette zone, la majeure partie sinon la totalité des dépôts fluviatiles est emportée.

Etape_E :

Une nouvelle période d'alluvionnement (6) se réinstalle par les déplacements successifs de la rivière durant les temps historiques. Les violentes crues qui affectent le bassin versant entraînent des modifications rapides du lit. Les chenaux graveleux cotoient ainsi des zones marécageuses à sédiments finement sableux. L'épaisseur de ces terrains récents n'est que de quelques mètres.

Il faut rappeler enfin que dès le siècle passé, la rivière est fortement endiguée et que les phénomènes d'alluvionnement et de divagation sont aujourd'hui quasiment supprimés.

Le modèle de genèse proposé ici est certainement trop simple par rapport à la réalité. Toutefois, c'est celui que nous retiendrons comme le plus probable pour aborder la description détaillée de ces terrains et des nappes d'eau qu'ils renferment.

Au point de vue hydrogéologique, les éléments stratigraphiques énoncés plus haut sont traités ensemble. Très souvent en effet, les petites nappes de la terrasse inférieure sont en continuité hydraulique avec l'aquifère principal.

En outre, si la distinction entre les alluvions récentes et anciennes est relativement aisée dans la partie inférieure du bassin, elle est plus difficile entre Moudon et Treize-Cantons.

Remplissage alluvial entre Moudon et Lucens

La région morainique Bressonnaz - Moudon était certainement une zone d'intense activité au front du glacier à l'époque des premiers dépôts de remplissage du lac de 480 m. Cette surface d'eau libre devait remonter jusqu'à Moudon pour lécher le pied des amas caillouteux du Fey et recevoir le produit de leur érosion.

Secteur des gravières

La partie inférieure du remblayage est ici de nature essentiellement sableuse (profil F). Puis, par-dessus, s'est déposée une épaisse couche de gravier dont il ne reste que quelques lambeaux épargnés par les exploitations, immédiatement en aval de la ville.

Sur la rive gauche, on a remarqué que lorsque l'on se rapproche du pied des terrasses, les graviers aquifères paraissent devenir toujours plus mal triés avec en plus des interstrates de sables fins.

Les données piézométriques recueillies dans les divers sondages sont très fragmentaires. En effet, seul le niveau d'eau rencontré lors des travaux a été noté. Ces résultats discontinus dans l'espace et dans le temps ne permettent

qu'une représentation approximative du sommet de la nappe. Très probablement, les lignes de courant sont-elles de direction W-E.

Au pied du versant, les alluvions de la plaine passent aux terrasses du quartier du collège de Moudon. Seule la base de la terrasse inférieure faite de graviers sableux légèrement limoneux compacts est aquifère (épaisseur de 1 à > 3 m).

De l'autre côté de la Broye, les formations perméables des gravières se poursuivent jusqu'à la bordure molassique. Les valeurs de trainé électrique AB = 60 m et AB = 100 m confirment cette continuité (annexe III). Une ballastière était du reste exploitée par dragage sur le devant du cône du R. de Vaucignery. Aujourd'hui, la fouille est partiellement comblée par des ordures ménagères (carte III B).

Plus en aval, à l'endroit où le virage de la Broye élargit sa rive droite, les alluvions ont été l'objet d'une prospection très intensive de 1964 - 1969 pour le compte de la commune de Moudon. L'ancien puits de Plan (552-170-3) était alors partiellement ensablé; à la suite d'un régime de surexploitation, il ne pouvait plus assurer l'approvisionnement de cette ville en plein développement industriel. Une première recherche fut menée au Villaret (552-169-1 à 9), recherche qui devait aboutir à la construction d'un gros puits filtrant. La grande discontinuité latérale des horizons graveleux et des essais de pompage pas très prometteurs incitèrent les prospecteurs à se déplacer vers le nord où une étroite zone à forte résistivité électrique avait été détectée par le Laboratoire de Géophysique de l'Université de Lausanne, près de l'embouchure de la Voraire. C'est à cet endroit que fut construit le grand puits à drains horizontaux de Plan (552-170-1).

Examinons en détail la structure des alluvions depuis le secteur du Villaret jusqu'aux anciens puits de Plan (552-170-3 + 4).

Secteur du Villaret

Les nombreux sondages de reconnaissance et puits d'essai de ce secteur illustrent d'une manière éloquente la complexité structurale de l'aquifère alluvial. Une coupe en travers, passablement simplifiée, figure au profil G.

L'ensemble graveleux et sableux repose sur une mince couche de moraine qui surmonte la molasse gréseuse. La pente du contact Quaternaire - Tertiaire atteint 17° au droit des sondages 8 à 4, sur l'ancienne rive gauche.

Plus au centre, le forage 552-169-2 (30 m) n'a pas traversé complètement les alluvions. Elles sont ici finement sableuses avec des anomalies graveleuses dont la géométrie demeure mal connue. Lors de la prospection, ces couches grossières alternant avec des sables plus ou moins fins, avaient été supposées discontinues par le caractère légèrement captif des graviers profonds (20 cm au sondage 552-169-3). Les sondages complémentaires montrent que ces nappes ne sont en réalité qu'un seul ensemble hydraulique constitué d'une interpénétration de strates graveleuses plus ou moins communicantes dans un massif de sables moyennement à faiblement perméables.

De plus, on peut remarquer les faits suivants :

- La plus grande abondance de graviers se situe dans la moitié gauche de la plaine.
- Les couches sablo-graveleuses montrent une certaine continuité. C'est le cas des alluvions supérieures (continuité à l'échelle de toute la Broye moyenne), et plus localement des niveaux perméables profonds qui paraissent former une sorte de chenal que l'on retrouve au nouveau puits de Plan et peut-être même aux anciens puits communaux.

En ce qui concerne l'écoulement de la nappe, la piézométrie montre de légères différences selon qu'elle se rapporte à l'aquifère graveleux supérieur ou aux horizons plus profonds. Quoi qu'il en soit, ce niveau se situe à l'intérieur de la couche des graviers supérieurs. Une série de mesures à l'état de repos dans des piézomètres battus dans cet horizon indique des directions d'écoulement vers le NNE dans la partie orientale, directions qui s'infléchissent vers le NNW lorsqu'on se rapproche de la rivière.

Plusieurs essais de pompage ont été menés, soit dans les graviers supérieurs, soit dans l'empilement de strates semi-captives du "chenal" des puits 3, 4 et 5. La très probable communication de ces terrains aquifères nous autorise à traiter cet ensemble comme une seule nappe libre. Cette méthode de calcul global apporte, à l'aide des formules de Dupuit, des ordres de grandeur de perméabilité et de transmissivité tout à fait réalistes.

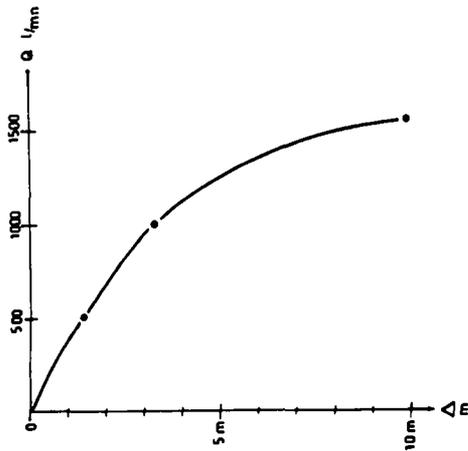
Les premières varient de 4 à $4,8 \cdot 10^{-4}$ m/s. Les secondes passent de $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s pour le puits n° 2 à 10^{-2} m²/s pour le n° 4 (registre p. 10-11).

Une confirmation de ces valeurs a été obtenue par calcul en écoulement non permanent (Jacob) par pompage et par les courbes de remontée (fig. 23). Elles nous permettent d'attribuer à cette zone une perméabilité globale moyenne sur la carte hydrogéologique (couleur verte). Sur le profil G, en revanche, la perméabilité propre de chaque niveau est représentée.

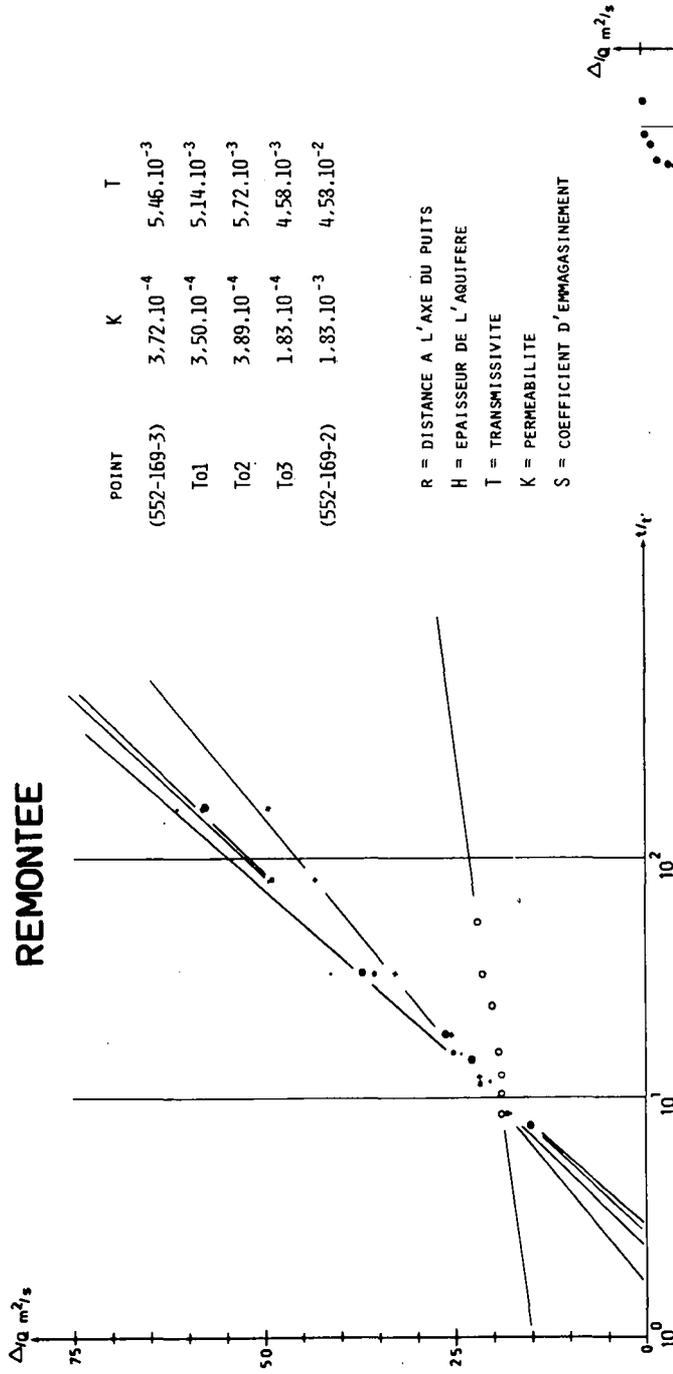
Figure 23 : Pompage dans le puits d'essai 552-169-3 (du 21.5 au 5.6.1964).

Calcul de T et de S par la méthode d'approximation logarithmique.

COURBE CARACTERISTIQUE DU PUIS



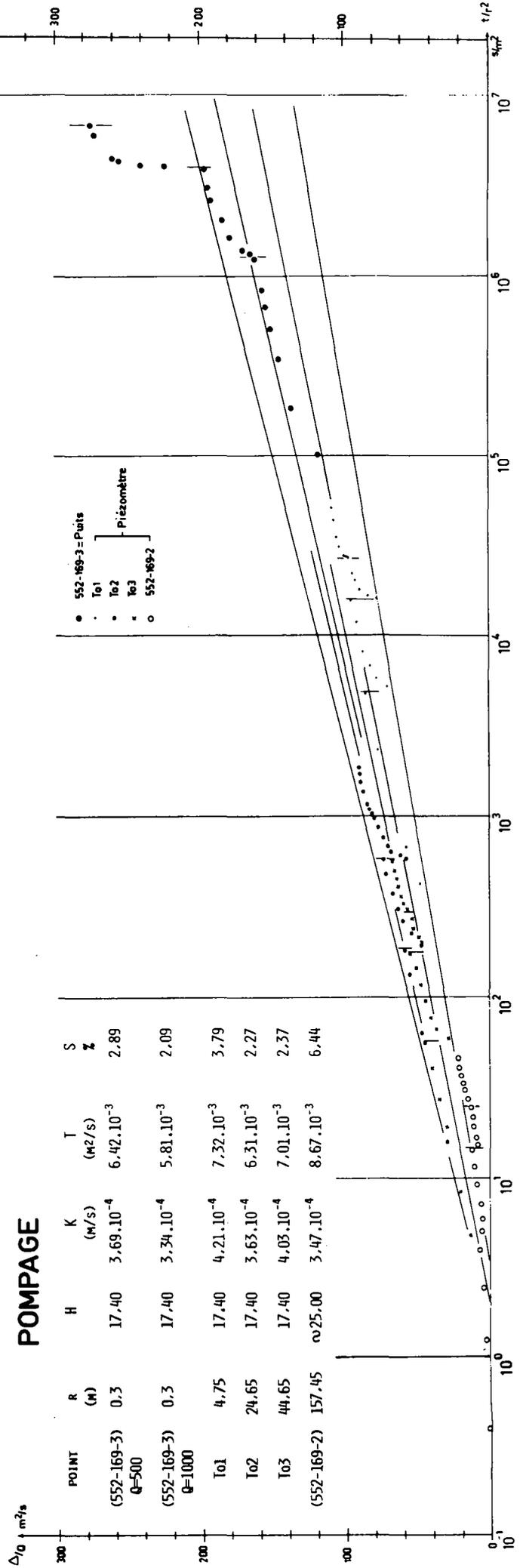
REMONTÉE



POINT	K	T
(552-169-3)	$3.72 \cdot 10^{-4}$	$5.46 \cdot 10^{-3}$
To1	$3.50 \cdot 10^{-4}$	$5.14 \cdot 10^{-3}$
To2	$3.89 \cdot 10^{-4}$	$5.72 \cdot 10^{-3}$
To3	$1.83 \cdot 10^{-4}$	$4.58 \cdot 10^{-3}$
(552-169-2)	$1.83 \cdot 10^{-3}$	$4.58 \cdot 10^{-2}$

R = DISTANCE A L'AXE DU PUIS
 H = EPAISSEUR DE L'AQUIFERE
 T = TRANSMISSIVITE
 K = PERMEABILITE
 S = COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT

POMPAGE



POINT	R (m)	H (m)	K (M/S)	T (M²/S)	S
(552-169-3)	0.3	17.40	$3.69 \cdot 10^{-4}$	$6.42 \cdot 10^{-3}$	2.89
Q=500					
(552-169-3)	0.3	17.40	$3.34 \cdot 10^{-4}$	$5.81 \cdot 10^{-3}$	2.09
Q=1000					
To1	4.75	17.40	$4.21 \cdot 10^{-4}$	$7.32 \cdot 10^{-3}$	3.79
To2	24.65	17.40	$3.63 \cdot 10^{-4}$	$6.31 \cdot 10^{-3}$	2.27
To3	44.65	17.40	$4.03 \cdot 10^{-4}$	$7.01 \cdot 10^{-3}$	2.37
(552-169-2)	157.45	∞25.00	$3.47 \cdot 10^{-4}$	$8.67 \cdot 10^{-3}$	6.44

● 552-169-3 = Puits
 ○ To1
 ○ To2
 ○ To3
 ○ 552-169-2
 } Piézomètre

Du côté gauche de la vallée, dès le sondage 552-169-7, la perméabilité devient faible par la disparition de l'aquifère graveleux au profit de sables plus ou moins limoneux.

Le meilleur rendement a été obtenu dans le puits d'essai 552-169-3 où l'on a pu stabiliser le rabattement avec un débit d'environ 1500 l/mn. Ce nombre définit l'ordre de grandeur des ressources renouvelables de ce secteur.

A noter encore l'influence très rapide du pompage sur tous les piézomètres de la zone du Villaret, y compris le puits Mayor (552-169-1). En revanche, les pompages n'ont pas duré suffisamment pour constater une modification dans l'ancien puits communal (552-170-3).

A notre connaissance, aucune analyse chimique n'a été faite durant les essais de pompage. Il est probable que la composition des eaux est semblable à celle du nouveau puits de Plan (552-170-1).

Secteur du nouveau puits de Plan

La faible extension latérale des graviers du Villaret rendant difficile la construction d'un puits à drains horizontaux, la prospection fut déplacée un peu en aval, à l'endroit où les mesures électriques indiquaient un étroit chenal résistant, au pied du cône de Plan. Le sondage - puits d'essai 552-170-2 fut couronné de succès : il traversa des alluvions en majeure partie graveleuses, aquifères sur 30 m.

Les 4 forages complémentaires, le fonçage du grand puits collecteur définitif, ainsi que les drains horizontaux, ont apporté des informations très précieuses quant à la structure de l'aquifère (profil H).

Schématiquement, la nappe est contenue dans un étroit chenal gravelo-sableux taillé dans des dépôts moins perméables, la molasse et la moraine au NW, des sables limoneux à l'E. Sa direction est voisine de N10°E (fig. 24). Son versant gauche, très raide, atteint 45° entre les points 552-170-1 et 2.

Au SE, le chenal côtoie une masse de sable. La pente du contact y est également très marquée (env. 20°). La situation géologique locale ainsi que les mesures géophysiques montrent que cette accumulation sableuse occupe tout le cône de déjection de la Voraire et qu'elle doit en outre s'étendre sous la forme d'une vaste langue qui borde la plaine en aval du cône actuel (carte III H). C'est donc bien dans l'érosion de cette vallée latérale qu'il faut rechercher la provenance de ces sédiments. Leur composition principalement sableuse s'accorde du reste avec la nature en majeure partie molassique du vallon de la Voraire. En outre, le resserrement du chenal graveleux au droit du puits est certainement la résultante de cet apport latéral massif. La forte pente du contact gravier-sable indique que la bordure des alluvions du cône ne peut être qu'une surface d'érosion. A noter encore que ces dépôts sableux à faible perméabilité passent, vers une vingtaine de mètres de profondeur, à des sables fins et à des limons lacustres très peu perméables (profil H).

La couche graveleuse aquifère du chenal bute vers le haut contre un toit de sables moyens à fins qui est discontinu. Sa structure schématisée est aussi représentée à la figure 24. La couverture est de forme convexe, allongée parallèlement au chenal, avec une crête située au-dessus du fond du talweg façonné dans la moraine.

Le corps principal de l'aquifère n'est, en réalité, pas entièrement graveleux. Plusieurs lentilles finement sableuses et limoneuses ont été rencontrées, tant dans les sondages

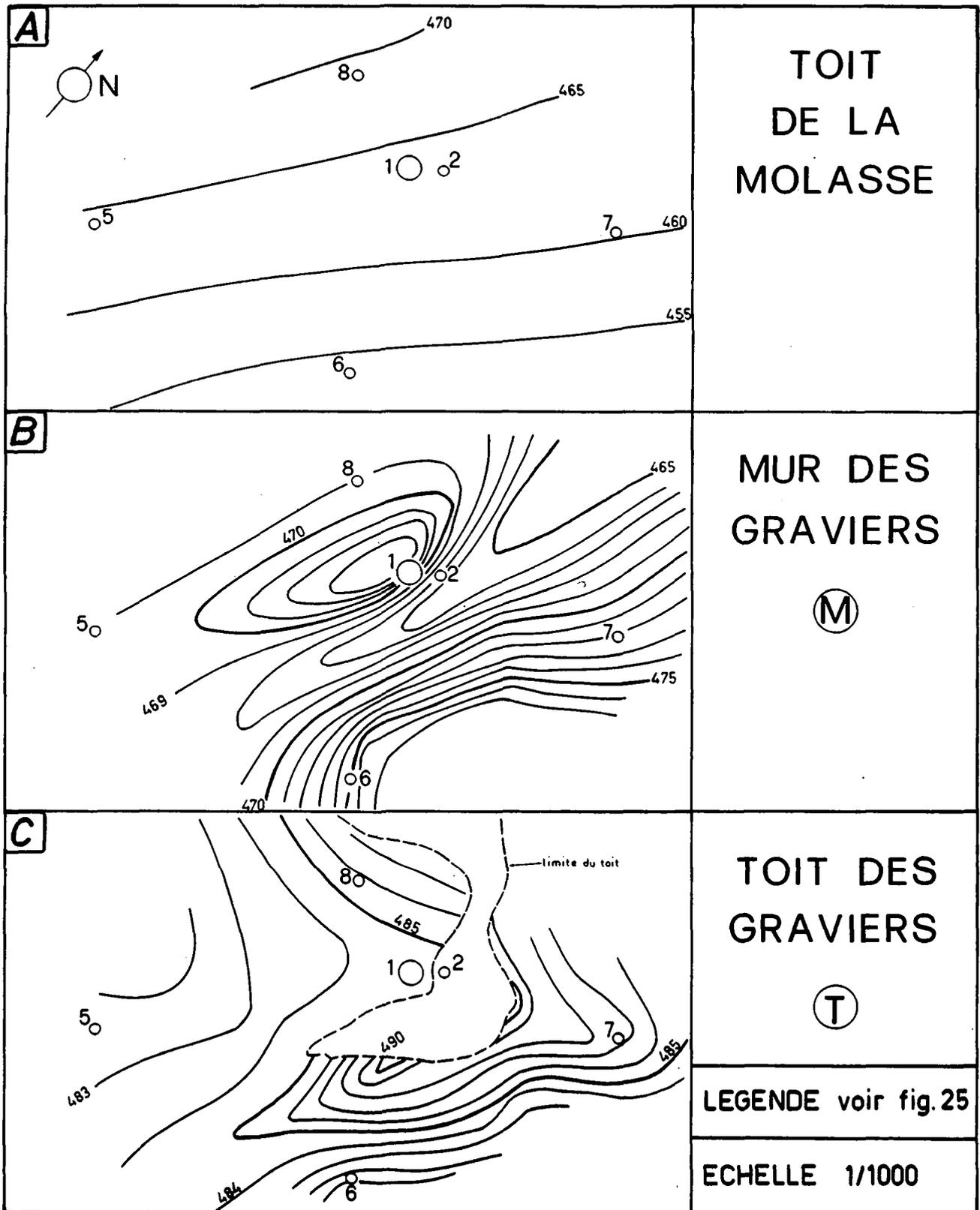


Figure 24 : Site du puits à drains rayonnants de Moudon (552-170-1).

A: carte structurale du fond molassique

B: carte structurale du fond des graviers principaux

C: carte structurale du toit des graviers principaux.

L'aquifère graveleux contient des lentilles limoneuses non représentées dans la figure.

Pour plus de détails, voir la figure 25.

verticaux qu'horizontaux. Leur répartition et leur géométrie complexes ne sont que partiellement déterminées. Une illustration est donnée à la figure 25, qui représente les coupes horizontales dans l'aquifère, au niveau des quatre étages de drains.

Les essais de pompage ont porté d'abord sur le puits d'essai vertical. D'une durée de dix jours, ils ont permis d'y prélever 2400 l/mn tout en pompant parallèlement 400 l/mn au puits 552-169-3 et 600 l/mn à l'ancien puits de Plan. Il faut noter tout de même que le rabattement n'a pas été stabilisé pour ces débits extrêmes. En revanche, pour des régimes de pompage plus faibles (<1500 l/mn), le niveau hydrostatique s'est à peu près immobilisé. Cette situation a permis le calcul de perméabilité par Dupuit en nappe libre :

$$K \approx 1.10^{-3} \text{ m/s} \quad T = 2,9.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

En outre, nous avons tenté un calcul par la méthode de Jacob (fig. 26). Les résultats obtenus, soit par abaissement, soit par remontée donnent des valeurs de K trop faibles et surtout des coefficients d'emmagasinement impossibles ($S > 1$) (voir p. 62). Les valeurs de Dupuit sont donc retenues pour la carte hydrogéologique.

Les essais de pompage dans le puits définitif ont consisté, après un rapide test de chaque étage, en une série de pailiers de débit très courts, sans obtenir de stabilisation du rabattement. Un débit maximal de 13'500 l/mn a été maintenu durant deux jours (fig. 27).

Nous avons appliqué, sur le test du puits définitif également, la formule de Dupuit avec calcul du rayon fictif de l'ouvrage. La valeur de $K = 6.10^{-4}$ m/s, plus faible que celle du puits provisoire, ne peut pas être considérée comme précise vu les conditions de l'essai (mauvaise stabilisation, géométrie du puits compliquée). La méthode de Jacob appliquée aux mesures faites sur le puits à drains rayonnants donne le même ordre de grandeur de K, tant en pompage qu'en remontée. Toutefois, la partie rectiligne des segments de droite n'est

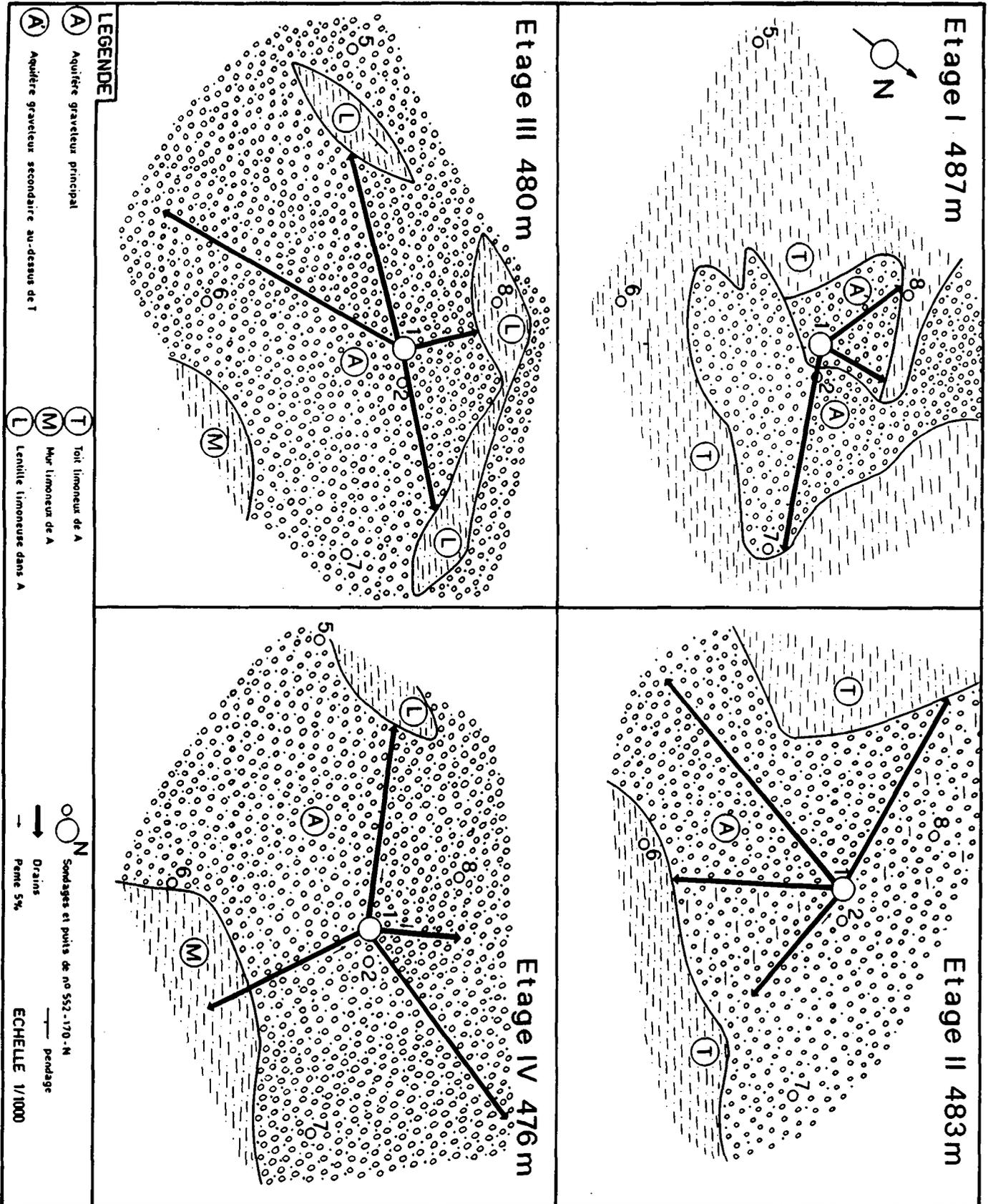


Figure 25 : Puits à drains rayonnants de Moudon (552-170-1). Coupes hydrogéologiques horizontales au niveau des 4 étages de drains.

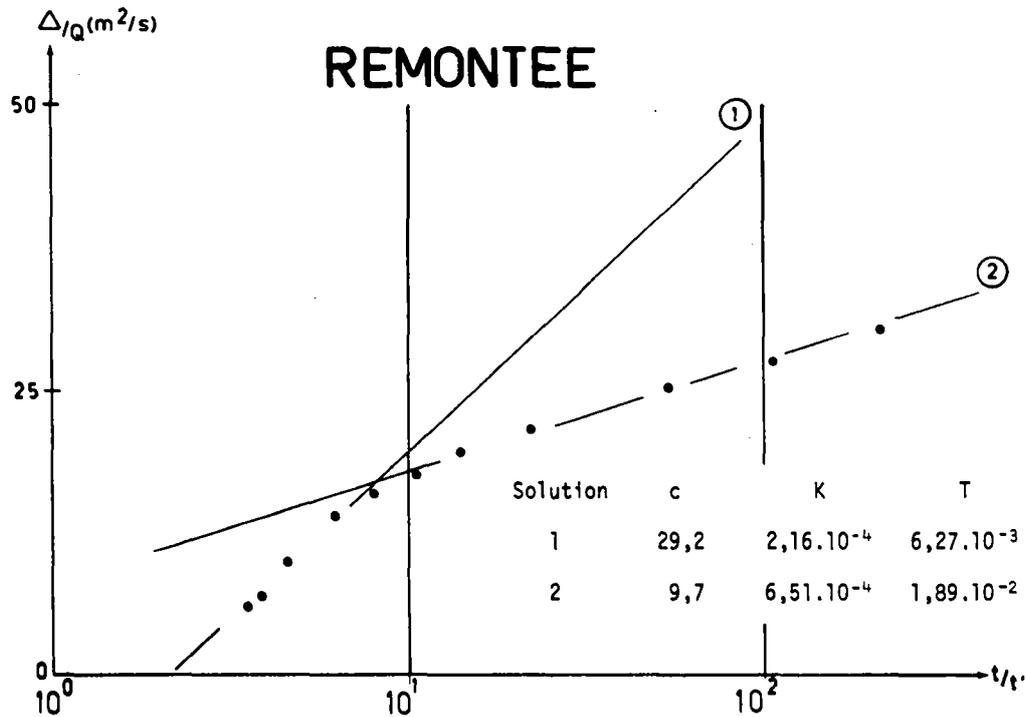
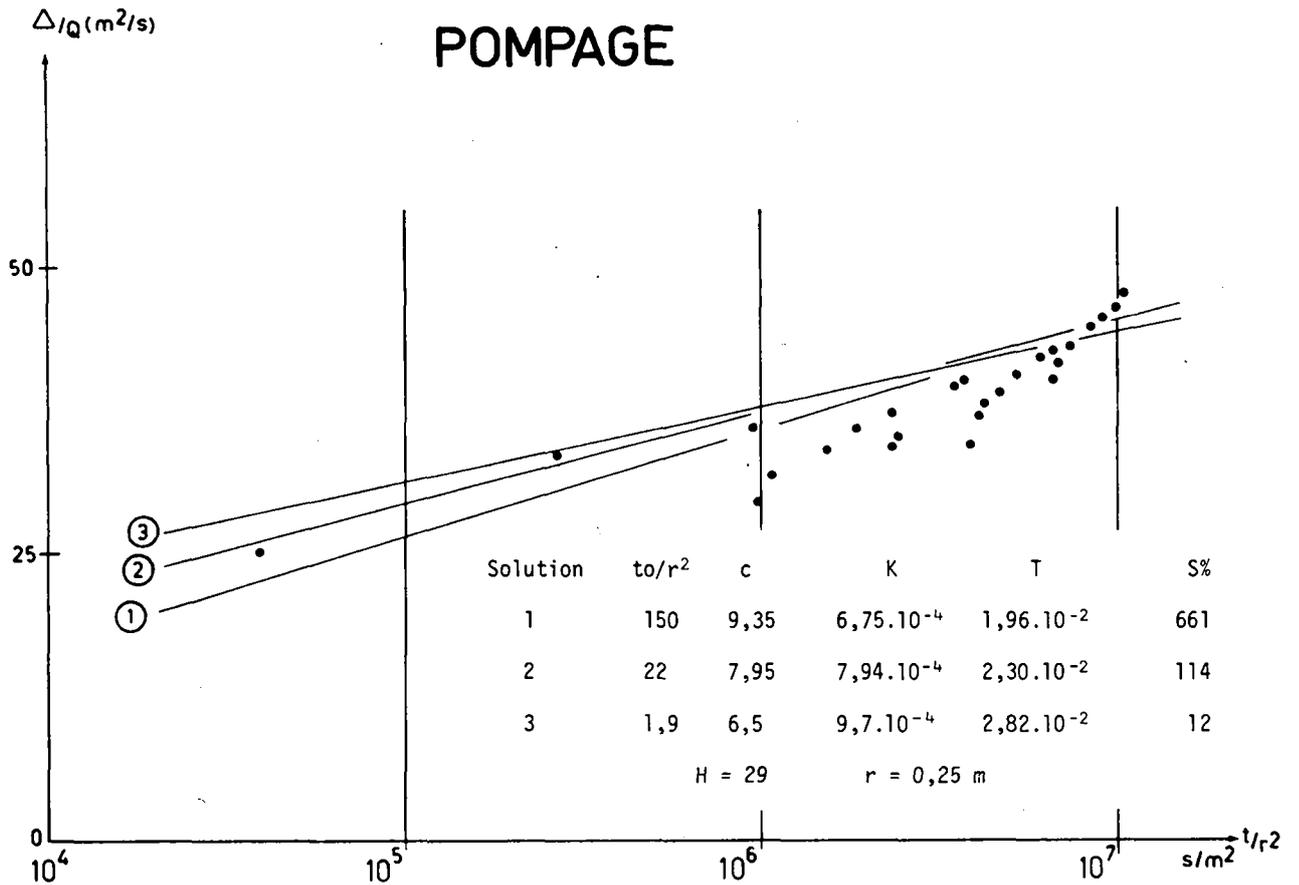


Figure 26 : Pompage dans le puits d'essai 552-170-2 (du 21.9 au 3.10.1966).
Calcul de T et de S par la méthode d'approximation logarithmique.

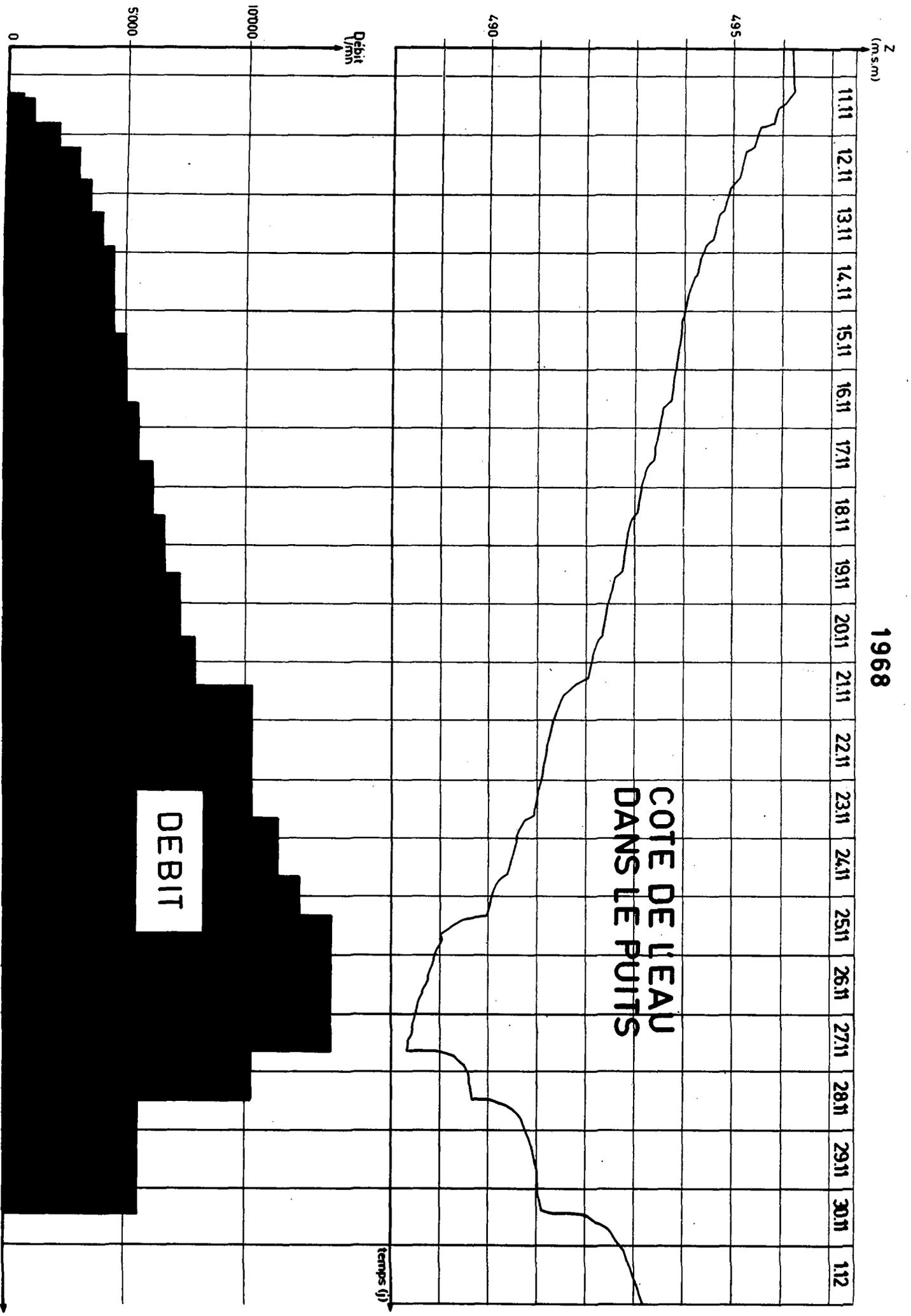


Figure 27 : Essai de pompage dans le puits à drains rayonnants de Moudon (552-170-1)

jamais atteinte, les paliers de débit étant trop nombreux et trop courts.

Sur la base de ces essais, une détermination des ressources renouvelées de cette partie de nappe demeure imprécise. On peut les estimer entre 3000 et 5000 l/mn.

De composition chimique typique des aquifères quaternaires de cette région, les eaux de Plan sont bicarbonatées calciques avec une dureté totale légèrement supérieure à 30 DF. Le rapport dureté carbonatée/dureté totale atteint 0,85 à 0,9. Bien oxygénées, elles marquent une teneur en fer ne dépassant pas 0,1 mg/l (voir registre p.12). D'autre part, la proportion de nitrates est très basse (< 10 mg/l). Au point de vue bactériologique enfin, elles donnent entière satisfaction.

Il faut signaler encore que, tant au Villaret qu'au Plan, tous les piézomètres et puits d'essai ont été supprimés dès la concession accordée et avant le début de nos travaux.

Secteur des anciens puits de Plan

Une fois passé l'étranglement du nouveau puits de Plan, le chenal graveleux s'élargit au contact de la grande langue à dominante sableuse qui prolonge le cône actuel vers l'aval. Cet évasement a entraîné à l'époque une diminution de la capacité de la rivière et en conséquence un moins bon lavage des sédiments.

La prolongation de l'ancien chenal vers le nord est assez mal connue. On sait toutefois que les deux puits filtrants verticaux (552-170-3+4) ont puisé leurs ressources dans un niveau sablo-graveleux profond, semi-captif sous des sables fins et des limons. Le toit semi-perméable montre un pendage apparent de 13° vers le NE. Il est recouvert à son tour par une nappe graveleuse supérieure (alluvions récentes) qui est phréatique (Profil I). Ce dernier horizon n'était

pas exploitée par les deux anciens ouvrages (voir registre p. 12-13).

Bien que l'aquifère profond atteigne **une** épaisseur de près de 10 m au puits de 1952 (552-170-3), sa présence influence peu les mesures électriques (fig.28), notamment celles du traîné AB = 100 m (voir annexe III F). Son isolement au milieu d'épaisse séries sablo-limoneuses conjugué à sa forte teneur en sable explique ce comportement.

Les ressources en eau tirées de ces anciens captages approchaient dans chaque cas le millier de l/mn avant qu'un ensablement rapide ne réduise progressivement leur capacité.

Les seuls essais de pompage effectués lors de leur construction ont été de très courte durée (voir registre p. 12-13). Des calculs approximatifs nous permettent de situer les paramètres suivants, valables pour la nappe profonde seule, par l'application de Dupuit en nappe captive :

$$5.10^{-4} < K < 8.10^{-4} \text{ m/s}$$
$$7.10^{-3} < T < 1.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

Vu l'importance de l'aquifère profond et la forte épaisseur du toit semi-perméable, nous avons choisi de représenter cette zone sur la carte hydrogéologique en tant que nappe captive de perméabilité élevée (voir p. 83). Les valeurs numériques caractérisent donc l'épaisseur e de l'aquifère captif et non plus H , profondeur du plancher de la nappe sous le niveau hydrostatique (carte III H).

Il faut signaler qu'aucune étude ou observation hydrologique régionale n'a été effectuée durant l'exploitation des ouvrages.

Dès 1974, nous avons équipé l'ancien captage 552-170-3 d'une station limnigraphique. A cet emplacement, l'enregistrement qui n'est pas perturbé par les à-coups provoqués par le pompage intermittent au nouveau puits, peut être considéré comme représentatif du secteur Villaret - Le Plan.

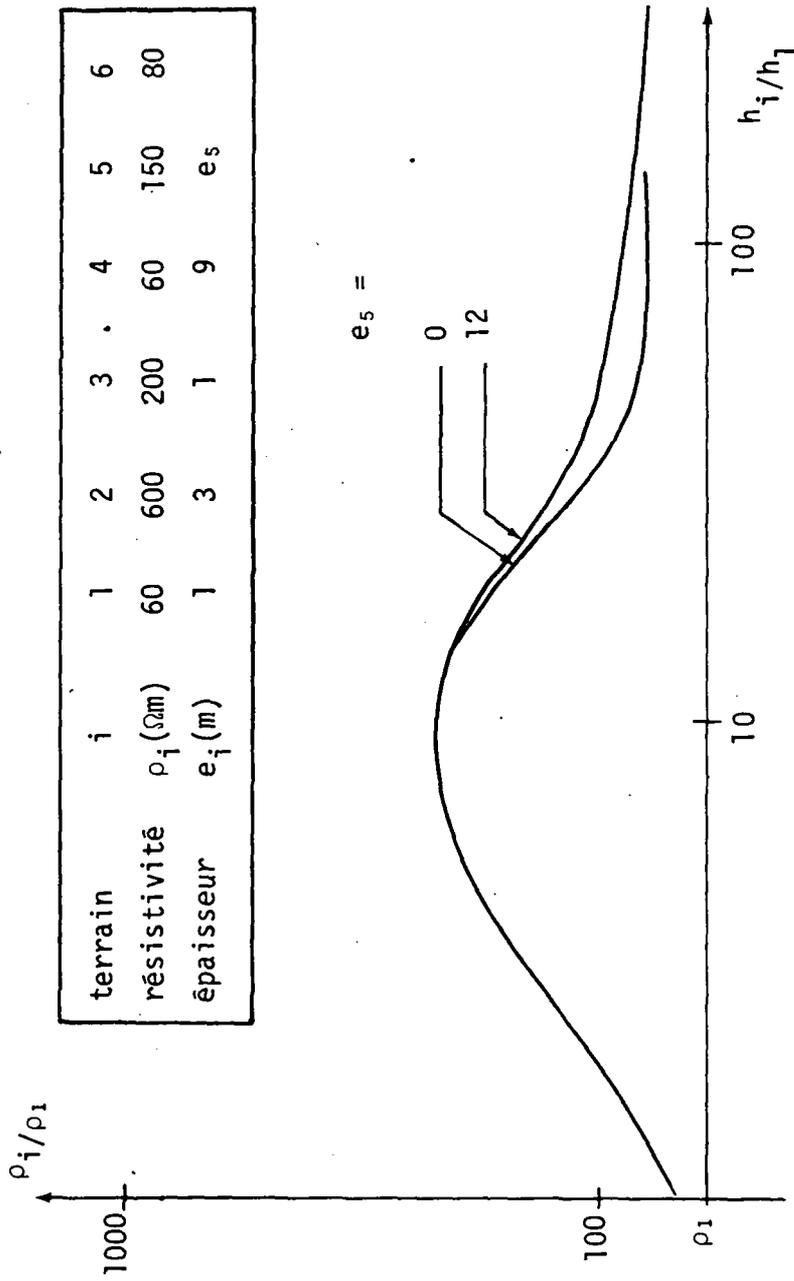


Figure 28 : Effet de la variation d'épaisseur d'un horizon sablo-graveleux profond sur la courbe de sondage électrique (site de l'ancien puits de Plan).

Secteur La Clergère - terrasses de Bergère

Les informations que l'on possède sur la plaine alluviale entre Le Plan et Lucens sont extrêmement maigres. Aucun sondage mécanique n'y a été implanté. Les mesures géophysiques montrent une grande variation dans la granulométrie des dépôts.

C'est sur la base de ces mesures indirectes que nous avons tenté une représentation schématique de la qualité probable des terrains aquifères. Ce résultat est donc à considérer comme une interprétation.

Le tronçon alluvial considéré est en continuité morphologique parfaite avec sa prolongation méridionale. Les lambeaux de l'ancienne plaine se poursuivent et se développent pour venir se réunir à la plateforme de Bergère, à l'endroit du creusement épigénétique du méandre de la Broye. Cette terrasse s'étale encore plus au nord, en face du débouché de la Cerjaule, sous le village de Lucens.

La composition des terrasses est essentiellement sableuse avec quelques horizons graveleux. Ces derniers ont donné lieu ici et là à de petites exploitations aujourd'hui abandonnées.

Grâce aux récents travaux du gazoduc, nous avons pu observer les sédiments qui constituent la terrasse de Perrevuits. La coupe confirme la nature fluviatile des dépôts (fig. 29).

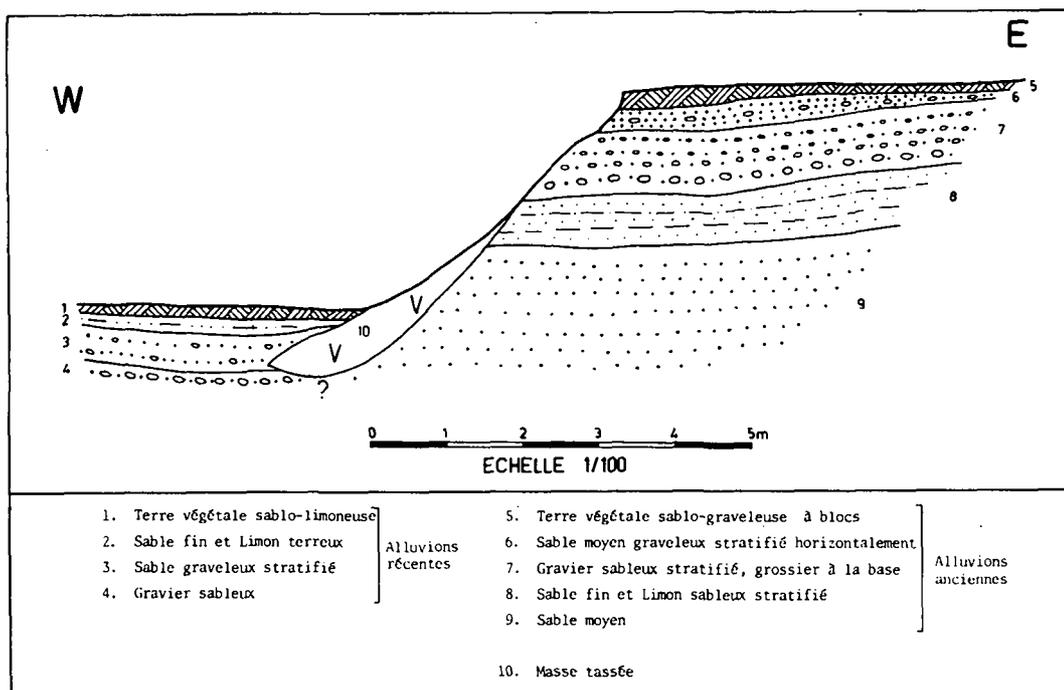


Figure 29 : Profil géologique au travers de la terrasse de Perrevuits, au sud de Lucens (553,82-171,75).

Exception faite d'une tentative au SW de la Clergère, aucune exploitation n'a été ouverte dans des alluvions de la plaine actuelle.

Pour l'analyse des données géophysiques, il faut considérer les documents suivants :

- 1) Traîné AB = 60 m
- 2) Traîné AB = 100 m
- 3) 24 sondages électriques

La comparaison des deux premiers montre que, si dans le cas de AB = 60 m les résistivités témoignent de plusieurs zones perméables, le dispositif AB = 100 m ne laisse plus apparaître que quelques pointements résistants. Ce fait illustre bien une concentration des terrains grossiers près de la surface alors que le fond tend vers des sédiments dans l'ensemble plus fins et moins perméables.

Bien que souvent peu précis, en ce qui concerne le détail des terrains peu profonds, les sondages électriques confirment cette observation.

Il s'en dégage toutefois que la partie supérieure des alluvions est sablo-graveleuse. Il s'agit d'abord des graviers récents dont seule la base est aquifère. Au-dessous doivent apparaître des terrains sableux, plus ou moins graveleux ou limoneux selon les zones. Leur épaisseur doit être de quelques mètres mais atteint par places plus de vingt mètres (voir carte IIIH).

Le repérage des zones plus graveleuses n'est pas chose aisée sans sondage mécanique. Leur épaisseur relativement faible, associée à une profondeur de gisement parfois importante, illustre l'application parfaite des principes géo-électriques de l'équivalence et de la suppression.

Sur la base de la prospection indirecte seule, nous avons attribué des perméabilités moyennes et faibles à ce secteur. Retenons tout de même deux zones plus favorables qu'il serait intéressant de prospecter plus en détail (carte IIIH) :

- Zone entre les cônes de Roche-Cuennat et Pré-Cerjat : terrains graveleux à perméabilité élevée, aquifères sur environ 5 m.
- Zone du cône de Pré-Cerjat - Pra-Salabrat : terrains à perméabilité moyenne sur une grande épaisseur (plusieurs dizaines de mètres).

Sous ces terrains relativement grossiers, on doit pénétrer à l'intérieur d'un corps finement sableux et limoneux lacustre avec des niveaux plus argileux.

Ce dernier secteur du tronçon Moudon - Lucens est loin d'être encore bien connu. Seuls quelques sondages mécaniques apporteront de nouvelles informations sur les ressources hydrogéologiques de ces alluvions.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

Nous pouvons d'emblée scinder le tronçon Moudon - Lucens en deux parties selon l'utilisation actuelle de ses eaux souterraines :

1) Partie déjà en exploitation : Moudon - Le Plan

Aujourd'hui, deux ouvrages utilisent les eaux souterraines de ce secteur :

- le puits à drains rayonnant de Plan (552-170-1)
- le puits vertical de la fonderie Gisling (551-169-1)

Entre ces points de prélèvement et à leur périphérie, plusieurs emplacements seraient favorables à l'implantation de nouveaux captages :

- Zone des gravières, rive gauche

Ce site serait particulièrement approprié à des captages d'eau industrielle en raison de la difficulté d'établir des zones de protection (terrains à vocation urbaine et industrielle). Seule une éventuelle interaction avec le puits de la fonderie serait à craindre.

- Zone des gravières, rive droite

L'étroite bande de terrain séparant la rivière du pied de la molasse montre par géophysique des possibilités intéressantes. Cette portion d'aquifère est probablement partiellement réalimentée par la Broye en cas de crue. En outre, un captage à cet endroit ne procurerait aucune gêne aux ouvrages existants. Il serait toutefois nécessaire de ne pas trop se rapprocher de l'ancienne décharge d'ordures de l'embouchure

du ruisseau de Vaucignery. Le remblaiement principalement terreux de l'ancienne gravière Bronjon-sud de l'autre côté du cours d'eau, ne devrait pas entraîner de pollution.

- Zone du Villaret

Bien que la prospection de 1964 n'ait pas abouti à la construction d'un puits définitif, il n'en demeure pas moins que le site du puits d'essai 552-169-3 a fourni des débits très importants. Il serait illusoire de considérer qu'un nouvel ouvrage implanté au Villaret resterait sans influence sur le puits de Plan. Toutefois il existe encore très probablement une partie de la nappe qui se vidange directement dans la rivière. C'est cette partie supplémentaire du flux souterrain qu'on pourrait dériver sans porter trop atteinte au puits à drains rayonnants. Une surveillance piézométrique pendant l'exploitation au Plan aurait été précieuse dans ce but. Comme les essais de pompage ont toujours été couplés avec un prélèvement dans le puits provisoire du Villaret, la forme de la zone d'appel reste indéterminée.

La prospection du secteur qui sépare le Villaret du cône du ruisseau de Vaucignery apporterait peut-être la possibilité de déplacer l'ouvrage quelque peu au sud, endroit où les lignes de courant naturelles indiquent un écoulement vers le NW. Les indices géophysiques sont favorables à une telle réalisation. La position du front de pollution autour de l'ancienne décharge située en amont, devrait encore être contrôlée par sondage.

- Zone des anciens puits de Plan

Ce secteur aval est certes moins prometteur que le précédent. Malgré tout, on pourrait très bien envisager à l'avenir de chercher dans ce site un complément appréciable aux ressources captées plus en amont. A

l'aide d'un système de captage moderne, on pourrait certainement gagner un millier de l/mn sans trop de frais. Comme précédemment, les interactions éventuelles avec le puits existant devraient être étudiées. Au point de vue qualité et protection des eaux, cette solution ne poserait pas de problème particulier.

2) Partie non exploitée (La Clergère - Lucens)

Nous avons vu lors de la description hydrogéologique que cette zone demeurerait particulièrement mal connue. Paradoxalement, elle est une des principales régions où l'on aura, à l'avenir, la possibilité de prélever des eaux sans gêner d'autres captages.

Il est probable que sa prospection et son exploitation ne seraient pas sans problème, les perméabilités paraissant plus faibles ici que directement en aval de Moudon. Des moyens de captage tels que les batteries de puits pourront pallier cette difficulté.

A l'heure actuelle, il est impossible de chiffrer les ressources en eau de ce secteur.

Dans l'entier du tronçon Moudon - Lucens, divers moyens artificiels permettraient d'augmenter les ressources en eau. Ces mesures à long terme pourraient être les suivantes :

- Relèvement du niveau de la rivière par barrage au droit des points de vidange de la nappe, au voisinage des puits d'exploitation (voir p.191).
- Réalimentation artificielle à petite échelle par aspersion avec l'eau de la rivière au début de l'été.
- Réalimentation artificielle à grande échelle avec prétraitement des eaux de surface (fossés, piscines ou puits d'infiltration).

Ces méthodes artificielles nécessiteraient des études préliminaires, surtout pour les deux dernières. Parmi les problèmes à résoudre, il faudrait :

- Préciser l'hydrodynamique de la nappe.
- Situer les éventuelles pertes à la rivière.
- Vérifier la communication hydraulique entre les graviers supérieurs et les sédiments plus profonds.

Ces préoccupations s'ajoutent à celles que l'on rencontre dans ce genre d'installation (mélange des eaux, filtration, colmatage, etc...).

Dans l'état actuel des connaissances hydrogéologiques régionales et locales, ainsi que du réseau d'observation, nous en sommes réduit à l'énoncé des principes de ces méthodes.

Quant à l'exploitation des terrains du fond du remplissage quaternaire, les perspectives paraissent particulièrement peu favorables. Les sondages électriques ne montrent aucune augmentation des résistivités au-dessus du substratum molassique qui doit se situer à une profondeur d'une quarantaine de mètres en aval de Moudon et qui va croissant progressivement jusqu'à une centaine de mètres un peu en amont de Lucens (profils F, G, H, I). Il faut donc s'attendre à ne rencontrer dans le fond de l'auge que des terrains à faible perméabilité.

Tronçon Lucens - cône de Treize-Cantons

Références

- Carte de base IVB
- Registre (p. 15 à 21)
- Carte hydrogéologique IVH
- Profils J, K, L
- Cartes des résistivités électriques

Au devant de Lucens et de Curtilles, la Broye est comprise entre les deux cônes de déjection latéraux de la Cerjaule et du ruisseau des Vaux. Plus en aval, la plaine conserve son orientation générale N40°E pour atteindre une nouvelle accumulation de bordure : le cône du ruisseau de Seigneux.

Plus ou moins symétriques entre Moudon et Lucens, les rives de la vallée montrent ici une allure très différente. Si le versant rive droite demeure assez doux et recouvert d'accumulations fluvioglaciaires importantes, la pente qui lui fait face est en revanche particulièrement escarpée. Cette dissymétrie résulte très certainement d'une composante du pendage des couches vers le NW.

Entre ces versants, la plaine conserve une largeur constante, légèrement inférieure à un km.

LA MOLASSE

De la même manière que dans le tronçon précédent, la partie visible de la vallée est taillée dans la molasse marine. Par contre, la limite Aquitanien-Burdigalien doit être en contact avec les alluvions à une centaine de mètres sous le niveau de la plaine pour remonter progressivement vers le NE (voir profils J, K, L).

Au point de vue hydrogéologique, quelques sources assez importantes émergent au sommet de la rive gauche, toujours associées au niveau principal des grès coquilliers (source de type S, fig. 20). Il s'agit d'une part des deux galeries exploitées par la Commune de Lucens (554,30 - 174,05) sous la

route montant à Cremin, d'autre part de la tranchée drainante (554,59 - 174,46) reconstruite au printemps 1979 (voir carte IV B).

De l'autre côté de la vallée, le placage fluvioglaciaire qui recouvre la molasse draine directement un bon nombre de venues d'eau molassiques pour les acheminer directement dans la nappe alluviale de la plaine. De plus, la série des grès coquilliers ne doit être présente qu'au niveau du plateau des Murailles, recouverte d'une masse importante de terrains quaternaires. A la sortie du vallon du ruisseau des Vaux, en revanche, plusieurs sources molassiques importantes apparaissent sur la rive droite (p. ex. 554,86 - 172,48).

LA MORAINÉ

Dans le bassin de Curtilles, deux sorties d'eau souterraine sont particulièrement remarquables. Elles sont toutes deux captées en pleine molasse mais se situent à l'aval de l'amas morainique de la prolongation amont du sillon d'Henniez.

La première apparaît sur la rive droite du R. des Vaux (555,3 - 171,25). Le remplissage quaternaire recoupé légèrement plus en amont est de composition argileuse mais localement perméable. La barre molassique contre laquelle il s'appuie à l'W est affectée par un accident tectonique majeur de direction N17°E qui donne une perméabilité fissurale très importante à un épais banc de grès à galets. Une galerie creusée par Henniez-Lithinée SA recueille un débit moyen d'environ 80 l/mn. Les réserves souterraines doivent être partagées entre la molasse fissurée et la moraine.

Une situation à peu près semblable doit régler les écoulements de la source des Bioles (555,5 - 172,55) où la commune de Lucens exploite une courte galerie qui récolte plus de 100 l/mn des diaclases du Burdigalien. Là, également, un peu en amont dans le versant, le ruisseau recoupe la même structure morainique à blocs comprenant ici quelques niveaux graveleux stratifiés (PARRIAUX 1978b). Cette masse de terrains poreux joue certainement un rôle prédominant dans le stockage des réserves d'eau souterraines.

Au nord, l'érosion du Ruisseau de Seigneux a recoupé entièrement l'ancienne vallée. Dans son axe, sur la rive gauche du talweg actuel, sort une source de moyenne capacité (556-174-4) qui représente la vidange septentrionale de ce tronçon.

De l'autre côté de la vallée de la Broye, BRIEL (1962) a relevé la présence d'une ancienne Cerjaule qui devait cheminer, avant son remblaiement, de Champ-de-Romont à Surpierre. Les mesures électriques effectuées sur son parcours n'ont pas montré d'anomalies de résistivité notables. Son matériel de remplissage est donc probablement morainique avec de faibles perméabilités. Au contraire du sillon creusé dans l'autre rive, celui de la Cerjaule ne montre pas de manifestations hydrogéologiques extérieures excepté une source (553,35 - 174,16) située dans l'axe de l'auge, en son point de départ, sous le Bois de l'Hôpital.

Quant à la part de la moraine dans le remplissage de la plaine, elle doit demeurer de faible importance sauf peut-être au droit du profil L où, dans le sondage 555-175-5, a été décrite une "argile morainique compacte avec quelques cailloux". Cette dénomination donnée par le sondeur n'implique pas forcément que l'on ait affaire ici réellement à la moraine de fond. On sait en effet que les sédiments lacustres de la plaine peuvent présenter des strates argilo-limoneuses contenant quelques galets (drop stones).

LES ALLUVIONS

C'est essentiellement la rive droite qui présente des dépôts fluvioglaciaires perchés. Il s'agit des sédiments supérieurs du plateau des Murailles qui ont été localement exploités pour leurs graviers durant les précédentes décennies. Ils sont le siège d'une petite nappe d'eau souterraine qui se vidange par plusieurs sources en tête du versant molassique, au voisinage des ruisselets qui en descendent entre Tassonnaire et Grands Bois. Ce phénomène est particulièrement bien visible par temps sec sous l'ancienne gravière des Murailles.

Les cônes fluvioglaciaires du Ruisseau des Bioles et de la Cerjaule appartiennent à des époques un peu plus tardives que les précédentes. Bien que composés de terrains assez perméables, leur position entraîne un drainage tellement important que les éventuelles nappes d'eau y sont très peu épaisses et probablement temporaires. Il en est certainement de même de la colline fluvioglaciaire de Tassonnaire.

Les dépôts de la plaine alluviale ancienne, qui ont été épargnés par l'érosion, forment au SE la longue terrasse de Bramafan - Taille ainsi qu'en face celle de Pra la Mort. Ces terrains sablo-graveleux sont en continuité hydrologique avec les alluvions de la plaine. Ils sont donc traités avec elles.

Pour la commodité de la description, nous sommes contraint de diviser ce tronçon de la plaine alluviale en plusieurs secteurs.

Secteur du cône de la Cerjaule

Dès l'apparition d'industries importantes à Lucens, on s'est tourné vers la recherche de nouvelles ressources en eau. Le cône de la Cerjaule se prêtait a priori très bien à une telle utilisation.

La commune de Lucens en fit l'expérience la première avec le puits de la Moutonnerie (554-173-4). Cet ouvrage n'a pu donner que des débits limités, vu la faible épaisseur de l'aquifère graveleux (probablement 1 à 2 m).

Une deuxième tentative a été le creusage d'un puits profond (554-173-18) qui, après la traversée d'un peu de gravier, est resté dans les limons lacustres jusqu'à 25 m.

Le troisième essai a été tenté sur le devant du cône (554-173-6) par l'usine de fibres de verre. Là encore, le résultat a été très décevant puisque le sondage n'a rencontré que des limons avant d'atteindre la molasse à 16 m de profondeur déjà.

Plus au SE encore, à une cinquantaine de mètres de la Broye, une ligne de sondages a été récemment implantée¹ (novembre 1978). Nous en donnons ici la coupe schématique obtenue dans quatre forages (situation moyenne 554,60 - 173,15) :

¹ Plusieurs sondages ont été réalisés à Lucens par l'usine Fibriver et la Fédération Laitière Vaudoise et Fribourgeoise (FLVF) après la rédaction du registre et de la carte de base. Les profils principaux sont donnés dans le texte et ont été intégrés dans la carte hydrogéologique.

0 - 1,00	Limon sableux terreux
1 - 4,00	Gravier sableux, aquifère sur quelques décimètres
4 - 25,00	Sables fins à moyens et limons stratifiés.

Aucun sondage ou puits n'a fait l'objet d'un essai de pompage. Vu la faible épaisseur de l'aquifère graveleux, c'est la nappe sablo-limoneuse qui est cartographiée avec une teinte de faible perméabilité (carte IV H). Dans le cas du puits de la Moutonnerie en revanche, l'épaisseur des graviers saturés est suffisante pour les caractériser sur la carte.

En ce qui concerne l'écoulement de la nappe dans ce secteur, les divers points d'observation n'ont jamais permis de mesures piézométriques synchrones. On peut toutefois concevoir des lignes de courant qui rayonnent du centre du village en direction de la Broye.

Secteur du cône du ruisseau des Vaux

Dans sa partie amont, au NW du village de Curtilles, la composition exacte du cône du Ruisseau des Vaux demeure inconnue.

Seul un sondage court (554,71 - 172,61) pour le passage du gazoduc a pénétré dans des graviers secs sous 3 m de colluvions. Quant aux indices géophysiques, ils sont assez favorables puisque l'on mesure des résistivités électriques supérieures à 200 Ω m (AB = 60 m), au droit du pont de la route romaine (554,75 - 172,65).

Au devant du cône actuel, la Broye a érodé la zone frontale de l'accumulation qui correspond à l'ancienne plaine alluviale. L'une de ses reliques, la terrasse de Bramafan, a été explorée superficiellement par le gazoduc. Il y a mis à jour, sous de puissantes colluvions limoneuses, des terrains graveleux d'épaisseur inconnue. La partie aquifère n'a pas été touchée.

Au pied de la terrasse, en revanche, un récent sondage (554,73 - 172,98) effectué pour la FLVF est descendu profondément dans la nappe. Sa coupe peut être schématisée de la

manière suivante :

0 - 5 m	graviers, sables et limons secs
5 - 12 m	sables limoneux et graveleux
12 - 13 m	gravier limoneux
13 - 17 m	sables limoneux et graveleux
17 - 18 m	gravier assez limoneux
18 - 20 m	sables limoneux

Aucun essai de pompage n'ayant été exécuté, nous situons ces terrains d'après la granulométrie dans la partie inférieure de la classe de perméabilité moyenne (carte IVH).

Secteur du puits de la Caséine (profil J)

Une fois passé les deux cônes de Lucens et Curtilles, la Broye longe sur sa droite les anciennes gravières de Riche. Les couches qu'on y exploitait étaient celles des alluvions supérieures, en grande partie exondées.

C'est précisément du fond de l'une de ces exploitations qu'a été foncé le puits de l'usine de caséine (554-173-1). Il s'agit d'un ouvrage ancien qui traverse une dizaine de mètres de graviers sableux aquifères de perméabilité élevée (voir registre p. 15). Au-dessous, les graviers passent à des sables.

La situation de ce captage se révèle particulièrement bien choisie, bien qu'à l'époque seuls deux sondages de reconnaissance aient été implantés. Aujourd'hui, la zone située à la périphérie du puits a été abondamment explorée sur les côtés NE, NW et SE. Or, aucun forage n'a découvert une pareille épaisseur de matériel perméable.

Du côté SW d'abord, les deux sondages (554-173-9 et 10) (correction RC) situés aux abords immédiats du puits montrent des coupes qui sont semblables à celles du captage, avec une tendance déjà plus sableuse et limoneuse. Dès le sondage 11, les graviers passent progressivement aux sables. On se rapproche ainsi des observations géologiques faites au pied du cône du ruisseau des Vaux (p.165).

En direction de l'W et du NW, les sondages 554-173-2 et 3 indiquent une très rapide disparition des graviers au profit d'un mélange de sables fins et moyens plus ou moins limoneux, de faible perméabilité. Ils sont semblables aux dépôts du cône de la Cerjaulle (profil J).

Vers le nord, les sondages FLVF 1979 et ceux de la route cantonale ont pénétré des terrains analogues à ceux découverts au sud du puits avec une prédominance des sables sur les graviers et des perméabilités moyennes. Citons à cet égard la coupe du sondage FLVF n° 8 (555,08 - 173,47) :

0	-	7	m	sables moyens à fins très peu limoneux
7	-	10,5	m	sables moyens limoneux et graveleux
10,5	-	11,5	m	gravier et sable graveleux peu limoneux
11,5	-	15,0	m	limons et sables fins argileux stratifiés

Terrain aquifère dès 7 m.

Reste l'extension vers le SE qui demeure à explorer. Les mesures électriques montrent une zone à fortes résistivités dans la prolongation de la terrasse de Bramafan, ce qui paraît être un indice favorable. Toutefois, une plus grande épaisseur de terrains non saturés est probablement en partie responsable de l'augmentation des valeurs. Notons encore qu'un sondage court implanté pour le gazoduc dans la terrasse, à 50 m du pied du versant, a découvert des graviers secs sous deux mètres de colluvions.

L'hydrodynamique du secteur du puits de la Caséine est maintenant mieux connue grâce aux récents piézomètres du Service des routes et de la FLVF. Ils ont permis de tracer les grandes lignes des écoulements souterrains à hautes et basses eaux de la portion de nappe comprise entre le cône du Ruisseau des Vaux et le puits communal de Lucens (fig.31). Nous traiterons plus loin (p.173) de l'interprétation détaillée de ces résultats. Remarquons ici simplement que la zone d'appel du captage (554-173-1) s'étend au sud de l'ouvrage. Elle est bordée à l'est par celle du puits communal et à l'amont par la zone de vidange de la nappe directement dans la Broye. La relation avec les terrains aquifères du cône du Ruisseau des Vaux demeure toutefois extrêmement imprécise.

Il semble que les infiltrations des eaux de ruissellement du versant rive droite de la vallée doivent jouer un rôle dans l'alimentation de la nappe de la plaine. Tout particulièrement le Ruisseau des Bioles, dont le tronçon inférieur est détourné artificiellement vers le nord, doit contribuer par ses pertes à la recharge des graviers aquifères. Toutefois, nous avons observé qu'à basses eaux, l'infiltration finale et massive du ruisseau se produit à l'aval du périmètre d'appel du puits de la Caséine, au point 554,94-173,45.

Il se trouve que cette recharge est également au dehors du rayon d'appel de celui de la Commune de Lucens par hautes eaux. Elle est à sa limite occidentale lors des basses eaux (fig. 31 et 36).

L'exploitation du puits de la Caséine est pratiquement permanente, avec un débit d'environ 1000 l/mn. Cette ressource deviendra insuffisante une fois construite la nouvelle usine projetée. Actuellement, la société FLVF procède à des recherches hydrogéologiques afin de déterminer les possibilités de capter un débit supplémentaire.

Au point de vue qualitatif, les eaux pompées à la Caséine montrent une minéralisation (Dt = 38 DF) encore supérieure à celle de la nappe en aval de Moudon (Dt = 31 DF) ainsi qu'à celle du puits communal de Lucens (Dt = 32 DF). Le rapport dureté temporaire/dureté totale diminue en revanche légèrement par suite d'une plus forte croissance de la minéralisation non carbonatée (voir registre p. 15).

De plus, la teneur en oxygène de l'eau doit être suffisante puisqu'on n'observe aucun nitrite ni ammoniac en solution.

Sur le plan de la qualité bactériologique, les résultats ont été souvent peu satisfaisants. En effet, si la situation du captage est favorable en ce qui concerne la perméabilité des terrains, elle est en revanche particulièrement mal appropriée à la protection des eaux. Implanté dans un fond de gravière, sans vidange possible par ruissellement et en bordure directe d'une route à grand trafic, le puits est exposé à l'action polluante des eaux superficielles ainsi qu'à des dangers potentiels beaucoup plus graves tels que le renversement d'un camion citerne par exemple. Depuis quelques années, les services de l'Etat ont obtenu un remblaiement partiel de la dépression, entraînant ainsi une diminution des risques de contamination.

Rappelons enfin qu'une infiltration accidentelle d'huile minérale est survenue en 1976 au point 554-173-3, à environ 170 m au SW du captage. Les travaux de pompage dans un puits d'assainissement ont permis de récupérer la majeure partie du polluant. Par ailleurs, aucune incidence n'a été visible

sur les points d'eau de la région.

Secteur Champ du Vuaz - Pra la Mort

Le secteur de Champ du Vuaz sur la rive droite et Pra la Mort sur l'autre rive fait la transition entre les deux grands captages de la Caséine et de la Commune de Lucens. Cette portion de plaine longue d'environ 800 m a été abondamment testée par les méthodes électriques. Pour ce qui est de la prospection directe en revanche, il a fallu attendre l'été 1979 pour que quelques sondages courts y soient implantés.

En ce qui concerne les résultats électriques d'abord, nous avons complété les valeurs AB = 60 m de l'atlas vaudois (MEYER DE STADELHOFEN 1973) par celles déduites de nos courbes de sondages électriques (voir annexe III B).

De plus, un traîné électrique spécial AB = 100 m a été exécuté afin de diminuer l'effet massif provoqué par les graviers secs de la surface (voir annexe III F).

Enfin, une dizaine de sondages électriques donnent une représentation semi-quantitative de la composition du sous-sol. Une grande incertitude intervient dans l'interprétation des courbes par l'application du principe de suppression pour l'horizon graveleux aquifère. En effet, cette couche de résistivité intermédiaire entre les graviers secs et le fond sableux possède des épaisseurs souvent faibles et peut ainsi passer quasiment inaperçue dans la courbe de sondage (fig. 30). Ces résultats permettent tout de même de situer des endroits où la nappe doit être plus épaisse qu'à d'autres. Ils font apparaître des variations dans la résistivité des terrains subordonnés aux graviers supérieurs, valeurs qui laissent présager des éventuelles récurrences grossières dans la série des sables.

Les cartes de résistivités électriques apparentes font ressortir une répartition hétérogène de ce facteur. Son interprétation n'est pas très aisée en raison de l'effet provoqué par les variations de la couche aérée. Toutefois, la comparaison des cartes AB = 60 m et AB = 100 m permet d'in-

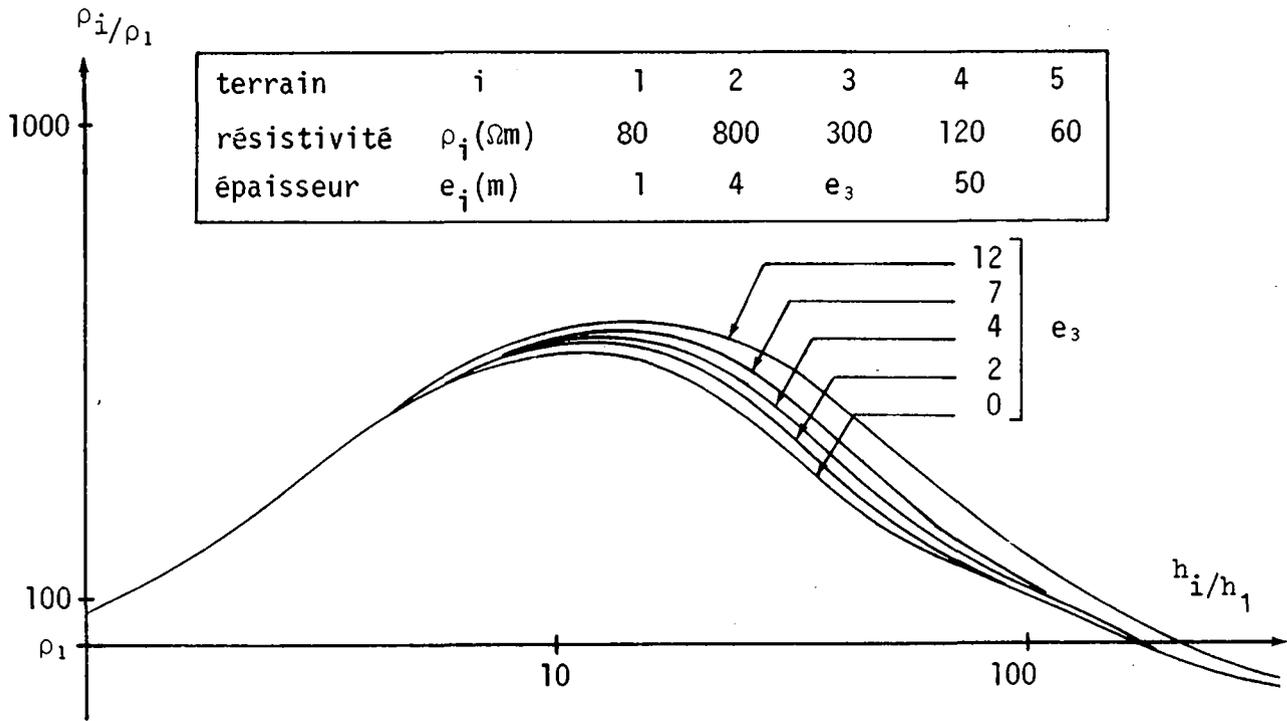


Figure 30 : Effet de la variation d'épaisseur de la nappe des graviers supérieurs sur la courbe de sondage électrique.

dividualiser à la surface du sol des zones plus ou moins perméables (voir annexes III B et III F, carte IV H).

La question d'une interaction éventuelle entre un deuxième captage projeté par la FLVF dans la zone de Riche avec le puits communal de Lucens s'est immédiatement posée. Pour y répondre, nous avons suggéré la pose d'un réseau piézométrique dans le secteur intermédiaire afin de déterminer les équipotentielles et lignes de courant de la nappe entre les deux points de prélèvement. Ce réseau a été réalisé par cinq sondages carottés qui fournissent, malgré leur huit mètres de profondeur seulement, des renseignements intéressants sur la continuité de l'aquifère graveleux supérieur (carte IV H).

Les deux forages de la partie méridionale (555,01-173,60 et 555,16-173,67) n'ont traversé que des graviers secs avant de pénétrer dans des sables plus ou moins limoneux saturés. Plus au nord, les trois autres sondages se montrent plus favorables, surtout le 555,10 - 173,90 qui est resté dans des graviers aquifères.

La comparaison de ces résultats avec les cartes de résistivités est satisfaisante. Il serait toutefois nécessaire, vu la grande variabilité en plan des terrains aquifères, de resserrer encore le réseau de mesures électriques existantes pour guider plus précisément l'implantation de forages de reconnaissance.

Il reste encore à prospector la partie plus éloignée de ce sous-sol avec des sondages d'une trentaine de mètres pour reconnaître d'éventuelles intercalations graveleuses profondes qui peuvent être peu sensibles en sondage électrique.

De l'autre côté de la rivière, la situation est analogue, bien que moins favorable du point de vue électrique. Les sondages 554-173-19, 20 et 21 ont montré que les graviers supérieurs restent exondés dans le secteur de la station d'épuration. Au-dessous, la nappe occupe une série de sables fins plus ou moins limoneux jusqu'à plus de 15 m de profondeur. Seul le sondage 20 est marqué par deux intercalations plus perméables de sables graveleux (voir registre p. 16). En ce qui concerne les alluvions encore plus profondes, les sondages électriques n'indiquent pas la présence d'horizon plus grossier.

L'hydrodynamique de la nappe dans le secteur de transition entre les deux grands puits de Lucens peut être maintenant étudiée grâce au double réseau piézométrique de la route cantonale et de la FLVF.

Sur la base des relevés piézométriques allant de l'automne 1979 jusqu'en mars 1980, nous avons sélectionné deux états de la nappe, l'un à l'étiage d'automne (17.10.79) et l'autre au sommet des hautes eaux de la crue d'hiver (11.2.80). L'examen des résultats (fig. 31) montre immédiatement une forte différence dans l'écoulement des eaux souterraines.

Il faut tout d'abord prendre conscience du fait que si les équipotentiels sont assez bien déterminées dans les parties centrale et occidentale de l'aquifère, elles le sont en revanche beaucoup moins dans la zone de piémont où des phénomènes d'alimentation latérale entrent en jeu.

Si l'on considère en premier lieu l'état de la nappe à hautes eaux, on observe une direction générale des équipotentiels qui est oblique par rapport à la Broye. Cette obliquité n'est que d'une dizaine de degrés au voisinage direct de la rivière. Plus à l'est, elle passe de huitante à une trentaine de degrés respectivement à l'amont et à l'aval du puits communal. Ces directions sont la résultante d'un écoulement de la nappe d'une part vers la rivière, d'autre part vers l'aval de la plaine. De plus, la forme générale des isopièzes est affectée par des anomalies locales au droit des points de prélèvements artificiels. Dans le cas du puits de la Caséine, le régime de pompage industriel soutenu entraîne un fort rabattement même à hautes eaux. Au contraire, le captage de la Commune de Lucens ne marque qu'une déformation relativement faible due à une exploitation modérée. Par la méthode graphique, nous avons tracé un certain nombre de lignes de courant caractéristiques qui permettent une esquisse du périmètre d'appel des deux puits principaux (fig. 31). Celui du captage à drains rayonnants de Lucens remonte très loin vers le sud tout en s'éloignant de la rivière pour venir côtoyer le périmètre d'appel de l'ouvrage de la FLVF, au pied des terrasses de Riche. Il laisse sur sa marge occidentale un large domaine où les eaux de la nappe supérieure se déversent directement dans la Broye.

En période d'étiage, la situation n'est guère différente dans le secteur du puits de la Caséine, l'ensemble des niveaux se trouvant simplement décalé vers le bas. De plus, le périmètre d'appel n'a pas sensiblement évolué. Il n'en est pas de même pour celui du puits communal :

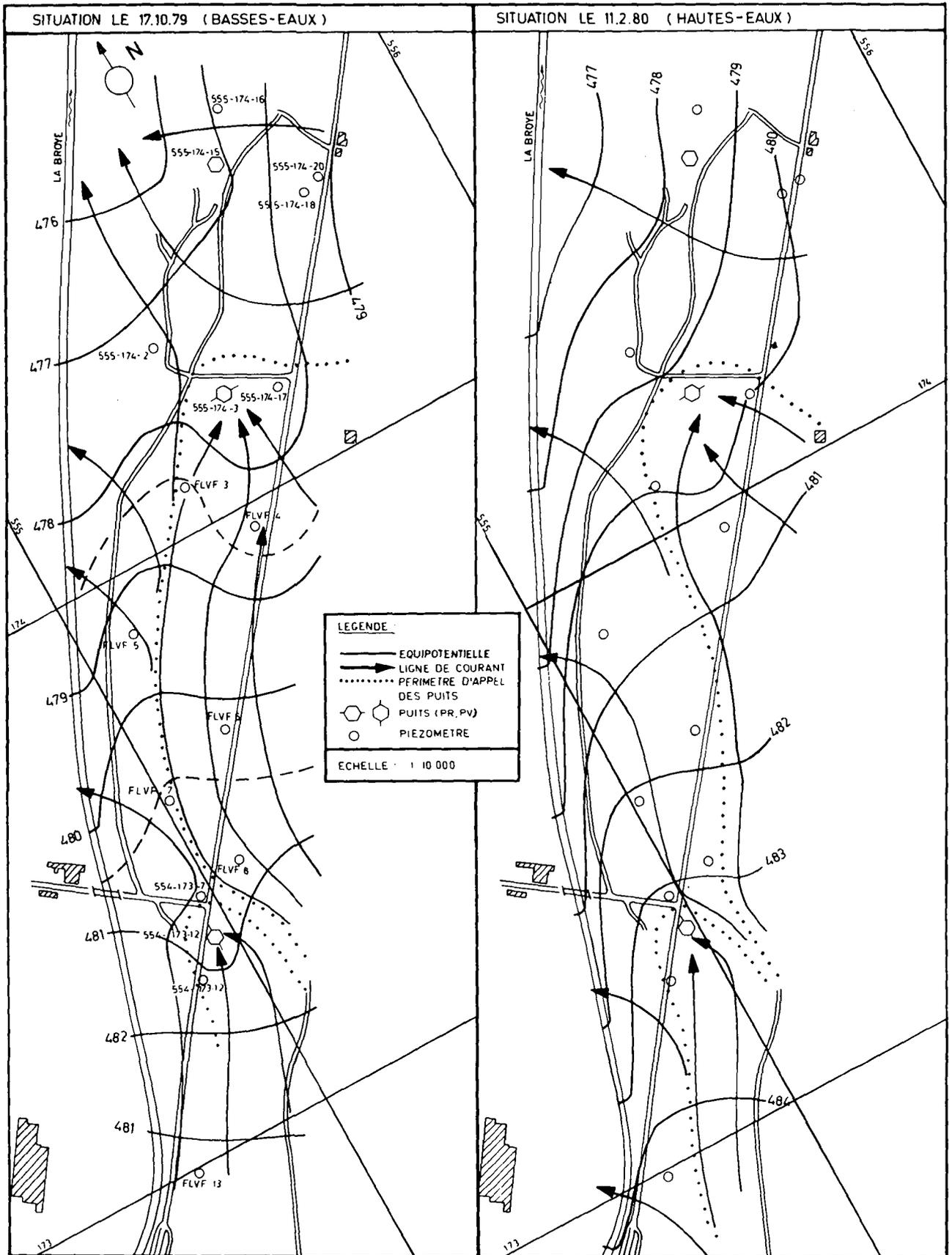


Figure 31 : Hydrodynamique de la nappe souterraine entre les puits de la Caséine et des Grands-Champs, Lucens (méthode graphique).

Son extension vers le sud est beaucoup plus vaste, intéressant une bonne partie de la zone centrale de l'aquifère, directement en aval du captage méridional. La zone d'écoulement vers la rivière est alors réduite à une bande de 100 à 200 m de largeur. En outre, le rabattement dû au puits à drains rayonnants déforme fortement les isopièzes au sud de l'ouvrage. Ces faits apportent la preuve d'une certaine communication entre l'aquifère profond exploité par les drains et la nappe des graviers supérieurs (voir p.181).

A l'aval de cette zone de convergence des filets de courant, les équipotentielles semblent s'aligner sur la rivière, impliquant ainsi des directions d'écoulement perpendiculaires à la Broye. De plus, on décèle une déformation due probablement à un léger rabattement au puits artisanal 555-174-15.

D'une manière générale, on peut conclure de la façon suivante :

- 1) La nappe des graviers supérieurs est soumise à deux types de drainage : la rivière et les puits filtrants. A hautes eaux, le premier l'emporte sur le second alors qu'à l'étiage, c'est l'inverse qui se produit.
- 2) L'interaction entre les puits 554-173-1 et 555-174-3 est de peu d'importance à hautes eaux tandis qu'elle devient manifeste en situation d'étiage.
- 3) L'effet de la rivière sur la nappe est celui d'un fort drainage permanent, sauf en période de crue des eaux de surface et ceci sur une superficie relativement restreinte autour du cours d'eau.
- 4) Les résultats obtenus ne concernent que la nappe des graviers supérieurs et ne sauraient préjuger des écoulements dans les niveaux aquifères plus profonds, notamment celui des graviers exploités au puits à drains rayonnants de Lucens.

Secteur du puits communal des Grands Champs (Lucens)

Après avoir abandonné l'exploitation du puits de la Moutonnerie, la commune de Lucens a été raccordée temporairement sur le puits de la Caséine avant qu'elle ait réalisé un nouveau captage pour son propre compte.

Dès 1960, les recherches se sont immédiatement tournées vers le secteur de la Chaumière, environ 1,5 km en aval du village et ceci pour plusieurs raisons :

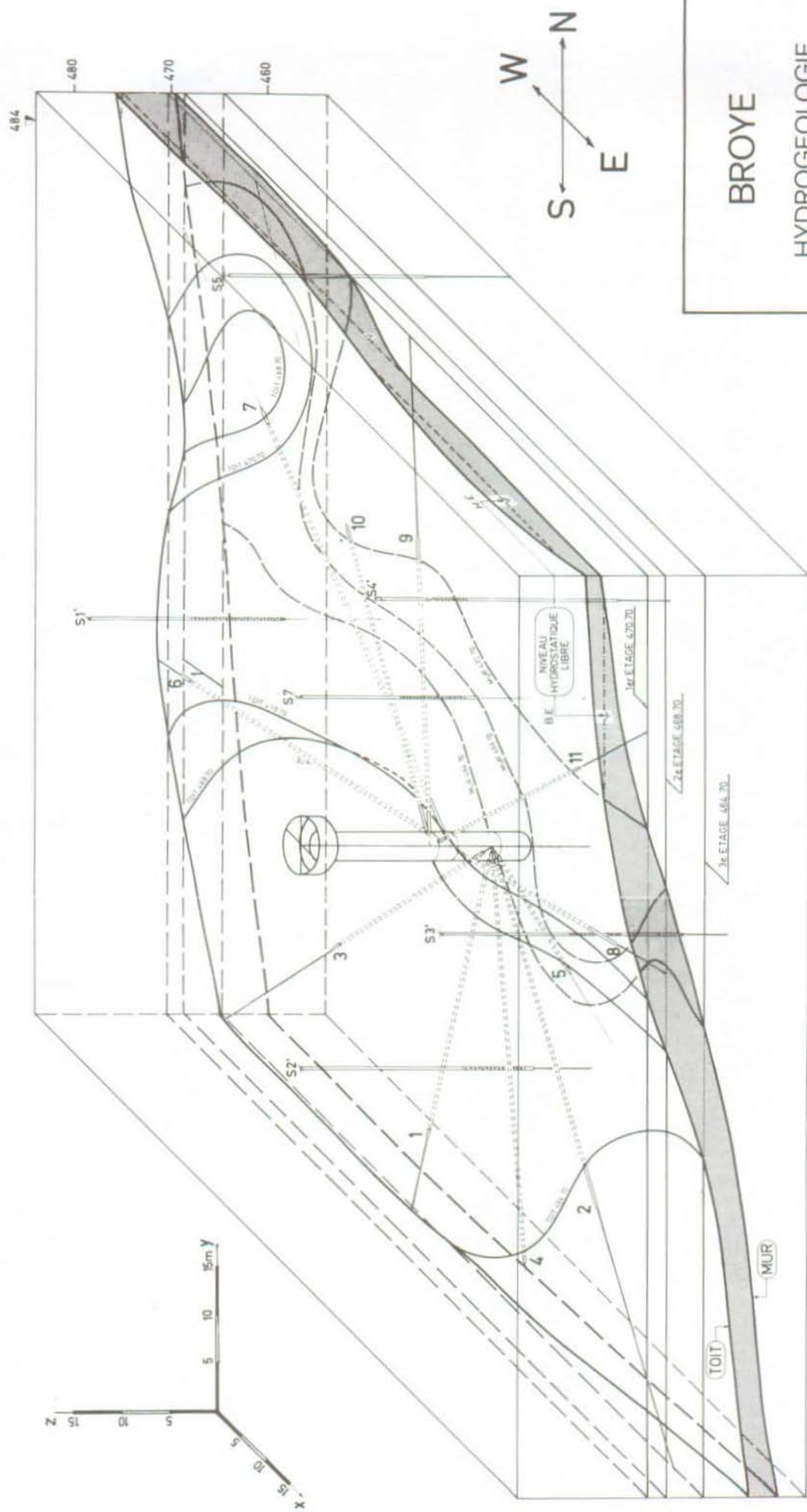
- perméabilité mauvaise dans le secteur des usines
- observation d'un aquifère graveleux dans le fond des ballastières Catellani et Sabattini à l'ouest de la Chaumière.
- reconnaissance géoélectrique favorable dans ce dernier secteur.

La prospection directe a commencé par l'exécution de sept sondages mécaniques de grand diamètre dans un rayon d'environ 200 m autour de l'extrémité sud de la zone des gravières (sondages 555-174-4, 9, 10, 11, 12, 13, 14). L'un des forages (555-174-4) a été équipé pour la réalisation d'un essai de pompage. Il a été entouré plus tard par une ceinture de 4 trous supplémentaires (555-174-5, 6, 7, 8) nécessaires à l'implantation d'un puits définitif à drains rayonnants (555-174-3). Beaucoup plus tard, deux sondages complémentaires (555-174-2, 17) sont venus compléter les informations géologiques sur ce secteur (profil K).

L'ensemble de ces dernières conjugué avec les coupes des drains permet de tracer d'une manière assez détaillée la structure de ce complexe aquifère. Il est représenté d'une manière schématique sur le bloc-diagramme de la figure 32.

On a dessiné sur ce document la géométrie de l'horizon graveleux principal reconnu par la prospection. Cette couche, confondue avec les graviers supérieurs au N et NE du puits, s'en individualise en s'enfonçant vers le sud sous la forme d'un panneau oblique plus ou moins onduleux. Les figures 33 et 34 décrivent en détail la morphologie de cet horizon aquifère par les cartes structurales du toit et du mur.

PUITS A DRAINS RAYONNANTS DE LUCENS STRUCTURALE DE L'AQUIFERE



BROYE
HYDROGEOLOGIE
A. PARRIAUX 1979

Figure 32 : Bloc-diagramme de l'horizon aquifère principal au voisinage du puits à drains rayonnants des Grands-Champs (555-174-3).

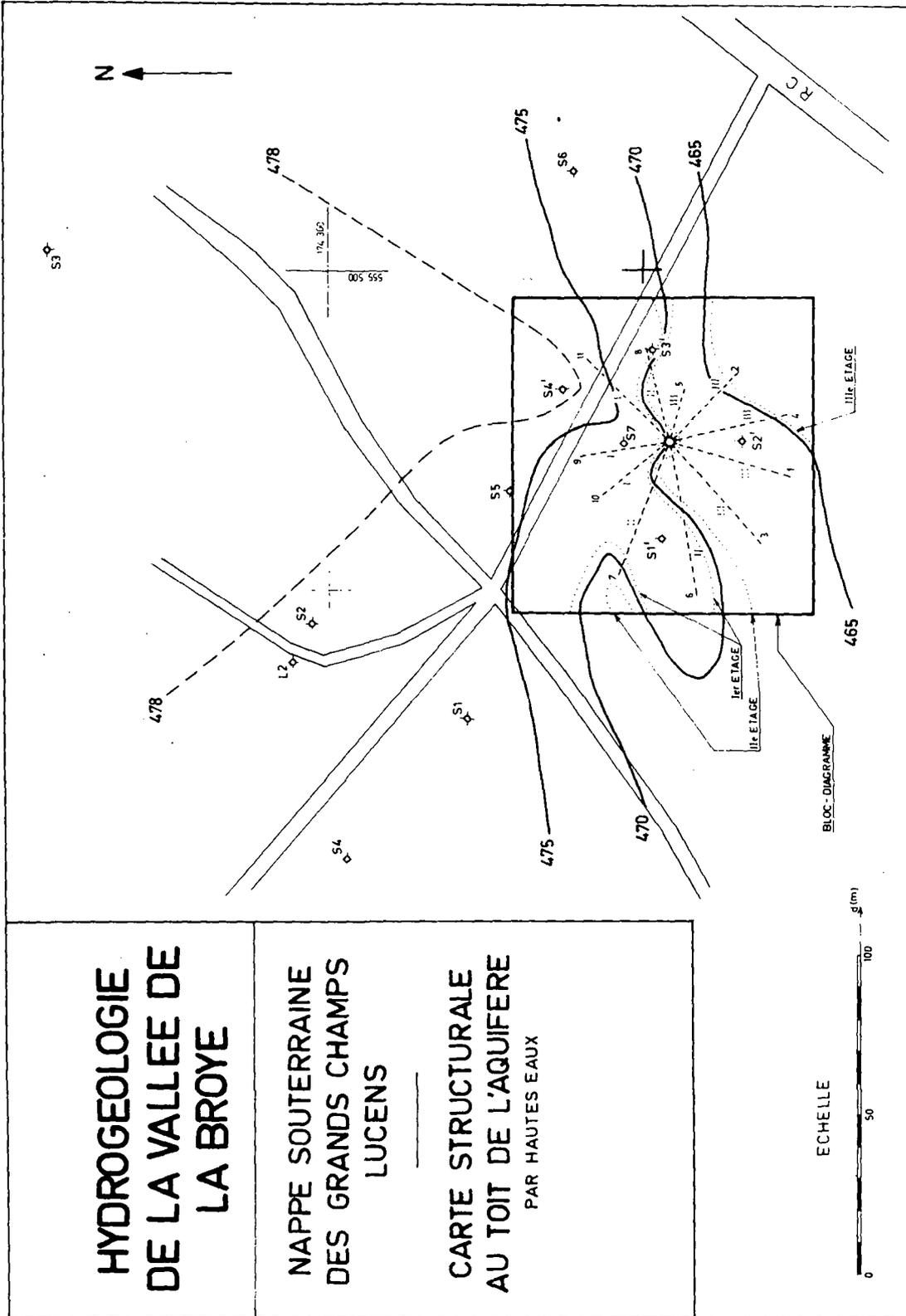


Figure 33 : Morphologie du toit faiblement perméable de l'aquifère principal du puits des Grands-Champs (555-174-3).

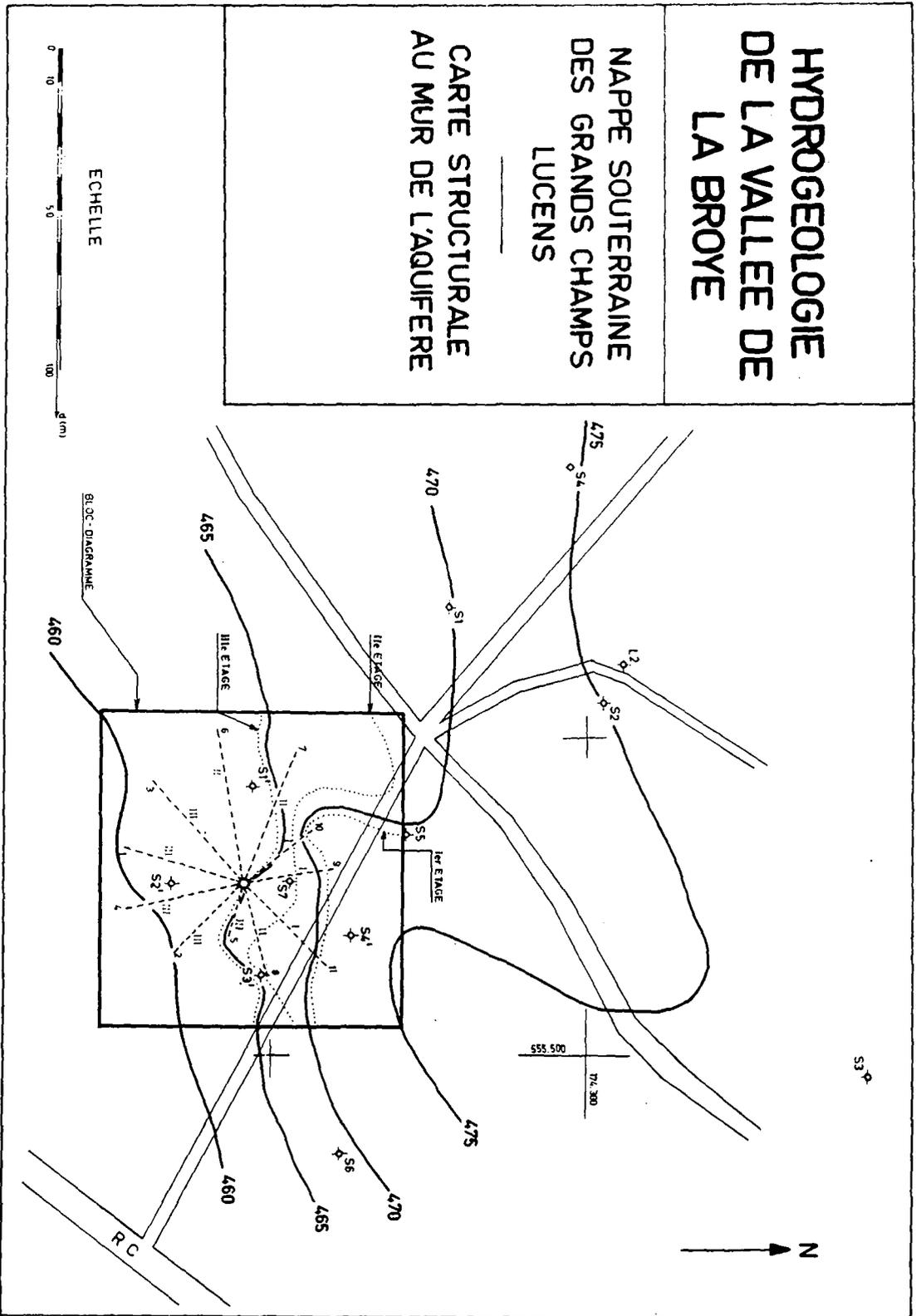


Figure 34 : Morphologie du mur faiblement perméable de l'aquifère principal
du puits des Grands-Champs (555-174-3).

Les graviers qui le composent montrent une quantité de matières fines variables à l'intérieur de la couche elle-même et selon les sondages. Des niveaux cimentés ont été également traversés. L'épaisseur aquifère passe de 3 m dans la zone où la nappe est parfaitement libre à plus de 9 m au SW, dans le compartiment semi-captif (fig. 35).

Dans le site du puits, la nappe des graviers supérieurs est séparée de l'aquifère profond par un coin de sables fins, souvent compacts et peu perméables, dont l'épaisseur augmente vers le sud.

Au-dessous des graviers inférieurs, en revanche, des sables plus meubles ont été traversés. Dans les sondages 555-174-5 et 7, une nouvelle couche de sables graveleux a même été reconnue (profil K). Au point 555-174-9 enfin, les sondeurs ont noté la fin du forage dans 10 cm de molasse qu'ils ont dû trépaner. Cette interprétation, si elle n'est pas totalement invraisemblable, n'en est pas moins surprenante face aux profils des autres sondages et à la géologie de la plaine. Il se peut que l'on soit en présence d'un bloc de molasse ou plus probablement d'un niveau de sables quaternaires cimentés tels qu'on en rencontre parfois dans certaines gravières. La forte incrustation constatée dans la couche aquifère du puits milite en faveur de cette hypothèse. Les résultats de la sismique réfraction profonde indiquent du reste à cet endroit une couche à $v = 2000$ m/s jusqu'à 175 m de profondeur, couche difficilement assimilable au substratum molassique (voir p.190).

Les quelques sondages implantés à la périphérie de cette zone n'ont pas atteint de couche graveleuse profonde. Leur longueur est certes restée très faible. Il semble bien toutefois que de tels panneaux de sédiments grossiers soient relativement rares dans le remplissage de cette portion de la plaine. Nous sommes tenté d'associer ces dépôts à ceux de la colline fluvioglaciaire de la Tassonnaire. La forte compacité

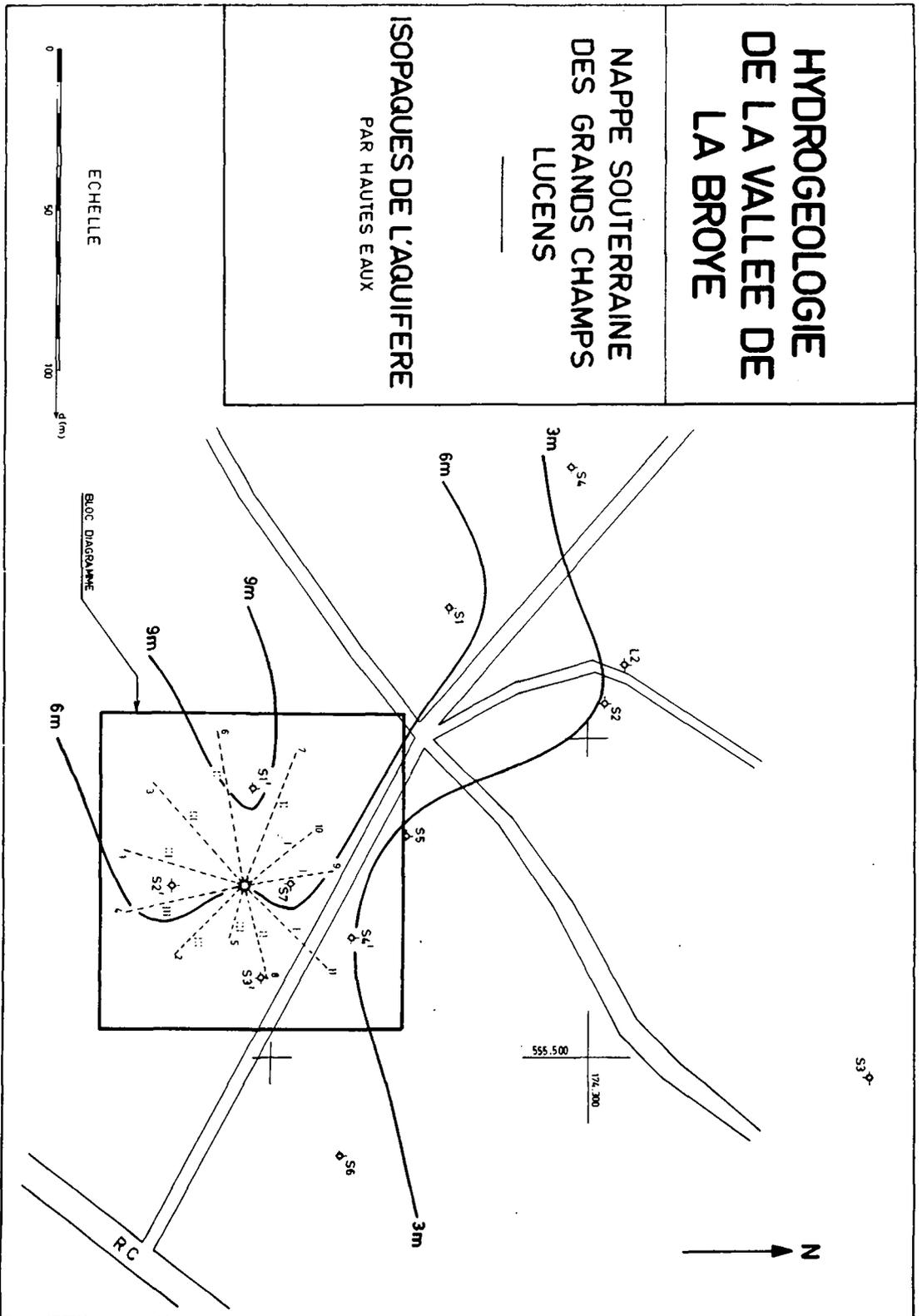


Figure 35 : Variations de l'épaisseur de l'aquifère principal du puits des Grands-Champs (555-174-3).

des sables et limons du toit de l'aquifère pourrait résulter d'un recouvrement temporaire du dépôt lors d'une légère récurrence glaciaire d'ailleurs bien visible dans les sédiments du curieux monticule de la rive droite (failles inverses et plans de chevauchement).

Sur le plan de l'hydraulique de la nappe, nous avons vu que le secteur nord, dans la zone des gravières, est de type libre. Le niveau des étangs correspond à l'affleurement de la nappe à hautes eaux. Au sud en revanche, le panneau graveleux est le siège d'une nappe semi-captive à captive. Seule la charge dans l'aquifère inférieur a été mesurée dans les piézomètres posés lors des reconnaissances. Les différentes valeurs obtenues montrent des équipotentiels de direction environ sud-nord. Elles déterminent des lignes de courant qui proviennent de l'amont de la plaine et de la zone d'infiltration des ruisselets du versant rive droite. A l'aval du site, elles se dirigent vers la Broye et vers le NW. Le gradient hydraulique est voisin de 0,4%.

Ces résultats concernant la nappe profonde paraissent en accord avec celle des graviers supérieurs (voir fig. 31). Ils doivent correspondre à la zone d'alimentation située près de la bordure septentrionale du périmètre d'appel du puits à drains rayonnants.

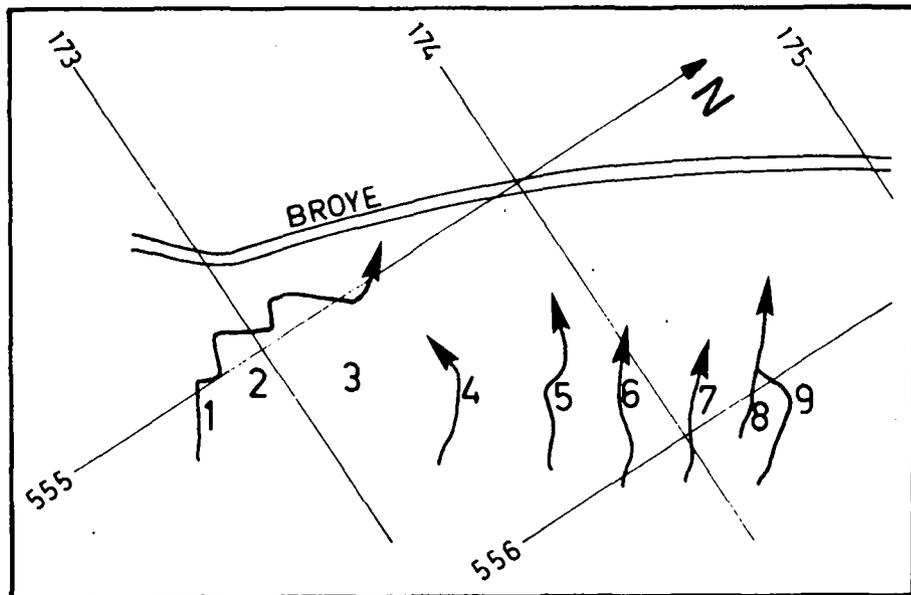
Le comportement de la nappe profonde sous l'effet des pompages a été d'abord testé dans le puits d'essai 555-174-4 (voir registre p.17). Les coefficients de perméabilité obtenus par l'application de la formule de Dupuit en nappe captive font nettement partie du domaine des perméabilités très élevées sur l'épaisseur du niveau graveleux inférieur seul considéré (profil K). Si, au contraire, on inclut dans le calcul l'ensemble des terrains aquifères au-dessus du mur du gravier inférieur et qu'on l'assimile à une seule nappe libre, la perméabilité ne dépasse qu'avec peine le seuil des 10^{-3} m/s (borne inférieure des perméabilités très élevées). C'est cette dernière que nous avons choisi de représenter sur la carte hydrogéologique (carte IV H).

Le puits à drains horizontaux comme ouvrage définitif se prête particulièrement bien à la géométrie de la nappe. Les ingénieurs ont su judicieusement adapter la disposition des drains à la forme et à l'orientation du panneau incliné (voir fig. 32). Pour ce faire, les drains de l'étage supérieur partent du toit de la couche aquifère et recourent celle-ci en rayonnant au nord du puits. Ceux de l'étage intermédiaire suivent directement l'horizontale du pendage. Ceux de l'étage inférieur enfin cheminent vers le sud et pénètrent dans le niveau perméable par sa base.

De cette manière, le rapport du rayon théorique du puits sur l'épaisseur relativement faible de sédiments perméables est notablement plus grand que celui qu'aurait procuré un captage vertical classique.

En ce qui concerne le détail des essais de pompage et de l'exploitation du captage, nous nous référons au registre (555-174-3).

Quant à l'alimentation du puits, notons que l'afflux de la nappe s'est situé au voisinage de 3000 l/mn avec un rabattement de 3 m dans l'ouvrage. Une part non négligeable des apports est à rechercher dans l'infiltration des ruisseaux du versant Grands-Bois - Tassonnaire. Certes, en cas d'étiage prolongé, les débits absorbés demeurent faibles. En considérant pour le puits communal les apports des seuls points 4, 5 et 6 (fig. 36), nous obtenons un débit d'environ 80 l/mn qui ne représentent que le 16% du pompage annuel moyen. Durant les hautes eaux en revanche, les ruisseaux grossissent considérablement. Le terrain conservant une capacité d'infiltration quasiment totale, un volume d'eau important est accumulé dans la nappe. A ce propos, il faut signaler qu'en raison de la dérivation des eaux de surface du grand réseau de drainage de Lovatens et l'érosion de la butte de Tassonnaire, le ruisseau du même nom sera conduit à la Broye par une canalisation couplée à une tranchée absorbante qui permettra la restitution des débits d'étiage à la nappe.



No	Ruisseau	Débit en amont du tronçon d'infiltration*	Débit à l'embouchure *	Débit infiltré*
1	R. des Bioles	60	0	60
2	Collecteur de Carmet	15	0	15
3	Zone sourcière de Braye	~15	0	15
4	R. de Tassonnaire S	24	0	24
5	R. de Tassonnaire N	25	0	25
6	R. de la Pièce	32	0	32
7	R. des Grands Bois	22	0	22
8	R. de la Chaumière S	9	0	9
9	R. de la Chaumière N	~50	36 (R.cant)	~15
			total infiltré :	217 l/mn
			soit	~200 l/mn

Figure 36 : Débit d'infiltration des ruisseaux du versant rive droite entre Curtilles à Treize-Cantons en régime d'étiage (10.10.79).

Du point de vue chimique, les eaux pompées aux Grands Champs sont assez minéralisées, sans toutefois atteindre les valeurs du puits de la Caséine (voir registre p. 17). Elles sont en revanche très semblables à celles du puits communal de Moudon (552-170-1). La teneur en oxygène est excellente. On note toutefois une très faible quantité de fer en solution (annexe II).

Depuis 1974, le site du puits communal de Lucens est équipé d'un pluviographe (555-174-1) et d'un limnigraphe (555-174-2) installés par le Laboratoire de Géologie EPFL. Ce dernier appareil, en dehors de la zone de perturbation du puits, seconde l'enregistrement des niveaux dans le captage lui-même. Les variations de la cote de la nappe au cours du temps font l'objet d'un chapitre spécial traitant du régime des eaux souterraines (voir p.307).

Secteur les Iles - Puits des Arzils

En quittant le secteur du puits des Grands Champs en direction du NE, on ne retrouve dans les quelques sondages à disposition que le prolongement des graviers récents. Leur épaisseur aquifère varie de 0 à quelques mètres, au gré d'anciens chenaux qui sont assez bien soulignés par la géophysique.

La carte de traîné électrique AB = 60 m (annexe III B) montre notamment une zone allongée à résistivités supérieures à 200 Ω m qui relie la région des ballastières au site du puits des Arzils (555-175-1). Dire qu'un chenal graveleux unique et continu relie ce captage au puits à drains rayonnants de Lucens (555-174-3) serait prématuré sans vérification par sondage mécanique. Dans tous les cas, on observait dans la ballastière Sabbattini (555,70 - 174,65), aujourd'hui remblayée, le net passage d'un sillon graveleux aquifère au pied de la butte NW.

Sur la bordure orientale de cette langue résistante, une série de sondages mécaniques (555-174-17,18,19,20 et 556-174-2) n'a rencontré que des sables aquifères, plus ou moins graveleux ou limoneux selon les endroits. La profondeur d'investigation était d'une quinzaine de mètres. De plus, les sondages électriques ne donnent pas d'indice favorable au-dessous de ces cotes.

Sur l'autre bordure, dans le secteur de l'ancienne ballastière des Iles, les résistivités diminuent par rapport à celles de l'axe résistant. Il faut considérer cependant que ces valeurs ne sont pas directement comparables entre elles, les unes embrassant quatre mètres de graviers secs en surface alors que cette couche a quasiment disparu dans la région exploitée. Il reste néanmoins que l'épaisseur des graviers aquifères doit être supérieure à 1 m et que la nappe perméable peut être représentée sur la carte.

Une zone à forte résistivité occupe l'emplacement actuel de la Broye. Le rabattement de la nappe par la rivière n'est probablement qu'en partie responsable de cette augmentation. Elle est également l'indice de graviers suffisamment épais.

Une fois la Broye franchie en direction du NW, on note très rapidement une diminution des résistivités électriques qui doit résulter d'un amincissement de l'aquifère graveleux. De plus, les sondages mécaniques 555-175-3,4,5 (profil L) ont traversé deux niveaux grossiers séparés par des sables qui rendent l'ensemble moyennement perméable (carte IV H).

C'est à l'extrémité NE de la zone résistante des anciennes gravières qu'a été foncé le puits d'eau industrielle des Arzils pour le compte de la société Henniez-Lithinée SA. Son emplacement n'a pas été choisi au hasard puisqu'une reconnaissance extrêmement serrée par sondages mécaniques a précédé sa réalisation. Là encore, ils ont prouvé l'existence d'un chenal graveleux étroit, taillé dans des sables, le tout étant superposé aux sédiments lacustres fins (profil L). Sa direction est environ N10°E soit légèrement oblique à la vallée. Une seconde obliquité est celle des directions d'écoulement naturel des eaux qui ne correspondent ni à l'allongement de la vallée, ni à celui du chenal graveleux. En effet, on a observé à l'état de repos un flux perpendiculaire à la rivière. La projection de la pente selon la direction SE-NW était voisine de 1,5% alors que la composante parallèle à la rivière n'atteignait que 0,1%.

Nous avons par cette observation l'indice d'une barrière hydraulique dans la prolongation du chenal vers le N-NE, barrière qui force les eaux souterraines qu'il contient à se vidanger dans la Broye par le mince aquifère graveleux. Nous

en verrons plus loin les raisons géologiques.

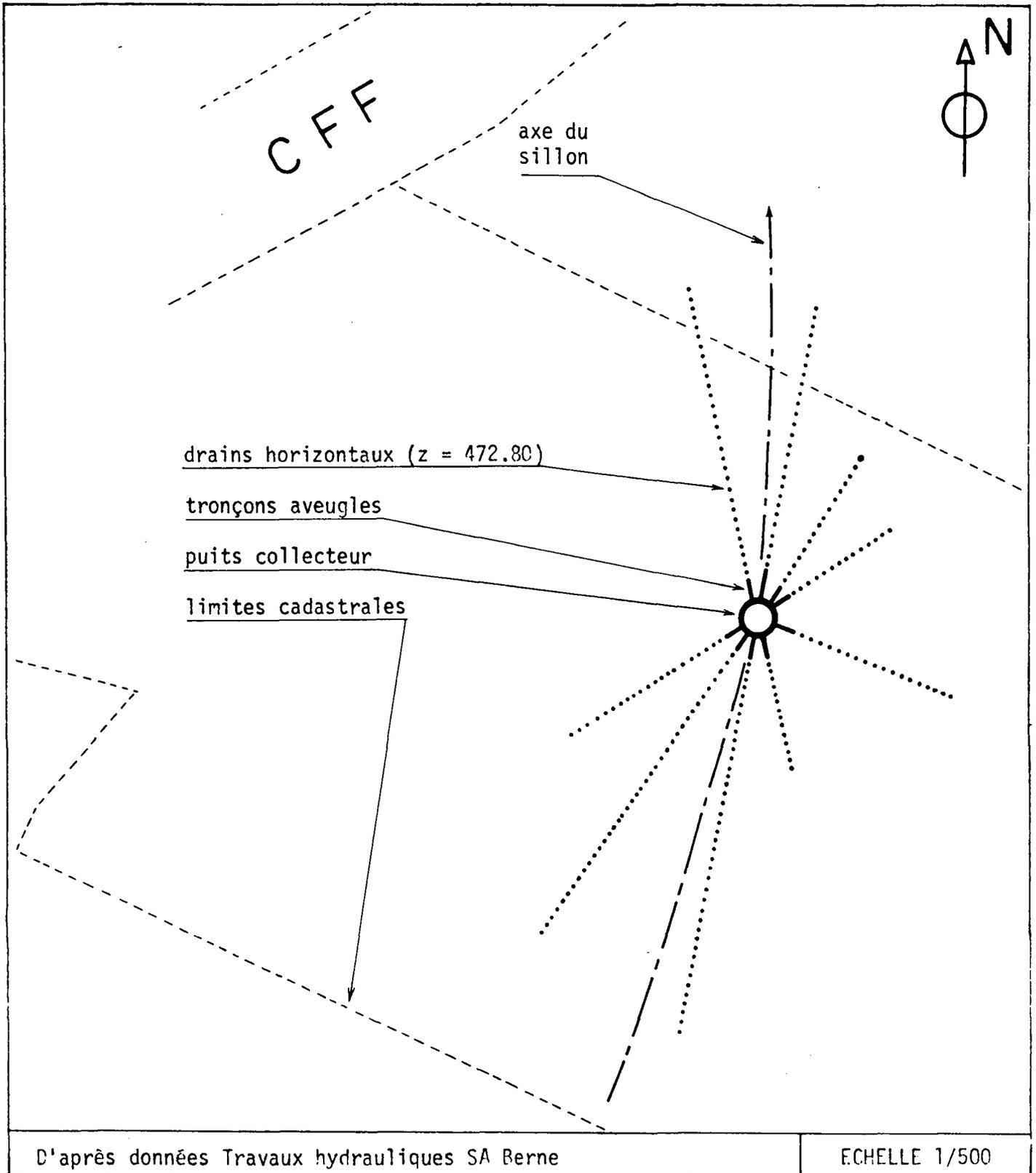
Avant la conception du puits artificiel, l'un des sondages de reconnaissance a fait l'objet d'un double essai de pompage. Malgré son faible diamètre (15 cm) il a permis le calcul de coefficients de perméabilité tout à fait vraisemblables variant de 6 à 8.10^{-4} m/s, soit une transmissivité de 3 à 4.10^{-3} m²/s. On a noté d'autre part une rapide reconstitution du niveau en fin d'essai.

C'est au voisinage direct du forage testé qu'a été construit le puits définitif (555-175-1). Il s'agit d'un ouvrage à 9 drains horizontaux de longueur variant de 5 à plus de 30 m selon qu'ils se trouvent ou non dans l'axe du chenal (fig. 37). Tous sont sur le même étage, à 8 m sous la surface du sol. Le calcul de perméabilité exécuté d'après les données d'un nouvel essai et à l'aide de la formule approchée donne un résultat comparable aux autres tests, quoique très légèrement plus faible.

A l'examen des paliers utilisés lors de l'essai, on peut situer le débit renouvelable de cette portion de nappe entre 500 et 700 l/mn. Un pompage à 1000 l/mn a montré une chute très rapide du niveau, soit environ 50 cm/j.

Bien qu'utilisée pour l'industrie, l'eau pompée aux Arzils est d'excellente qualité et pourrait aisément être considérée comme eau potable (annexe II). Sa dureté est certes élevée (36 DF), légèrement inférieure tout de même à celle de l'eau du puits de la Caséine, mais nettement supérieure à celle du puits de Lucens.

Dès l'énoncé du projet de construction d'un puits aux Arzils, la crainte d'une interaction éventuelle avec les puits des communes de Lucens (555-174-3) et Seigneux (556-174-1) a été émise. Plusieurs experts se sont prononcés sur ce sujet, uniquement sur la base de considérations géologiques régionales et des essais de pompage aux Arzils. Il n'est pas de notre ressort de confirmer ou non ces avis puisqu'aucune mesure complémentaire n'a été possible. Nous nous contenterons d'émettre les remarques suivantes :



D'après données Travaux hydrauliques SA Berne

ECHELLE 1/500

Figure 37 : Puits à drain rayonnants des Arzils no. 555-175-1 (Henniez-Lithinée SA). Adaptation des drains au chenal graveleux.

- 1) La continuité de l'aquifère graveleux entre le puits de Lucens et celui des Arzils est très probable au vu de la coupe dans la ballastière Sabbattini et des mesures électriques. Celle qui concerne le captage de Seigneux est également concevable.
- 2) L'absence de réaction des niveaux piézométriques dans la ballastière Sabbattini et au puits de Seigneux durant l'essai de pompage aux Arzils (durée 13 j.) n'est, à notre avis, pas représentative du comportement des eaux souterraines soumises à un pompage durant une longue période.
- 3) Il a été tenu compte également de valeurs calculées du rayon d'action R du puits des Arzils face à la distance qui sépare les différents captages. Pour ce faire, la perméabilité moyenne K a été déterminée par la formule de Thiem sur deux piézomètres voisins du puits d'essai. Cette équation ne fait pas intervenir le rayon d'action R du pompage. Puis, cette valeur de K a été introduite dans l'équation de Dupuit d'où on a pu déduire le rayon d'action R.

Cette façon de procéder est certes correcte du point de vue théorique. Néanmoins, un calcul des incertitudes montre que la précision d'un tel résultat est particulièrement médiocre. En effet, sur la valeur moyenne de la perméabilité que nous avons calculée ($7 \cdot 10^{-4}$ m/s), l'expérience montre qu'une marge d'incertitude de $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ est raisonnable. Or, le calcul de R pour les deux bornes d'incertitude de K donne le résultat suivant :

- pour $K = 6 \cdot 10^{-4}$ m/s	R = 120 m
- pour $K = 8 \cdot 10^{-4}$ m/s	R = 1400 m

Il est donc évident que la résolution du problème de l'interaction de deux puits ne peut être traitée par cette méthode.

Ces quelques remarques montrent que la liaison hydraulique éventuelle entre le puits des Arzils et les ouvrages avoisinants n'a pas pu être appréciée valablement. D'autres dispositifs auraient permis de résoudre cette question à peu de frais. Citons par exemple la pose d'un réseau piézométrique peu profond dans les zones de transition entre les divers puits, conjuguée éventuellement avec un essai de traçage. Actuellement, le sujet reste à étudier.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

L'examen détaillé du tronçon Lucens - Treize-Cantons montre une nouvelle fois les difficultés auxquelles se sont heurtés les prospecteurs d'eau souterraine. Un grand nombre de tentatives de captage sont restées sur un échec et c'est grâce à une recherche intensive et coûteuse que les puits actuels ont pu être implantés. Il va sans dire qu'un développement supplémentaire n'est pas envisageable sans que de nouveaux problèmes se présentent.

Il faut ici distinguer les ressources proches de la surface (0 à 30 m) de celles qu'on pourrait découvrir plus profondément.

En ce qui concerne les premières, l'ensemble des trois puits (Caséine, Lucens et Henniez-Lithinée) consomme une partie importante des ressources naturelles renouvelables. La seule partie du flux d'eau souterraine encore dérivable est celle qui se vidange directement dans la Broye. De tels sites se situent soit dans une bande d'une centaine de mètres en bordure de la rivière, en aval du puits de la Caséine (voir fig.31), soit au N du captage communal de Lucens où les lignes d'écoulement souterrain deviennent à peu près perpendiculaires au canal. Dans ces secteurs, les zones cartographiées avec des perméabilités moyennes et élevées (carte IV H) mériteraient une recherche plus poussée.

En dehors de ces emplacements, le cône du ruisseau des Vaux devrait également être prospecté par sondages mécaniques. Une éventuelle alimentation par l'affluent de la Broye n'est pas à écarter.

En ce qui concerne les terrains profonds, les indices géo-électriques sont peu favorables. Toutefois, des mesures de sismique réfraction profonde montrent, peu en amont de Lucens, un rapide abaissement du substratum rocheux. Il atteint une profondeur d'environ 200 m sous les alluvions au droit du puits de la Caséine (profil J), confirmant par là les mesures électriques (PARRIAUX 1978 a). Ce contact se maintient ensuite à une cote constante jusqu'à l'extrémité aval de ce tronçon (profils K et L). Dès l'approfondissement, on rencontre sur le

substratum à $v = 3400$ m/s un épais coussin (env. 130 m) de matériel dont la vitesse décroît de 2600 m/s à Lucens à 1800 m/s dans le secteur de la Chaumière. Cette variation latérale de la vitesse permet de concevoir deux hypothèses :

- 1) Présence à Lucens d'une moraine frontale noyée sous les alluvions. Son remaniement vers l'aval correspondrait à la diminution progressive des vitesses sismiques selon la granulométrie.
- 2) Présence sous la plaine d'un grand cône de déjection du Ruisseau des Vaux. Son extension vers l'aval impliquerait une diminution de la granulométrie donc de la vitesse sismique.

Il est prématuré de choisir l'une ou l'autre des solutions. Quoiqu'il en soit, la possibilité de découvrir des terrains relativement perméables n'est pas à négliger. Des sondages profonds seront nécessaires pour préciser ces divers points.

Pour traiter enfin des perspectives éloignées de développement, nous évoquons, comme dans le cas du tronçon Moudon-Lucens, la possibilité de réalimenter artificiellement la nappe souterraine. Les principes énoncés plus haut restent les mêmes (voir p. 159). Dans le cas particulier de la plaine en aval de Lucens, une solution intéressante serait le détournement du cours inférieur du ruisseau des Vaux que l'on pourrait amener par gravité dans une zone d'infiltration comme c'est le cas maintenant pour le ruisseau des Bioles. Un déversoir de crue permettrait de ne prélever que les eaux faiblement chargées. Cet apport à la nappe souterraine constituerait une augmentation considérable des ressources.

Une autre solution à long terme pourrait consister en un rehaussement du niveau de la Broye dans le tronçon qui sépare les puits de la Caséine (554-173-1) et des Grands Champs (555-174-3) par une modification de la hauteur des seuils. Nous obtiendrions ainsi une diminution, voire une suppression de la vidange de la nappe directement dans la rivière. Comme corollaire, le périmètre d'appel du puits communal s'en trouverait élargi et par conséquent son alimentation améliorée. Sur la base des conditions hydrodynamiques de basses eaux représentées à la figure 31, nous avons esquissé par la méthode graphique

l'influence sur la nappe de deux variantes de rehaussement du niveau des eaux de surface (fig. 38). On remarque qu'un surélèvement de 50 cm ne modifie le périmètre d'appel que de quelques pour-cents. Avec une élévation de 1 m en revanche, les pertes à la rivière sont totalement supprimées et le front d'alimentation s'élargit au minimum d'un tiers en venant toucher la Broye. Il est possible même que ce front s'étende sur la nappe non exploitée de la rive gauche, ce qui améliorerait encore le rendement de l'installation.

L'effet négatif de ce projet dans la protection contre les crues a été envisagé. Au droit des seuils rehaussés, la section transversale de la rivière comprenant lit mineur et lit majeur ne serait réduite que de 10% environ. Ce fait donnerait donc l'assurance que la capacité d'écoulement de la Broye ne serait pas diminuée d'une manière sensible.

Il est trop tôt maintenant pour définir ces diverses solutions au-delà des principes. Une fois les communes fortement motivées dans la recherche de nouvelles ressources, il sera temps alors de préciser et de calculer la réalisation de ces projets.

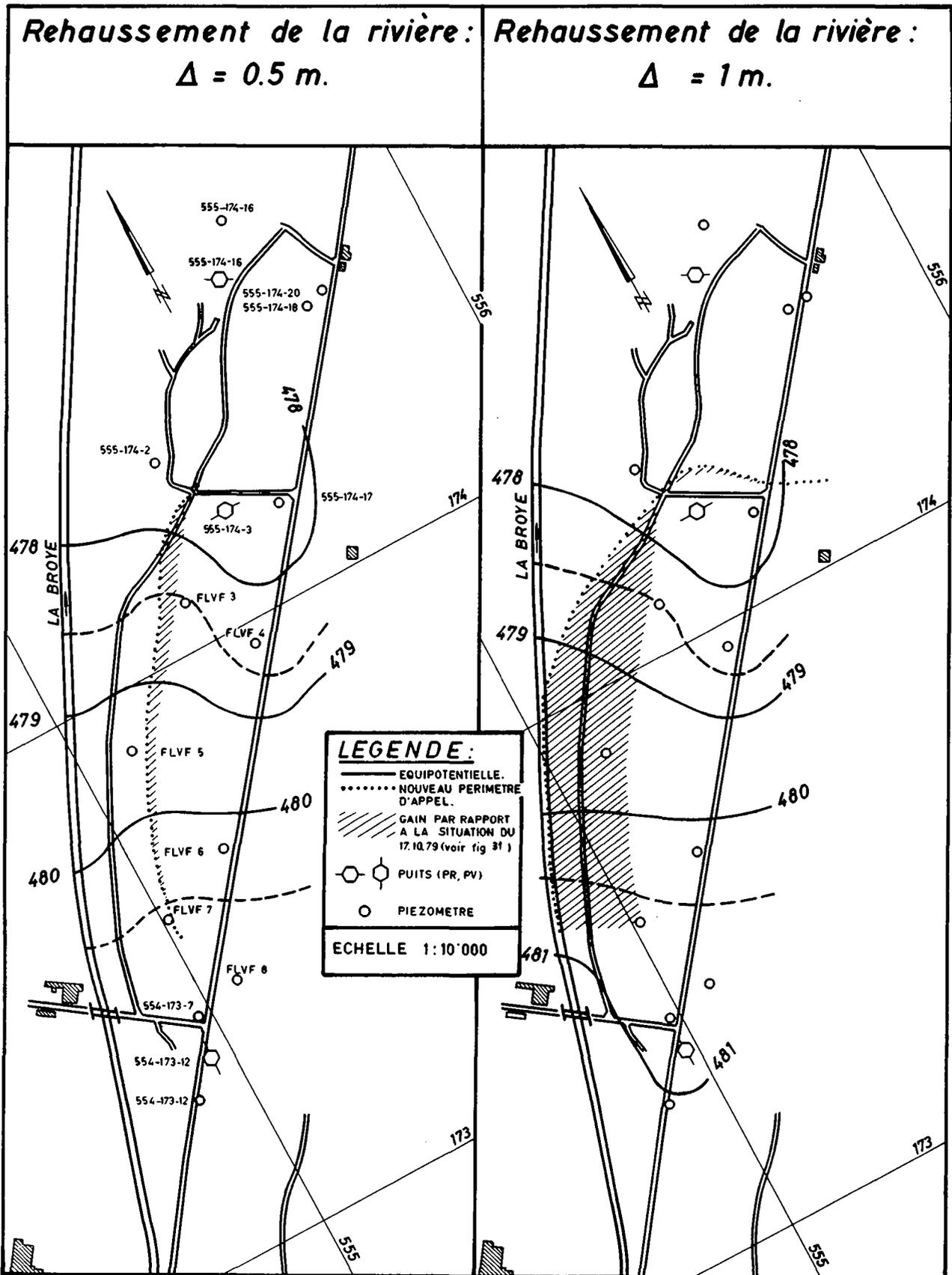


Figure 38 : Effet d'une surélévation du niveau de la Broye sur la nappe souterraine, à l'aval de Lucens (méthode graphique).

Tronçon Treize-Cantons - Henniez - Villeneuve

Références

- Cartes de base IV et V B
- Registre (p. 18 - 27)
- Cartes hydrogéologiques IV et V H
- Profils L, M, N
- Cartes des résistivités électriques

L'élargissement de la plaine esquissé à l'extrémité N du tronçon précédent se poursuit progressivement jusqu'à Villeneuve. Là encore, les versants demeurent dissymétriques avec des falaises abruptes à l'ouest tandis que de l'autre côté, des coteaux très doux jouxtent les alluvions.

Dans la plaine, la Broye sépare approximativement deux domaines morphologiques distincts. A l'ouest d'abord, s'étend la plaine alluviale de l'époque historique, dans la stricte prolongation de celle de Lucens. La partie orientale, en revanche, est constituée d'une large terrasse d'alluvions anciennes qui domine la rivière d'une hauteur de 5 à 10m à l'aval du grand cône de Treize-Cantons.

LA MOLASSE

C'est en amont des villages de Villeneuve et d'Henniez que l'on voit ressortir enfin les assises molassiques marno-gréseuses de l'Aquitanien et ceci grâce à une montée axiale des légers plis qui affectent la molasse de cette région (BRIEL 1962). La vallée est taillée ici dans une structure anticlinale (profils M et N). La cote du contact Aquitanien-Burdigalien est supérieure d'une trentaine de mètres dans le flanc oriental à celle de l'autre rive. De plus, il n'est pas exclu que les failles relevées dans la partie inférieure du ruisseau de Seigneux viennent perturber la continuité de la molasse sous le remplissage quaternaire.

Dans ce tronçon, l'apparition des sources molassiques est fortement influencée par le contact stratigraphique molasse d'eau douce - molasse marine (source type S, fig. 20). C'est le cas

surtout au sud d'Henniez où plusieurs émergences jalonnent cette limite. Leur débit demeure toutefois restreint (carte IV B).

LA MORAINES

C'est dans la prolongation du sillon graveleux d'Henniez que l'on rencontre les grandes épaisseurs de matériel glaciaire. De Seigneux au vallon de la Trémeule, l'ancien cours a été comblé de dépôts morainiques (A. PARRIAUX 1978 b). Ils n'ont été observés qu'en quelques points, notamment dans la coupe naturelle de la Trémeule ainsi que dans trois sondages relativement courts (557-175-1, 557-176-12 et 13). Il s'agit principalement de moraine limoneuse qui contient des horizons de matériel remanié et lavé plus perméables et aquifères (registre p.23). Cependant, leur géométrie est compliquée, ce qui rend difficile leur prospection et leur exploitation. De plus, les mesures géophysiques n'indiquent pas de zones plus particulièrement propices à l'implantation de sondages de reconnaissance (voir annexe III B).

Quelques sources, dont une est importante (557,9 - 176,25), représentent une partie des émergences de cette nappe complexe. On observe en effet que le cours actuel de la Trémeule ne coupe pas l'ancien sillon dans son entier (carte IV H) et qu'une communication hydrogéologique vers le nord reste envisageable dans les terrains très grossiers voisins du captage Alcalina (558-176-1).

Sur la bordure rive droite de la plaine, le placage morainique disparaît sous de petits cônes de déjection avant de s'enfoncer sous les alluvions (profil M). De l'autre côté, en revanche, la moraine a dû être emportée en profondeur lors des écroulements qui ont affecté ce versant molassique après le retrait glaciaire.

La part exacte qu'occupait la moraine dans le remplissage de l'auge principale reste inconnue. On sait seulement qu'elle est mineure face aux grandes épaisseurs de sédiments lacustres (SM 556-175-3).

LES ALLUVIONS

Tant au débouché du Ruisseau de Seigneux qu'à celui de la Trémeule, l'étude morphologique permet de repérer plusieurs étages de cônes d'alluvionnement fluvioglaciaires. Ils sont aujourd'hui perchés sur le coteau et partiellement érodés par le réseau hydrographique actuel (carte IV H). Le matériel qui les compose reste très peu évolué, proche des moraines dont ils proviennent. Leur position élevée ne permet pas de les considérer comme des réservoirs d'eau souterraine importants.

Par analogie avec le tronçon précédent, les dépôts de l'ancienne plaine alluviale qui forment ici la longue terrasse Grande Raye - Fin d'en Haut seront traités avec l'ensemble des terrains du remplissage quaternaire. Nous procédons ici également à une description secteurs par secteurs.

Secteur cône de Treize-Cantons - Fin d'en Haut

Le secteur traité maintenant englobe la moitié droite de la plaine, à l'exception des dépôts de la Trémeule à Henniez.

Du point de vue morphologique, le grand cône surélevé du ruisseau de Seigneux constitue un apport massif de matériel qui a repoussé les divagations de la rivière contre le versant abrupt de la Côte des Baumes jusqu'à l'époque historique. Cette zone d'accumulation s'est développée non seulement perpendiculairement à la vallée mais également le long du pied du versant, lors de la phase "ancienne plaine alluviale". Elle a formé ainsi la terrasse de Grande Raye - Fin d'en Haut qui est en continuité parfaite avec le sommet du cône.

Durant la période d'érosion des alluvions anciennes (phase D, fig. 22), la partie occidentale de cette accumulation a disparu, laissant la terrasse dans son état actuel.

Les différentes reconnaissances effectuées dans ce secteur montrent que l'épandage dû au ruisseau de Seigneux est essentiellement graveleux. L'épaisseur des sédiments grossiers est

variable puisqu'elle passe de plusieurs dizaines de mètres au sommet du cône pour être réduite à quelques mètres au NW et au NE.

Ces terrains reposent sans transition sur des limons argileux et des sables fins lacustres meubles et finement stratifiés. Le sondage profond 556-175-3 les a traversés sur plus de 70 m avant de pénétrer dans des sables plus grossiers qui se poursuivent au-delà de 90 m de profondeur. Des mesures de sismique réfraction à grande longueur de ligne indiquent une remontée régulière du substratum rocheux depuis la fosse de Lucens - Treize-Cantons. La ligne de mesure s'éloignant de l'axe de la vallée, cette remontée n'est peut-être qu'apparente (profils L, M et N). Dans le voisinage du sondage profond, l'épaisseur du Quaternaire doit être d'environ 120 m et le coussin à $v = 1900$ m/s est réduit à une cinquantaine de mètres de puissance. Il est probable que ce dernier corresponde à l'apparition des sables grossiers du fond du sondage 556-175-3 (profil M).

La nappe qui baigne les terrains supérieurs est en général peu épaisse. Dans le secteur central du cône ainsi qu'au nord, elle ne dépasse pas quelques mètres. Elle demeure même, dans de nombreux endroits, de l'ordre du mètre (carte IV H).

Le site du puits communal de Seigneux (556-174-1) constitue la seule exception reconnue. Grâce à des mesures de traîné électrique, l'aile SW du cône a été choisie pour l'implantation d'un sondage de reconnaissance et par la suite d'un puits. Un premier horizon de gravier aquifère de 6 m d'épaisseur y est séparé d'un second niveau perméable par une dizaine de mètres de sédiments fins divers. La nappe inférieure est captive. Sa puissance réelle n'est pas connue, l'ouvrage captant s'étant arrêté dans le gravier aquifère. On sait seulement qu'elle est supérieure à 5 mètres.

C'est un puits filtrant vertical classique qui a été retenu comme captage définitif. D'un diamètre moyen de 80 cm, il capte les eaux des deux nappes superposées. Les essais effectués dans le puits sont particulièrement intéressants (fig. 39).

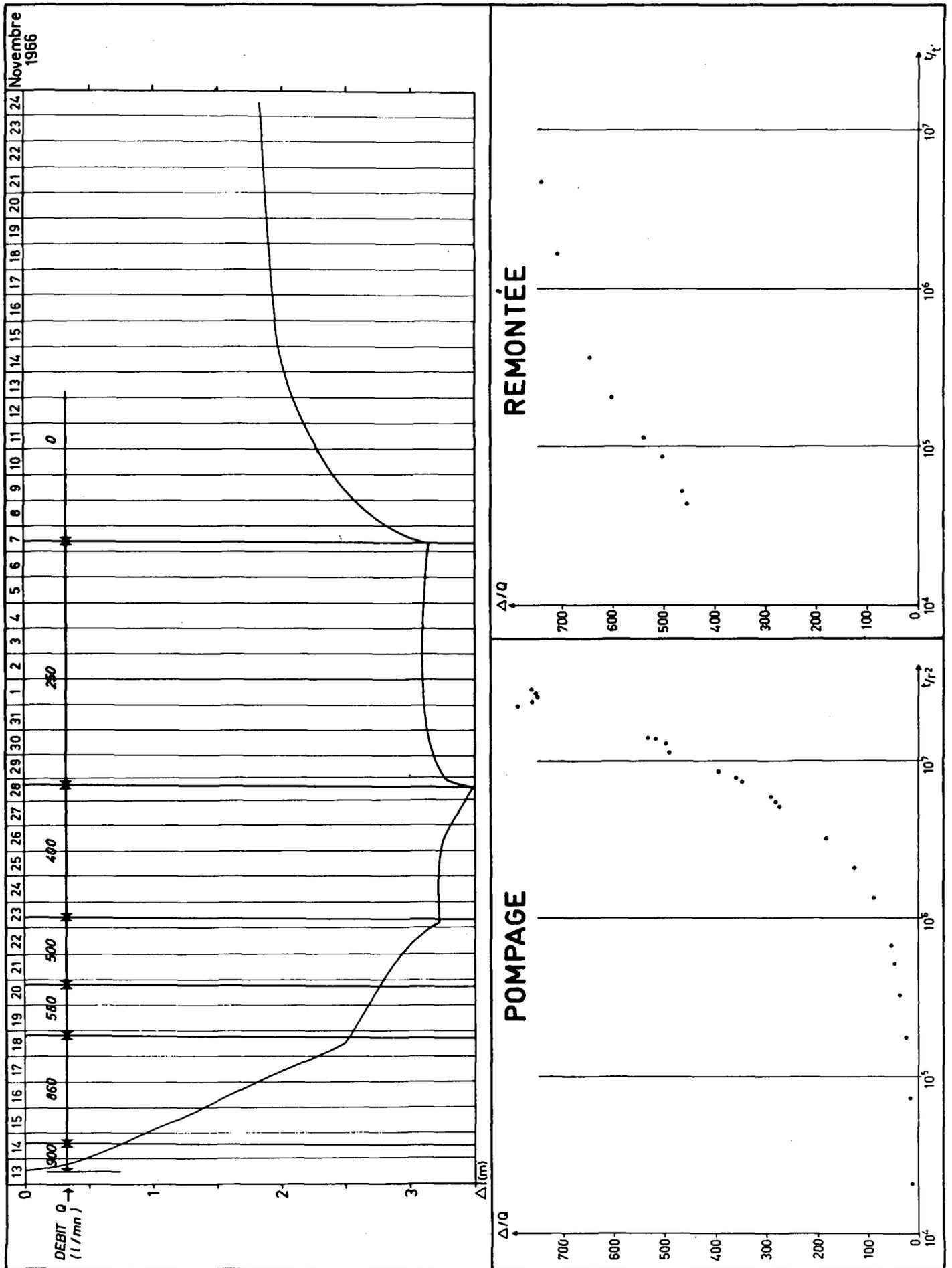


Figure 39 : Essai de pompage au puits de la Taillaz no. 556-174-1 (commune de Seigneux).
 Diagramme du pompage et calculs en écoulement non permanent (approximation logarithmique).

Soumise à un pompage d'environ 1000 l/mn, la nappe a baissé de 20 cm dans le puits pendant la première heure. Durant les deux heures suivantes, la vitesse de rabattement était tombée déjà à 3 cm/h. Ces premières valeurs, indices d'une perméabilité élevée, laissaient présager une stabilisation du rabattement au bout de quelques jours. En réalité, la vitesse d'abaissement de l'eau dans le puits est demeurée constante durant 5 jours. Les débits ont alors dû être ramenés progressivement à 250 l/mn pour atteindre un régime quasi-permanent. Un tel comportement provient de deux causes possibles :

- 1) L'aquifère est uniformément perméable, mais alimenté d'une manière insuffisante.
- 2) Le site du puits possède une transmissivité plus élevée que son environnement hydrogéologique.

La solution 2 paraît probable en regard des diagrammes d'approximation logarithmique, tant en pompage que lors de la remontée (fig. 39). On voit dans les deux cas que les caractéristiques de transmissivité obtenues au début de la sollicitation sont plus élevées lorsqu'elles concernent les terrains proches du puits. En revanche, plus on poursuit l'essai, plus les parties éloignées de l'aquifère influencent le résultat. En outre, l'expérience a montré dans maints endroits du bassin de la Broye que la continuité hydrogéologique est plus une exception qu'une règle.

Par ailleurs, la courbe de remontée indique une reconstitution très partielle des réserves de la nappe puisqu'il subsiste un rabattement d'environ 2 m, deux semaines après l'arrêt du pompage. La cause n° 1 intervient donc également dans ce phénomène.

Le rôle joué par le Ruisseau de Seigneux dans l'alimentation de la nappe est inconnu. Il est probable qu'en cas de crue, une partie de ses eaux s'infiltrer et percole à travers une dizaine de mètres de graviers non saturés, avant de rejoindre la nappe.

D'une composition chimique analogue à celle des autres captages principaux de la plaine, les eaux pompées à la Taillaz s'en distinguent légèrement par une dureté encore plus élevée, puisqu'elle varie de 38 à plus de 45 DF. La teneur en oxygène est tout à fait satisfaisante, mais la concentration en

nitrates atteint parfois des valeurs particulièrement élevées (annexe II).

La transition entre l'aile gauche du cône de Treize-Cantons et le secteur du puits des Arzils (555-175-1) est encore assez mal connue. Nous avons vu qu'à l'ouest du puits de Seigneux, le sondage 556-174-2 a rencontré l'eau souterraine directement dans des sables fins. En revanche, la récente construction du gazoduc a fait apparaître des graviers aquifères, localement captifs sous un horizon argilo-tourbeux au pied occidental du cône (556,0 - 175,3). Toutefois, leur épaisseur doit être très faible puisqu'ils n'influencent pas les valeurs de résistivité électrique. Malgré la faible puissance de cet aquifère, on peut considérer comme probable une continuité hydrogéologique de la nappe des graviers entre le cône et le secteur des Arzils. Faute d'infrastructure, aucune mesure piézométrique n'a été possible et les directions d'écoulement des eaux restent indéterminées dans leur détail (voir p. 188).

Dans l'aile droite du cône de Treize-Cantons et dans sa prolongation septentrionale, la nappe est suffisamment peu profonde pour qu'elle ait été tronquée par les divagations récentes de la Broye. Plusieurs sources apparaissent ainsi dans le talus de la terrasse (carte IV B). Dans la zone de Grande Raye, l'érosion a été suffisante pour couper complètement la couche aquifère. Vers Fin d'en Haut, au contraire, la nappe arrive simplement à l'affleurement. Peu après avoir quitté ce premier aquifère, les eaux se réinfiltrent dans un second, celui des alluvions récentes de la rivière que nous étudierons avec les terrains de la rive gauche de la plaine.

L'alimentation en eau de la nappe perchée de la terrasse provient, en plus des infiltrations météoriques, de l'absorption totale des ruisselets du versant Seigneux - Henniez. Ces eaux de ruissellement disparaissent dans le terrain à la surface d'une série de petits cônes de déjection qui jalonnent la bordure orientale de la terrasse. Du point de vue quantitatif, cet apport est très limité à l'été. On peut l'estimer, par analogie avec le versant Lucens - Treize-Cantons, à une centaine de l/mn. Cependant, en période pluvieuse, l'infiltration doit sensiblement augmenter. Malheureusement, les circu-

lations dans l'aquifère sont trop rapides pour qu'un volume important d'eau soit accumulé suffisamment longtemps dans les terrains graveleux. En effet, un essai de coloration effectué par le directeur de la société Henniez-Santé SA aurait montré qu'un décalage de 4 à 5 heures seulement sépare la zone d'infiltration des sources en pied de terrasse. La vitesse réelle est donc considérable puisqu'elle est voisine de 2.10^{-2} m/s.

La pente de la nappe est d'environ 1‰ avec des directions d'écoulement SE-NW.

Trois puits d'eau industrielle ont été construits par la société Henniez-Santé dans la nappe de la terrasse (556-175-1 et 2, 556-176-2). Ce sont des puits verticaux simples sauf le n° 556-175-1 qui est couplé à une tranchée drainante. Dans tous les cas, la nappe est très peu épaisse (environ 1 m). Les débits dérivables demeurent inférieurs à une centaine de l/mn malgré la perméabilité élevée. En outre, leur exploitation se heurte à la faible réserve qui s'est montrée localement tarissable par grande sécheresse (été 1976). De plus, la forte vitesse de circulation des eaux conjuguée à la mince couche protectrice de la nappe peut affecter leur qualité bactériologique durant les périodes pluvieuses.

Sur la carte hydrogéologique (carte IV H), l'aquifère graveleux a été jugé suffisamment épais pour être représenté, ceci d'autant plus que trois puits y ont été implantés. Aucun essai de pompage n'existant, sa perméabilité n'a pu être déterminée quantitativement. La composition granulométrique observée dans les sondages (gravier sableux légèrement limoneux) nous a fait choisir la gamme des perméabilités élevées.

Secteur du cône de la Trémeule

Vers son extrémité septentrionale, la terrasse de Fin d'en Haut perd de l'altitude et rejoint le cône subactuel de la Trémeule.

Lorsqu'on examine le bassin versant de la Trémeule, on s'attend à découvrir au sein du cône une grande masse de gra-

vier remanié provenant de l'érosion du sillon d'Henniez, principalement par la Râpe. Or, les nombreux sondages qui ont traversé le cône de déjection permettent d'affirmer que l'épaisseur de la couche graveleuse resédimentée ne dépasse pas 4 m en moyenne sur toute la surface d'épandage.

Ce résultat, en apparence trop faible, nous a incité à chiffrer approximativement les volumes des graviers érodés et resédimentés, afin de savoir si on peut s'attendre à trouver d'autres couches grossières en profondeur, sous le cône actuel.

Pour ce faire, nous avons calculé le volume des "coins" de gravier emportés par l'érosion torrentielle dans les vallons de la Râpe et de la Trémeule en ne considérant que les terrains fluvioglaciaires du sillon. Les résultats sont les suivants :

Râpe : $\sim 650'000 \text{ m}^3$ Trémeule : $\sim 50'000 \text{ m}^3$
soit un total de $\sim 700'000 \text{ m}^3$.

Le cône de la Trémeule possède une surface d'environ $250'000 \text{ m}^2$ sous laquelle on rencontre une épaisseur moyenne de 4 m de graviers, soit un volume :

cône de la Trémeule : $\sim 1'000'000 \text{ m}^3$.

Nous voyons donc que cette valeur est comparable à celle due à l'érosion. Par conséquent, l'apparente inégalité présentée n'est pas réelle. Il va sans dire que les nombres calculés ne sont que des ordres de grandeur puisqu'on a négligé les apports graveleux provenant de la moraine ainsi que le volume d'alluvions repris par la Broye. Il en résulte que l'occurrence de graviers profonds sous le cône est géologiquement improbable.

Le sondage fait sur l'emplacement du puits du Clos à Georges (557-177-1) paraît appuyer ce résultat, puisqu'après avoir traversé l'aquifère graveleux supérieur, il est demeuré dans des alluvions lacustres jusqu'à près de 40 mètres (profil N). En outre, les sondages électriques (p. ex. 557-177-24) ne marquent pas de remontée des résistivités au-delà des terrains superficiels.

Une forte concentration de sondages a été exécutée sur l'aquifère principal du cône, dans le cadre de l'étude du détournement routier d'Henniez.

A l'exception de quelques points de l'aile SW du cône, les forages ont tous traversé une couche limoneuse qui recouvre le membre gravelo-sableux. Ce dernier est d'épaisseur variable (voir registre p. 26). De plus, sa partie aquifère peut être localement réduite jusqu'aux environs d'un mètre. Dans les endroits où le toit des graviers est élevé, la nappe est libre en permanence (p. ex. 557-177-7-9). Ailleurs, elle peut être temporairement captive selon les périodes (p. ex. 557-177-1).

A l'intérieur de cette formation grossière, plusieurs sondages (557-177-4, 5,6) ont mis à jour des niveaux plus fins, tourbeux, qui témoignent de l'existence de zones inondées qui séparaient les divers bras de divagation.

La base de l'aquifère représenté apparaît sans transition sous la forme d'une série de limons argileux stratifiés. Il passe vers trente mètres à des sables fins limoneux par l'intermédiaire d'un niveau de limon argileux à galets probablement glacio-lacustre.

Exception faite de l'ancien ouvrage implanté au pied du cône (557-177-2), le seul captage qui exploite cette nappe est le puits du Clos à Georges (557-177-1). Il s'agit d'un captage mixte tranchée - puits filtrant (registre p. 26) qui dérive environ 200 l/mn d'eau industrielle pour la société Henniez-Santé. La nappe, ici d'une épaisseur d'environ 2 m, a été testée par le puits simple, probablement avant l'exécution des deux tranchées. Un essai de pompage court nous a permis de situer la perméabilité aux environs de 7.10^{-3} m/s. Cette valeur très élevée n'est certainement pas généralisable à l'ensemble du cône. En effet, les granulométries révélées par les sondages sont variables. Ce sont elles qui fixent la répartition des perméabilités dans cette unité morphologique (carte IV H).

Du point de vue hydrodynamique, le grand nombre de piézomètre permet de connaître les mouvements de la nappe avec une bonne précision (fig. 40). Tant à hautes qu'à basses eaux, les

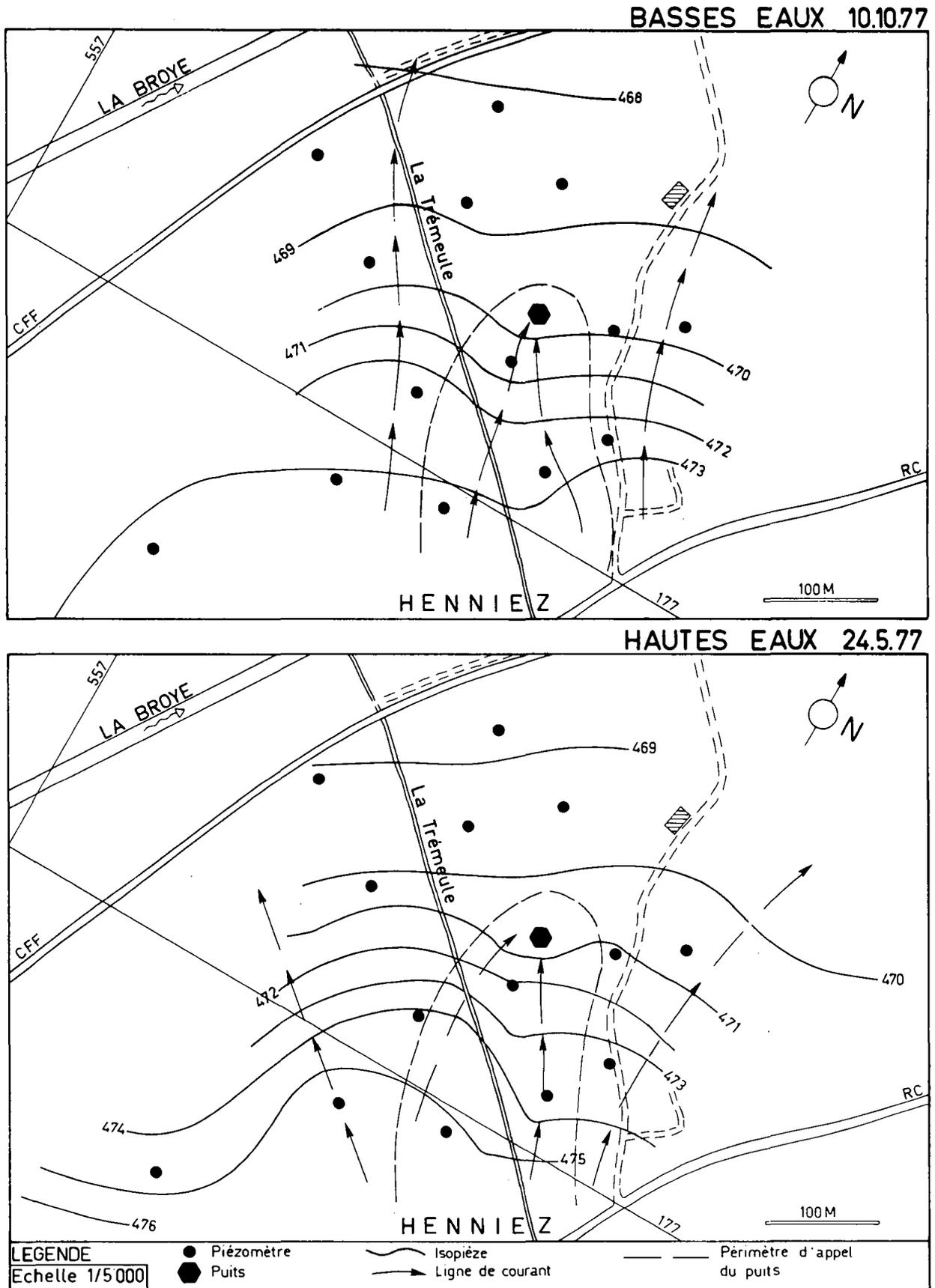


Figure 40 : Hydrodynamique de la nappe du cône de la Trémeule (Henniez).
Périmètre d'appel du puits du Clos à Georges no. 557-171-1
(Henniez Santé SA).
D'après données du Service des routes.

lignes équipotentiellles sont la résultante de deux phénomènes :

- 1) Écoulement naturel : il détermine un ensemble de lignes perpendiculaires aux génératrices du cône. La moitié gauche de la zone d'épandage est représentative de ce cas.
- 2) Écoulement provoqué : la présence du puits du Clos à Georges crée, dans le centre et la moitié droite du cône, une perturbation dans la géométrie des isopièzes qui a été esquissée sur le bord SW. A l'effet de l'écoulement naturel vient se superposer la dépression d'appel du pompage qui infléchit les équipotentiellles en direction du SE.

Doivent participer à l'alimentation de la nappe, en plus des précipitations sur le cône, les pertes non captées du sillon d'Henniez ainsi qu'une infiltration partielle du ruisseau dans la partie supérieure de son cours alluvionnaire. Ces contributions ne sont pas négligeables, comme le montre le calcul estimatif suivant :

Surface de la nappe dans la zone d'appel : 100'000 m ² du puits	
Précipitation annuelle moyenne	: 1 m
Evapotranspiration réelle annuelle	: 0,5 m
Volume annuel infiltré par les précipitations	: 50'000 m ³
Débit permanent correspondant	: 95 l/mn

Cette dernière valeur est inférieure d'une centaine de l/mn au débit maintenu durant 6 jours en mars 1960 lors de l'essai de pompage. Comme les conditions hydrologiques de l'époque n'étaient pas particulièrement favorables, nous pouvons conclure que le captage est alimenté à raison d'environ 50% en moyenne par les pertes du sillon et par l'infiltration de la Trémeule. Les parts respectives des deux facteurs ne sont pas déterminables actuellement, mais la forte teneur en phosphate des eaux indique une influence prédominante du second.

On pourrait donc s'attendre à une qualité médiocre des eaux captées au puits du Clos à Georges. En réalité, une série très complète d'analyses ne révèle pas d'indice chimique de pollution. Aucune des 26 analyses à notre disposition ne signale la présence d'ammoniaque et de nitrites. En outre, l'oxydabilité est en moyenne de 2,5 mg/l de KMnO₄ (voir p.314).

Il faut chercher la raison de cette qualité dans un bon pouvoir filtrant des graviers ainsi que dans la présence d'un

toit limoneux assez continu. De plus, on remarque à la figure 40, que la porcherie située 150 m au nord du captage demeure à l'extérieur du cône d'appel du puits.

A côté des paramètres chimiques cités ci-dessus, l'eau de la nappe est semblable à celles des alluvions de la plaine proprement dite. Sa dureté totale varie entre 30 et 40 DF. Nous verrons en détail plus loin les variations des différents facteurs lors de l'étude de l'évolution chimique des eaux souterraines du bassin où le puits du Clos à Georges joue un rôle important par le grand nombre d'analyses dont il a fait l'objet.

Secteur les Ouches - Ruisseau de Surpierre

Nous considérons dans ce secteur la partie du tronçon qui est recouverte des alluvions subactuelles de la Broye.

Il est bordé latéralement d'une part par le versant molassique de Côte des Baumes, d'autre part par les cônes de Treize-Cantons et de la Trémeule ainsi que par le talus de la terrasse de Fin d'en Haut. Il représente donc la rive gauche de la plaine dans son entier à laquelle vient s'ajouter la bande de terre prise entre la Broye et la ligne CFF.

Cette région se caractérise par une grande extension en plan des formations graveleuses récentes. On les a en effet rencontrées dans les endroits suivants :

- Tranchées du gazoduc qui longe la rive droite de la Broye
- Gravière les Iles - Les Ouches
- Sondage du Bureau des autoroutes de Fribourg à Champ Pacot.

Leur épaisseur est en revanche moins intéressante puisqu'elle varie de 1 à 10 m. Quant à la partie aquifère de ces alluvions, elle est encore plus réduite. Sa base obéit à une structure complexe de chenaux qui ont érodé les limons lacustres avant d'être remplis de dépôts graveleux ou sableux.

Le groupe des sondages de Champ Pacot apporte d'intéressantes informations sur la structure détaillée d'une partie de ce secteur (registre p.22). On y remarque d'abord les variations de l'épaisseur de l'aquifère gravelo-sableux ainsi que de sa granulométrie. Au-dessous, les forages n'ont rencontré que des

dépôts lacustres fins jusqu'à plus de 17 m de profondeur (profil M).

Les mesures géophysiques nous ont aidé à extrapoler la structure hydrogéologique au-delà de ce périmètre. Le traîné AB = 60 m en particulier (annexe III B) marque des anomalies plus résistantes à l'intérieur et au sud de la zone reconnue par sondage, au SE de la route cantonale. De l'autre côté de cette voie de communication et au N de Champ Pacot, les résistivités diminuent pour atteindre des valeurs inférieures à 120 Ω m.

Dans le premier cas, nous pensons qu'il s'agit d'un passage progressif des graviers aux sables provenant de la désintégration de la falaise molassique. Dans le second, les tranchées exécutées pour le collecteur des égouts de Villeneuve ont montré que les sédiments du cône très plat du Ruisseau de Surpierre présentent une nette prédominance des sables sur les graviers.

Aucun essai de pompage n'ayant été réalisé, la représentation cartographique des perméabilités (carte IV et V H) a été basée sur ces données granulométriques. Les zones où l'aquifère graveleux doit être d'épaisseur inférieure à 1 m ont été caractérisées par le terrain sous-jacent. Il s'agit notamment du pied de l'accumulation alluviale ancienne de la rive droite.

Les ouvrages captants implantés dans le secteur sont tous des puits artisanaux de conception ancienne. Certains de ceux du village de Villeneuve ont été creusés à la main jusqu'à des profondeurs de plus de 10 m dans des sables fluents. Bien que les débits pompés soient faibles, la nappe joue un rôle local non négligeable. Actuellement, les données quantitatives et qualitatives font totalement défaut.

Grâce aux sondages de Champ Pacot, l'hydrodynamique d'une portion de la nappe est bien connue. Sur la base d'un réseau piézométrique, le Bureau des autoroutes a dressé un profil hydrologique à hautes et basses eaux. Nous avons pu en tirer la morphologie de la nappe dans ces deux états (fig. 41). Ces

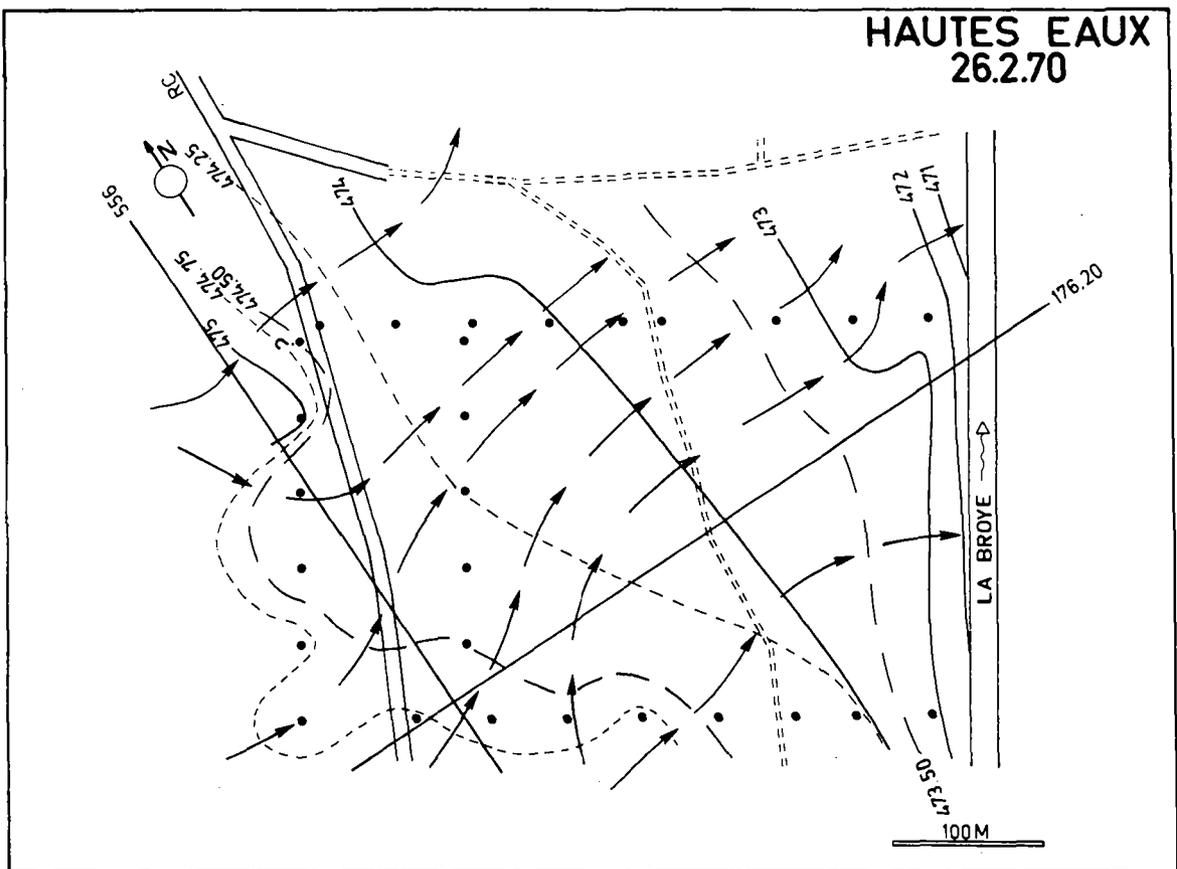
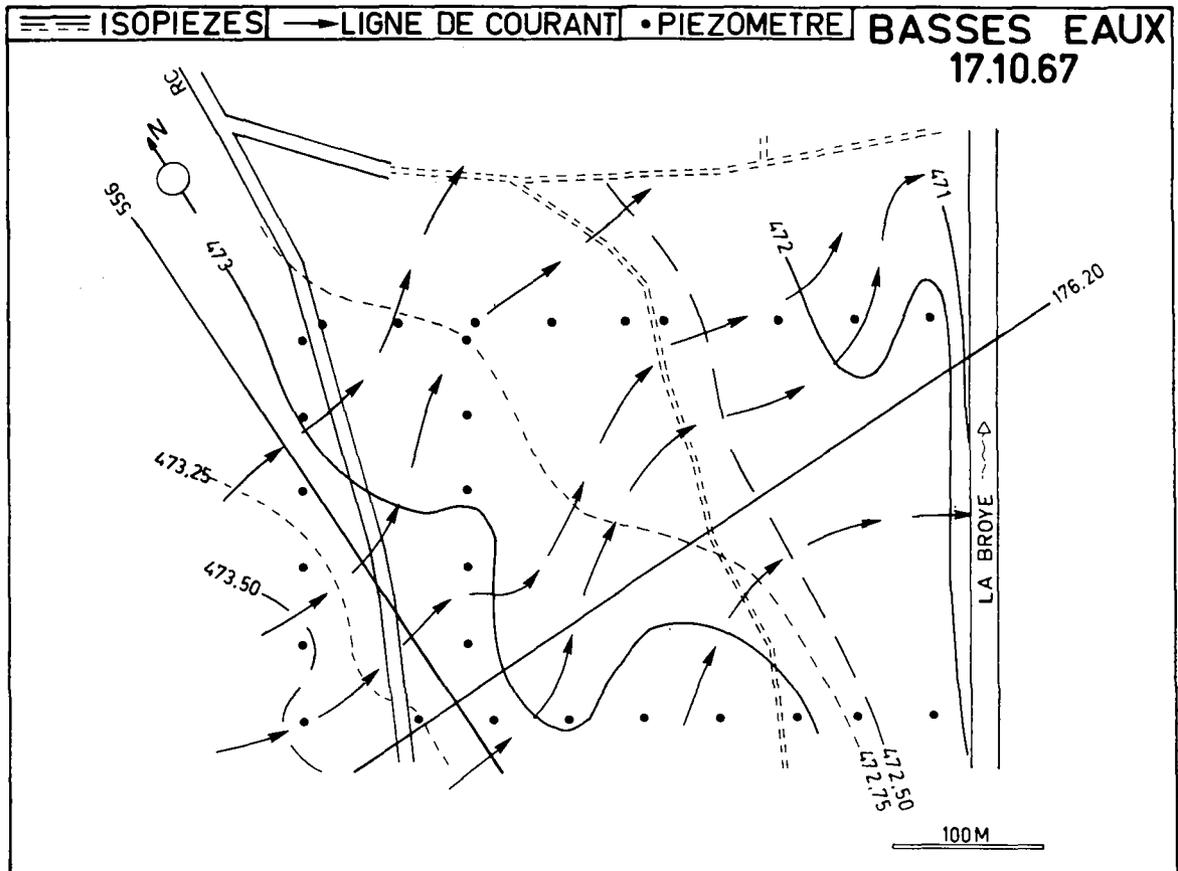


Figure 41 : Hydrodynamique de la nappe alluviale de Villeneuve , au lieu dit Champs Pacot. D'après données du Bureau des autoroutes.

deux situations sont du reste peu différentes dans leur allure générale. Tant à hautes qu'à basses eaux, la nappe se déverse dans la Broye, faisant avec elle un angle d'environ 40° . Dans les deux cas également, la répartition générale du potentiel est affectée par des déformations locales qui font converger ici, diverger là, les lignes de courant. En revanche, la pente moyenne est différente. Dans le secteur central, elle est de 0,25% à l'étiage et près du double lors des hautes eaux. Dans les deux cas, elle s'accroît fortement au voisinage direct de la rivière où elle atteint 5 à 10%.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

Sur la rive droite de la plaine, nous avons vu que le terrain aquifère supérieur est déjà largement exploité par les divers ouvrages de la société Henniez-Santé et par le puits de la commune de Seigneux. En ce qui concerne ce dernier, il faut relever que le captage n'utilise pas la couche graveleuse inférieure dans son entier. Il serait utile de connaître son extension exacte en profondeur au moyen d'un sondage d'exploration. Il y aurait là certainement moyen d'augmenter valablement la ressource du cône de Treize-Cantons. Une éventuelle réalimentation artificielle à l'aide des eaux du ruisseau de Seigneux est envisageable à long terme. Une tranchée d'infiltration pourrait dériver les eaux d'étiage vers le SW, en tête du cône de déjection.

Sur l'autre moitié de la plaine, la zone de Champ Pacot serait assez favorable pour le captage de ressources de faible à moyenne capacité. Une série de puits courts, éventuellement couplés à des tranchées recoupant les lignes de courant de la nappe serait concevable. Les puits devraient se situer dans le fond des chenaux graveleux (p. ex. 556-176-5 ou 17). Au point de vue qualitatif, une zone de protection assez étendue devrait être prise en compte vu la faible épaisseur des terrains de couverture. Ceci présuppose bien entendu que le Bureau des autoroutes renonce à son projet d'ouvrir une gravière dans ce périmètre.

Reste enfin la possibilité de capter des eaux profondes,

soit dans les sables du fond de la plaine (voir p. 196 et profil M), soit à plus long terme encore dans les assises molassiques du substratum rocheux.

Tronçon Henniez - Villeneuve - Granges-Marnand

Références

- Carte de base IV + V + VI B
- Registre (p. 25-30)
- Carte hydrogéologique IV + V + VI H
- Profils N, O
- Cartes des résistivités électriques.

La grande dissymétrie morphologique des versants de la vallée décrite dans le tronçon précédent disparaît totalement une fois franchi le Ruisseau de Surpierre et la Trémeule. Les pentes sont maintenant comparables et régulières.

En aval de Villeneuve d'une part et d'Henniez d'autre part, deux vallons latéraux secondaires ont entaillé légèrement le versant et formé des amas de sédiments dans la plaine : le Ruisseau de la Coulanne à l'ouest et le Vauban à l'est.

C'est au droit des villages de Granges et de Marnand que débouchent les deux vallées importantes de la Lembe et du Ruisseau de Marnand. Sans commune mesure par leur taille avec ceux cités plus haut, ces cours d'eau ont créé des dépôts d'alluvions étendus. Alors que le Ruisseau de Marnand ne montre aujourd'hui qu'un cône subactuel, très surbaissé, la Lembe en revanche a formé au cours des époques tardi- et postglaciaires un ensemble sédimentaire complexe qu'on observe maintenant sous la forme de deltas et de cônes de déjection emboîtés.

LA MOLASSE

Grâce au plongement vers le sud de l'anticlinal qui occupe l'axe de la vallée (BRIEL 1962), le relèvement structural esquissé à Villeneuve et à Henniez s'accroît encore de telle sorte que la molasse aquitanaise constitue maintenant une bonne part du versant rive gauche et la quasi-totalité de celui qui lui fait face.

De Villeneuve à la Lembe, le contact des deux molasses est souligné par une série de petites sources (carte V B). En réalité plusieurs d'entre elles apparaissent un peu plus haut que le toit de la molasse lacustre, probablement au gré d'horizons marneux souvent présents dans la base de la série burdigalienne (sources de type S, fig. 20).

De l'autre côté de la plaine, le drainage important dû à la présence du sillon d'Henniez influence fortement la circulation des eaux souterraines dans la barrière molassique qui sépare la vallée actuelle de son ancien affluent.

LA MORAINÉ

Constituant au sud de la Trémeule le corps même du remplissage du sillon des eaux minérales d'Henniez, la moraine passe brusquement à un complexe à dominante fluvioglaciale une fois cet affluent franchi (PARRIAUX 1978b). Son rôle principal se réduit alors à celui d'une couverture des graviers. Son épaisseur ne dépasse que rarement une dizaine de mètres.

Du point de vue hydrologique, ce recouvrement peu perméable garantit une bonne protection des eaux du sillon et une certaine inertie de leur régime.

En tant que terrain aquifère, sa contribution est en général assez réduite sauf dans le site des sources minérales d'Henniez. Elle fournit en effet dans le versant compris entre l'Internat ménager et la Râpe l'essentiel des ressources en eau minérale de la société Henniez-Santé par le groupe des sources de Pra Tsérère (558-176-4). Dans la plupart des captages, les eaux sont saisies par tranchées. Le débit global obtenu, y compris les petites sources d'origine molassique, est d'environ 150 l/mn.

En dehors du sillon d'Henniez, l'épaisseur de la moraine est moins importante, particulièrement sur les versants qui dominent la plaine. Plus haut, sur les plateaux de Villarzel à l'est et Sur Vigny à l'ouest, l'épaisseur de la couverture quaternaire augmente à nouveau.

LES ALLUVIONS

Secteur du sillon des eaux minérales, d'Henniez à Marnand

Les dépôts d'alluvions anciennes perchés sur les versants sont peu abondants au droit de ce tronçon. En revanche, l'intérieur du sillon des eaux minérales d'Henniez est constitué d'une masse très importante de sables et graviers fluvioglaciaires.

Une description géologique et hydrogéologique a été récemment publiée sur ce sujet (PARRIAUX 1978 b) où il est tenu compte des observations antécédentes (BRIEL 1962, BADOUX et BERSIER 1965).

En résumé, dans le tronçon Trémeule - Ruisseau de Marnand, le sillon d'Henniez s'est encaissé encore plus profondément dans le substratum molassique. Sa morphologie ainsi qu'une probable contre-pente entre le Vauban et Marnand nous ont permis d'attribuer le façonnement définitif de l'auge à une érosion glaciaire (fig. 42).

A l'exception de la partie méridionale qui représente une zone de transition, la molasse est généralement recouverte directement par des dépôts fluvioglaciaires gravelo-sableux plus ou moins limoneux, localement cimentés par du carbonate de calcium. Ces dépôts sont le siège de la nappe profonde des eaux minérales d'Henniez (profils N et O). Leur perméabilité est très variable dans le détail. Nous avons estimé leurs valeurs globales pour les besoins de la carte hydrogéologique (carte IV H). Elles sont en général faibles à moyennes, sauf dans la zone des sources d'Henniez-Lithinée.

L'alimentation est assurée par trois phénomènes :

- Infiltration des précipitations locales au travers du recouvrement morainique
- Alimentation souterraine par les sources molassiques de l'ancienne rive droite du sillon, directement dans les graviers.
- Infiltration temporaire des ruisseaux actuels (hautes eaux).

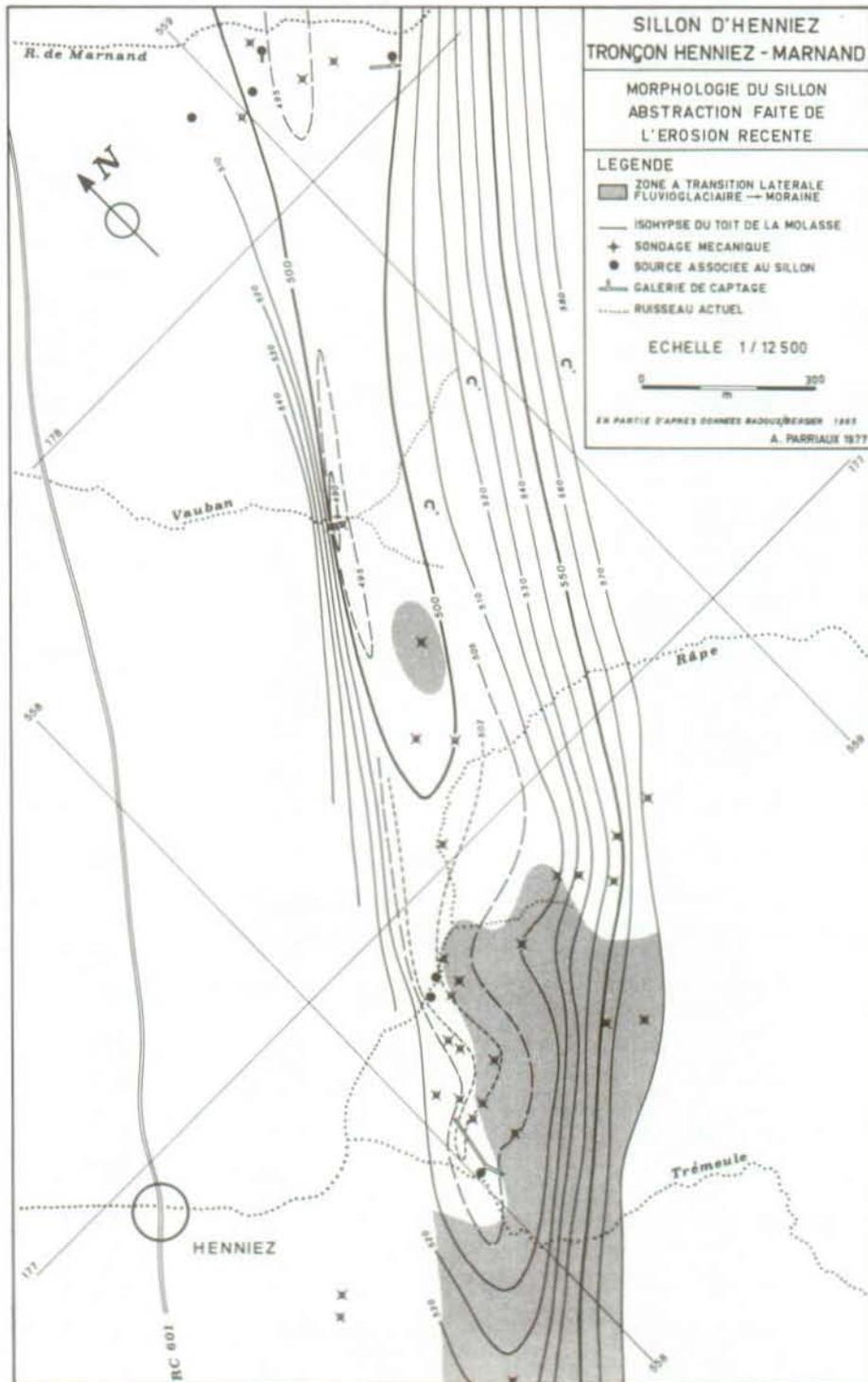


Figure 42 : Morphologie du sillon d'Henniez entre Henniez et Marnand (tiré de Parriaux 1978b).

Les eaux circulent à l'intérieur du terrain aquifère vers les émergences naturelles qui proviennent du rabattement ou de la troncature complète de la nappe par les ruisseaux (tableau 8).

Tableau 8 : Emergence de la nappe du sillon d'Henniez entre la Trémeule et Marnand.

BASSIN	S O U R C E		M=eau minér.	R=rabattement T=troncature	Débit * moyen l/mn
	nom	numéro			
Trémeule	Alcalina	558-176-1	M	R	150
Râpe	Neuchâtelois Commune d' Henniez	558-176-2	M	R	180
		558-176-3	-	R	80
R. Marnand	Devin Commune de Marnand	559-178-2	-	T	220
		559-178-1	-	T	150
* Débit annuel 64-65 (BADOUX-BERSIER 1965)				Total ~800 l/mn	

La topographie de la nappe ainsi que les lignes de courant qui en résultent ne sont relativement bien connues que dans le bassin Râpe-Trémeule où de nombreux sondages ont été effectués (fig. 43). On y observe notamment que le rayon d'action des captages de la Râpe s'étend loin vers le NE en direction du Vauban. La ligne de partage des eaux Henniez-Marnand demeure indéterminée.

En plus des captages purement gravitaires, plusieurs ouvrages permettant une saisie de l'eau souterraine en régime contrôlé ont été implantés par la société Henniez-Santé SA. Deux d'entre eux n'ont pu être achevés en raison de complications administratives.

- Puits des Avattes (558-177-2). Ouvrage arrêté en pleine nappe à 50 m de profondeur. Les essais de pompage n'ont pas pu être réalisés.
- Galerie du Vauban : une galerie projetée par A. Rochat, géologue, devait permettre un captage contrôlé des eaux du sillon à travers son fond molassique imperméable à l'aide de sondages ascendants. Seule la première partie de la galerie (env. 130 m) a été creusée dans la rive gauche du Vauban.

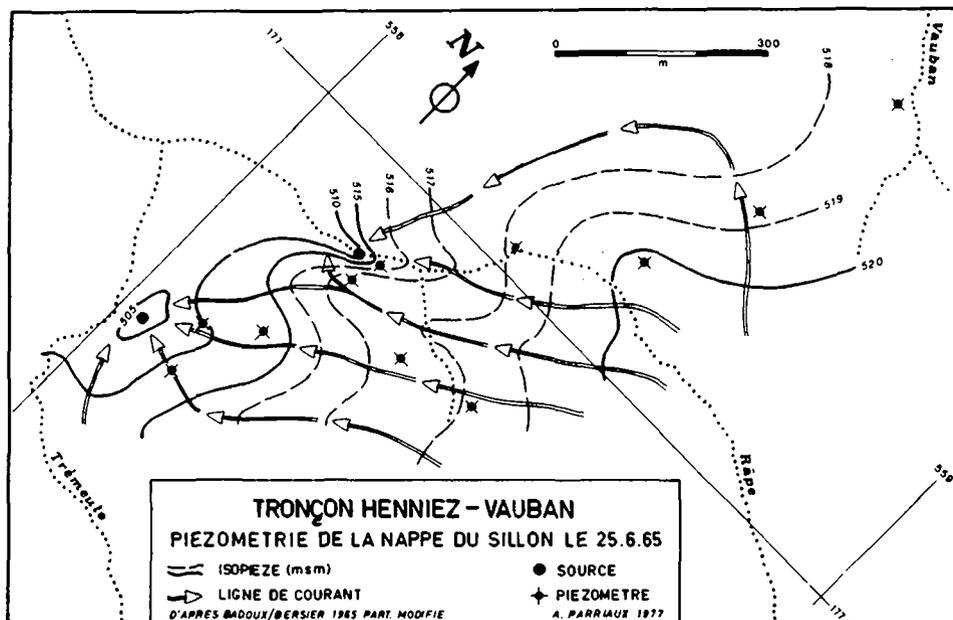


Figure 43 : Hydrodynamique de la nappe des eaux minérales, à l'est et au nord-est d'Henniez (tiré de Parriaux 1978b).

- Puits du Vauban (558-177-1) : à la suite de l'arrêt de la réalisation du projet de galerie, un puits filtrant d'essai a été foncé à partir du talweg du Vauban dans les graviers du sillon. Un test d'une vingtaine de jours a permis d'y pomper jusqu'à 1500 l/mn environ, avec un rabattement non stabilisé de 13 m pour une épaisseur de nappe de 21 m. Les éventuelles influences du pompage sur les captages gravitaires n'ont pas été étudiées. A noter encore que la nappe n'est pas en contact continu avec le ruisseau. Le niveau de repos se trouve en effet à quelque 6 mètres sous le talweg actuel.

Du point de vue chimique, les eaux de la nappe profonde du sillon sont semblables en tous les points d'émergence. Ce sont des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes, de dureté comprise en moyenne entre 30 et 35 DF.

On ne peut terminer la description du sillon d'Henniez sans citer sommairement les dépôts fluvioglaciaires qui remplissent l'ancienne cuvette située au NW de Sédeilles. Il s'agit ici d'un remplissage essentiellement sableux, épais de quelques dizaines de mètres. Plusieurs sources y sont captées dans les versants du ruisseau de Marnand qui y pénètre profondément.

Aucune étude particulière de ce cas n'ayant été menée en raison de son éloignement de la Broye, nous ne l'avons pas intégré à notre carte hydrogéologique (voir carte topo au 1/25'000 Romont).

En ce qui concerne la description détaillée des alluvions de la plaine, nous procédons comme précédemment par une décomposition en secteurs.

Secteur central Les Broyons - Les Iles

Le secteur central qui s'étend au pied des cônes de déjection est marqué par des indices géophysiques peu favorables. Les valeurs de résistivités pour AB = 60 m y sont cantonnées dans le domaine 50 à 80 Ω m.

En bordure de la rivière, ces valeurs augmentent quelque peu pour atteindre 100 à 150 Ω m.

Ces résultats sont confirmés par les sondages électriques d'une part et par les quelques forages qui y ont été exécutés d'autre part (cartes IV et V H).

La succession générale des terrains (sables limoneux/graviers/limons) y est pratiquement conservée. La base des graviers est aquifère mais de faible épaisseur. Selon notre principe, lorsqu'elle est inférieure à 1 m, elle n'est pas représentée sur la carte. Elle l'a été par contre au voisinage de la rivière où sa puissance est comprise entre 1 et 3 m.

Au dehors de cette zone, la nappe occupe des terrains à dominante sableuse plus ou moins limoneux, sur une épaisseur réduite et avec une perméabilité généralement faible. Cette nappe est elle-même superposée à l'épaisse couche formée de limons argilo-sableux et de sables faiblement perméables (Profil 0).

La cote du substratum rocheux reste constante d'Henniez à Marnand si l'on en croit les résultats des mesures de sismique réfraction profonde. Celle-ci est supérieure aux résultats obtenus par les sondages électriques (PARRIAUX 1978a). Des perturbations tectoniques sous la plaine sont probablement à l'origine de cette différence (voir p.223). On remarque toutefois sur les diagrammes sismiques un abaissement localisé du toit du Tertiaire au droit du débouché du Ruisseau de Marnand. Il doit correspondre à la trace du vallon latéral sous les alluvions. Cet approfondissement de 20 à 30 m confirme que la ligne de mesure sismique se trouve sur le flanc droit de l'auge principale de la Broye et que l'axe de la vallée glaciaire se situe plus au NW où les épaisseurs du remplissage quaternaire doivent être encore supérieures (profil 0).

Un site particulier de la zone à haute perméabilité qui borde la rivière a fait l'objet d'une prospection par la société Henniez-Lithinée SA. Entre la Broye et le front du delta de la Lembe, trois sondages et un puits d'essai ont été implantés. L'aquifère graveleux y est certes peu épais mais très perméable comme l'ont montré les essais de pompage (voir registre p.28, PV 557-178-1).

La ressource en eau, légèrement supérieure à 100 l/mn, n'a pas été jugée suffisante pour l'implantation d'un ouvrage. A noter tout de même qu'un captage par tranchée dans ce genre de terrain aquifère serait plus approprié qu'un puits vertical. L'influence de la rivière sur la quantité et la qualité de l'eau ainsi que la faible couche protectrice de la nappe rendent, de toute manière, assez délicate l'implantation d'un captage d'exploitation.

Secteur du cône de déjection du Vauban

Par sa morphologie bien marquée, et par le fait qu'il est le produit du remaniement des sables et graviers du sillon d'Henniez, le cône du Vauban a attiré d'emblée les chercheurs d'eau de la région. Les résultats sont décevants comme le confirment les mesures géophysiques avec des valeurs de résistivité électrique qui ne dépassent pratiquement pas 120 Ω m (voir annexe III C).

Deux sondages y ont été implantés, l'un sur la partie supérieure du cône (558-177-8), l'autre sur son pied (558-178-3). Alors que le premier a traversé des graviers aquifères entre 8 et 10 m de profondeur, le second n'a rencontré que des limons légèrement graveleux et argileux.

Il n'est pas exclu que l'on puisse relier la partie sommitale du cône avec le bras hautement perméable de la plaine (558-178-6) par un ancien chenal du Vauban (carte IV H). N'ayant aucun indice en surface de cette continuité, nous nous en sommes abstenu.

Secteur du cône du Ruisseau de Marnand

En faisant le même raisonnement que celui appliqué aux cônes du Vauban et de la Trémeule, on pourrait également s'attendre à découvrir d'importantes couches de gravier sous le cône de déjection actuel, et ceci grâce à l'érosion complète du sillon d'Henniez par le ruisseau de Marnand. Le levé géologique montre que le ruisseau actuel ne quitte plus le soubassement molassique et que le fond de l'auge du sillon affleure sur le versant légèrement au-dessous de la source de la commune de Marnand (PARRIAUX 1978b).

L'érosion du dépôt fluvioglaciaire remplissant l'ancienne dépression du NW de Sédeilles (carte topo. Romont) a constitué également un certain apport grossier au cône actuel, bien que le matériel soit surtout de composition sableuse.

Les indices géophysiques recueillis à la surface sont relativement favorables, surtout en ce qui concerne l'aile droite où les résistivités électriques atteignent des valeurs

supérieures à 300 Ω m pour AB = 60 m (voir annexe III C).

Les résultats des sondages mécaniques exécutés pour une recherche d'eau par la société Henniez-Lithinée SA confirment bien la présence de dépôts graveleux. Malheureusement, ces terrains aquifères contiennent souvent une importante proportion de limon et d'argile qui diminue fortement leur perméabilité. Leur épaisseur saturée est de l'ordre de 4 à 5 m en tête du cône et sur son aile droite alors qu'elle dépasse 5 m sur son flanc sud (558-178-4).

Dans l'ensemble, la perméabilité équivalente de la couche considérée est faible. Dans le détail, quelques horizons sont moins étanches, notamment au sondage 558-178-9 où un niveau très perméable a été rencontré à 12 m de profondeur.

Ces dépôts reposent à leur tour sur des limons argileux plus ou moins graveleux et compacts qu'on peut corrélérer probablement avec les formations lacustres du centre de la plaine (558-178-5). A ce jour, ce secteur n'a pas encore été exploité, les perméabilités et les épaisseurs étant jugées trop faibles face aux besoins fixés lors de la prospection.

Secteur du débouché de la Lembe

Le débouché de la Lembe dans la vallée de la Broye est particulièrement intéressant dans l'histoire du Quaternaire de ce bassin. Il a en effet conservé des dépôts qui correspondent aux divers stades d'abaissement des eaux lors du dernier retrait glaciaire (BRIEL 1962, PARRIAUX 1978a). Ils donnent aujourd'hui un ensemble complexe de deltas et cônes emboîtés les uns dans les autres. La masse principale est constituée des restes du delta d'un lac périglaciaire culminant à la cote 505 m, lac qui devait s'étendre de Granges-Marnand à la moraine de Boulex-Ménières (PARRIAUX 1979).

Grâce à l'exploitation des matériaux, la nature sablo-graveleuse des dépôts apparaît sur plus d'une vingtaine de mètres, sans qu'on ait rencontré de nappe souterraine. Ces masses sont donc abondamment drainées par la Lembe d'une part, par la Broye d'autre part.

Dans la zone radicale du delta, aucune tentative de rencontrer la nappe n'a été menée. Aucun sondage n'est descendu au-dessous du niveau d'exploitation de la gravière de Vuarennes. De plus, les mesures géophysiques ont été faites sur la beine du delta; elles sont fortement influencées par l'importante couche de sables et graviers secs.

Sur la base de ces maigres renseignements, il semble probable que la série sablo-graveleuse se poursuive en profondeur avec, toutefois, une prédominance des sables par rapport aux graviers (perméabilité moyenne). Seuls quelques sondages mécaniques permettront de préciser un jour ces données.

Au pied de l'aile gauche des dépôts de la Lembe, au NE du village de Granges, deux puits artisanaux (558-179-1 et 2) exploitent l'eau d'un niveau de gravier aquifère épais d'environ 3 m. On y soutire des débits très intéressants. Les pompages étant intermittents, leur valeur exacte reste inconnue. On peut considérer que ces ouvrages sont alimentés d'une part par des eaux souterraines venant de la nappe du centre de l'ancien delta, d'autre part par celle de la plaine alluviale (carte IV H).

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

Sillon des eaux minérales d'Henniez

Actuellement, les seuls captages opérationnels sont des galeries ou des tranchées où l'eau souterraine est rabattue et s'écoule par gravité. Cela implique qu'en période de hautes eaux, lorsque la demande est la plus faible, le débit des sources est maximal, l'inverse se produisant en été. Ce phénomène défavorable a été à l'origine des diverses tentatives d'exploiter la nappe d'une manière contrôlée. Tant le projet d'exploitation par puits (Avatte, Vauban) que celui de la galerie du Vauban étaient à ce titre judicieux. Toutefois, pour que le projet soit valable pour améliorer la gestion des eaux, il est indispensable que les émergences naturelles de la nappe soient en tout cas partiellement obturées. De cette manière seulement, un volume supplémentaire pourra être

accumulé dans la nappe, pour être repris ensuite lors de la forte demande.

Le relèvement du seuil des captages est un problème particulièrement difficile à régler, beaucoup plus en tout cas que celui de la conception des ouvrages de reprise.

Techniquement, il pourrait être réalisé en obturant le captage lui-même (barrage) ainsi qu'en rendant étanches les terrains perméables qui le jouxtent. Pratiquement, trois solutions sont utilisables :

- 1) Excavation de la zone de vidange et construction d'un barrage souterrain en argile.
- 2) Barrage de la zone par injection forcée de coulis par une série de sondages en ligne.
- 3) Pose d'un rideau de palplanches.

Le choix de l'une ou l'autre des solutions dépend de la géologie de chaque cas particulier. Il y a lieu notamment de déterminer :

- la morphologie exacte du seuil molassique naturel
- la forme du cône de rabattement de la nappe en amont du captage avec évaluation des réserves accumulables en fonction d'un relèvement donné
- la géométrie du seuil artificiel à créer
- le dépistage de fuites potentielles au-dehors de la zone du captage
- comparaison entre le prix du seuil et le volume d'eau supplémentaire accumulé.

Concernant les ouvrages de reprise, les anciens captages, une fois étanchés, pourraient être directement réutilisés au moyen de vannes réglables.

Un tel projet est de grande envergure. Il est le seul toutefois à permettre une gestion des ressources en eau de cette portion du sillon.

Le projet d'exécution n'est pas concevable dans l'état des connaissances de la nappe et du seuil au voisinage des captages. Seule une campagne de sondages très resserrés permettrait les calculs nécessaires. Néanmoins, dans son principe, l'obturation du secteur Râpe (Les Neuchâtelois et Commune),

ou de l'ensemble Râpe-Trémeule (idem + Alcalina), voire même encore celle des sources du Ruisseau de Marnand (sources du Devin et de la Commune) n'est pas une fiction.

Par exemple, le stockage dans le tronçon Râpe-Marnand par l'obturation de ses deux extrémités (carte IV H + profils N + O) serait particulièrement avantageux, le Vauban tolérant une surélévation de 6 m de la nappe avant de fonctionner comme trop-plein (PARRIAUX 1978 b). Dans l'hypothèse d'un relèvement général dans ce secteur, le volume d'eau supplémentaire accumulé serait à peu près le suivant :

longueur de la nappe : 1200 m

largeur moyenne de la nappe : 250 m

surface : 300'000 m²

pour 1 m de surélévation : 300'000 m³ de gravier saturé ou 60'000 m³ d'eau supplémentaire

et approximativement autant de fois 60'000 m³ que de mètres de rehaussement.

Le coût élevé d'une telle opération serait à mettre en regard avec celui de réservoirs construits dont la taille pourrait difficilement atteindre des volumes comparables. En outre, la conservation qualitative des eaux y constituerait un problème critique, qui est mineur dans le stockage souterrain.

Cas des eaux souterraines de la plaine

Nous avons vu, qu'à l'exception de la partie centrale du delta de la Lembe, des recherches d'eau intenses avaient été menées et que seules des ressources relativement faibles avaient été découvertes ($Q < 200$ l/mn). Si ces ressources n'ont pas été exploitées, c'est que les prospecteurs ont trouvé d'autres endroits plus favorables. Il n'empêche que ces endroits propices devenant toujours plus rares, on devra bien se résoudre à capter des ressources plus faibles à l'aide de puits multiples ou de tranchées de grande extension. Ce pourrait être le cas notamment de l'aquifère graveleux situé à proximité de la Broye, de celui des cônes du Vauban et

du Ruisseau de Marnand.

En outre, il serait utile de prospector minutieusement les sédiments du delta de la Lembe afin de connaître l'extension en plan et en profondeur des sables graveleux. La relative pauvreté en eau de cette région devrait bientôt inciter ses habitants à se tourner vers cette solution.

Enfin, la possibilité de capter les eaux de la partie profonde des alluvions subsiste pour un développement à long terme. Toutefois, les réserves faites précédemment à ce sujet demeurent valables.

Tronçon Marnand - Brit - Etrabloz

Références

- Carte de base VI B
- Registre (p. 29-39)
- Carte hydrogéologique VI H
- Profil P
- Cartes des résistivités électriques.

Nous arrivons ici à l'extrémité nord de la plaine de la Broye moyenne au sens géologique. Elle est barrée à l'aval de Granges par le grand complexe morainique Ménières - Boulex. La rivière a pu le franchir par l'érosion du cours Boulex - Collin.

La plaine alluviale se rétrécit donc progressivement depuis Granges vers l'aval pour aboutir à l'étroit chenal intramoraïnique que domine la ferme de Boulex. Mis à part ce secteur, nous comprenons dans ce tronçon la prolongation septentrionale du sillon d'Henniez, dont on suit la trace jusqu'au-delà de Granges-sous-Trey.

LA MOLASSE

Les roches molassiques du versant rive droite de la Broye n'apparaissent que très rarement à l'affleurement. Leur structure est malgré tout relativement bien connue, grâce à la coupe profonde du Ruisseau de Trey et de celle du Ruisseau des Usements.

Il s'agit du flanc NW du synclinal de Trey cartographiés par INGLIN (1960) et RUMEAU (1954). Le contact Aquitanien-Burdigalien apparaît dans le dernier talus important qui domine la route Trey - Etrabloz. Des informations complémentaires sur le toit de la molasse et sur sa structure ont été apportées récemment par la tranchée du gazoduc. En particulier, des indices de déformations tectoniques par failles en bordure directe de la plaine (560,42-180,95) ont été observées (carte VI H).

Du point de vue hydrogéologique, la molasse joue d'abord le rôle de parois bordières de la prolongation du sillon d'Henniez. D'une épaisseur encore importante entre Henniez et Marnand, la crête marno-gréseuse qui sépare le sillon de la vallée actuelle diminue de largeur et de hauteur vers le NE, au fur et à mesure que les axes des deux auges se rapprochent. Son étanchéité s'en ressent également et des pertes latérales sont observables au sud de l'embouchure du ruisseau de Trey (carte VI B). C'est quelque part, au-delà du village de Granges-sous-Trey, qu'elle doit disparaître définitivement (carte VI H).

En ce qui concerne leur rôle de terrain aquifère, les assises molassiques de ce versant montrent une série de sources cantonnées au contact Aquitanien-Burdigalien ainsi qu'un peu plus haut dans la série. On les trouve au voisinage du village de Trey puis le long du versant jusqu'à la zone sourcière de La Bretonnière, à l'est d'Etrabloz (carte VI B).

LA MORAINÉ

Le rôle primordial joué par la grande moraine Ménières - Boulex a déjà été évoqué dans l'introduction à ce chapitre. Sa description détaillée en tant qu'ensemble géologique ainsi que celle des alluvions lacustres qui la recouvrent entrera dans le tronçon suivant. Nous nous contenterons ici de traiter du recouvrement morainique du versant de Trey. A l'instar du tronçon Henniez-Marnand, la moraine moule l'ensemble du coteau, masquant de cette manière aussi bien la molasse que les graviers de l'ancien sillon bordier. Son épaisseur ne dépasse pas

une quinzaine de mètres dans la majeure partie du tronçon. Toutefois, au nord de Trey, elle augmente brusquement pour atteindre une trentaine de mètres (voir p.225).

Il semble également que ce soient des terrains glaciaires qui recouvrent les sables graveleux aquifères du petit sillon de Longeraies et qui rendent la nappe localement artésienne (voir p.226). Partout où elle apparaît, la moraine du versant est de composition argilo-limoneuse. Sa grande compacité accroît encore son imperméabilité.

LES ALLUVIONS

Secteur de la prolongation septentrionale du sillon d'Henniez

La merveilleuse coupe du ruisseau de Trey où le géologue peut suivre quasiment sans discontinuité le contact entre l'ancien sillon et la molasse démontre bien la nature nettement fluvio-glaciaire du remplissage. Ce sont des sables et des graviers plus ou moins cimentés, dont les strates ont été abondamment déformées par les mouvements dus à la présence de glace, de la même manière que dans la coupe du Vauban (INGLIN 1960, PARRIAUX 1978b). Comme précédemment, leur caractère sédimentaire nous autorise à les considérer comme alluvions s.l.

Entre les profils naturels des ruisseaux de Trey et de Marnand, et malgré les quelques sondages à disposition, la morphologie de l'ancien sillon est encore très mal déterminée (carte VI B).

Un seul forage a pénétré dans la profonde nappe avant d'atteindre la molasse (560-179-3). Fait pour le compte de la société Henniez-Lithinée SA, il a découvert sous la moraine supérieure une dizaine de mètres de sables et graviers fluvio-glaciaires. Ces terrains sont certes aquifères sur toute la hauteur de la couche mais la grande imbrication des éléments sédimentaires les rend faiblement perméables (carte VI H), comme c'est le cas de certaines portions du remplissage en amont de Marnand. Le fait que la nappe mesure encore une dizaine de mètres d'épaisseur à moins d'un hectomètre du ruisseau qui la

tronque dans son entier est bien le reflet de cette faible perméabilité. Il est très probable toutefois que certaines zones du remblayage Marnand-Trey offrent localement des valeurs supérieures; leur situation n'est pas déterminable avec les maigres données existantes.

C'est également sur la confluence du sillon avec la vallée de la Broye que les données sont encore très insuffisantes. Des observations importantes ont été apportées récemment grâce au chantier du gazoduc (voir p. 223) et à la campagne de sismique pétrolière 1979. En particulier, un sondage mécanique profond (rotary) a été exécuté au nord du village de Trey (560,84-180,72). N'ayant pu l'intégrer dans la carte de base et le registre, nous en donnons ici la coupe :

0-35 m moraine argilo-limoneuse et graveleuse
35-41 m gravier fluvioglaciaire (aquifère?)
41-60 m molasse aquitanaïenne.

On constate donc une augmentation du rapport des épaisseurs moraine / fluvioglaciaire en direction de l'embouchure ainsi qu'un net abaissement du toit des graviers.

Les manifestations hydrogéologiques extérieures de ce tronçon du sillon sont moins spectaculaires que celles que l'on a observées plus en amont.

Dans le segment Marnand-Ruisseau de Trey, la nappe est vidangée par de nombreuses émergences à débit très limité. On les trouve d'abord sur la rive droite du Ruisseau de Marnand, puis le long de la fragile barrière molassique qui sépare le sillon de la vallée principale. Enfin, sur la rive gauche du Ruisseau de Trey, une petite source apparaît dans l'axe du sillon (carte VI B).

Sur l'autre rive, en revanche, deux galeries captent les eaux du segment terminal de l'ancienne vallée (560-179-1 et 2). Taillées dans les sables et graviers fluvioglaciaires de l'axe du sillon, elles ne touchent pas le substratum molassique. Leur débit global, très régulier, est voisin de 200 l/mn.

Une éventuelle vidange des eaux souterraines vers le nord est possible. Elle devrait se faire directement dans les alluvions de la plaine au débouché des deux vallées, soit approximativement sous le lieu-dit Champ Favre. Tant que des observations précises ne seront pas recueillies par sondage, ce point restera indéterminé dans son détail.

Secteur du sillon de Longeraies

L'amas de sables légèrement graveleux et limoneux n'était connu dans le passé que par l'affleurement dû à l'ancienne sablière qui borde la route Trey-Payerne (RUMEAU 1954 et INGLIN 1960). La répartition de ces dépôts fluvioglaciaires a été ensuite précisée par les mesures géophysiques qui montrent leur extension le long du coteau Trey - Les Usements (voir annexe III C). Ces hautes résistivités électriques diminuent très fortement du côté ouest de la route cantonale, en direction du marais des Mottes.

Dès 1972, dans le cadre d'un projet d'assainissement de ce marais, il a été conçu de coupler cette réalisation à un système de captage des eaux souterraines qui devrait, par le rabattement de la nappe, résoudre les problèmes d'imbibition du sol. Une prospection hydrogéologique a été menée dans ce but au moyen de nombreux sondages mécaniques (carte VI B).

Des résultats obtenus, il ressort que les dépôts fluvioglaciaires du coteau des Usements viennent se pincer vers l'ouest entre une couche limoneuse peu perméable probablement morainique et une moraine profonde qui précède de quelques mètres la molasse aquitanaise (profil P). La forme du substratum marneux (fig. 44) indique que les sédiments perméables occupent un sillon peu marqué dont le fond assez plat semble descendre paradoxalement vers le SW. Probablement s'agit-il ici d'un segment d'un ancien affluent du grand sillon d'Henniez.

La géométrie du substratum est favorable à une certaine accumulation d'eau souterraine (fig.44). Celle du toit semi-perméable joue également un rôle prédominant. En effet, alors que la nappe d'eau est libre au-dessous de la route cantonale, elle

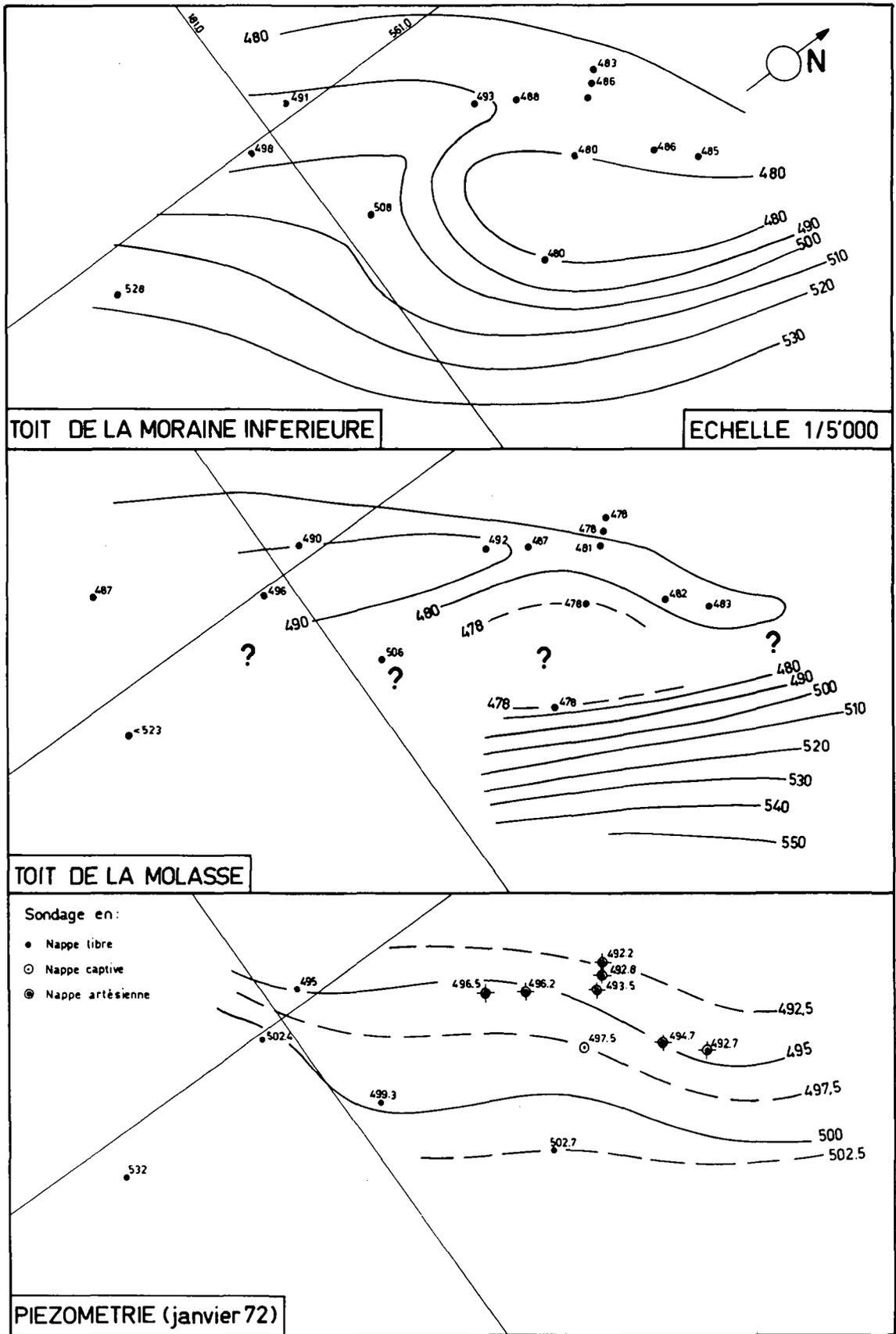


Figure 44 : Nappe du sillon de Longeraies à Trey (d'après les sondages du bureau Norbert).

devient captive puis même artésienne dans le périmètre des Mottes (carte VI H) où elle se vidange par un réseau de drainage superficiel. Leur débit global y est d'environ 300 à 400 l/mn.

La perméabilité de la nappe varie d'après la granulométrie du terrain aquifère. Moyenne dans la partie centrale, elle devient faible en direction de Trey et même très faible dans les limons argileux de l'extrémité nord du remplissage (carte VI H). L'épaisseur, de quelques mètres à l'ouest, passe à plus de 20 m en amont de la route cantonale.

Un puits d'essai à faible diamètre (561-181-1) a été foré au centre de la zone artésienne. Un test de production a permis d'y soutirer une quarantaine de l/mn par pure gravité.

Les analyses chimiques effectuées dans les forages révèlent une excellente qualité des eaux. Leur composition essentiellement bicarbonatée calcique n'appelle pas de remarque particulière. La dureté totale varie entre 30 et 35 DF.

L'alimentation de la nappe provient de l'infiltration des eaux pluviales sur le versant Pecalix - Haute Biolle. Cette infiltration doit être certainement plus importante dans la partie basse du talus où le fluvioglacière perméable affleure. Dans le haut, par contre, une épaisse couche de moraine argileuse entraîne un fort ruissellement qui doit, à son tour, pénétrer partiellement dans la nappe de la zone sableuse inférieure.

On peut probablement rattacher au sillon de Longeraies l'amas fluvioglacière inframorainique découvert lors de la construction du nouveau réservoir de la commune de Payerne à Vers chez Perrin (562,29-183,31). Sous une moraine de fond (2 à 3 m), la fouille a pénétré dans une masse de sables graveleux et limoneux stratifiés, aquifère à 1 ou 2 m environ sous son toit. L'excavation est descendue encore un mètre à l'intérieur de la nappe qu'on a dû rabattre en y pompant un débit de quelques dizaines de l/mn.

Il s'agit certainement du terrain aquifère en liaison avec les sources de la Foule et des divers bras du Ruisseau de Simondan qui naissent au voisinage de la molasse, quelques centaines de mètres en contrebas (carte VI B).

L'extension en plan et en profondeur de ce tronçon de nappe sableuse demeure mal connue. Aucun sondage n'a été implanté dans le secteur et les lignes géophysiques sont peu explicites sur ce sujet. Intéressant en ce qui concerne la paléogéographie du Pleistocène, le terrain aquifère de Vers chez Perrin ne constitue certainement qu'une faible ressource en eau.

Secteur de la plaine entre Granges et Boulex

Mis à part le cône du ruisseau de Trey qui sera traité séparément, ce tronçon de plaine n'a été l'objet que de peu de recherches. De nombreuses fouilles peu profondes (STEP, gazoduc, etc...) y ont rencontré les graviers de la dernière phase d'alluvionnement de la rivière. Malheureusement, leur partie aquifère est encore plus restreinte qu'en amont de Granges et parfois même inexistante.

Au-dessous des graviers, on rencontre soit des sables (rive gauche) soit des sables plus ou moins limoneux ou encore des limons finement sableux et argileux (rive droite). On observe même la présence de tourbe en aval de Marnand (voir fig. 52).

En conséquence, vu la faible puissance des graviers aquifères, ce sont les terrains inférieurs qui sont représentés sur la carte (carte IV H) avec des perméabilités très faibles, faibles ou moyennes. Leur épaisseur est également limitée à quelques mètres si l'on en croit les sondages électriques. Plus profondément encore, on doit retrouver l'épaisse couche de limons qui a été sondée pour les fondations du silo de Granges (558-178-5). A ce propos, on observe par sondage électrique une remontée du substratum en direction de la fermeture morainique de Boulex et par conséquent un amincissement progressif des alluvions. Ces dernières sont électriquement conductrices et ne laissent pas présager la présence de niveaux perméables.

Malgré cette abondance d'indices défavorables pour l'utilisation des eaux souterraines de ce secteur, la prospection pour le compte de la "Gärtnerei Gerber" de Trey a été tout

de même positive. Après l'échec du sondage 560-181-2 qui n'a rencontré qu'un mètre de gravier assez limoneux, un puits a été foncé à l'intérieur d'un ancien méandre de la Broye, abandonné lors de l'endiguement de la rivière (560-181-1). Les quatre mètres de gravier aquifère légèrement limoneux ont livré environ 150 l/mn lors des essais de pompage (voir registre p. 37). L'eau captée, d'une dureté totale de 35 DF, y est d'excellente qualité. Sa très faible teneur en fer (0,05 mg/l) conjuguée à un taux de saturation en oxygène d'environ 50% la rend tout à fait utilisable comme eau potable.

Enfin, un dernier site est encore digne d'intérêt. Il s'agit du placage graveleux que l'on trouve au pied du versant droit de la plaine, entre Marnand et Granges-sous-Trey. Il est constitué de la juxtaposition étroite de petits cônes de déjection situés au débouché des nombreuses vallées sèches qui descendent le versant des Côtes (carte VI H). La partie aérée du pied des accumulations graveleuses est exploitée pour ses matériaux au nord du Château de Marnand. Leur base a été reconnue par trois sondages pour le compte de la société Henniez-Lithinée SA (559-178-8, 559-178-1 et 2). Elle s'est révélée aquifère sur une épaisseur variant entre 2 et 5 m, sous forme de graviers et de sables saturés. Nous ne possédons aucune indication directe sur leur perméabilité. Dans le premier forage, la présence abondante de sables fins dans le gravier nous incite à le classer dans le domaine des valeurs moyennes. Dans les deux autres, ces valeurs sont supérieures, les sédiments décrits paraissant plus grossiers. Au-dessous du placage graveleux, les trois sondages ont pénétré dans une argile dite morainique par les sondeurs.

Secteur du cône du Ruisseau de Trey

Devant les difficultés rencontrées dans la prospection des eaux souterraines de la plaine, la société Henniez-Santé SA a entrepris d'étudier les ressources du cône du Ruisseau de Trey (1969). Cette masse d'alluvions se présente d'emblée comme favorable du point de vue hydrogéologique,

le ruisseau ayant érodé presque entièrement les graviers de la prolongation septentrionale du sillon d'Henniez. En revanche, les résultats géophysiques ne montrent pas des valeurs très élevées (voir annexe III C).

Une campagne par sondages mécaniques et puits d'essai a été entreprise dans la partie inférieure du cône, en aval de la route cantonale. Elle a révélé une structure sédimentaire tout à fait typique de la divagation de chenaux sur une zone d'épandage. Il en résulte une succession de dépôts de crue dans l'axe des écoulements et des sédiments fins plus ou moins riches en matière organique sur leur bordure. Dans chaque sondage de reconnaissance, on a découvert un ou plusieurs niveaux graveleux d'épaisseur variable. Une couche de tourbe a été traversée dans chacun d'eux, mis à part le sondage situé le plus en amont du cône (559-180-6). Cette couche ou ces lentilles tourbeuses sont en position variable par rapport aux graviers aquifères (voir registre). Parfois, elle se trouve nettement en dessus du terrain grossier (559-180-1), d'autres fois à l'intérieur même des formations graveleuses (559-180-4), directement en contact avec les eaux souterraines. Un niveau argileux rend la nappe captive dans l'aile droite du cône de déjection.

La présence de tourbe dans la plaine alluviale de Granges-sous-Trey est la première manifestation de ce type de dépôts lorsque l'on parcourt la vallée de la Broye du sud au nord. Elle est annonciatrice des grandes extensions de matière organique de la basse vallée qui sont décrites plus loin; nous avons dessiné une carte des isopaques de la tourbe de cette région dans laquelle a été intégrée celle de Granges-sous-Trey (fig. 52). On y observe la présence de ce dépôt sur une surface allongée au pied du versant rive droite, de Marnand à la Halte de Trey. Sa superficie est d'environ 1,5 km². L'épaisseur de la tourbe pure est faible dans la partie amont puis croît rapidement pour culminer à 2 m dans le cône du Ruisseau de Trey.

Alimentée par la surface et probablement temporairement par le ruisseau, la nappe du cône s'écoule directement dans

les alluvions de la plaine. Dans son aile droite, les mesures piézométriques ont montré une direction d'écoulement vers N340°E, avec une pente d'environ 0,5%.

C'est dans cette partie qu'a été foncé un puits filtrant (559-180-1). Il est logé à l'intérieur d'un chenal de divagation rempli de graviers sur 5 m d'épaisseur puis recouvert de limon argileux et enfin de tourbe. Les essais de pompage dans cette nappe captive ont apporté des résultats satisfaisants sur le plan quantitatif puisqu'un débit proche des 500 l/mn y a été soutiré. La perméabilité obtenue entre ainsi dans le domaine des valeurs moyennes (carte VI H). La qualité des eaux est en revanche très décevante. Une teneur en fer nettement supérieure aux normes de potabilité a été analysée (voir registre p. 34). Elle est due certainement à la présence des tourbes au toit de la nappe. L'utilisation de cette ressource nécessiterait un traitement correctif préalable qui n'a pas été réalisé à ce jour.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

Cas de la prolongation du sillon d'Henniez

Sur le long tracé de Marnand à Boulex, seuls quelques points permettraient un aménagement complémentaire.

Au droit de son intersection avec le Ruisseau de Trey, un captage par puits dans l'axe de l'ancienne vallée permettrait d'abaisser temporairement la nappe en période de forte demande, tandis que les réserves seraient restituées naturellement au cours des périodes pluvieuses. Une telle conception apporterait une meilleure gestion des ressources en eau de ce secteur. Auparavant, un puits d'essai contribuerait à une vérification de la perméabilité et de l'épaisseur des terrains saturés sous le niveau du ruisseau.

Plus à l'aval, on pourrait tenter de capter les éventuels écoulements souterrains de l'extrémité septentrionale du sillon, directement au nord de Granges-sous-Trey. A ce sujet, un grand nombre d'inconnues subsistent. Une campagne

de prospection complète serait nécessaire afin de concrétiser une telle réalisation.

Enfin, le site du sondage profond, au nord de Trey, pourrait être également l'objet d'investigations complémentaires (voir p. 225). Il serait nécessaire de déterminer si le fluvioglaciaire est aquifère. Un essai de pompage dans un nouveau forage permettrait d'en calculer la perméabilité.

Cas du sillon de Longeraies

L'étude et les essais effectués sur la nappe de Longeraies confirment l'intérêt de ce gisement. La réalisation d'un captage définitif au moyen d'un rideau de puits filtrants implantés dans la zone artésienne, tel que l'a conçu l'auteur du projet, serait d'un apport important pour l'alimentation en eau de la région.

Il y a lieu pourtant de faire une remarque sur le système de captage prévu et sur l'influence qu'il transmet au régime de la nappe. La conception actuellement retenue est basée sur une régulation purement gravitaire du débit. En d'autres termes, les puits seront forés dans la zone de déversement de la nappe déterminée par le léger seuil de la rive NW de l'ancien sillon. Il en résulte, comme dans le cas d'une source, que les débits maxima seront obtenus durant les périodes de faible consommation. Nous pensons, pour notre part, qu'une gestion plus "capitaliste" de cette ressource en eau serait profitable. Il s'agirait alors d'implanter le ou les puits dans l'axe du sillon, donc plus au SE (fig. 44). Il serait ainsi possible de continuer l'exploitation de l'eau dans le centre de la cuvette lorsque le débordement vers le NW aurait disparu à la suite d'une longue période d'étiage. Cette réserve empruntée serait restituée naturellement durant l'automne, l'hiver puis le printemps, alors que la demande baisse fortement.

En résumé : le système actuellement projeté serait le plus approprié dans le cas où l'on aurait affaire à une simple nappe en coin à mur descendant. Il ne tire en revanche pas le bénéfice que constitue la morphologie en sillon du toit de la moraine inférieure. On peut concevoir dans cette optique

qu'un simple réseau de drainage superficiel permettrait d'évacuer les eaux de la zone artésienne depuis la fin de la période de reconstitution des réserves, afin de permettre l'exploitation agricole du sol.

Cas de la plaine alluviale

La plaine de la Broye dans ce tronçon ne présente pas à priori de possibilité intéressante de capter de nouvelles ressources en eau, les rares terrains quelque peu perméables étant trop minces.

Il se peut que la rive gauche fasse légèrement exception à cette règle (voir p.229). Toutefois, le captage d'un débit utilisable nécessiterait probablement plusieurs puits d'exploitation à faible profondeur.

Enfin, sur la bordure, le pied du placage graveleux des Côtes nécessiterait une investigation plus poussée, notamment en sortant du domaine restreint de la gravière. Les sondages ont montré en effet (p.230) que les perméabilités étaient intéressantes et que les épaisseurs pouvaient atteindre 5 m. Ce sont des perspectives à ne pas négliger dans un contexte régional de faible richesse en eau.

Cas du cône du Ruisseau de Trey

L'échec relatif de la prospection du cône du Ruisseau de Trey a résulté de la qualité chimique médiocre des eaux captées au pied de son aile droite. On sait par expérience que les fortes teneurs en fer sont très souvent liées à la présence de tourbe en contact avec la nappe. Or, un sondage du Service des routes, implanté un peu en amont du site prospecté (559-180-6), montre que les tourbes ont disparu. On y relève en outre la présence de graviers sans que l'on puisse savoir sur quelle épaisseur ils sont aquifères. Malgré ces incertitudes, il serait judicieux d'étudier le cône d'accumulation plus en amont que cela n'a été le cas jusqu'à maintenant, ainsi que son aile gauche. Il n'est pas exclu que cette démarche se solde par un succès analogue à celui obtenu sur le cône de Treize-Cantons.

Tronçon Granges - Boulex - Payerne - Vesin

Références

- Cartes de base V + VI + VII B
- Registre (p. 30-47)
- Cartes hydrogéologiques V + VI + VII H
- Profils O,P,Q
- Cartes des résistivités électriques.

Le quadrilatère Granges - Boulex - Payerne - Vesin est une zone clé de la géologie du Quaternaire du bassin de la Broye puisqu'il a constitué le tampon entre les grands flux glaciaires de la Broye moyenne au SE et de la langue transfluente d'Estavayer à l'ouest (PARRIAUX 1978a).

Actuellement, ce tronçon montre une morphologie purement morainique et fluvioglaciaire qui ne laisse apparaître le soubassement molassique qu'à de rares endroits (carte VI et VII H).

Ces moraines appartiennent, pour les plus élevées, aux deux langues glaciaires conjuguées (Grands Bois - Bois des Invuardes - Aléri). Plus tard, elles se sont individualisées dans chacun des deux bassins :

1) dans la Broye :

- complexe morainique frontal Ménières - Boulex. Ce barrage a été érodé par la Broye sous la forme du cours partiellement épigénétique de Boulex - Fétigny

2) dans la Petite-Glâne :

- arc Aléri - Champ Montand - les Fourches
- arc Fin du La - Les Echelettes - la Fin - Fin de Frossailles
- arc Bochalet - Ferme de Glâne
- diverses moraines plus récentes en direction d'Estavayer qui sortent de la carte hydrogéologique (PARRIAUX 1978a).

Entre ces amas morainiques se sont formées d'anciennes plaines alluviales fluvioglaciaires grâce auxquelles l'étude des variations du niveau de base au cours du retrait est possible.

LA MOLASSE

A l'est de l'axe Ménières - Vesin, la molasse est fortement recouverte de matériel quaternaire. Elle n'est apparue à l'affleurement qu'à un seul endroit, à l'ouest de la colline d'Aléri, lors de la réfection de la route (carte VII H). Elle est composée d'un banc de grès fortement diaclasé et faillé, pris dans des marnes bigarrées de type aquitaniens. Ce pointement unique du soubassement molassique dans ce secteur est certainement l'indice d'un accident tectonique important, de direction environ N340°E, passant par la dépression d'Estavayer.

Au-dessous de la moraine Ménières - Boulex, les sondages électriques semblent indiquer la présence d'un seuil rocheux (PARRIAUX 1978 a). Les résultats gravimétriques paraissent avoir confirmé notre théorie (AXELROD 1978). Alors que l'épaisseur du remplissage quaternaire dans la plaine entre Lucens et Granges-Marnand doit atteindre 200 m environ, elle serait réduite à une cinquantaine de mètres un peu en aval du village de Fétigny pour augmenter à nouveau dans la Basse-Broye. Ces résultats, basés uniquement sur des mesures indirectes, mériteraient d'être vérifiés par des sondages mécaniques. Si ce seuil constitué de marnes et de grès aquitaniens existe réellement, son effet couplé à celui de la moraine Ménières - Boulex est à assimiler à un barrage pratiquement étanche des nappes quaternaires profondes qui occupent la fosse de la Broye moyenne.

La rive droite du cours épigénétique de la Broye entaille directement les assises marno-gréseuses aquitaniennes qui forment la base de la colline du Bois de Boulex. Il en sort quelques sources peu importantes (carte VI B).

LA MORAINÉ

La disposition des différents arcs dans ce grand tronçon a été décrite dans l'introduction. Quant à la qualité des matériaux qui les composent, peu d'informations précises sont à disposition.

En général, tant dans le groupe des moraines de confluence des deux langues glaciaires que dans celles qui ont obturé la Broye et la Lembe, la composition observable est limono-sableuse à galets, sans structure stratifiée. Leur perméabilité globale est donc très faible. De tels affleurements sont visibles par exemple dans la tranchée routière de Boulex ou, de l'autre côté, dans le pied de la colline de la Ferme de Glâne, au N de Cugy.

Dans les zones où l'épaisseur du glaciaire est importante, les mesures électriques confirment une constance de cette composition.

Toutefois, l'étude géologique détaillée révèle que certaines parties ou parfois un arc entier sont composés de terrains plus ou moins remaniés par la fonte des glaces. On y observe des sédiments à dominante sableuse et graveleuse qui portent le figuré "moraine caillouteuse" sur la carte hydrogéologique. Ce sont en particulier (carte VII H) :

- le sommet de la colline de Bochalet à l'ouest de Montet
- les deux extrémités de l'arc de Fin du La au sud de Cugy
- l'arc de Champ Montand - Les Fourches à l'est de cette localité
- le flanc sud-est du plateau morainique de Pré du Mont, au nord-est de Granges des Bois.

Dans ces divers sites, la perméabilité des terrains est assez bonne. Cependant, comme pour les dépôts fluvioglaciaires qui les côtoient, leur position perchée ne favorise pas l'accumulation des eaux. Il n'en résulte que quelques petites sources de peu d'importance, comme c'est le cas par exemple à l'est de Cugy (carte VII B).

LES ALLUVIONS

La grande dispersion géographique des sédiments alluviaux s.l. de ce tronçon nous contraint à les décomposer selon plusieurs secteurs, les alluvions perchées d'abord, puis celles qui se trouvent au-dessous du niveau de la rivière. Aucun dépôt connu n'est antérieur à la dernière transgression glaciaire.

Secteur du barrage morainique et des terrasses glacio-lacustres de la Lembe

Nous avons vu que la vallée ancienne de la Lembe avait été obturée par un barrage morainique, sous l'actuel plateau de Chassagne.

Avant l'érosion du cours épigénétique de Granges, un lac périglaciaire a dû se former dans la dépression de Cheiry - Chapelle - Coumin. Il y a déposé des sédiments sablo-graveleux stratifiés, aujourd'hui perchés par l'abaissement du niveau de base des eaux. Ils forment la guirlande de terrasses qui borde les deux rives de la vallée en aval de Cheiry ainsi que le recouvrement sablo-graveleux du plateau de Chassagne.

Dans la majeure partie des cas, le fort drainage dû à leur position perchée ne permet guère d'y accumuler des eaux souterraines. Quelques sources relativement modestes sortent en pied de terrasse, exception faite des sources de Coumin-Dessus qui montrent un débit soutenu.

Seuls les dépôts du plateau de Chassagne ont été cartographiés en tant que porteurs d'une nappe d'eau souterraine d'une certaine importance (cartes V, VI et VII H). Les observations directes que l'on peut faire sur la nature de ces matériaux sont peu nombreuses. L'examen de la coupe des petits ruisseaux qui y prennent naissance montre une composition granulométrique essentiellement sableuse. En outre, les mesures géophysiques ne sont pas simples à interpréter quantitativement. Toutefois, elles indiquent la présence de zones à sédimentation plus grossière que d'autres (annexe III C), ce qui nous a permis une esquisse de la carte des perméabilités (carte V H et profil O). L'épaisseur de la partie aquifère des terrains stratifiés ne devrait pas dépasser quelques mètres.

Le déversement naturel des eaux souterraines se fait sur les deux faces du barrage :

- du côté amont avec les deux sources de la commune de Granges (555-179-1 et 556-179-1). Un nouveau captage exécuté récemment à une cinquantaine de mètres au nord du premier a rencontré une épaisse série de sables moyens à fins, aquifère vers 6 m de profondeur
- du côté aval avec la double source 556-180-1 captée dans des sables aquifères.

Quelques émergences secondaires de faible capacité apparaissent dans la partie supérieure de la rive gauche molassique du cours épigénétique.

Secteur des terrasses bordières, de Ménières à Payerne

La langue glaciaire de la Broye a marqué les étapes de son dernier retrait dans les amas fluvioglaciaires ou glaciolacustres de sa bordure occidentale. L'étude géologique montre en effet plusieurs systèmes de terrasses dont l'altitude a décru au cours du temps. Géographiquement, on trouve les restes de ces plaines alluviales depuis le nord du village de Sassel jusqu'au voisinage de Payerne. Leurs relations géomorphologiques ont été décrites en détail (PARRIAUX 1978a) et nous ne reviendrons pas sur ce sujet.

Si l'on découvre dans ces unités de grosses épaisseurs de matériel perméable (sables en prédominance), elles sont en revanche la plupart du temps dépourvues d'eau souterraine où ne contiennent qu'une nappe d'épaisseur décimétrique. La pente du substratum imperméable, en l'occurrence la moraine de fond, descend régulièrement dans le même sens que la topographie, empêchant ainsi toute accumulation importante d'eau.

C'est le cas notamment de l'ensemble des terrasses de la forêt située à l'W de Ménières, du grand plateau de Sur le Mont et de sa prolongation vers l'aval, jusqu'à Bioles aux Blancs. On peut de plus leur assimiler géologiquement et hydrogéologiquement l'ensemble des terrasses étagées du Replan, à l'ouest de Granges-Marnand.

A l'extrémité septentrionale de ce cordon sédimentaire de bordure, la zone de Grande Râpe, qui borde l'ancien chenal périglaciaire de l'ouest payernois, a révélé la présence d'une nappe souterraine suffisante pour qu'elle soit cartographiée ici. Plusieurs

sondages mécaniques l'ont rencontrée. Il s'agit de sédiments sableux légèrement graveleux, parfois quelque peu limoneux. Leur perméabilité doit être moyenne (carte VII H, profil Q). La forme du substratum morainique est cette fois intéressante puisqu'un léger sillon y est marqué. Il en résulte une épaisseur aquifère qui passe de un à près d'une dizaine de mètres.

Cette nappe est certainement en relation avec l'émergence importante qui est à l'origine du ruisseau de la Coula, émergence collectée par un réseau de drainage dans le chenal, en amont de la pisciculture.

Secteur fluvioglaciaire de Granges des Bois

Pris entre les collines morainiques de Granges des Bois-Dessus et du Bois des Invuardes, un ancien chenal devait conduire les eaux de fusion des langues glaciaires vers le NE. Il s'est peu à peu comblé d'alluvions jusqu'à l'époque où l'apport des eaux a cessé.

Aujourd'hui, on y observe un segment de plaine alluviale isolée entre des moraines, dans une position telle qu'une accumulation d'eau souterraine est possible. A son extrémité NE, la source 558-183-1 représente avec son débit de 200 l/mn environ la vidange naturelle d'une nappe relativement importante. L'émergence plus modeste 558,67 - 183,47 est probablement à rattacher à un bras du même aquifère.

En 1972, une prospection pour le compte de la commune de Cugy a été menée dans ce secteur. Une reconnaissance préliminaire par les méthodes géoélectriques a permis de bien faire ressortir l'influence des moraines bordières sous les terrains alluviaux (fig. 45).

On remarque notamment que les valeurs dans l'axe de la plaine culminent à plus de 400 Ω m (AB = 40 m). Elles demeurent élevées vers l'aval jusqu'à la source principale. Vers l'amont par contre, elles diminuent rapidement au-delà du chemin de Granges des Bois-Dessus ($\rho_a < 100\Omega$ m).

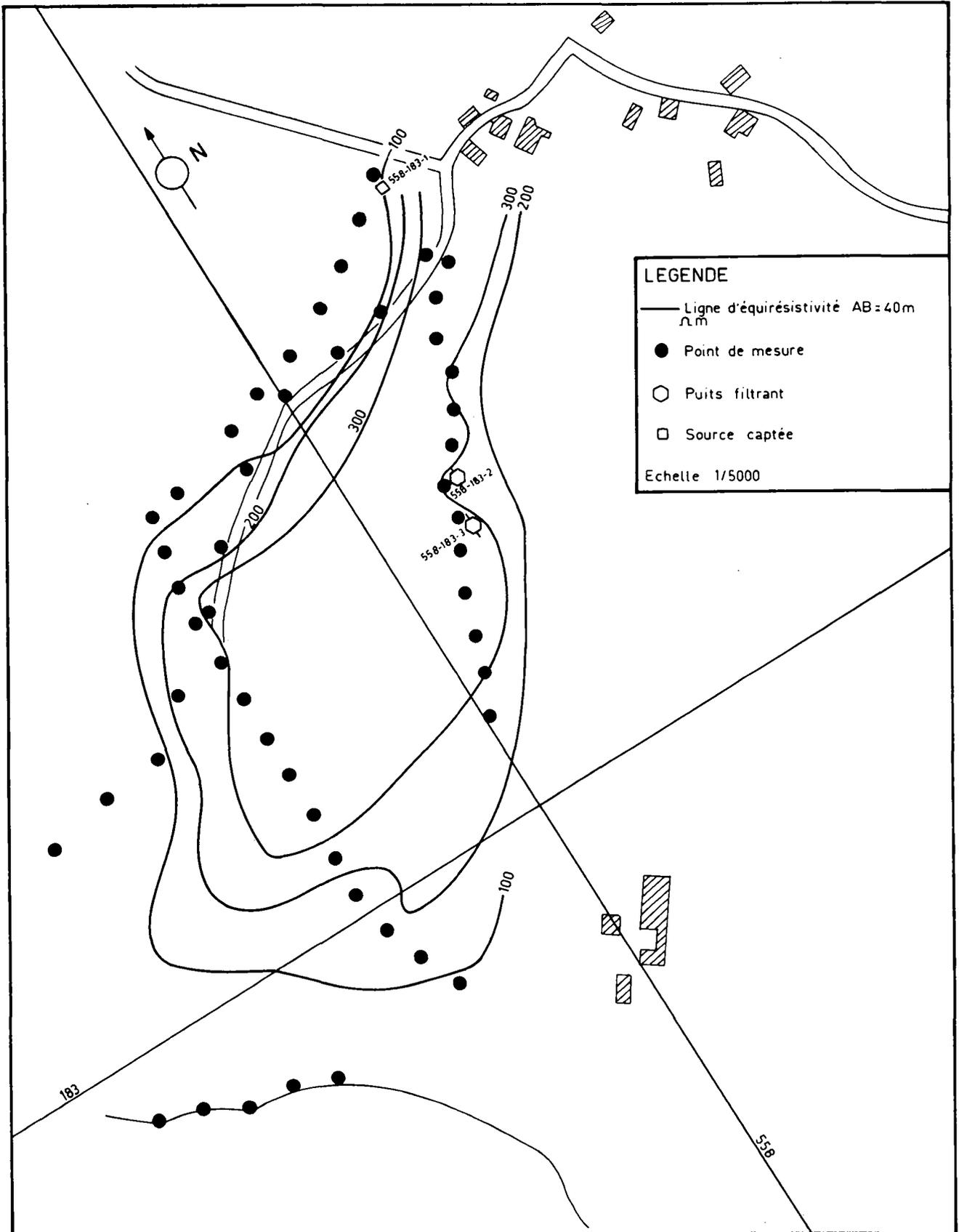


Figure 45 : Nappe perchée de Granges des Bois (Cugy). Carte des résistivités apparentes AB = 40m. D'après mesures CSD complétées.

Ces résultats de prospection indirecte ont été confirmés par trois sondages de reconnaissance et d'exploitation. Le premier (557-182-7), situé à l'extrémité méridionale de la plaine, n'a en effet rencontré que des terrains très faiblement perméables reposant sur une épaisse moraine limono-argileuse (carte VII H).

Les deux autres sondages (558-183-2 et 3) ont été implantés dans la zone axiale à forte résistivité. Une puissante série de sables plus ou moins fins, parfois un peu limoneux, avec un mince horizon de gravier à la base y a été rencontrée. Une nappe d'eau souterraine occupe la partie inférieure de ces sédiments sur une épaisseur de 7 à 10 m. Bien que les terrains saturés supérieurs soient de très faible perméabilité, l'ensemble a été traité comme une seule nappe libre. Grâce aux essais de pompage dans les deux sondages, les valeurs approximatives de perméabilité moyenne sur toute la hauteur de l'aquifère entrent dans le domaine des faibles perméabilités.

La ressource en eau mise à disposition par ces deux mini-puits d'exploitation est de l'ordre de 200 l/mn sans qu'une diminution du débit de la source 558-183-1 n'ait pu être constatée. Il faut relever à ce sujet que la période d'observation a été particulièrement courte et qu'il est probable qu'à long terme les effets du pompage se feront nettement sentir sur le débit de la vidange gravitaire de la nappe. Même si cette influence existe, l'exploitation par pompage est bénéfique pour la gestion des ressources de la nappe, puisqu'elle permet d'emprunter au réservoir souterrain une partie de ses réserves pendant l'été tout en laissant la nappe se reconstituer durant les périodes pluvieuses.

Sur le plan qualitatif, les eaux pompées dans les sondages sont extrêmement semblables à celles du captage 558-183-1. Elles sont bicarbonatées calciques et magnésiennes, avec une dureté totale de 30 DF environ. Aucun indice de défaut en oxygène n'apparaît. On a en outre noté durant les essais de pompage une très forte teneur en nitrate (55 mg/l) de même qu'une oxydabilité assez élevée.

Relevons enfin que l'alimentation de cette nappe perchée provient exclusivement des précipitations à sa surface.

Secteur du débouché du ruisseau de Vesin

En bordure du glacier qui occupait la vallée de la Petite Glâne, se sont accumulés des sédiments fluvioglaciaires et glacio-lacustres d'une extension bien inférieure à ceux de la vallée de la Broye. Ils sont cantonnés ici sur la rive gauche du ruisseau sous forme de petites terrasses et placages qui conservent les traces d'anciens cours d'érosion (carte VII H).

Les diverses exploitations de graviers implantées dans ce secteur ont mis à jour localement et temporairement une nappe d'épaisseur décimétrique qui alimente les tranchées captantes des sources de Bussy (556,58 - 183,97 et 556,58 - 184,09, carte VII B). Leur débit moyen global de 80 l/mn est assez variable. Durant le fort étiage de 1972, il a baissé à moins de 20 l/mn.

Cette nappe ne possède pas la puissance nécessaire pour être représentée comme zone aquifère sur la carte hydrogéologique.

Secteur des dépôts lacustres de Fétigny (lac de 480 m)

Nous avons vu tout au long de la description des alluvions de la Broye moyenne les restes d'une plaine fluviatile ancienne (unité 5, fig. 20). Nous avons constaté que la cote des terrasses en question descend du SW au NE en s'appuyant sur une parabole qui devient tangente à la surface des dépôts lacustres de Fétigny, dépôts accumulés au devant de la moraine frontale Ménières - Boulex (PARRIAUX 1978a). Parmi d'autres facteurs, l'extension réduite de cette formation vers le nord nous a incité à penser que ce lac de 480 m devait être barré à l'aval par la langue glaciaire transfluant de la Thielle vers l'est par la dépression d'Estavayer.

Actuellement, cette zone se présente sous la forme d'un vaste plateau dont la surface a été érodée par divers chenaux lors de l'abaissement du niveau de base.

Ses limites sont les suivantes (carte VI et VII H) :

- A l'amont, il se raccorde parfaitement aux ondulations de la moraine de Ménières et constitue la terrasse du hameau de Brit.
- A l'aval, les sédiments sont brusquement interrompus au nord du village de Fétigny. Il s'agit ici certainement d'une limite d'érosion, leur extension originelle devant s'appuyer approximativement sur une ligne Petite-Râpe - Payerne - Corcelles.
- Du côté SE, le chenal de débordement épigénétique de la Broye a érodé leur partie supérieure, laissant le village de Fétigny sur une bordure de terrasse.
- Du côté NW enfin, l'érosion a épargné le contact entre le pied des dépôts fluvioglaciers élevés et les sédiments du lac de 480 m.

Si cet amas sédimentaire est d'un volume considérable, la connaissance que l'on a de sa composition et de sa forme en profondeur est très réduite.

RUMEAU (1954) a décrit ce qu'il appelle les marnes de Fétigny dans l'exploitation de l'ancienne marnière Morandi, entre Fétigny et Payerne. Granulométriquement, il s'agit ici de limons argileux stratifiés à rares galets (dropstones). Dans le haut de la terrasse de Fétigny, nous avons pu observer des sédiments plus sableux, essentiellement de la classe sable fin à limon. Q'en est-il maintenant de la partie plus profonde qui doit être aquifère ? Les sondages électriques n'indiquent pas l'apparition de matériel plus grossier vers le bas. En outre, un seul sondage (559-182-2) implanté dans l'ancien chenal de la Bioleyre paraît confirmer la très faible perméabilité générale de cette unité géologique : au dire des gens de la Commune, on aurait rencontré dans ce forage environ 25 m de limons, un très mince horizon plus graveleux légèrement artésien et enfin, jusqu'à 40 m, de la marne et du sable. On peut raisonnablement attribuer la totalité de cette série au complexe stratifié du lac de 480 m. Ajoutons encore que lors du forage, le piézomètre mis en place aurait débité une vingtaine de l/mn par simple artésianisme. Aujourd'hui, il laisse encore couler environ le dixième de cette valeur.

Sur la bordure occidentale des marnes de Fétigny, une zone plus sableuse fait la transition avec les sédiments grossiers des terrasses fluvioglaciers élevées, sables qui proviennent d'ailleurs de leur érosion par ruissellement. Une perméabilité légè-

rement supérieure est attribuée à ce domaine (carte VI et VII H). C'est à la base de ce cordon plus sableux qu'est captée la source de la commune de Fétigny (559-182-1) qui représente une ressource en eau régulière de plus de 100 l/mn.

L'extension en profondeur des dépôts du lac de 480 m n'est pas connue avec précision. Nous avons représenté sur les profils P et Q la remontée probable du soubassement molassique selon le seuil détecté par géophysique. On ignore quelle part prennent la moraine et les dépôts lacustres dans le remplissage quaternaire.

Secteur du cours épigénétique Boulex - Collin (Fétigny)

Durant l'époque du lac de 480 m, le niveau de base des eaux dans la région Ménières-Payerne devait être sensiblement le même que celui du sommet de la moraine frontale dans la Broye. L'apport de sédiments se trouvait alors essentiellement à l'aval de ce barrage morainique et surtout au débouché des vallées péri-glaciaires de la langue occupant la Petite Glâne. Ces dernières déversaient leurs eaux de fonte dans le lac de Fétigny (PARRIAUX 1978a).

Lors de l'abaissement du niveau des eaux de 480 à 450 m, la rivière a érodé profondément la moraine frontale et les dépôts lacustres fraîchement sédimentés. L'emplacement du cours d'eau a certainement été guidé par le surcroît d'accumulation situé du côté occidental. C'est donc dans la rive droite qu'il a entaillé l'ancienne topographie sur une profondeur d'une quarantaine de mètres environ, en créant une épigénèse dans son tronçon aval (carte VI H).

Peu à peu, la dépression de la Basse-Broye s'est comblée, relevant ainsi progressivement le niveau de base des eaux et provoquant de la sorte un réalluvionnement du talweg.

Ces derniers sédiments s'étendent sous forme d'une plaine surbaissée de trois kilomètres de longueur environ.

Sa largeur varie de 400 à 700 m de Boulex à Fétigny. Dans la partie franchement épigénétique, elle est brusquement réduite à moins de 200 m. Ce contraste morphologique est lié directement à la nature du substratum à éroder :

- Plaine large au droit des sédiments lacustres tendres de Fétigny
- Plaine moins large au passage de la moraine de Boulex déjà plus résistante
- Plaine étroite lorsque le substratum rocheux a été lui-même entaillé.

La taille du chenal n'a pas été sans influence sur le régime des eaux d'alors et par conséquent sur la granulométrie moyenne des dépôts alluvionnaires. Les mesures géophysiques confirment cette constatation. Les parties larges montrent des résistivités électriques assez basses, généralement inférieures à 80 Ω m, exception faite du voisinage direct de la rivière. Dans l'étranglement Sur la Roche - Simondan en revanche, les résistivités sont très élevées. Elles culminent à plus de 300 Ω m pour une longueur de ligne AB = 60 m (voir annexe III C).

En l'absence de sondages mécaniques, sauf dans la partie septentrionale, une dizaine de sondages électriques répartis sur le secteur nous renseignent sur la structure géologique probable. Sur cette base, nous avons pu individualiser des zones qui contiennent un aquifère sablo-graveleux peu épais qui se surimpose à des dépôts plus sableux (carte VI H et profil P). Ailleurs, notamment au pied du village de Fétigny, les graviers supérieurs deviennent peu épais et probablement très partiellement aquifères. La perméabilité des terrains inférieurs a alors été représentée sur la carte hydrogéologique.

Des résultats plus précis ont été obtenus dans la partie épigénétique du cours grâce aux deux forages (561-183-1 et 2) et aux mesures géophysiques de détail que nous avons exécutés (fig. 46).

Ces dernières, effectuées au niveau de la plaine alluviale, confirment les ordres de grandeur des résistivités de l'annexe III C, en précisant leur répartition dans le plan.

On observe premièrement un regroupement des valeurs maximales dans une bande d'une cinquantaine de mètres de largeur en bordure de la Broye. L'effet du drainage de la nappe par la rivière joue certainement un rôle dans l'augmentation de la résistivité apparente.

Puis les valeurs diminuent progressivement en direction des flancs molassiques où elles finissent par descendre au-dessous de 30 Ω m. Les lignes d'isorésistivités qui marquent les étapes de cette diminution ne sont pas régulières. Elles présentent en effet des ondulations qui doivent correspondre à des formes de méandres dans l'érosion du substratum molassique. On note en particulier une plus grande extension des hautes résistivités à la latitude 184.00.

Afin d'éliminer l'influence des terrains non saturés superficiels, des mesures électriques spéciales ont été effectuées le long de la Broye, à un mètre au-dessus de l'eau. Il s'agit d'une ligne mesurée avec deux dispositifs (AB=60 m et AB=20 m) sur la rive droite de la rivière, à l'entrée du rétrécissement de Sur la Roche (fig.46). Grâce à la courbure de la Broye, ces mesures sont disposées soit dans l'axe de la plaine, soit au voisinage du bord molassique oriental.

Les valeurs obtenues en AB = 60 m contrastent nettement avec celles mesurées depuis la surface des alluvions (fig.46). Elles demeurent toutes inférieures à 50 Ω m, illustrant par là la faible puissance des terrains aquifères perméables.

Pour réduire la profondeur d'investigation (environ 7 m), un traîné AB = 20 m a été effectué sur la même ligne (fig.46). Ces valeurs, cette fois, se rapprochent beaucoup plus de la résistivité vraie des terrains aquifères supérieurs. Elles culminent dans l'axe de la plaine à plus de 120 Ω m alors qu'elles descendent vers 50 Ω m plus près du parement rocheux.

Par les sondages mécaniques, une nappe sablo-graveleuse plus ou moins limoneuse a été reconnue. Au vu de la granulométrie des terrains (registre p. 43), sa perméabilité doit être moyenne sauf au voisinage direct de la rivière où elle est probablement plus élevée. Son épaisseur de 4 et 7 m dans les forages devrait

dépasser une dizaine de mètres à l'est du piézomètre 561-183-1. Ce doit être également le cas plus à l'aval, à la fin du virage à gauche de la Broye (fig.46 et profil Q).

Dès 1974, nous avons installé un limnigraphe (L3) sur le piézomètre 561-183-1. D'emblée, les limnigrammes ont montré des fluctuations extrêmement intenses et rapides. Un examen plus approfondi montre que ces crues des eaux souterraines sont directement en relation avec celles de la Broye. La comparaison est facile par simple juxtaposition des limnigrammes de la nappe et de ceux de la station hydrométrique de l'OFEH à Payerne (annexe I).

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

Parmi les divers secteurs traités dans ce vaste tronçon, seuls deux d'entre eux paraissent susceptibles d'être développés en ce qui concerne de nouveaux captages :

- Zone des sources du Ruisseau de la Coula (SW de Payerne)

Nous avons décrit (p.239) la présence d'une nappe sablo-graveleuse de quelques mètres d'épaisseur reposant sur la moraine Grande Râpe - Petite Râpe. Son émergence, le Ruisseau de la Coula, est utilisée actuellement comme alimentation de l'étang de pisciculture situé au sud du cimetière de Payerne.

Un captage effectué dans la partie sommitale du vallon et sur son flanc sud permettrait de collecter des eaux souterraines de qualité.

- Secteur du cours épigénétique de la Broye entre Boulex et Collin

Les eaux souterraines de cette étroite plaine alluviale sont aujourd'hui totalement inutilisées. Or, les zones à perméabilité moyenne et élevée se prêteraient bien à l'implantation de captages.

Vu la faible épaisseur des terrains aquifères, un système d'exploitation par tranchée serait particulièrement favorable. Toutefois, la partie inférieure du cours, entre Sur la Roche et Simondan, pourrait également recevoir des puits filtrants. Un site particulièrement intéressant doit exister sur la rive gauche à la latitude 184.00 (fig.46).

Comme le montrent les enregistrements limnigraphiques (annexe I), la réalimentation de la nappe est influencée par le niveau de la rivière. Cet élément est très favorable du point de vue quantitatif. Un puits d'essai serait tout de même indispensable afin de vérifier la capacité de filtration des terrains et la qualité de l'eau.

Ce réservoir de moyenne dimension présente l'avantage d'être situé à peu de distance de Fétigny et de Payerne.

Tronçon Fétigny nord - Payerne

Références

- Carte de base VI + VII + VIII B
- Registre (p. 44-51)
- Carte hydrogéologique VI + VII + VIII H
- Profil R et S
- Cartes des résistivités électriques

Limité à l'amont par la bordure d'érosion des dépôts lacustres de Fétigny, ce tronçon est constitué essentiellement par les sédiments du débouché de la Broye dans la vaste plaine. Ils se présentent sous la forme d'un large cône d'accumulation très peu penté qui s'étend du sud au nord de la ville de Payerne.

Les deux côtés sont de nature géologique différente. La bordure SE est façonnée dans la molasse aquitaniennne recouverte à peine de quelques mètres de glaciaire. En face par contre, la plaine vient s'appuyer contre l'amas morainique de la colline de Petite Râpe traité dans le chapitre précédent.

LA MOLASSE

On retrouve les mêmes assises molassiques que celles décrites dans le cours épigénétique de la Broye dans la rive gauche de la vallée, de Simondan aux Invuardes. Il s'agit des grès et marnes aquitaniens qui n'affleurent que très partiellement malgré leur faible recouvrement par des terrains meubles. Dans la partie sud (Simondan), leur pendage est d'une dizaine de degrés vers le SE. Plus à l'aval, RUMEAU (1954) fait passer l'axe probable de l'anticlinal de Corcelles obliquement au talus de Sur Crottet.

A part quelques petites sources qui apparaissent sur ce versant, le rôle hydrogéologique de la molasse est réduit à celui de substratum imperméable. En aval du seuil de Fétigny, le fond de l'auge molassique au-dessous des alluvions redescend à nouveau d'après les résultats des sondages électriques. Il devrait atteindre environ 80 m de profondeur à l'ouest de Payerne (profil R).

LA MORAINE

Le tronçon Fétigny-Payerne est très intéressant du point de vue de la répartition des amas périglaciaires de la région. Nous avons vu que l'extrémité nord du triangle morainique Ménières - Vesin - Cugy se termine en pointe avec la colline de Petite Râpe. Il est plausible que ces accumulations se poursuivent sur une certaine distance sous la plaine. Lorsque l'on considère les deux bombements morainiques qui ressortent des alluvions sur la rive droite de la vallée (moraines de la Boverie et de la ville de Payerne), on peut imaginer une éventuelle liaison est-ouest des complexes morainiques bordiers sous les sédiments alluviaux. Cette structure hypothétique pourrait être considérée soit comme une moraine frontale du glacier de la Broye ou plus probablement encore comme arc latéral rive droite de la langue transfluente de la Petite-Glâne. Les mesures géophysiques ne permettent ni d'appuyer ni de rejeter cette hypothèse, les résistivités obtenues en profondeur (70 à 100 Ω m) pouvant appartenir tout aussi bien à des terrains morainiques qu'à des alluvions sableuses saturées. Relevons que nous n'en avons pas tenu compte dans le dessin du profil hydrogéologique R.

La composition des collines morainiques de la Boverie et de la ville de Payerne est assez mal connue. La première n'a été testée que par un seul sondage (561-185-5) et par les mesures électriques où elle se caractérise par des résistivités basses de l'ordre de 60 Ω m (voir annexe III C). Il doit s'agir de matériel à dominante limoneuse.

La seconde a été atteinte par quelques sondages mécaniques peu profonds, implantés sur la bordure SE de la colline (561-185-16 et 19). Ils ont touché une moraine limono-sableuse à gravier, extrêmement compacte. De l'eau a été rencontrée à environ 7 m. de profondeur. Elle ne se manifeste aucunement en surface.

Par ailleurs, la moraine constitue le fond peu perméable de la nappe alluviale. Elle a été reconnue notamment à la base des puits de la Boverie (561-184-1-2-3) où elle forme un coussinet

argilo-graveleux qui recouvre la molasse sur quelques mètres d'épaisseur.

LES ALLUVIONS

Les terrains alluviaux de ce tronçon occupent essentiellement le sous-sol de la plaine actuelle. Seules les traces d'un cône surélevé au débouché du vallon de La Coula sont à noter (carte VII H). Son rôle hydrogéologique est réduit à celui d'une alimentation latérale de l'aquifère central.

Au sujet de ce dernier, nous le divisons en deux secteurs distincts.

Secteur du sud de la ville de Payerne

Le caractère épigénétique du cours de la Broye entre Sur la Roche et Simondan se poursuit vers le NE sous une forme essentiellement fossile. Un ancien bras de la rivière contournait par l'est le bombement morainique de la Boverie que le canal franchit maintenant. Plus au nord, c'est également un ancien cours de la Broye qui venait lécher le versant molassique à l'est de la moraine de la vieille ville. Il y a déposé les alluvions que l'on rencontre actuellement sous la gare CFF.

Au-dehors de cette partie marginale, la Broye a divagué dans l'élargissement de la plaine de la Coula, au pied des sédiments lacustres de Fétigny et de la moraine de Petite Râpe.

Si, à première vue, ce secteur paraît homogène du point de vue géologique, les mesures de résistivités électriques montrent immédiatement que deux zones hydrogéologiques peuvent être distinguées :

a) Voisinage du cours actuel de la Broye

Cette surface étendue sur quelque 200 à 400 m de part et d'autre de la rivière canalisée montre de fortes valeurs de résistivités électriques (annexe IIIC). Ces dernières sont en moyenne de l'ordre de 200 Ω m pour une longueur de ligne de AB = 60 m. Comme dans le tronçon précédent, nous avons complété les mesures de l'atlas des résistivités (MEYER DE STADELHOFEN 1973) par un traîné de détail dont les résultats sont reportés aux fig. 47 et 48.

Sur la première, les valeurs serrées de AB = 60 m montrent clairement le contournement de la moraine de la Boverie par un chenal résistant passant sur son flanc est (fig. 47). Dans

l'axe de cet ancien bras, la résistivité culmine entre 120 et 150 Ω m. Au contact avec la rivière actuelle, elle dépasse même 200 Ω m par l'effet de drainage du canal.

Sur la rive gauche, une autre zone résistante décrit un nouveau chenal dont l'axe devait se situer à une cinquantaine de mètres de la Broye. Là également, les valeurs dépassent 200 Ω m. Plus à l'ouest, les résistivités s'abaissent rapidement pour rejoindre les basses valeurs de la partie occidentale de la plaine, dès la route cantonale franchie.

Ce chenal de la rive gauche a été testé également avec une longueur de ligne supérieure : AB = 100 m (fig.48). On constate dans ce cas que l'anomalie résistante demeure, avec toutefois un contraste moins marqué. On a là une confirmation de la profondeur restreinte de l'ancien cours graveleux.

Des conclusions semblables peuvent être tirées de mesures faites au niveau même de l'eau de la Broye, d'abord avec AB = 60 m (fig.47). Les résistivités apparentes obtenues ne caractérisent ici plus que le fond peu perméable dont les valeurs varient entre 30 et 45 Ω m. Avec une longueur de ligne plus courte ensuite (AB = 20 m, fig.48), on mesure des résistivités plus sensibles au remplissage grossier (env. 100 Ω m), sauf vers l'aval où la moraine de la Boverie rabaisse ce paramètre au-dessous de 50 Ω m.

Grâce aux sondages électriques, on peut considérer que la partie centrale du chenal est occupée de graviers perméables (carte VI H) aquifères sur deux ou trois mètres d'épaisseur (SE 560-184-5). La périphérie devrait comporter, elle, des sédiments plus sableux à perméabilité moyenne d'une puissance de 5 à 10 m (SE 560-184-4 et 561-184-6). Ces valeurs devront être précisées par des sondages lors d'un éventuel projet d'exploitation.

b) Partie occidentale de la plaine de la Coula

Au NW de la zone des chenaux décrite ci-dessus, les valeurs de résistivités électriques AB = 60 m (annexe III C) restent généralement comprises entre 60 et 80 Ω m. En outre, le sondage électrique 560-184-3 ne signale sous la surface qu'un terrain de résistivité égale à 60 Ω m qui correspond probablement à une nappe aquifère sableuse et limoneuse à faible perméabilité (carte VI et VII H). De plus, on peut constater que cette zone ne comporte aucun captage.

Géologiquement, on peut concevoir que la divagation active de la rivière devait bien se concentrer dans la partie orientale de la plaine, au débouché du cours épigénétique de Fétigny, alors que la moitié occidentale ne devait recevoir que les produits de débordement des fortes crues de la rivière. Cette répartition des sédiments est donc logique du point de vue de la genèse du remplissage alluvial.

En ce qui concerne la nature du substratum, une donnée intéressante est fournie par le sondage sismique 560-184-8 qui détecte la présence d'un horizon de vitesse égale à 2800 m/s à une vingtaine de mètres de profondeur. Ce fait pourrait être un indice d'un remplissage morainique qui constituerait une liaison entre les amas glaciaires des deux rives de la plaine (voir p. 251).

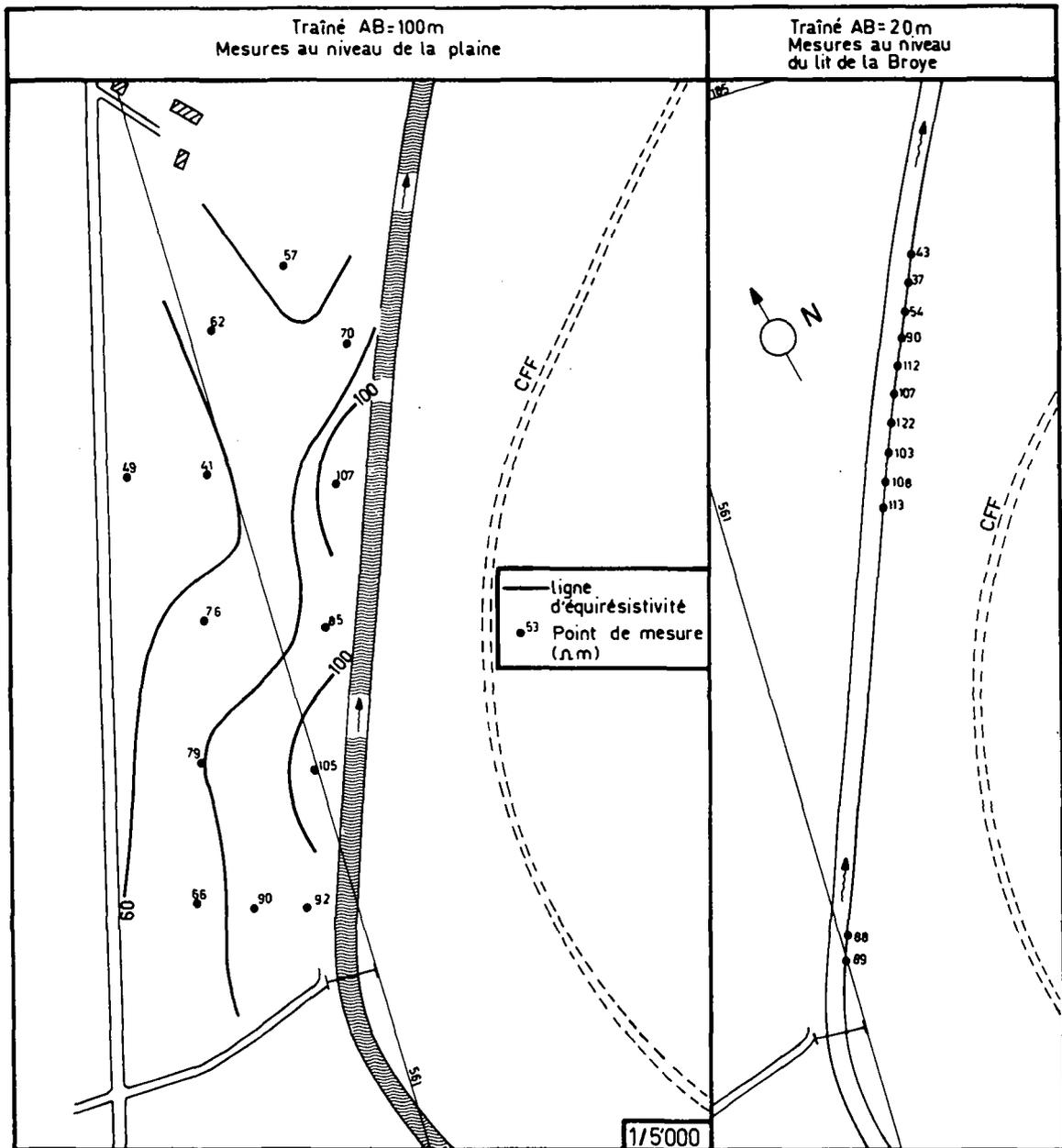


Figure 48 : Débouché de la Broye à La Coula (au sud de Payerne). Carte de détail des résistivités électriques apparentes avec AB = 100m. et AB = 20m.

Les données par sondages mécaniques et par puits n'interviennent que dans la partie septentrionale du secteur, jusqu'au coeur de la ville de Payerne. Elles proviennent essentiellement de recherches d'eau anciennes complétées par les nombreux forages effectués lors de la pollution du puits Nestlé (561-185-2).

De l'amont vers l'aval, on rencontre d'abord les trois puits d'essai de la prospection de 1942 (561-184-1-2-3) auxquels vient se joindre le sondage géotechnique 561-184-4. L'ensemble de ces forages a traversé les graviers aquifères du chenal détecté par géophysique (fig.47). Toutefois, ils se situent sur sa bordure occidentale et les épaisseurs de terrain perméable rencontrées sont limitées entre 2 et 5 m (carte VI H). Dans ces conditions, on n'a pas jugé bon d'y réaliser des essais de pompage. Les graviers extraits étaient pourtant très perméables dans les deux puits septentrionaux alors que dans le troisième, un niveau de sable et des graviers cimentés diminuaient quelque peu la perméabilité globale de la couche aquifère représentée (carte VI H).

Le quatrième puits (561-185-3) de la campagne de 1942, foncé dans le même chenal mais environ 200 m à l'aval, a donné des résultats plus positifs. L'aquifère est encore constitué de graviers et ceci sur une épaisseur de 5 m. Un essai de pompage de courte durée a permis d'en tirer un débit d'environ 500 l/mn qui correspond à une perméabilité très élevée de l'aquifère (carte VI H et profil R). Là encore, la ressource découverte a été jugée insuffisante et le puits abandonné.

A la même latitude mais sur le versant occidental du chenal cette fois, le vieux puits de la condenserie Nestlé (561-185-2) a apporté et apporte toujours une ressource en eau essentielle à la ville de Payerne. Là également, l'épaisseur des graviers est assez restreinte (environ 4 m) mais ce sédiment est encore plus perméable qu'au puits 561-185-3 (carte VI H et profil R). La ressource atteint ici 1500 l/mn d'une eau de qualité (voir registre p. 47). On note toutefois une dureté totale élevée, supérieure à celle des autres aquifères alluviaux de la plaine en amont de Payerne. En outre, une faible teneur en fer est présente sans qu'elle nuise à la potabilité (annexe II).

Malgré une épaisse couche limoneuse recouvrant la nappe tout au long du chenal, la protection qualitative de cette ressource n'est pas sans problème, ce puits se situant en pleine zone urbaine et industrielle. Une très grave pollution résultant d'une volumineuse perte d'hydrocarbure domestique, à une cinquantaine de mètres en amont du puits, a rendu cet ouvrage inutilisable pendant plus de 2 ans.

Des travaux importants de forage de reconnaissance, puis des fouilles d'assainissement et de pompage de récupération n'ont permis sa réutilisation comme eau potable qu'en 1973.

La seule conséquence positive de cet accident a été l'exécution de sondages dans le voisinage du captage afin de déterminer l'extension de la pollution (561-185-5-6-7). Le premier n'a rencontré l'eau souterraine qu'au contact d'une glaise probablement glaciaire à rattacher à la moraine de la Boverie. Les deux suivants, par contre, ont traversé la prolongation vers l'aval des sédiments graveleux du chenal, avec une épaisseur aquifère toujours du même ordre de grandeur. A l'aval de cette zone, la plaine se divise en deux branches.

Il s'agit d'abord du chenal de la gare CFF de Payerne qui détourne la moraine de la vieille ville par l'orient en longeant le pied molassique du versant de la Riolaz. Il débouche plus loin sur l'aile droite du grand cône de la Broye, à l'aval de la ville. Deux sondages ont été implantés à mi-parcours sur la bordure NW des alluvions. Sous des remblais puis des sables fins limoneux légèrement tourbeux, ils ont traversé des graviers et des sables aquifères puissants de 1 à 2 m. Ils dominent à leur tour un gravier limoneux probablement morainique puis la molasse à une dizaine de mètres de profondeur. La nappe baignant également la base des sables fins, la perméabilité globale de la couche représentée doit être moyenne (carte VIII H). On ne possède malheureusement aucune information sur la partie centrale de ce chenal où des mesures géophysiques sont irréalisables. On peut toutefois s'attendre à y découvrir une plus grande épaisseur de graviers aquifères. Il est à noter que la forte urbanisation de cette zone ne permettrait probablement qu'une utilisation industrielle de ces eaux.

Aux côtés de ce bras secondaire, la prolongation principale des alluvions vers l'aval se fait par la large trouée limitée au nord par la moraine de la vieille ville, au sud par celle de la Boverie. Elle rejoint ici la partie NE de la zone occidentale de la Coula. Cet ensemble constitue la tête du grand cône de la Broye qui s'étend largement à l'aval de Payerne.

Secteur du cône de la Broye au N de Payerne

La zone d'accumulation des sédiments de la Broye, à son débouché hors des moraines de barrage, se traduit dans la topographie par un vaste cône à dénivellation peu marquée.

La répartition des valeurs électriques épouse parfaitement cette morphologie (annexe III C). En effet, les lignes d'équirésistivité tracées toutes les dizaines de Ωm décrivent de larges courbes à concavité vers l'amont, déformées localement par des structures radiales qui correspondent aux chenaux de divagation sur le cône.

Dans leur ensemble, les résistivités électriques demeurent peu élevées. Sous la ville, leur mesure est impossible. Directement à l'aval de Payerne, elles se situent vers 60 à 90 Ωm , valeurs qui diminuent progressivement vers les 40 à 50 Ωm de la plaine de la Basse-Broye.

De cette répartition régionale s'individualisent deux zones particulièrement résistantes (annexe III) :

a) Quartier du Pavement (Payerne_W)

Cette portion de plaine alluviale montre avec $AB = 60\text{ m}$ des valeurs supérieures à 100 Ωm , valeurs qui culminent même au-delà de 160 Ωm . Il peut s'agir soit d'une zone sablo-graveleuse de la tête du grand cône, soit de l'effet d'une moraine bordière noyée sous les alluvions. Elle serait alors le trait d'union entre celles de Petite-Râpe et de la ville de Payerne (p. 251). Quelle que soit la solution retenue, ce site devrait correspondre à des terrains aquifères à perméabilité moyenne ou peut-être légèrement plus faible dans le cas de la moraine bordière.

b) Zone des Casernes

Une étroite bande résistante SSE-NNW borde le canal de la Broye sur sa rive droite. Les valeurs y sont en moyenne de 100 à 150 Ωm . Elles culminent à plus de 200 Ωm à l'ouest du puits de Vuaz-Vauchy (561-186-1). Par le faible nombre de mesures possibles, la forme de cette anomalie est difficilement discernable. Nous reviendrons en détail sur cette zone lors de la description du puits (p.259).

Sous la forme d'étroits chenaux dans les secteurs de la Boverie et de la gare, les structures sédimentaires ont passé plus bas à de vastes zones d'épandage. On y retrouve des dépôts grossiers dans sa partie méridionale tandis que les sables plus ou moins limoneux sont prédominants plus à l'aval.

Plus précisément, deux sondages principaux (561-184-4-12) illustrent la succession des sédiments dans la zone radicale.

Le premier est un puits filtrant datant de la prospection de 1942. Son implantation, proche de la colline de Payerne, n'a guère permis de trouver plus de trois mètres de gravier sableux aquifère avant de pénétrer dans la molasse. Ces derniers ont montré une texture très imbriquée rendant leur perméabilité moins élevée. D'autre part, leur recouvrement par des argiles à galets et sables peut laisser supposer que l'on se trouve ici encore dans le complexe morainique de la ville. Ce puits a été abandonné sans qu'on l'ait testé par pompage.

Le sondage géotechnique 561-185-12 se situe lui sur la rive gauche de la Broye. Il est donc plus éloigné de la moraine de Payerne. On y a découvert la prolongation des graviers de la Boverie sous 5 mètres de terrains limoneux. Leur légère teneur en matière fine doit leur conférer une perméabilité moyenne (carte VII H). Quant à leur puissance, on sait seulement qu'elle est supérieure à 6 mètres. Ce résultat est en accord avec les valeurs de résistivités obtenues plus à l'ouest dans l'anomalie résistante du Pavement (annexe III).

Sur le devant du cône, les résultats d'un seul sondage mécanique ont pu être récoltés. Notons que sa situation, à l'extrémité septentrionale de la zone résistante des casernes, implique que son profil n'est certainement pas représentatif de l'ensemble des sédiments du secteur. Faisant partie de la campagne de prospection d'eau de 1942-1943, le puits filtrant de Vuaz Vauchy (561-186-1) a découvert la succession de deux niveaux graveleux aquifères séparés par une épaisse couche de sables plus ou moins fins, légèrement graveleux (Profil S). Alors que la partie supérieure peut être associée à celle que l'on a prospectée dans le haut du cône, la présence de l'horizon graveleux profond est totalement nouvelle.

En 1942, le puits a d'abord été creusé jusqu'à 19 m sans atteindre les graviers profonds. L'essai de pompage pratiqué a permis d'en tirer, en état d'équilibre, 900 l/mn avec un rabattement inférieur à 3,5 m. On a ensuite approfondi l'ouvrage, toujours en petit diamètre, et découvert le terrain perméable inférieur. Un second essai testant l'ensemble des deux nappes s'est soldé par une forte augmentation de la capacité de l'ouvrage puisqu'avec un rabattement de 2,8 m, un débit stabilisé à 1800 l/mn a été produit. Sur cette base, la perméabilité globale de l'ensemble des couches aquifères approche la limite inférieure du domaine des perméabilités élevées (carte VIII H, profil S).

A cause d'une conduite d'adduction d'eau trop faiblement dimensionnée, la Commune de Payerne a préféré à l'époque racheter le puits Nestlé plutôt que de développer cette ressource nouvelle. Cependant, au lendemain de la pollution de ce dernier (1971) un second puits de plus gros diamètre a été creusé à moins de 5 mètres de l'ancien ouvrage. La coupe géologique traversée est semblable mais marque tout de même quelques variations dans l'altitude des contacts géologiques. En particulier, légèrement captive dans l'ancien puits, la nappe devient pratiquement libre à l'emplacement du nouveau.

Pour des raisons indéterminées, la couche graveleuse profonde a été forée, décrite comme "gravier très propre aquifère" mais n'a pas été captée par l'ouvrage. En effet, ce dernier ne saisit son eau que dans la couche graveleuse supérieure et dans le membre sablo-graveleux intermédiaire par un tuyau crépiné à fine perforation. Il est entouré d'un massif filtrant complexe composé de sable et de gravier de différente granulométrie. Le fond du puits, lui, est rempli de matériel de remblai jusqu'au dépotoir à boue. D'après des données fragmentaires, la capacité de l'ouvrage aurait atteint 2300 l/mn sans contrôle du rabattement. Il a servi ensuite d'eau de secours pendant plus de 2 ans avec un débit moyen de 600 l/mn, puis a été abandonné à nouveau.

Du point de vue qualitatif, l'eau de Vuaz Vauchy est caractérisée par trois paramètres défavorables.

- 1) Dureté totale supérieure à 45 DF : cette valeur est nettement supérieure à celle des eaux souterraines situées en amont de Payerne. Elle est en revanche semblable à celle du cône de l'Arbogne (562-187-1).

- 2) Important déficit en oxygène : il s'agit d'une eau fortement réduite avec présence de nitrite et d'ammoniaque provenant de la réduction d'une partie des nitrates. On ne note par contre qu'une faible teneur en fer.
- 3) Forte teneur en manganèse : habituellement environ dix fois inférieure à la teneur en fer dans les eaux réduites de la région, la quantité de manganèse est ici paradoxalement près de vingt fois supérieure à celle de l'autre cation. Il en résulte un très fort dépassement des normes appliquées aux eaux potables.

Le caractère fortement réduit de cette eau ne doit pas résulter ici d'une consommation de l'oxygène par la matière organique de niveaux de tourbes, qui sont inconnus sur cette partie du cône. Il devrait s'agir plutôt d'une lente réduction due à une très faible circulation naturelle de l'eau. Les graviers rencontrés à Vuaz Vauchy disparaissent certainement sur le devant du cône en passant graduellement aux sables puis aux sables fins et limons de la Basse-Broye. Ceux-ci constituent un freinage important de l'écoulement. Les eaux des graviers sont ainsi piégées malgré la forte transmissivité locale du terrain. Cet état naturel devrait toutefois s'améliorer par une exploitation à long terme qui recréerait une circulation artificielle dans le périmètre d'appel du captage. Les maigres données chimiques sur la période d'utilisation 1971-1973 ne permettent pas de régler ce problème (annexe II). Il faut noter enfin que, d'après les plans de l'ingénieur, le puits construit en 1971 n'est pas protégé contre l'infiltration des eaux de surface, la chemise graveleuse filtrante ayant été mise en place jusqu'au niveau du sol.

D'une manière générale, le corps principal du cône de la Broye, au-dehors de la zone résistante des casernes, est probablement formé de terrains sableux moins riches en gravier. Leur perméabilité doit être plus réduite que sur le site de Vuaz Vauchy, tout en restant dans le domaine des perméabilités moyennes (cartes VII et VIII H). La présence de lentilles graveleuses n'est pas exclue; toutefois aucune observation indirecte ne permet, à priori, de les situer.

Quelques sondages géotechniques peu profonds nous livrent des renseignements sur les premiers terrains aquifères de l'aile droite du cône, au débouché du chenal secondaire de la

gare de Payerne. Le versant molassique de la rive droite de la vallée est recouvert d'une dizaine de mètres de moraine sablo-limoneuse (562-186-1). En avançant progressivement sur le cône, on rencontre d'abord une nappe dans des dépôts finement sableux (562-186-1 et 562-185-4) à faible perméabilité (carte VIII H et profil S). Plus à l'ouest, à une centaine de mètres du versant, apparaît une couche graveleuse plus ou moins limoneuse d'épaisseur indéterminée (562-185-6). Sa perméabilité moyenne (carte VIII H et profil S) permet de la rattacher à la partie supérieure de la série du cône rencontrée à Vuaz Vauchy. Elle peut être localement et temporairement captive sous la couverture de sédiments palustres peu perméables.

Les valeurs de traîné (annexe III C) et le sondage électrique 562-186-4 indiquent que cet aquifère sablo-graveleux est en liaison avec le grand cône de l'Arbogne que nous décrirons dans le tronçon suivant.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

L'important réservoir aquifère décrit dans le tronçon Fétigny-Payerne n'est que très partiellement exploité par le seul captage en fonction, le puits Nestlé (561-185-2). D'autres ouvrages pourraient cependant y être implantés dans des conditions plus ou moins favorables selon les endroits.

1) Zone des chenaux graveleux de la Coula - La Boverie

Grâce à une campagne de prospection détaillée par sondages mécaniques, il serait possible de situer plus précisément les points où l'épaisseur des graviers est maximale.

Un système de captage par tranchée profonde ou par puits à drains opposés, construits perpendiculairement au chenal, permettrait de capter la totalité du flux d'eau souterraine malgré la relativement faible épaisseur de l'aquifère.

Une épaisse couverture limoneuse garantirait en outre une bonne protection contre les pollutions de surface.

Les relations entre ces captages projetés et la rivière, ainsi que leur incidence sur le puits Nestlé, seraient à étudier également.

2) Zone alluviale sous la ville de Payerne

En plus du chenal secondaire de la gare CFF, la partie occidentale de la ville est bâtie sur des terrains graveleux aquifères (561-185-12) qui permettraient de capter d'importants débits d'eau souterraine. Malgré une bonne couverture protectrice de la nappe, la conservation de sa qualité en tant qu'eau potable pourrait être problématique. Quoi qu'il en soit, cette eau se prêterait en tous les cas à un usage industriel.

3) Partie frontale du cône de la Broye

Si l'eau découverte au puits de Vuaz Vauchy (561-186-1) n'est pas sans problème au plan qualitatif, le débit exploitable y est en revanche très important. On peut penser qu'un puits moderne, de gros diamètre, permettrait de produire environ 5000 l/mn. En vue d'une amélioration de la qualité de l'eau, il y aurait lieu d'étudier les points suivants :

- Extension horizontale des horizons graveleux
- Présence éventuelle de niveaux perméables au-delà de 30 m de profondeur
- Lors des forages de reconnaissance, mesure des qualités chimiques des eaux couches après couches, afin de déterminer si les éléments néfastes (p. ex. Mn) sont uniformément répartis ou s'ils proviennent d'un étage particulier que l'on pourrait obturer.
- Amélioration éventuelle de la teneur en oxygène par un pompage de très longue durée (voir p. 261).

Ces recherches seraient certes importantes, mais la ressource à disposition les justifierait.

Enfin, quelques sondages de reconnaissance profonds pour prospecter le reste du cône, à l'aval de la ville, permettraient de découvrir d'éventuels nouveaux sites favorables (zone verte, carte VII et VIII H).

Tronçon du débouché de la Petite Glâne (Montet - Cugy - Bussy)

Références

- Carte de base VII B
- Registre p. 45-50
- Carte hydrogéologique VII H
- Profil Q
- Cartes des résistivités électriques.

La région du débouché de la Petite Glâne dans la basse vallée de la Broye est occupée par les divers complexes morainiques abandonnés par la langue glaciaire transfluant dans la dépression d'Estavayer (PARRIAUX 1978a). La rive droite, modelée par les crêtes bordières, incurve la direction de la vallée de l'E vers le NE. L'autre rive, elle, marque l'extrémité méridionale de la croupe molassique du Vully que le glacier a fortement érodée. Quant au fond de la vallée, il est occupé par une faible quantité d'alluvions qui sépare plusieurs bombements d'origine

morainique, que la Petite Glâne contourne avant de pénétrer dans la vaste plaine de la Basse-Broye. Le cours de ses affluents est également fortement influencé par la répartition des amas glaciaires.

LA MOLASSE

Mis à part le versant du village de Bussy, la molasse n'apparaît à l'affleurement qu'à la faveur du cours épigénétique de la Petite Glâne, aux Favresses, à l'W de Montet. Ce sont là les assises du sommet de l'Aquitaniien, la molasse marine apparaissant peu au-dessus, dans la vallée de la Petite Glâne s.s. Il s'agit d'une alternance de grès et de marnes dont la structure tectonique précise demeure inconnue. Nous avons vu précédemment (p. 236) les traces d'un accident tectonique au N de Granges des Bois. Il est probable qu'il soit responsable de la brusque coupure du plateau burdigalien de Châbles-Aumont, créant ainsi une zone de faiblesse utilisée par l'écoulement du glacier.

Du point de vue hydrogéologique, les bancs de grès donnent lieu à l'apparition de plusieurs sources de versant (type S, fig. 20) sous le village de Bussy et dans le versant des Favresses (carte VII B).

Dans le centre de la vallée, la molasse doit partager avec la moraine le rôle de substratum imperméable sous 10 à 20 m de couverture quaternaire (profil Q).

LA MORAINÉ

Dans l'ensemble, la masse morainique est de composition argilo-limoneuse à galets, compacte et très peu perméable. C'est le cas des quelques affleurements observables dans les bombements du fond de la vallée (p. ex. Ferme de la Glâne), dans la partie basale des moraines bordières de la rive droite (p. ex. Bochalet). On l'a observé également plus à l'W dans la colline de Champ de la Croix (PARRIAUX 1978a), à l'orient du village de Lully (hors carte, voir feuille au 1/25'000 n° 1184).

La partie supérieure des arcs latéraux du sud de la dépression est en revanche composée de sédiments remaniés par les eaux de fusion. Ce sont principalement des sables stratifiés contenant une plus ou moins grande quantité de limons ou de graviers (gravière du Bochalet, Fin du La, etc...). Ces sédiments, quoique plus récents, sont à rattacher au complexe bordier supérieur décrit dans le tronçon Ménières - Vesin - Cugy.

Vu leur position perchée, ces moraines remaniées ne se prêtent pas à l'accumulation d'eau souterraine et sont responsables soit de faibles venues localisées au pied du versant, soit d'une alimentation souterraine de la nappe alluviale.

Malgré sa faible perméabilité, la moraine du fond de la vallée a fait l'objet de l'implantation de quelques puits anciens artisanaux (556-185-1 et 2). Ces ouvrages soutirent de très faibles débits dans la partie altérée des dépôts glaciaires.

LES ALLUVIONS

Au contraire de la Broye moyenne, on ne rencontre dans le débouché de la Petite Glâne et dans la Basse Broye que de rares dépôts alluviaux perchés. Nous verrons l'origine de ce phénomène plus loin, lorsque nous traiterons de la plaine entre Payerne et le lac de Morat.

Les alluvions du présent tronçon sont limitées à un étroit chenal qui longe le pied des amas morainiques décrits ci-dessus. Il débute directement en aval de Montet, au sortir du cours épigénétique de la Petite Glâne. Il suit plus loin le flanc de la moraine de Fin du La au sud et de la Ferme de Glâne au nord. Il tourne ensuite en direction de Bussy en évitant les collines de Fin de Frossailles et de Gourdinaudes où il rejoint les alluvions de la grande plaine.

Tant les rares indications géophysiques tirées des sondages électriques (annexe IIIC) que les données plus rares encore par sondages mécaniques montrent que le remplissage est essentiellement de nature finement sableuse, de faible perméabilité (carte VII H et profil Q).

Le sondage géotechnique 558-185-1 a rencontré une nappe souterraine de plus de 8 m d'épaisseur dans des sables fins légèrement graveleux. On ne sait pas si ces sédiments appartiennent vraiment aux alluvions ou s'ils sont encore à rattacher au pied de la moraine bordière de la rive droite, la limite entre les deux formations étant difficile à tracer avec précision.

Il n'existe aucun captage à l'intérieur du chenal alluvial.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

Les données particulièrement fragmentaires qui concernent ce tronçon ne permettent pas de se faire une idée précise des ressources en eau à disposition. On peut remarquer tout de même que la nappe alluviale du centre de la vallée doit être assez bien alimentée par l'infiltration des pluies sur les flancs des moraines de la rive droite. Toutefois, les captages projetés se heurteront à la faible perméabilité des terrains et à leur puissance réduite. Cependant, nous pensons qu'un ou plusieurs ouvrages permettraient probablement de tirer des débits supérieurs à une centaine de l/mn.

A priori, le rétrécissement du chenal au droit de Ferme de Glâne paraît être un site intéressant.

Tronçon de la Basse-Broye (Corcelles - Faoug - Salavaux - Bussy)

Références

- Carte de base VII, VIII, IX, X et XI B
- Registre p. 49-67
- Carte hydrogéologique VII, VIII, IX, X, XI H
- Profils Q, R, S, T, U, V
- Cartes des résistivités électriques.

Dans son ensemble, la Basse-Broye constitue une vaste plaine alluviale dont la largeur passe, grâce à la confluence de deux vallées glaciaires, de 1,5 km au sortir de la Broye moyenne à plus de 3 km au droit de Corcelles. Elle se maintient presque inchangée jusqu'au lac de Morat sur une longueur de près de 15km.

Les versants sont tous deux taillés dans les assises molassiques aquitaniennes avec quelques sommets en Burdigalien. Leur comportement respectif face au glacier est par contre bien différent :

- La rive gauche correspond au versant oriental du Vully. Cette barre molassique a été fortement érodée par l'écoulement des glaces et la couche morainique abandonnée sur le Tertiaire est quasiment inexistante sur une bonne partie du territoire.
- La rive droite, elle, est également pauvre en couverture glaciaire mais dans la partie supérieure du versant uniquement. A son pied, en revanche, on observe un alignement de collines de composition mal connue où l'on ne trouve pas trace de molasse à l'affleurement (p. ex. collines de Dompierre, Avenches, etc...). Il doit certainement s'agir ici d'un cordon morainique latéral discontinu.

Dans sa partie méridionale, la plaine de la Basse-Broye voit la réunion de trois vallées importantes : la Broye, la Petite Glâne et l'Arbogne.

Si les deux premières ont servi de conduit principal à l'écoulement des glaciers, la troisième est à considérer en revanche comme un cours tributaire n'amenant ses eaux à Corcelles que depuis le dernier retrait des glaces (PARRIAUX 1978a). Auparavant son écoulement devait en effet se diriger directement dans la vallée du Chandon par la dépression de Léchelles (RUMEAU 1954).

Cette vallée bordière aboutissait lors des premières étapes du retrait glaciaire sur la bordure orientale du lac de Morat où elle a formé le delta fossile de Greng (SIEBER 1959, BECKER 1972, PARRIAUX 1978a). Plus tard, la partie inférieure de son cours a été abandonnée et la rivière s'est écoulée directement dans la dépression séparant les moraines d'Avenches de celles de Faoug, devenant ainsi la quatrième alimentation principale de la plaine.

Mis à part ce réseau hydrographique majeur, un grand nombre de petits affluents secondaires descendent les versants molassiques. Sur la rive gauche, ils aboutissent directement dans la plaine en formant de modestes cônes de déjection (Bussy NE, Vallon S et SE, Villars le Grand, Pré Dominge et Salavaux). Sur l'autre rive, les cours d'eau se heurtent généralement à la crête morainique bordière avant de pouvoir rejoindre la plaine. C'est le cas notamment du Ruisseau de la Baume (Dompierre) et du Ruisseau d'Eissy. Leurs alluvions sont déposées en grande partie dans les chenaux longitudinaux qui suivent le cordon morainique, en amont de la percée qui conduit enfin les eaux dans la plaine. A ces endroits, les sédiments sont pratiquement inexistantes et on y note l'absence de cônes de déjection.

L'évolution hydrologique de cette région au cours du dernier retrait glaciaire a fait l'objet de différentes hypothèses. RUMEAU (1954) a d'abord généralisé l'ancien lac de 480 m correspondant aux marnes de Fétigny et au delta de Cousset à l'ensemble du Seeland. Ensuite, la découverte d'argiles et de sables à Unio dans la marnière Morandi, entre Corcelles et Grandcour, lui a permis de concevoir l'existence d'un lac de 450 m occupant la même région, par abaissement du niveau des eaux.

Les observations que nous avons faites sur le même site de la glaisière Morandi ont montré que les séries décrites par RUMEAU (1954) et SIEBER (1959) sont superposées à une couche d'argile bleue à vivianite contenant de volumineux troncs d'arbre, principalement de chêne. Ce niveau contient en outre des tessons, découverts par M. WEIDMANN, dont l'âge correspond à l'époque du Bronze.

Cet élément nouveau bouleverse le modèle du lac de 450 m en tant que deuxième étape lacustre postérieure au retrait glaciaire. Or, les découvertes archéologiques faites lors des corrections des eaux du Jura (LUDI 1935, SCHWAB et MULLER 1973) semblent exclure une pareille remontée des eaux depuis l'époque du Bronze jusqu'à nos jours. Il faut probablement attribuer plutôt l'origine des couches supérieures à Unio de la glaisière à des zones inondées comprises entre les divers bras de divagation de la rivière. Il résulte de ces observations que le niveau maximal d'un véritable lac occupant la Basse-Broye ne devait pas dépasser la cote 440 m (PARRIAUX 1978a). Ce fait n'exclut pas, bien entendu, la présence de séries glacio-lacustres plus élevées mais leur extension devait être limitée à la bordure directe du glacier.

LA MOLASSE

Malgré la faible couverture quaternaire, la molasse n'apparaît que très rarement à l'affleurement dans des conditions suffisamment bonnes pour permettre une étude fouillée de sa structure. La grande proportion de marnes de l'Aquitaniens qui constitue la majeure partie des versants en est la cause.

Dans l'ensemble, on constate une bonne concordance des séries stratigraphiques de part et d'autre de la plaine; le contact Aquitaniens-Burdigaliens se situe à une cote voisine : sur la rive droite d'abord, on la trouve à 560 m au droit de Payerne, à 580 m à l'arrière de Dompierre et à 600 m dans le versant du Bois de Châtel (RUMEAU 1954, SIEBER 1959). Sur l'autre rive, BECKER (1972) l'indique entre 590 et 610 m dans la colline du Vully.

RUMEAU (1954) assimile la vallée de la Basse-Broye à un synclinal sur la base de quelques pendages mesurés dans les deux versants. Il fait ainsi réapparaître les couches de la base du Burdigalien sous les alluvions, au centre de la plaine. Nos observations faites à l'est de Dompierre et Domdidier montrent plutôt dans la rive droite un versant contraire avec des pendages de 5 à 10° vers N120°E. Elles correspondent mieux avec le schéma de plissement décrit par SIEBER (1959) dans le pied occidental de la colline du Bois de Châtel. En outre, les mesu-

res géophysiques dans la plaine n'ont pas indiqué un substratum burdigalien.

Sur la nature de ce dernier, des hypothèses très diverses ont été énoncées. La Basse-Broye devrait être selon certains soit un fossé d'effondrement soit un horst marqué par une remontée du mésozoïque sous les alluvions.

Pour notre part, des indices de déformations tectoniques n'ont été observés que dans une seule région, lors de travaux à l'ouest de l'aérodrome de Payerne, dans la colline de la Perche et à le Pâquier (carte IX H). Sur la figure 49, sont représentées trois coupes de détail montrant des structures géologiques peu habituelles dont l'interprétation reste problématique.

Les profils 1 et 2 montrent à deux reprises des assises molassiques d'une certaine dimension chevauchant une moraine sableuse par l'intermédiaire d'une surface de cisaillement faite d'argiles plissotées et lustrées, comme on les rencontre dans les accidents tectoniques habituels de la molasse. S'agit-il de tectonique véritable auquel cas ce serait des mouvements très récents, ou alors avons-nous affaire ici à de grands paquets de strates molassiques pris dans la moraine, paquets qui auraient glissé à l'intérieur des dépôts par le mouvement du glacier ? Seules des informations testant la continuité des couches tertiaires en profondeur nous permettraient de retenir définitivement l'une ou l'autre des solutions.

Quant au troisième profil, les choses ne sont pas beaucoup plus nettes. On a d'abord constaté dans deux sondages la superposition de roches molassiques sur de la moraine. Dans une fouille qui a suivi cette reconnaissance, nous avons observé le profil de la figure 49 qui montre la superposition d'une volumineuse série marneuse fracturée sur une moraine argilo-limoneuse. Les conditions d'affleurement n'ont pas permis de fixer exactement l'étendue de ce recouvrement. Il doit certainement atteindre une dizaine de mètres. Vers l'ouest, cette série est coupée brusquement par trois surfaces de cisaillement qui contiennent une roche complètement disloquée. Au-delà de cet accident, on se trouve face à une série molassique horizontale complète qui est elle-même scindée en une série supérieure

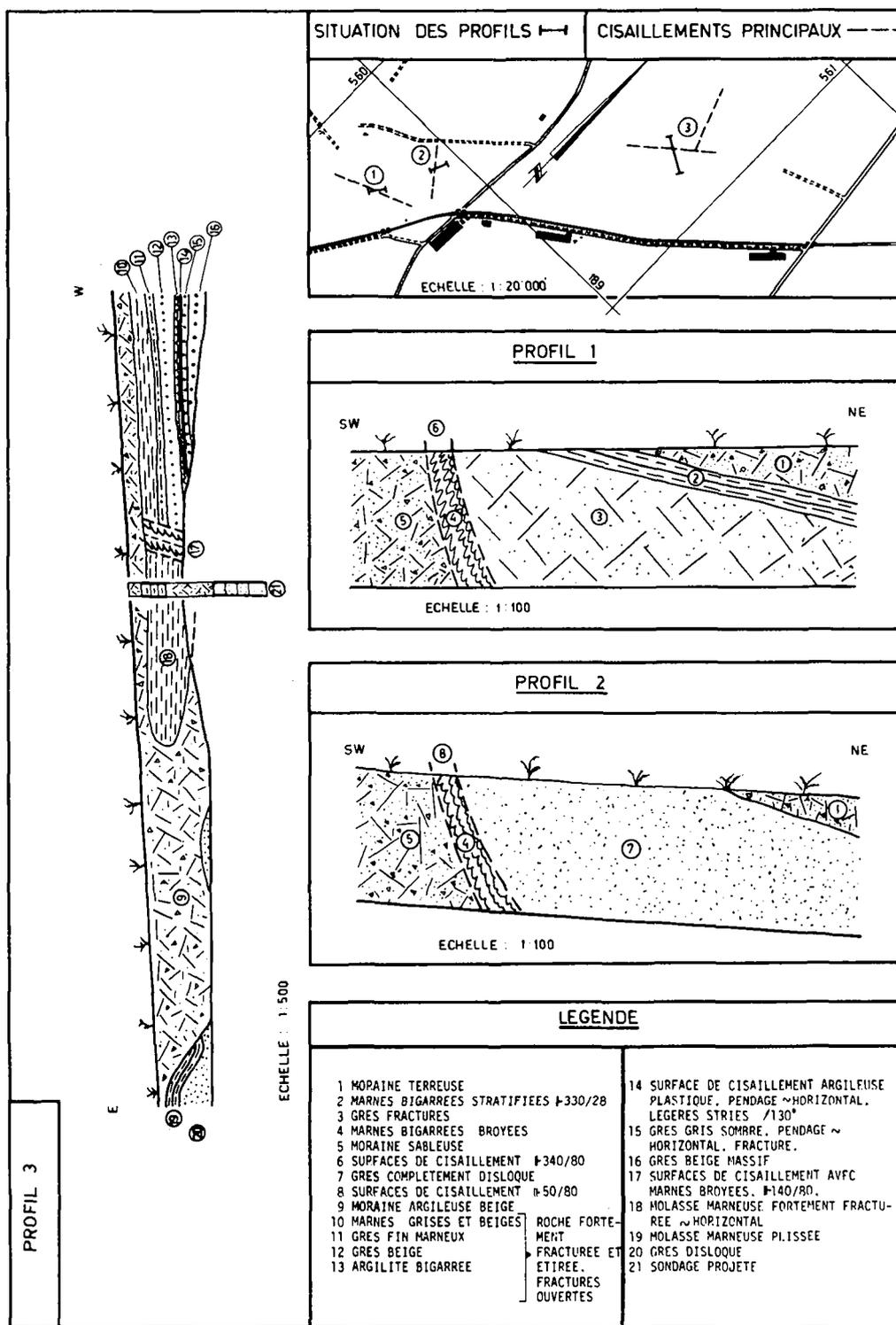


Figure 49 : Coupes géologiques de détail dans le versant gauche de la Basse-Broye, à l'ouest de l'aérodrome de Payerne.

fortement diaclasée et altérée et des couches profondes plus massives. Ces deux ensembles sont séparés par un niveau d'argilite plastique, schistosée et lustrée montrant même des stries en direction de la plaine. Les relations exactes entre les discontinuités horizontales et verticales n'ont malheureusement pas pu être observées. Nous avons pour notre part interprété cette structure comme un ancien glissement de terrain antérieur au dernier passage du glacier. Ce dernier aurait érodé complètement la partie rocheuse élevée qui devait nourrir et faire se mouvoir ces couches molassiques fracturées. En effet, la topographie actuelle du versant et le pendage horizontal des couches empêchent toute instabilité. Les surfaces de cisaillement verticales sont tout de même imputables à la tectonique, même si elles font partie du compartiment glissé. Leur direction (voir plan de situation, fig.49) est en outre quasiment parallèle aux discontinuités relevées dans les profils 1 et 2.

En conclusion, les déformations relevées dans cette région du versant gauche de la vallée ne constituent qu'un indice de mouvements tectoniques en bordure des alluvions. Toutefois, les sondages électriques implantés dans la plaine n'indiquent pas de discontinuité fondamentale dans le soubassement tertiaire. Dans tous les cas, ils semblent exclure une remontée importante des calcaires dans l'axe de la vallée. En effet, les sondages se sont terminés sur un substratum à résistivité comprise entre 15 et 20 Ω m appartenant à la base de l'Aquitainien, voire au Chattien. Ce sont du reste les mêmes couches que l'on rencontre à quelques dizaines de mètres de profondeur sur les versants (SE 560-189-9, 561-190-3, 567-195-1, 567-189-1, 564-187-6). D'après la courbe mesurée au SE 563-189-1 par exemple, de longueur AB = 1000 m, on peut assurer que le toit des calcaires est à une profondeur supérieure à 500 m sous les alluvions, soit à une cote inférieure à - 50 msm.

La série à résistivité comprise entre 15 et 20 Ω m doit comprendre le membre inférieur marneux de l'Aquitainien (BECKER 1972) et les sédiments fins du Chattien.

Le contact stratigraphique ne peut donc pas être déterminé électriquement. Il doit se situer probablement à une cote comprise entre 100 et 200 m sous le toit des alluvions si l'on considère les grandes coupes classiques dans la molasse du Plateau.

En d'autres termes, le substratum de la Basse-Broye est constitué de molasse riche en niveaux marneux et par conséquent imperméable. Une alimentation des terrains de remplissage quaternaires par des eaux profondes est donc des plus improbable.

Sur les versants actuels de la plaine, la molasse aquitanienne contient des bancs de grès dont la puissance peut atteindre 5 m. Ces horizons fissurés donnent lieu à de nombreuses petites sources dont le débit reste généralement inférieur à 10 l/mn. Une plus forte concentration d'eau souterraine est rencontrée en revanche dans les rares collines couvertes de Burdigalien où les émergences apparaissent au contact stratigraphique. C'est le cas du haut du versant rive droite, de Russy au Bois de Châtel (cartes VIII et X B).

LA MORAINES

En ce qui concerne l'intérieur du remplissage quaternaire de la Basse-Broye, aucun élément précis ne permet de considérer que l'on ait une masse importante de terrains morainiques. Seul le sondage 560-188-14 a rencontré vers 40 m de profondeur des dépôts semble-t-il légèrement graveleux. Une récupération dans le sondage particulièrement mauvaise conjuguée à un très fort remaniement fait que l'on ignore la nature exacte de ce dépôt. Peut-être a-t-on foré un terrain véritablement d'origine glaciaire ? Il serait alors soit une simple intercalation dans les dépôts lacustres, soit le toit de la moraine plaquant le fond de l'auge molassique.

Par ailleurs, les sondages électriques ne détectent pas de niveau plus résistant que 40 Ω m environ. Or, on pourrait s'attendre à obtenir des valeurs légèrement supérieures dans le cas où la moraine constituerait une bonne part du remplissage quaternaire.

Dans ces conditions, nous attribuerons pour notre description la totalité du matériel de remblayage de la fosse aux dépôts lacustres (profils S, T, U et V).

Comme nous l'avons vu dans l'introduction à ce chapitre, de grandes masses de moraine sont présentes au pied du versant rive droite de la plaine. Dans ce cordon morainique bordier discontinu, on distingue deux types de terrain hydrogéologiquement différents :

a) Moraines peu ou pas remaniées

Ces formations représentent la majeure partie de la guirlande morainique. Bien que de composition granulométrique pratiquement inconnue, elles se caractérisent par une absence de manifestation hydrogéologique extérieure. Les sources y sont rares et de petit débit, indice d'une faible perméabilité.

Ce sont essentiellement les collines morainiques méridionales :

- Sur Montagny : barrage de moraine argileuse du delta de Cousset
- Pt. 458,6 : composition inconnue
- Dompierre : composition inconnue. Petite source au pied occidental (carte VIII B)
- Les Caudrettes : composition inconnue.
- Haut-de-Saumon : composition inconnue. Résistivité électrique comprise entre 70 et 110 Ωm (annexe IIID) valeur concordant avec une moraine peu remaniée
- Avenches : composition inconnue sauf à l'extrémité SW où une moraine compacte a été touchée à 8 m de profondeur (569-191-1 et 2).

On ne peut exclure que ces alignements morphologiques possèdent un coeur molassique. Toutefois, cette roche n'est nulle part présente à l'affleurement.

b) Moraines partiellement remaniées

En aval d'Avenches, les collines morainiques montrent un certain nombre d'anomalies sédimentaires graveleuses, surtout dans la partie supérieure des amas. Ces zones à terrains stratifiés s'individualisent bien de la moraine commune par les mesures électriques. Elles correspondent à des pointements à haute résistivité qui peuvent dépasser 200 Ωm (annexe IIID). Elles sont figurées sur la carte hydrogéologique sous la dénomination de "moraine caillouteuse" (carte X H).

Deux sites principaux entrent dans le terrain d'étude :

- La Tornalla - Overesses : trois anomalies résistantes sont visibles (carte X H). Une quatrième a été exploitée à l'extrémité nord de la colline de Overesses,
- Grangettes : Seul le flanc SE comporte des graviers stratifiés, aujourd'hui exploités. Le reste est constitué d'une moraine très épaisse (SM 571-194-2) qui confirme l'absence de tout noyau molassique.

En position topographiquement élevée, ces terrains ne permettent pas de grosses accumulations d'eau souterraine. Localement, des sources importantes y trouvent leur origine, comme dans le versant de la Tornalla par exemple (carte XB).

Au nord du terrain étudié, ces moraines remaniées se poursuivent en tout cas jusqu'au village de Faoug dont la partie supérieure est bâtie sur des dépôts graveleux.

LES ALLUVIONS

Secteur du delta perché de l'Arbogne (Cousset)

Dans l'introduction à ce chapitre, nous avons montré que les sédiments purement lacustres perchés étaient limités à l'amont du cordon morainique Petite-Râpe - Payerne - Corcelles (PARRIAUX 1978a). Le dépôt de ce type situé le plus au nord est celui de l'ancien delta de l'Arbogne, en aval de Cousset (carte VIII H). Il s'est formé au débouché de ce cours d'eau dans l'angle NE du grand lac de la Broye moyenne (lac de 480 m), en amont des glaces mortes occupant encore la basse vallée. Ce lac était de plus barré à l'aval par la colline morainique Sur Montagny dont la nature glaciaire apparaît encore dans l'entaille de la route cantonale Moudon - Morat.

On trouve aujourd'hui ces dépôts sous forme d'une plaine perchée, érodée jusqu'au substratum molassique sur sa bordure septentrionale par l'Arbogne actuelle. Sa composition est mieux connue depuis l'exécution d'une prospection d'eau effectuée par la commune de Montagny-les-Monts, prospection qui a débouché sur la réalisation d'un captage par puits filtrant vertical (564-185-1).

La stratigraphie de ces sédiments dans la partie centrale de la cuvette correspond à la succession classique que l'on obtient lors du comblement d'un lac.

A la base, la série débute par des limons argileux finement stratifiés de type "bottomset beds" (épaisseur $e \approx 8$ m). Par-dessus, les limons passent à des sables fins ($e = 1$ à 5 m) puis à des sables grossiers ($e = 0$ à 3 m) pour arriver finalement à des chenaux graveleux ($e = 2$ à 3 m) déposés sur la beine du delta. Au sommet de la série, une fine couche de sables fins et de limons couronne le tout. Dans la partie radicale du triangle d'alluvions, seuls les graviers sont présents, comme l'indiquent les sondages 564-185-3 et 4.

Du point de vue hydrogéologique, la série inférieure est aquifère mais avec de très faibles perméabilités (profil T). Les sables le sont également mais légèrement plus perméables. Quant aux graviers supérieurs, seule leur base contient de l'eau sur 1 à 3 m d'épaisseur selon les endroits. Sur la carte hydrogéologique, l'aquifère représenté comprend la somme des terrains sableux et graveleux, le tout étant affecté d'une perméabilité moyenne, comme l'ont montré les essais de pompage au puits 564-185-1 (voir registre p.49) qui capte environ 300 l/mn dans l'ensemble des deux couches (carte VIII H).

L'épaisseur de la nappe représentée est variable, comme l'indiquent les sondages mécaniques et électriques (carte VIIIH). Sur la bordure NE, le drainage important dû au vallon de l'Arbogne actuelle diminue fortement cette puissance jusqu'à l'apparition de la nappe à l'affleurement où naissent les sources dans le versant gauche du talweg. A l'extrémité occidentale du delta, les sédiments perméables s'amincissent contre la moraine de Sur Montagny. Grâce à une discontinuité dans ce barrage, la nappe peut se déverser naturellement par la source du Motélon (carte VIII B).

Les eaux captées au puits sont de qualité satisfaisante (voir registre). Elles sont certes dures mais tout de même plus

douces que celles des alluvions de la plaine à Payerne et à Corcelles.

Notons enfin que cette nappe n'a pas été couverte par des mesures de traîné électrique. Néanmoins, à l'aide des valeurs tirées des sondages électriques, nous pouvons observer une diminution régulière des résistivités de l'amont ($\sim 180 \Omega\text{m}$) vers l'aval ($\sim 40 \Omega\text{m}$) du delta pour une longueur de ligne AB = 60 m (annexe IIID). Une prospection électrique plus détaillée permettrait certainement d'individualiser la présence de chenaux graveleux.

Venons-en maintenant aux terrains alluviaux situés au niveau actuel de la plaine. Comme précédemment, nous devons décomposer ce vaste tronçon en différents secteurs, en traitant d'abord les accumulations bordières pour terminer par celles du centre.

Secteur du cône de l'Arbogne

A son débouché dans la plaine, l'Arbogne a édifié un large cône de déjection sur lequel est bâti le village de Corcelles. Son influence est visible dans la topographie jusqu'à une distance de 1 km en aval du village. A l'heure actuelle, la rivière est canalisée dès son entrée dans la plaine et coule vers Dompierre en longeant le pied du versant.

Avant la construction du réseau communal de distribution d'eau, les habitants construisaient des puits profonds de 5 à 10 m dans lesquels ils atteignaient des graviers aquifères. Ces ouvrages sont maintenant abandonnés. C'est vers les années 1960 que l'on s'est intéressé à nouveau à cette nappe en vue d'une exploitation plus industrielle cette fois.

C'est non seulement dans la topographie que le cône de l'Arbogne est visible mais également dans le champ des valeurs de résistivité électrique. Le traîné AB = 60 m (annexe IIID) montre sous le village une anomalie résistante culminant vers $250 \Omega\text{m}$. Ces valeurs diminuent dans toutes les directions en s'éloignant de la tête du cône et viennent rejoindre celles du centre de la plaine (50 à $60 \Omega\text{m}$). Elles restent supérieures à $120 \Omega\text{m}$

jusqu'à une distance de 300 m environ au NW des voies CFF, site du puits à drains rayonnants de la Verna (562-187-1).

La construction de cet ouvrage moderne a été précédée par une intense prospection par sondages mécaniques et puits d'essai. Elle a débuté par des sondages de reconnaissance cantonnés à l'aile droite du cône de déjection. Les deux premiers (563-187-3 et 4), près de la RC Corcelles-Grandcour, ont montré que la nappe captée par les anciens puits était limitée dans ce secteur à 2 ou 3 m d'épaisseur et qu'elle surmontait une épaisse série finement sableuse et limoneuse avant d'atteindre la molasse, ici à une trentaine de mètres de profondeur. Un aquifère sablo-graveleux profond a bien été découvert, mais sa puissance est limitée à 3 m.

Des résultats plus prometteurs ont été obtenus plus à l'E, près du cours actuel de l'Arbogne, où une ligne de sondage (563-187-3, 564-187-3 et 4) et deux puits d'essai ont été exécutés (563-187-2 et 564-187-2). Les coupes très serrées permettent de tracer un profil hydrogéologique détaillé au travers de l'extrémité orientale du remplissage de la plaine (fig. 50). On y observe la présence d'un terrain aquifère mieux développé, d'épaisseur variant entre 4 et 11 m. Il s'agit d'alluvions graveleuses très riches en sable moyen et fin. Elles reposent à l'E directement sur la molasse et sur un replat morainique légèrement ondulé en direction du NW. Au-dessus des graviers, on a traversé un épais recouvrement argilo-limoneux, généralement sec sauf au voisinage direct de l'Arbogne. Une mince intercalation graveleuse y a été rencontrée aux deux extrémités du profil.

Le niveau de la nappe, nettement séparé de la rivière, coïncide pratiquement avec le toit des graviers. On peut concevoir qu'à hautes eaux, la nappe devienne légèrement captive. Testée dans les deux puits de faible diamètre, elle a livré dans les deux cas environ 500 l/mn avec de forts rabattements (4 à 6 m), ce qui a provoqué un ensablement partiel des ouvrages. Le facteur de perméabilité obtenu ($\sim 3.10^{-4}$ m/s) place cette nappe dans le domaine des perméabilités moyennes (carte VIII H). Cette ressource n'a pas été jugée suffisante pour l'implantation d'un ouvrage définitif.

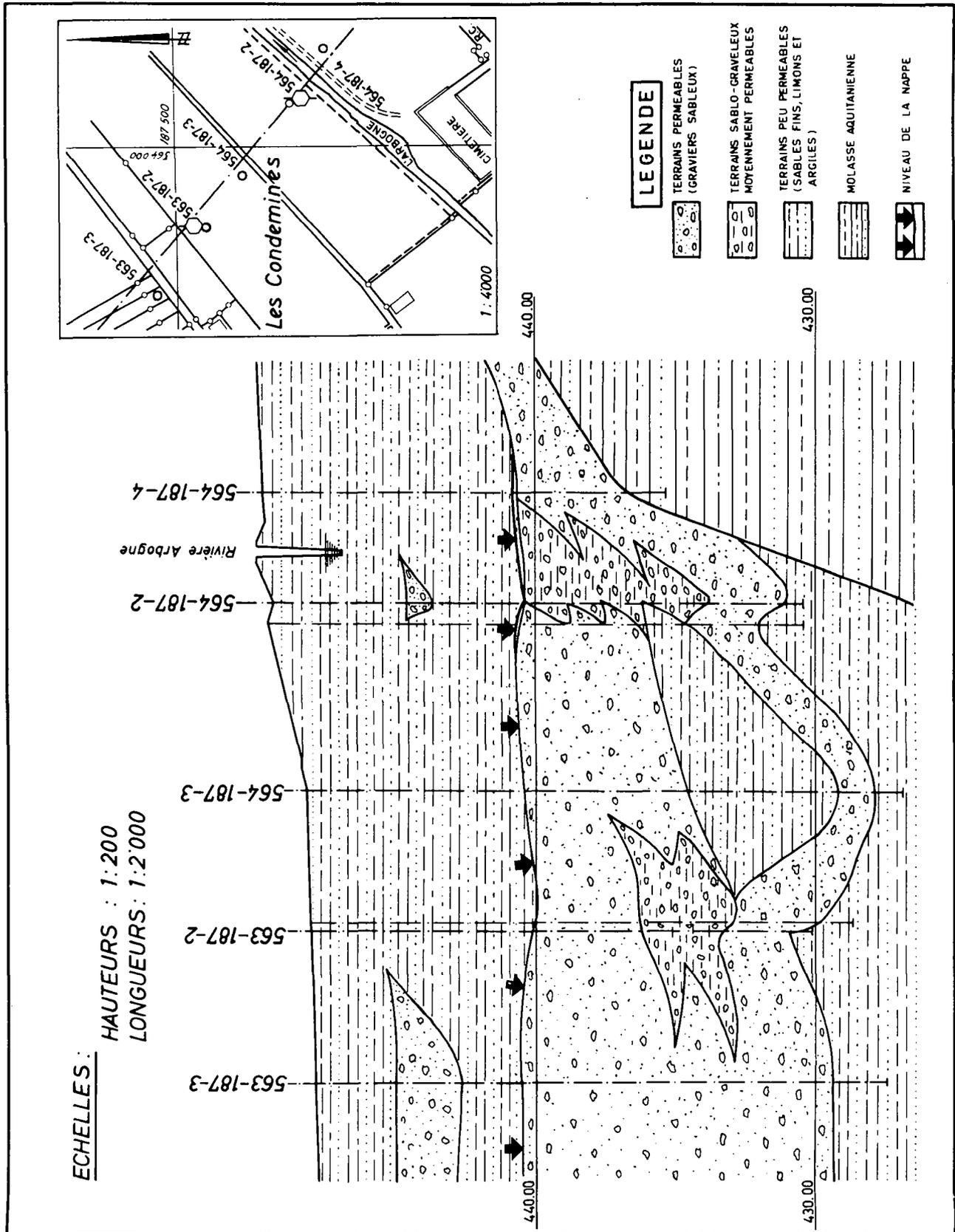


Figure 50 : Profil hydrogéologique de détail dans la partie septentrionale du cône de l'Arbogne.

Les prospecteurs se sont tournés enfin vers l'aile gauche du cône de l'Arbogne. Cette zone, au contraire des deux précédentes, présente des résistivités électriques favorables (annexe III D).

Deux puits d'essai de faible diamètre (562-187-2 et 3) ont d'abord été forés. Ils ont traversé une série alluviale encore plus épaisse que celle des sondages précédents puisqu'elle dépasse une cinquantaine de mètres. Ces terrains sont constitués d'une alternance fort complexe de couches graveleuses, sablo-graveleuses, finement sableuses et parfois même argilo-limoneuses. Ces derniers horizons divisent le complexe perméable aquifère en une série de nappes qui sont légèrement captives, sauf celle des graviers supérieurs qui est franchement libre. Certains niveaux peu perméables ont une faible extension en plan et permettent ainsi une communication latérale à des compartiments de nappe apparemment cloisonnés. Pour le calcul de la perméabilité, il n'est d'autre solution que d'assimiler la série entière à une seule nappe libre et de calculer ainsi un coefficient de perméabilité global.

Le premier puits d'essai (562-187-3) a traversé deux aquifères graveleux principaux, l'un libre près de la surface, l'autre légèrement captif sous une épaisse couche sableuse légèrement limoneuse et graveleuse (voir registre p.53). La couche limoneuse sèche de la fin du sondage pourrait éventuellement correspondre à la moraine de fond. Par pompage, un débit de 800 l/mn n'a entraîné qu'un rabattement de 1,5 m bien stabilisé. Ceci correspond à une perméabilité moyenne (carte VIII H).

Le second puits de faible diamètre (562-187-2) a montré un profil hydrogéologique encore plus intéressant (voir registre p. 53). Sur 35 m de terrains aquifères, les 60% environ de la série sont constitués par des couches perméables graveleuses. On peut distinguer schématiquement une nappe libre supérieure et trois nappes captives profondes (fig. 51). Un débit de 900 l/mn a été pompé en provoquant un abaissement très modeste du niveau de la nappe dans l'ouvrage (environ 0,3 m). En considérant une épaisseur aquifère de 25 m, négligeant ainsi l'apport du fond du sondage, nous obtenons un facteur de perméabilité supérieur

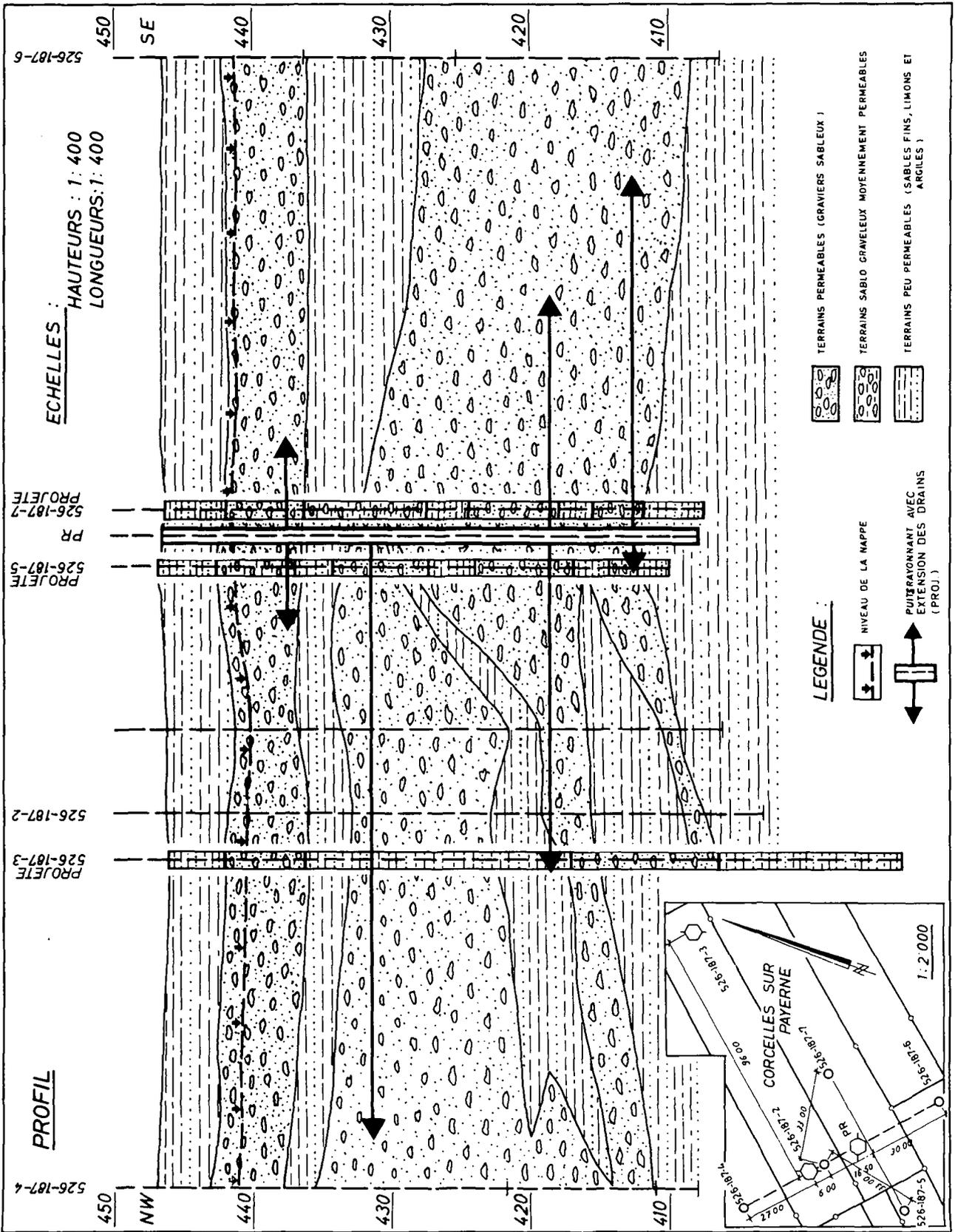


Figure 51 : Puits à drains rayonnants de la Verna à Corcelle (562-187-1). Profil hydrogéologique

NE-SW.

à 10^{-3} m/s. Ce résultat place cette zone dans la gamme des terrains à perméabilité très élevée (carte VIII H). C'est cet endroit qui a été retenu en 1962 comme site d'implantation d'un grand puits à drains horizontaux.

Avant la construction de l'ouvrage définitif, une série de sondages de reconnaissance supplémentaires a encore été exécutée afin de déterminer la géométrie détaillée de l'aquifère et par conséquent les emplacements du puits principal et de ses drains. Leur report sur un profil NW-SE (fig. 51 et profil T) montre que seul l'horizon perméable qui sépare l'ensemble captif de la nappe libre est continu sur une certaine distance. Par contre, les trois nappes captives décrites dans le puits d'essai communiquent totalement vers l'amont du cône et partiellement à l'aval du site. A l'emplacement même du puits définitif, le complexe graveleux captif n'est interrompu que par une mince intercalation d'argile et de sable fin.

Le captage d'exploitation (562-187-1) est un puits à drains horizontaux à 4 étages. La géométrie des drains est donnée dans le registre (p. 53). Ils sont répartis à raison de 2, 3 ou 4 drains par étage. Ceux du niveau supérieur captent les eaux de la nappe libre. Les trois étages inférieurs exploitent l'aquifère profond dans ses différentes digitations (fig. 51).

Les essais de pompage drain après drain sont fort instructifs quant aux capacités respectives des deux ensembles. Par les drains implantés dans la nappe supérieure (étage I), un rabattement de 2 à 3 m n'a procuré qu'une centaine de l/mn en chacun des trois bras. Dans le cas des étages inférieurs, en revanche, des débits par drain variant entre 100 et 3300 l/mn ont été obtenus, et ceci avec des rabattements de 1 à 1,5 m environ.

Le test de la nappe aquifère entière a permis la production de plus de 8000 l/mn avec un rabattement partiellement stabilisé à 2,2 m et ceci tout en pompant plus de 600 l/mn au puits d'essai 562-187-3. Ce résultat confirme l'ordre de grandeur des perméabilités calculées dans le puits d'essai (carte VIII H)..

On peut considérer, en conclusion, que la ressource

exploitable au puits à drains rayonnants de Corcelles se situe vers 7000 à 8000 l/mn. Ce sont des eaux parfaitement potables. Elles possèdent toutefois un certain inconvénient technique par leur extrême dureté qui peut dépasser 50DF (moyenne : 47 DF). On note par ailleurs une légère teneur en fer (0,05 mg/l). Celle de l'oxygène dissous, au préalable légèrement inférieure à 50% de saturation, atteint 75% par une simple aération dans le puits (annexe II).

On ne sait que peu de choses sur l'alimentation de cet aquifère bordier. Aucune carte des isopièzes n'a été tracée lors des prospections. De plus, les piézomètres indiquent un niveau hydrostatique moyen entre les nappes des graviers supérieurs et inférieurs. Enfin, les valeurs indiquées sur les profils de sondage ne sont pas synchrones. Dans ces conditions, il n'est pas possible d'avoir une idée précise des directions d'écoulement souterrain. On peut cependant supposer qu'elles doivent être plus ou moins parallèles aux génératrices du cône. Nous avons vu au NE du village que le cours d'eau n'était pas connecté à la nappe par des terrains perméables. Au débouché de la rivière, on peut penser au contraire qu'une certaine alimentation existe par l'Arbogne, alimentation qui vient compléter l'infiltration des pluies à la surface de l'aquifère.

La protection de la nappe du cône de Corcelles est assez problématique, le village se situant à l'amont du captage. La forte couverture argilo-limoneuse repérée au NE de l'agglomération est réduite ici à 4 ou 5 m d'épaisseur. Face à une pollution pouvant provenir d'une citerne enterrée, cette couche protectrice serait bien peu efficace. La distance qui sépare la localité du puits (env. 500 m) devrait permettre toutefois une intervention en cas d'accident.

Avec l'eau du lac de Neuchâtel, la nappe souterraine du cône de l'Arbogne constitue une source majeure de l'approvisionnement en eau de la Basse-Broye, Payerne y compris.

Secteur du cône du Ruisseau de Coppet

Le petit cône du Ruisseau de Coppet n'a pas fait l'objet d'intenses prospections par sondage mécanique. Ce sont principalement des mesures géophysiques qui attribuent à ce site des indices favorables.

Ce ruisseau pénètre dans la plaine par une large trouée dans le barrage morainique bordier, entre les collines de Haut de Saumon et de la ville d'Avenches. La trace du cône dans la topographie est beaucoup moins nette que celle de l'Arbogne et du Chandon. Les valeurs de résistivité électrique sont en revanche plus parlantes puisqu'elles marquent une anomalie résistante qui culmine à 130 Ω m en aval de la route cantonale. On trouve des résistivités supérieures à 80 Ω m encore 400 m environ au NW de la ligne CFF. Les lignes d'équirésistivité décrivent des courbes dont la concavité est tournée vers la tête du ruisseau.

Un seul sondage mécanique (568-192-4) permet de confirmer les indices géophysiques (voir registre p. 63). Ce forage a rencontré une nappe souterraine dans une superposition de sables, de sables graveleux et de graviers sableux. Il se termine à 15 m de profondeur encore à l'intérieur de ces derniers. Le sondage électrique 568-192-6, qui lui est voisin, indique que les dépôts perméables ne doivent pas se prolonger bien au-delà de cette cote. En raison de sa destination géotechnique, ce forage n'a pas été testé par pompage.

Dans le haut du cône, le sondage électrique 568-191-1 montre également la présence de terrains perméables, mais sur une épaisseur plus réduite.

Secteur du cône du Chandon

Lors de l'introduction à ce tronçon, nous avons rappelé le fait que la première embouchure du Chandon, lors du retrait glaciaire, correspondait au delta fossile de Greng et que ce n'est que plus tard que la rivière a emprunté son cours actuel, entre les collines morainiques d'Overesse et de Grangette. Au sortir de ce nouveau tracé, occupé par une faible quantité d'alluvions,

la rivière a construit par ses divagations un cône de déjection très étendu.

Son influence est bien marquée dans les mesures de traîné électrique (annexe III D), où les courbes d'équirésistivité sont repoussées très en avant dans la plaine, au-delà même de l'embouchure actuelle du Chandon dans le Lac de Morat. Cependant, l'amplitude de l'anomalie résistante demeure très modeste, sauf au sortir de la rivière dans la plaine où l'on mesure des valeurs supérieures à 160 Ω m. Dès cette zone franche, elles diminuent rapidement à moins de 100 Ω m.

Ces résultats géophysiques laissent penser que les alluvions du Chandon sont peu graveleuses mais surtout sableuses. Ceci se conçoit bien si l'on considère l'éloignement des sources de matériel grossier et surtout la faible compétence du ruisseau dans son cours inférieur.

De nombreux sondages mécaniques, pour la plupart à but géotechnique, confirment ce fait. Une campagne de prospection hydrogéologique fournit tout de même des informations assez détaillées sur la zone du débouché du Chandon dans la plaine.

Un premier puits d'essai (571-193-2) situé à la tête du cône a bien rencontré un aquifère graveleux; les essais de pompage ont montré néanmoins qu'elle était fortement confinée, probablement isolée de la nappe du reste du cône par un barrage imperméable (carte X H, profil V).

Plus à l'aval, de meilleurs résultats ont été obtenus dans les sondages 570-193-2 et 571-193-3 et dans le puits d'essai 570-193-1 (voir registre p. 65). Sous une couverture sablo-limoneuse, les sondages ont traversé des alluvions sablo-graveleuses épaisses de 6 à 7 m. Leur base est aquifère sur 3 m dans les sondages et 5 m dans le puits. Au-dessous, des terrains sableux par places graveleux et limoneux seraient demeurés secs ou légèrement humides. Peut-être s'agit-il ici de moraine ? Quant au substratum molassique, il n'a pas été touché à 17 m de profondeur.

Les relevés piézométriques de ces trois points indiquent une direction des écoulements souterrains WSW-ENE, donc du site de forage en direction du Chandon.

Testé par pompage, le puits 570-193-1 a débité 240 l/mn avec un rabattement de 3 m correspondant aux 3/5 de la hauteur de l'aquifère. La perméabilité calculée sur cette base correspond à la partie supérieure du domaine des perméabilités moyennes (carte X H).

La qualité chimique des eaux s'est montrée assez mauvaise à cause d'une teneur en fer égale à 0,3 mg/l. Par contre, la dureté totale (36DF) est bien inférieure à celle des nappes de Payerne et de Corcelles.

Un captage définitif par puits à drains horizontaux a été projeté au vu de ces résultats. Toutefois, la ressource étant un peu limitée, les autorités ont préféré raccorder la commune d'Avenches au collecteur des eaux du lac de Neuchâtel.

Les différents sondages mécaniques faits plus en avant sur le cône ont traversé des terrains sablo-graveleux. D'une part, ils sont recouverts de formations palustres allant des argiles aux tourbes (fig. 52). D'autre part, ils passent en profondeur à des séries lacustres finement stratifiées composées de sables fins et de limons argileux. La nappe principale contient parfois de nombreux éléments grossiers comme c'est le cas du groupe de sondages 570-193-7-8 et 9 (voir registre p. 65). Ce fait doit entraîner une perméabilité voisine de la limite inférieure du domaine des perméabilités moyennes. L'épaisseur varie entre 10 et 20 m (carte X H et profil V). Parfois, le niveau de la nappe est très élevé. Il entre alors en contact avec les dépôts riches en matériel organique, ce qui provoque une dégradation de la qualité des eaux.

Plus en aval encore, les sédiments aquifères sont franchement sableux et rejoignent ceux du centre de la plaine. Nous les traiterons donc dans le secteur suivant.

En plus de l'infiltration des pluies à la surface du cône, une certaine alimentation de la nappe doit provenir du ruissellement et des écoulements souterrains dans le versant Le Russalet - La Tornalla. Le rôle du Chandon est pour sa part assez mal déterminé; nous avons vu qu'il ne paraît pas influencer le régime de la nappe dans la région du puits d'essai

570-193-1. La situation doit pourtant être différente en période de crue où des pertes de la rivière dans la nappe sont à escompter.

Les conditions de protection de l'aquifère dans le haut du cône sont satisfaisantes, mis à part un danger potentiel provenant de la route à forte circulation. Elles le sont moins dans le secteur des tourbières qui est situé à l'aval de la zone industrielle et près de la décharge communale (carte X B).

Secteur central de la plaine

Le secteur central de la plaine de la Basse-Broye est certainement la partie du territoire de notre étude qui a été la plus intensément modifiée par l'homme. Au siècle passé, époque précédant les corrections des eaux du Jura et la canalisation des rivières, la Basse-Broye n'était qu'un vaste marais. L'inondation était temporaire en aval de Payerne mais permanente entre Avenches et Villars-le-Grand. A la surface, les zones tourbeuses côtoyaient les nombreux chenaux de divagation des ruisseaux, chenaux très riches en méandres comme le montre encore l'étude des photos aériennes.

Alors que les terrains artificiellement drainés constituent une exception dans les plaines de la Haute et de la Moyenne Broye, ils deviennent une généralité en aval de Payerne. Leur assainissement, inconcevable avant les corrections qui ont abaissé le niveau des lacs, s'est fortement développé depuis que les réseaux de drainage ont pu trouver une vidange par gravité dans des fossés ou des rivières à plan d'eau suffisamment profond.

Dans certains cas, notamment en aval des villages de Corcelles, de Domdidier et d'Avenches, ils aboutissent à des stations de relevage avant que l'on puisse introduire l'eau dans les canaux.

Pour les raisons suivantes, l'efficacité et la viabilité des réseaux d'assainissement sont souvent limitées :

- Terrains superficiels hétérogènes et anisotropes, de faible perméabilité. Rayon d'action des drains très réduit.
- Abaissement du niveau du sol sur les drains par tassement et minéralisation des tourbes.

Ce dernier facteur contribue à un affaissement général du sol dans les zones à forte épaisseur de terrains compressibles, rendant les perspectives d'un assainissement à long terme peu réjouissantes.

La structure du remplissage de la Basse-Broye est liée à l'alluvionnement de la grande fosse lacustre qui s'étendait à l'aval des moraines de Payerne-Cugy (PARRIAUX 1978 a). Elle est dans son ensemble assez constante (profils R, S, T, U et V). On peut la schématiser selon le profil-type suivant, de la surface vers la profondeur.

1) Complexe palustre

Le complexe palustre constitue la partie sommitale de la série. Il est formé d'une fine alternance de dépôts stratifiés d'origine palustre, fluviatile et lacustre qui correspondent aux produits de la divagation des rivières dans une zone marécageuse au voisinage d'un lac à niveau fluctuant. Ces sédiments varient en granulométrie des sables grossiers aux argiles, avec de la matière organique passant des tourbes pures aux débris végétaux isolés. On n'observe en revanche pratiquement aucune craie lacustre.

Dans le cas de la Basse-Broye, ces sédiments se sont déposés durant les trois derniers millénaires (voir p. 268). Leur épaisseur globale est comprise entre 1 et 7 m. D'une manière générale, les épaisseurs les plus grandes sont rencontrées dans le haut de la plaine alors que les valeurs inférieures concernent la zone proche du lac. Sur cette variation régionale viennent se surimposer des différences locales dues à d'anciens chenaux, rivages ou dunes.

A l'intérieur de cette série, les dépôts de tourbe montrent également de grandes irrégularités. La tourbe pure, lorsqu'elle est présente, est généralement sous forme d'un seul niveau principal, indépendamment des composants tourbeux secondaires des autres sédiments. Ses variations d'épaisseur sont représentées à la figure 52 sur la base d'un réseau serré de sondages mécaniques. Son amplitude maximale est supérieure à 3 m. On constate toutefois sur la carte des isopaques qu'elle est généralement comprise entre 0 et 50 cm, mis à part trois zones où elle dépasse fortement ces valeurs moyennes.

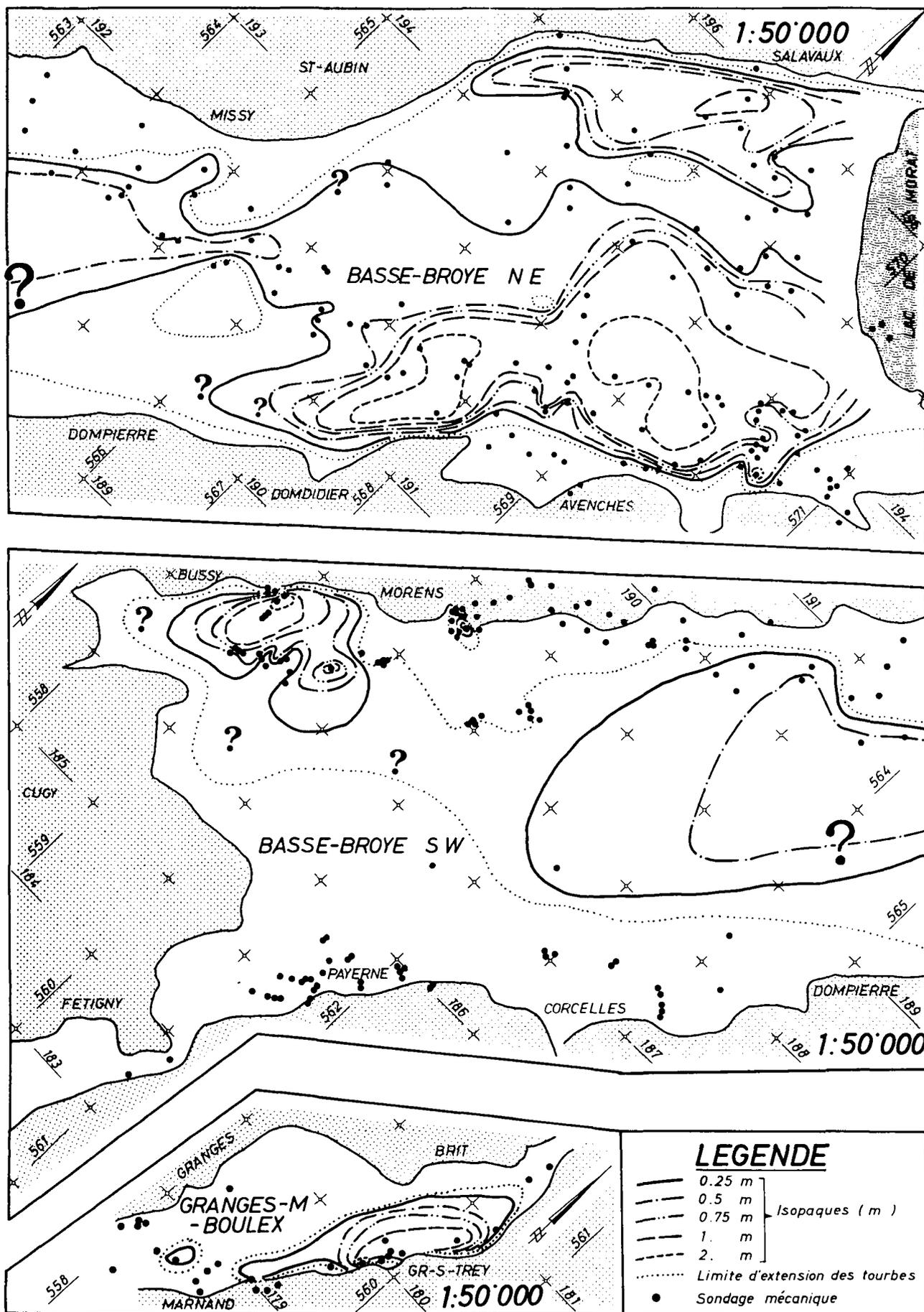


Figure 52 : Carte des isopaques de la tourbe dans la Basse-Broye et en aval de Granges-Marnand.

a) Zone_Bussy-Morens

Superficie : $\sim 1,5 \text{ km}^2$

Amplitude maximale : 2,3 m

Couverture : moyenne (2 à 4 m)

b) Zone_de_Salavaux

Superficie : $\sim 2,5 \text{ km}^2$

Amplitude maximale : 1,5 m

Couverture : faible (1 à 2m)

c) Zone_Domdidier_-_Avenches

Superficie : $\sim 4 \text{ km}^2$

Amplitude maximale : 3,1 m

Couverture : tourbe à la surface au NE, sous faible couverture au SW (1 à 2 m).

A côté de ces fortes anomalies, on en observe une plus faible sur un axe Les Mottes-Pâquier de St-Aubin dont l'amplitude reste inférieure à 1 m.

On note encore à la figure 52 que la limite de l'extension des tourbes se heurte aux grandes zones d'épandages de la Broye, de l'Arbogne et du Chandon.

L'étude de la répartition des dépôts de matière organique est non seulement utile pour le traitement des problèmes paléogéographiques et géotechniques mais également hydrogéologiques. En effet, le complexe palustre est soit temporairement, soit en permanence en contact avec la nappe souterraine principale des sables qu'il recouvre. Or, la présence de tourbe dans le terrain aquifère provoque une dégradation de la qualité chimique des eaux par une diminution de la teneur en oxygène et par conséquent une mise en solution du fer ferreux. Nous verrons ce problème en détail plus loin.

2) Membre_sableux

Au-dessous de la formation palustre, on rencontre d'une manière quasi-générale un horizon à granulométrie prédominante sableuse d'origine principalement lacustre et probablement fluviatile dans la partie SW.

Cette couche constitue le seul terrain aquifère utilisable connu dans ce secteur.

Les variations de sa granulométrie et de sa puissance font l'objet de la description hydrogéologique de détail que nous donnons plus loin (p.294). D'une manière générale, son épaisseur est comprise entre cinq et quarante mètres et sa perméabilité se partage dans les domaines des faibles et moyennes valeurs (cartes VII à XI H).

3) Membre limoneux

D'une manière progressive, le membre sableux devient à la base plus riche en horizons limoneux finement stratifiés, couches qui deviennent prédominantes après quelques mètres de profondeur. Cette zone de transition complique parfois la détermination de l'épaisseur de la nappe des sables.

La puissance du membre limoneux demeure mal connue. Les sondages mécaniques profonds sont peu nombreux et ils n'atteignent jamais le substratum au centre de la plaine.

Dans l'hypothèse d'un remplissage essentiellement lacustre de la cuvette glaciaire (voir p.273) ainsi que semble l'indiquer la géophysique, les sondages électriques attribuent à ces sédiments limoneux sous l'axe de la plaine une épaisseur variant entre 50 et 150 m. Nous commenterons plus loin ce résultat (voir p.292).

Du point de vue hydrogéologique, cette formation est saturée en eau. Toutefois, sa très faible perméabilité la rend inutilisable pour le captage de débits importants (profils R, S, T, U, V).

4) Moraine de fond

Nous avons vu précédemment (p.273), que l'on ignore tout de la nature et de la puissance du placage glaciaire au fond de l'auge. Les sondages électriques ne montrent aucun terrain intermédiaire entre la formation lacustre et la molasse. Le principe de suppression d'un horizon résistant mince pris entre deux niveaux conducteurs rend impossible l'apparition d'une moraine de fond d'une dizaine de mètres sur la courbe de sondages électriques. Quoiqu'il en soit, si ce matériel est présent, il est certainement de très faible perméabilité.

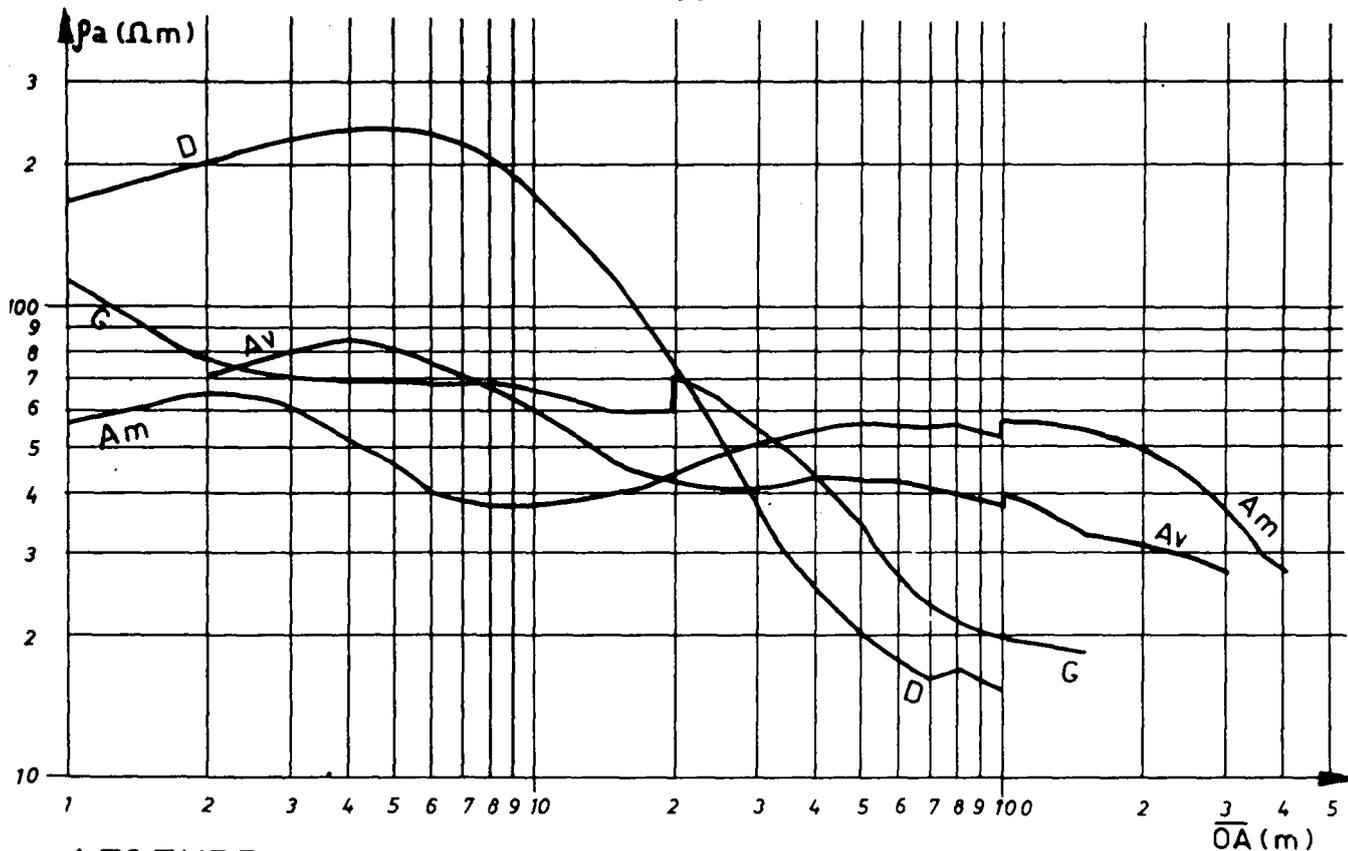
5) Molasse marno-gréseuse

Il s'agit ici du substratum rocheux imperméable (p.273). Sa forme doit être assez complexe selon les résultats des sondages électriques. Elle serait constituée d'une auge principale sous la moitié SE de la plaine, auge bordée au NW par un chenal secondaire discontinu, dans l'axe de la Petite Glâne actuelle. Cette double vallée est particulièrement bien visible sur un profil électrique reliant Domdidier à St-Aubin (profil U).

Il est temps, avant d'entreprendre la description détaillée de la nappe souterraine des sables, de préciser certaines considérations traitant de la forme de l'auge glaciaire et de l'épaisseur des terrains quaternaires sous la surface de la plaine.

En mars 1978 (PARRIAUX 1978a), nous avons décrit un profil en long de l'auge glaciaire dans l'axe de la Basse-Broye. L'épaisseur du Quaternaire est marquée de variations qui oscillent autour d'une valeur moyenne de 150 m environ avec des extrêmes supérieurs à 200 m au large d'Avenches. Ce champ des profondeurs du substratum a été obtenu uniquement sur la base d'une centaine de sondages électriques répartis dans la plaine et sur le pied des versants. Sur ces derniers, on pénètre après quelques dizaines de mètres dans une molasse à très faible résistivité (15 à 20 Ω m). Cette remarque est valable tout au long des deux rives de la Basse-Broye (courbes G et D, fig. 53). Dans l'axe de la plaine en revanche, un horizon électrique un peu plus résistant se poursuit couramment jusqu'à 100 à 200 m de profondeur. En aval de Payerne, sa résistivité est comprise entre 60 et 80 Ω m (courbe Am, fig. 53) alors que près du lac, elle n'est plus que de 30 à 35 Ω m (courbe Av, fig. 53). Cette dernière valeur pourrait certes être attribuée à des formations molassiques si les sondages d'étalonnage n'indiquaient pas sur les rives une molasse à 17 Ω m à faible profondeur. Pour ces raisons, nous avons assimilé cette épaisse couche au remplissage lacustre à fine granulométrie.

Plus tard, AXELROD (1978) a présenté des résultats gravimétriques dont une partie concerne la Basse-Broye. A l'extrémité



LEGENDE :

G : SE 561-190-3

D : SE 564-186-1

Am : SE 561-187-2

Av : SE 568-193-1

PLAN DE SITUATION

1:200'000

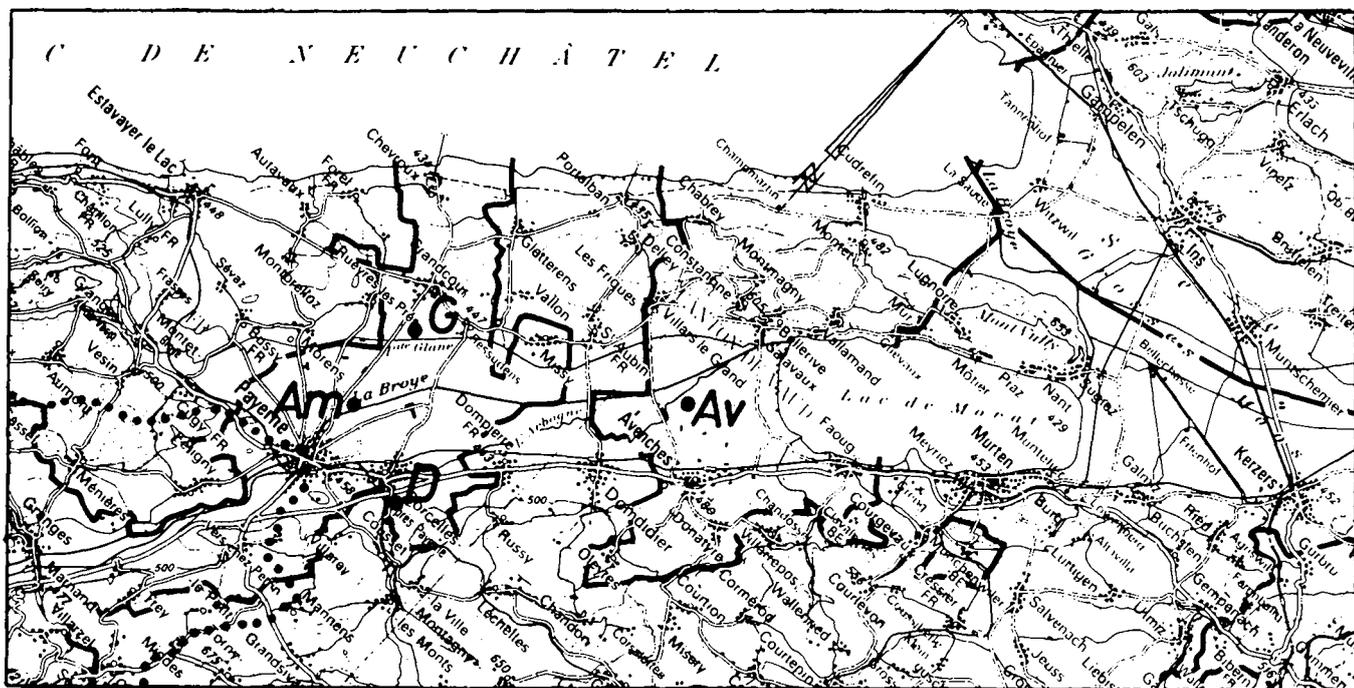


Figure 53 : Détermination du substratum rocheux dans la Basse-Broye par sondages électriques. Test sur les deux versants (courbes G et D) et dans les alluvions (courbes Am et Av).

sud d'abord, ses résultats appuient l'hypothèse que nous avons faite sur l'existence d'un seuil molassique en amont de Payerne (PARRIAUX 1978 a). Dans la plaine proprement dite, ensuite, il obtient également de grandes épaisseurs de remplissage quaternaire, qui croissent en direction du Lac de Morat. En valeur absolue, elles sont en moyenne de 25% inférieures à celles que nous avons calculées, avec des écarts extrêmes de 50% en face d'Avenches.

Il est difficile d'attribuer un crédit supérieur à l'une ou l'autre des méthodes pour la détermination précise du substratum rocheux. Seuls des sondages mécaniques pourraient un jour résoudre ce problème.

Venons-en maintenant à la description de la nappe d'eau souterraine des sables (membre sableux 2), seul terrain aquifère représenté sur la carte hydrogéologique (cartes VII à XI H).

La carte des résistivités électriques AB = 60 m (annexe III D) ne marque pas les variations de la résistivité vraie de l'aquifère sableux, les mesures étant encore souvent influencées par les basses valeurs de la série palustre supérieure (fig. 53). La carte AB = 100 m (annexe III E) donne déjà de meilleurs résultats. Toutefois, la présence du membre limoneux ne permet pas à la résistivité apparente d'atteindre la vraie valeur des sables aquifères. La seule possibilité pour l'obtenir est de la lire sur la coupe interprétée de chaque sondage électrique (voir registre). Elle varie entre 40 et 100 Ω m avec une dominante vers 60 Ω m.

Cette couche aquifère sableuse a été trouvée pratiquement dans la totalité des sondages mécaniques et c'est elle qui a été exploitée dans les quelques puits creusés dans ce secteur central. Sa granulométrie varie selon les endroits du sable graveleux au sable fin en passant par les sables moyens, parfois légèrement limoneux. Ces changements sont en relation directe avec la perméabilité comme l'ont montré les interprétations des essais de pompage dans les puits (voir registre). Lorsque ces captages font défaut, la perméabilité a été fixée par corrélation avec la granulométrie obtenue dans les sondages mécaniques.

La compilation des résultats ponctuels permet de classer la nappe des sables essentiellement dans la gamme des perméabilités faibles (cartes VII à XI H). Il s'en détache toutefois certaines zones à perméabilité moyenne sous la forme d'un vague cordon discontinu qui longe le cours actuel de la Petite Glâne de Bussy à Missy. A cet endroit, il quitte la rive pour rejoindre le centre de la plaine et disparaître. Les limites de ces zones à moyenne perméabilité ne sont précises que dans les endroits où l'on possède un grand nombre d'essais de pompage, comme c'est le cas au SW de la plaine. C'est là qu'on observe même deux petites anomalies à perméabilité élevée dans des sables propres légèrement graveleux (carte IX H).

Cette zone méridionale Bussy - Rueyres les Prés, au débouché des moraines de la Petite Glâne, a été intensément prospectée. De plus, un grand nombre de puits de faible diamètre exploite temporairement la nappe des sables comme eau industrielle (carte VII et IX B, profils R, S et T). Son épaisseur y varie entre 3 et 15 m (voir registre). Dans une bonne partie des cas, elle est semi-captive sous les terrains palustres riches en matière organique (cartes VII et IX H). Par des essais de pompage de quelques heures, nous avons pu calculer l'ordre de grandeur des coefficients de perméabilité qui figurent au registre. Ils varient de 6.10^{-5} à $1,1.10^{-3}$ m/s avec les valeurs les plus courantes situées vers 3.10^{-4} m/s.

Les ressources en eau de cette zone sont importantes, malgré la relativement faible perméabilité des terrains. Dans la plupart des ouvrages, un débit de 200 à 300 l/mn a été soutiré. On ignore en revanche les valeurs correspondant à des pompages de longue durée ainsi que l'interaction éventuelle entre les captages.

Sur le plan de la qualité chimique des eaux, la nappe des sables présente ici d'importants défauts techniques. Ce sont des eaux généralement très fortement réduites (saturation O_2 souvent < 5%), contenant de grandes quantités de fer et de manganèse qui précipitent sous forme d'oxydes à l'air libre (voir registre). Quant à la dureté totale, elle varie selon les points de 40 à plus de 50 DF. Ces mauvaises conditions chimiques sont particulièrement aiguës dans les secteurs où la nappe est en contact

avec les tourbes. La figure 54 montre les relations spatiales qui existent entre l'acidité, la minéralisation et le degré de réduction des eaux, en fonction de l'épaisseur des dépôts tourbeux. On y remarque que la région très riche en matière organique correspond aux eaux les plus dures, légèrement acides et fortement réduites, avec d'importantes précipitations de fer et de manganèse. Au contraire, sur la bordure immédiate de la vallée et où la tourbe est généralement absente ou mal développée, les eaux sont nettement moins dures, légèrement basiques et beaucoup mieux oxygénées (p. ex. PV 561-189-1), avec de faibles concentrations en fer et manganèse. Cette corrélation avec la puissance des tourbes est toutefois en défaut dans la partie orientale de la zone où la dureté et le degré de réduction demeurent élevés malgré l'absence de tourbe pure. Il faut en chercher la raison d'une part dans le fait que les sédiments contiennent beaucoup de matière organique diffuse, d'autre part dans l'écoulement de la nappe depuis la zone tourbeuse, du SW en direction du NE. Il faut relever à ce sujet qu'il n'a pas été possible d'étudier les conditions hydrodynamiques de cette zone avec les données piézométriques à disposition (absence de mesures synchrones et altitudes des tubes en partie inconnues).

Toujours dans la moitié gauche de la plaine, mais plus au NE, on trouve l'ancien puits communal de Grandcour (562-189-1). Cet ouvrage construit en 1931 se situe à 500 m environ de la rive gauche de la plaine, en bordure de la zone tourbeuse centrale (fig. 52). L'épaisseur de la nappe des sables est ici égale à 11 m avec une granulométrie de sables moyens, un peu limoneux à la base. L'aquifère est nettement captif sous les tourbes et les limons argileux (carte IX H). La perméabilité calculée d'après de maigres indications place la nappe dans la partie supérieure du domaine des faibles perméabilités (carte IX H). Les fortes teneurs en fer et manganèse de l'eau réduite ont nécessité une installation de traitement dont l'efficacité est restée assez douteuse, la teneur en fer de l'eau distribuée étant de 0,1 mg/l. En 1967, le puits a été abandonné, d'autres ressources en eau étant à disposition.

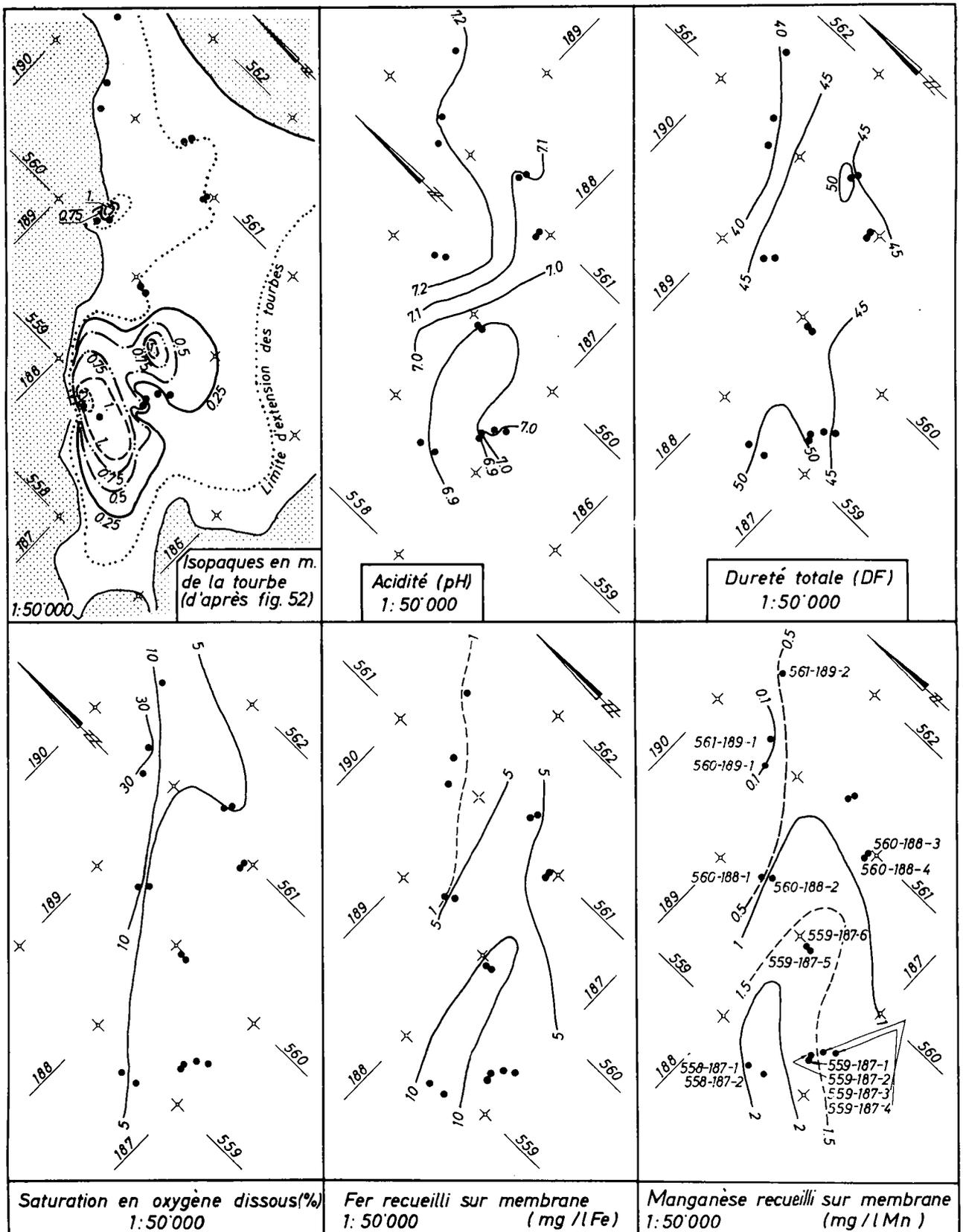


Figure 54 : Variation des paramètres physico-chimiques de la nappe des sables en relation avec la présence de la tourbe, à l'extrémité SW de la Basse-Broye. Valeurs moyennes de deux séries d'analyses (mai-juin et septembre-octobre 1974). D'après analyses EAWAG.

C'est un destin identique qu'a subi le vieux puits communal de Missy (564-191-1), ouvrage situé à 1 km du versant, au large du village. La structure de l'aquifère et de sa couverture est tout à fait analogue à celle du puits de Grandcour. La granulométrie est toutefois légèrement plus fine sans que cela ne modifie notablement le coefficient de perméabilité (carte IX H).

Entre la ligne formée par ces deux ouvrages anciens et le versant gauche, les sondages mécaniques ont découvert des sables légèrement graveleux. Ceci doit augmenter suffisamment la perméabilité de l'aquifère pour qu'il passe dans le domaine des valeurs moyennes (carte IX H). Entre Domdidier et St.-Aubin, cette zone plus perméable se déplace vers le centre de la plaine au voisinage direct de la Broye canalisée où elle finit par s'estomper.

Sur la moitié droite de la plaine, les rares sondages mécaniques existants ont rencontré la nappe des sables. Sa granulométrie la classe dans le domaine des faibles perméabilités (cartes VIII, IX et X H). Un seul puits y a été construit (563-1888-1) pour alimenter en eau industrielle la briquetterie de Corcelles. La forte teneur en fer de l'eau a entraîné son abandon lorsque d'autres ressources ont été disponibles.

En aval de l'axe Avenches - St.Aubin, les sables sont également privés d'une composante graveleuse et demeurent cantonnés dans la classe des faibles perméabilités. Une tentative de captage a été menée pour l'alimentation en eau du centre de recherche Ciba (566-192-2 et 565-193-1). Deux sondages ont traversé la nappe des sables sur une épaisseur de 10 à 20 m avant de pénétrer jusqu'à plus de 40 m de profondeur dans le membre limoneux. La forte proportion de sable fin dans le terrain aquifère a rendu le test de la nappe suffisamment difficile pour que le projet soit abandonné. Un seul ouvrage est opérationnel dans cette zone. C'est le puits Schaltegger (568-192-1) qui produit environ 200 l/mn d'eau d'arrosage. La faible

teneur en fer (0,1 mg/l) permet probablement de considérer cette eau comme potable.

Sur le profil proche du lac (profil V), la campagne de Génie rural EPFL de 1979 a apporté d'intéressants renseignements sur la partie superficielle de la nappe. Il semble qu'en général le membre sableux soit réduit à quelques mètres sauf dans la région de l'embouchure de la Broye et de la Petite Glâne. En outre, les sondages mécaniques courts ont été utiles pour apprécier la variation de l'épaisseur des tourbes (fig. 52). Enfin, ils ont permis de montrer que, même en période de hautes eaux, une bonne partie de la nappe est libre en aval de la transversale Avenches - St-Aubin (cartes X et XI H). Par ailleurs, les eaux paraissent moins réduites et ferrugineuses que dans le reste de la plaine. Cette observation devrait toutefois être précisée au moyen d'échantillons pris lors d'un pompage de longue durée dans un puits d'essai dûment isolé des eaux superficielles.

Les conditions hydrodynamiques générales dans la Basse-Broye sont régies par la superposition de trois effets de drainage :

1) Drainage vers le lac

Cet effet de rabattement de la nappe implique un vecteur d'écoulement général SW-NE. Le gradient hydraulique est très légèrement inférieur à celui de la topographie soit environ 0,12% en moyenne.

2) Drainage dû aux canaux et aux fossés

Il faut distinguer ici deux cas; d'une part les canaux et fossés peu profonds (p. ex. Petite Glâne, Grand Fossé, etc...) qui n'agissent sur la nappe qu'à hautes et moyennes eaux; d'autre part le grand canal de la Broye qui rabat le niveau hydrostatique avec un rayon d'action élevé.

Un exemple nous est fourni par les mesures faites pour l'implantation du centre Ciba à St-Aubin (fig. 55). On y remarque l'effet du drainage par la Broye dont le rayon d'action à basses eaux englobe pratiquement toute la moitié gauche de la plaine jusqu'au versant molassique. Le gradient apparent transversal moyen est d'environ 0,18%. Dans ce cas, le Grand Fossé et même probablement la Petite Glâne n'entraî-

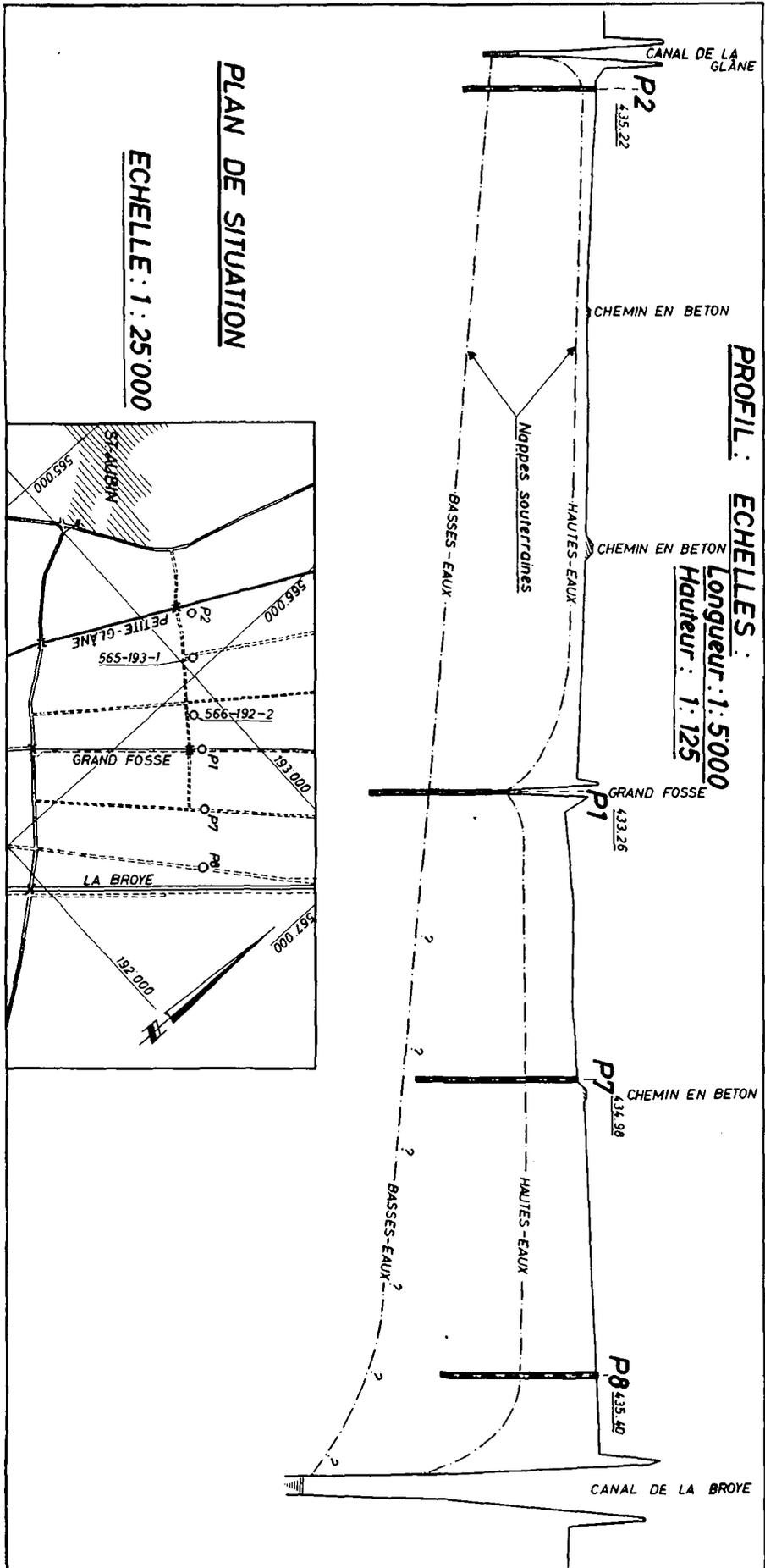


Figure 55 : Profil hydrodynamique à travers la moitié gauche de la Basse-Broye, au droit de St-Aubin. D'après les plans du bureau Bruderer, Fribourg.

nent aucun rabattement de la nappe. Lors des hautes eaux en revanche, ces canaux peu profonds créent des systèmes d'écoulement de faible rayon d'action qui viennent se surimposer au drainage principal de la Broye qui subsiste également dans cette situation.

3) Drainage dû aux réseaux d'assainissement souterrain

Dans ce cas également, ces réseaux ne sont actifs qu'à hautes eaux. Leur effet vient alors s'ajouter aux écoulements régionaux sous la forme de nombreux systèmes à très faible rayon d'action (p. 287).

La résultante dans l'espace des trois types de drainage est difficile à apprécier en raison de leur complexité et du manque de mesures piézométriques synchrones. Les valeurs mesurées dans le réseau du Bureau des autoroutes donnent une représentation trop linéaire et dispersée pour que l'on puisse esquisser le champ du potentiel hydraulique. On ne peut qu'exprimer les généralités suivantes :

a) Situation de basses eaux

Les écoulements résultent essentiellement des effets de drainage du lac et de la Broye. Les lignes de courant ont donc une direction intermédiaire entre une transversale et une longitudinale de la plaine. Le cas de St-Aubin (fig.55) montre un gradient apparent transversal supérieur à celui mesuré parallèlement à la rivière. En conséquence, il faut s'attendre à ce que les lignes de courant fassent un angle plus proche de la transversale (30°) que de la longitudinale (60°). Dans la mesure où le site de St-Aubin peut être généralisé par symétrie à l'ensemble des deux moitiés de la plaine, on aurait sur la rive gauche des directions d'écoulement souterrain vers N100 à 110° E et N340 à 350° E sur l'autre rive.

b) Situation à hautes eaux

Lors des hautes eaux, l'interaction de tous les systèmes de drainage entraîne un réseau d'équipotentiels et de lignes de courant d'une telle complexité qu'il n'est pas possible de le décrire sans une densité de mesures extrêmement élevée. La forte hétérogénéité des terrains et leur faible perméabilité conjuguées à la géométrie compliquée des réseaux de drainage nécessiteraient de nombreuses études à petite échelle qui n'ont été que rarement et très localement réalisées.

En ce qui concerne l'alimentation de la nappe souterraine de la Basse-Broye, elle procède essentiellement de l'infiltration des précipitations à sa surface. Ces dernières sont en moyenne égales à 900 mm/an. Le débit de ruissellement et surtout d'évacuation par les drainages agricoles est inconnu, ce qui empêche une détermination quantitative de l'alimentation de la nappe.

L'alimentation secondaire par l'infiltration des eaux au pied des versants doit être très faible en raison de la mauvaise perméabilité des terrains palustres. Il en va de même de l'alimentation souterraine latérale par des sources de la partie remblayée du versant molassique. C'est l'imperméabilité de ce dernier qu'il faut invoquer cette fois. Nous avons vu enfin que l'on peut exclure un contact entre le remplissage quaternaire et les calcaires mésozoïques. Une alimentation profonde par le karst n'est par conséquent pas envisageable.

Le problème de la protection des eaux dans ce secteur central est celui propre à toute région à caractère agricole marqué. Certes, des pollutions industrielles sont concevables dans certaines parties bordières de la plaine (Domdidier et Avenches principalement); mais la mise en danger essentielle de la nappe consiste en l'infiltration des engrais massivement utilisés dans toute la plaine. Toutefois, par le caractère réducteur du milieu aquifère, les nitrates sont rapidement transformés en nitrites puis même en ammoniac.

Il faut relever enfin que l'on ne s'est pas beaucoup préoccupé de la protection et de la conservation des eaux souterraines de cette région puisqu'elles sont aujourd'hui pratiquement inutilisées pour le captage des eaux potables à cause de leur caractère chimique défavorable.

POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT

La possibilité de réaliser de nouveaux captages existe encore dans les versants molassiques, particulièrement dans le haut de la rive droite où les séries gréseuses sont abondantes. Toutefois, le débit non encore dérivé est faible et c'est plutôt dans la vallée du Chandon, au SE de la région

étudiée, que de grosses ressources d'origine molassique et fluvioglaciaire sont encore inexploitées. Le captage de ces eaux nécessiterait des études hydrogéologiques locales détaillées.

Il ne faut pas compter pouvoir exploiter des ressources importantes dans la moraine et en particulier dans le cordon glaciaire situé au pied de la rive droite de la Basse-Broye, en raison de sa position perchée et de sa perméabilité apparemment faible. On pourrait toutefois concevoir de prospecter sa partie profonde dans l'espoir d'y découvrir une couche où les terrains ont été suffisamment remaniés, ou même du fluvioglaciaire intramorainique à perméabilité intéressante. Une telle recherche paraît coûteuse et sans grande chance de succès.

Le complexe alluvial offre, lui, des perspectives plus positives. Comme pour la description de détail, nous le traitons secteur par secteur.

Delta perché de l'Arbogne

Mis à part le débit dérivé au puits filtrant 564-185-1, la ressource en eau du delta semble être limitée essentiellement aux pertes de la partie aval, dans la région d'Ecorcheboeuf. Cette zone mériterait une investigation minutieuse qui pourrait déboucher sur un captage en tranchée barrant les écoulements souterrains vers le SW. La bordure septentrionale du delta, sur le flanc gauche du talweg actuel, paraît à cet égard moins prometteuse.

Cône de l'Arbogne

Les nombreuses prospections effectuées dans ce secteur ont montré que l'endroit retenu pour l'emplacement du grand puits de la Verna (562-187-1) était l'un des meilleurs possibles. Elles ont également révélé d'autres sites, certes moins performants tant en ce qui concerne les débits pompés que les difficultés dues à l'emportement des particules de sable. Toutefois, l'exploitation de ces zones avec des puits

de gros diamètre, et double massif filtrant, permettrait de fournir un débit supplémentaire appréciable. Dans le cas de l'aile droite du cône, un débit de 1000 à 2000 l/mn pourrait être pompé sans interaction probable avec le puits actuel.

Sur l'aile gauche également, les mesures géophysiques indiquent des zones relativement résistantes (annexe III C) en direction du grand cône de la Broye, en aval de Payerne (carte VIII H). Une reconnaissance par sondages mécaniques serait nécessaire afin de préciser les paramètres hydrogéologiques.

Enfin, en remontant les alluvions de l'Arbogne de Corcelles à Cousset, on est en présence d'une nappe graveleuse perméable mais d'épaisseur très réduite (carte VIII H). Des captages peu profonds par tranchées y seraient concevables. Leur débit serait toutefois assez limité. La capacité de réalimentation des alluvions par la rivière lors des crues pourrait être utilisée.

Cône du Ruisseau de Coppet

Nous avons vu que ce secteur présentait un certain nombre d'indices favorables et qu'il est actuellement totalement inexploité. Des sondages mécaniques complémentaires et des puits d'essai seraient nécessaires en vue du développement de cette région relativement pauvre en eau potable.

Cône du Chandon

Le cône du Chandon, au nord d'Avenches, a montré dans les sondages et dans les puits d'essai que la perméabilité des terrains est acceptable pour des pompages de l'ordre de plusieurs centaines de l/mn. La légère teneur en fer des eaux a entraîné l'abandon des projets de captage. Il n'est pas impossible que, pour une raison ou une autre, on s'intéresse à nouveau à ce secteur dans le futur. Une recherche plus complète serait alors nécessaire pour situer les zones les plus perméables et les moins riches en fer dissous. A l'aide de plusieurs captages en parallèle, un débit supérieur à 1000 l/mn pourrait être dérivé. Une installation moderne de

déferrisation légère devrait probablement être prévue dans un tel projet.

Secteur central

Le secteur central de la plaine de la Basse-Broye constitue une des zones les plus critiques en regard des possibilités de captage.

En ce qui concerne le volume des ressources, on peut être persuadé qu'il est considérable. Les nombreux puits de petit diamètre implantés au large de Bussy-Rueyre les Prés l'ont démontré avec éloquence. Son captage nécessite des moyens peu employés dans notre pays, où les aquifères exploités sont généralement très perméables et où un seul gros ouvrage est utilisé. Dans le cas de la nappe des sables, la technique des batteries de puits serait nécessaire pour compenser le faible rayon d'action des ouvrages individuels. Par ailleurs, le procédé du double massif filtrant permet d'être à l'abri de l'ensablement des captages. Dans de telles conditions, on peut certifier que la ressource en eau de cette nappe pourrait atteindre plusieurs milliers de l/mn.

C'est dans le domaine de la qualité chimique des eaux que le problème est le plus aigu. Nous avons vu qu'à l'exception de la bordure directe du versant et de la zone proche du lac, les teneurs en fer et manganèse sont extrêmement élevées et l'oxygène dissous pratiquement inexistant. Ces eaux sont donc inutilisables pour la consommation et l'industrie sans un traitement intensif.

Dans le futur proche, ces ressources en eau resteront inutilisées. On ne peut toutefois pas assurer qu'un jour on doive tout de même les exploiter. Dans de telles conditions, il y aurait lieu de capter d'abord les eaux des zones relativement pauvres en fer de la bordure de la plaine et des petits cônes de déjection. Ensuite, si cela est nécessaire, implanter un vaste réseau de puits multiples dans la zone centrale, couplé à une grosse installation d'oxygénation et déferrisation. Il n'est pas exclu également que les techniques de traitement des eaux réduites fassent de gros progrès. Le système d'oxygénation de l'eau et de précipitation du fer à l'intérieur

de la nappe (DESCROIX, 1978) est à cet égard intéressant.

Il faut noter enfin que l'exploitation des eaux des sables contribuerait à l'assainissement souvent critique des terrains superficiels.

LE REGIME DES EAUX SOUTERRAINES

Le régime des eaux souterraines est établi sur la base des diagrammes de trois stations limnigraphiques installées sur un puits abandonné et sur deux piézomètres.

Il s'agit des stations suivantes (tableau 9) :

Tableau 9 : Stations limnigraphiques du GEOLEP					
N°	Commune	Carte de Base	N° registre	Durée d'observation	Ouvrage
L1	Moudon	III B	552-170-3	4.74-12.79	ancien puits de Plan
L2	Lucens	IV B	555-174-2	11.74-12-79	sondage GEOLEP
L3	Fétigny	VI B	561-183-1	11.74-12.79	sondage GEOLEP

Les diagrammes analogiques des limnigraphes ont été digitalisés par ordinateur. Ils sont restitués sous la forme de limnigrammes annuels à l'annexe I. Nous y avons joint les hydrogrammes de la Broye à Payerne (station OFEH) ainsi que les mesures du pluviographe de Lucens (station GEOLEP). De cette manière, une comparaison entre le régime pluviométrique, le ruissellement et le régime des eaux souterraines devient aisée.

Les limnigrammes des trois stations de mesure du GEOLEP montrent des régimes semblables. Ils enregistrent comme la rivière des variations liées à la pluviométrie sur le bassin. Ils se différencient toutefois par la forme des réactions du niveau de la nappe face aux infiltrations. Un examen global des diagrammes de l'annexe I le révèle immédiatement.

De plus, nous avons calculé certains paramètres caractéristiques des limnigrammes, portant d'une part sur les années civiles 1975 à 1979, d'autre part sur la période de janvier 1975 à décembre 1979 (tableau 10 et fig. 56). Le hasard de la météorologie a fait que les années d'enregistrement sont très différentes en ce qui concerne le régime des précipitations :

Tableau 10 : Paramètres caractéristiques des limnigrammes de la nappe aux 3 stations GEOLEP (voir annexe I et fig. 56).

PARAMETRES		MOUDON L 1					
		1975	1976	1977	1978	1979	1.75-12.79
1	Niveau moyen (m.s.m)	495,16	494,91	495,57	495,27	495,18	495,22
2	Niveau minimum (m.s.m)	494,72	494,45	494,92	494,55	494,40	494,40
3	Date	20.8	10.7	25.8	10.12	5.10	5.10.79
4	Niveau maximum (m.s.m)	495,67	495,88	496,50	496,33	496,85	496,85
5	Date	2.2	13.12	13.2	28.3	10.2	10.2.79
6	Amplitude (m)	0,95	1,43	1,58	1,78	2,45	2,45
7	Vitesse d'ascension maximale (cm/j)	--	--	--	--	--	80
8	Vitesse d'abaissement maximale (cm/j)	--	--	--	--	--	6
9	Temps de réponse minimum p.r. aux précipitations (j)						1

	LUCENS L 2						FETIGNY L 3					
	1975	1976	1977	1978	1979	1.75-12.79	1975	1976	1977	1978	1979	1.75-12.79
1	477,77	477,43	478,43	478,15	478,00	477,96	447,46	447,32	447,64	447,57	447,62	447,52
2	477,45	476,95	477,95	477,37	477,33	476,95	447,15	447,05	447,20	447,13	447,22	447,05
3	25.7	25.10	15.11	13.12	27.10	25.10.76	10.8	1.9	25.10	5.12	13.10	1.9.76
4	478,30	478,13	479,10	479,08	478,97	479,10	447,97	448,67	448,90	448,85	449,08	449,08
5	18.12	1.1	15.5	30.3	15.2	15.5.77	2.12	8.12	10.2	23.3	2.1	2.1.79
6	0,85	1,18	1,15	1,71	1,64	2,15	0,82	1,62	1,70	1,72	1,86	2,03
7	--	--	--	--	--	25	--	--	--	--	--	160
8	--	--	--	--	--	4	--	--	--	--	--	22
9						3/4						1

- 1975 : année à pluviosité proche de la moyenne
- 1976 : année particulièrement sèche
- 1977 : année particulièrement pluvieuse.

1) NIVEAUX ANNUELS MOYENS (fig. 56)

Dans les trois stations, le niveau moyen annuel est compris entre les valeurs extrêmes de 1976 et de 1977. Sur la base des 5 années d'enregistrement, nous pouvons calculer un niveau interannuel moyen ainsi que son domaine de variation (tableau 11).

Tableau 11 : Variation interannuelle du niveau annuel moyen de 1975 à 1979 aux 3 stations GEOLEP.			
	Moudon L1	Lucens L2	Fétigny L3
Moyenne \bar{X} (msm)	495,22	477,96	477,52
Ecart-type σ (msm)	0,24	0,38	0,13
Amplitude max.(m)	0,65	1,02	0,33

On remarque que l'amplitude des variations du niveau moyen annuel par rapport à Fétigny est bien supérieure à Lucens et Moudon.

Ce résultat s'explique par la proximité de la nappe de Fétigny de son exutoire : la Broye. Or, à l'étiage, cette dernière ne peut s'abaisser au-dessous du niveau du lit. De plus, aucun pompage n'est pratiqué dans la nappe. Il en résulte donc des niveaux de basses eaux particulièrement stables.

En outre, la bonne communication entre la nappe de Fétigny et la rivière entraîne une rapide vidange des eaux souterraines lors de la décrue. Or, les niveaux de pointe élevés, en raison de leur courte durée, influencent très peu la moyenne annuelle. Ce fait illustre la faible capacité d'accumulation dans la partie de l'aquifère située au-dessus du niveau de la rivière.

Une situation totalement opposée caractérise la nappe à Moudon et à Lucens.

On constate une bonne correspondance entre : les valeurs annuelles du niveau souterrain, les débits de la Broye et les pluies à Lucens. Toutefois, on note une nouvelle

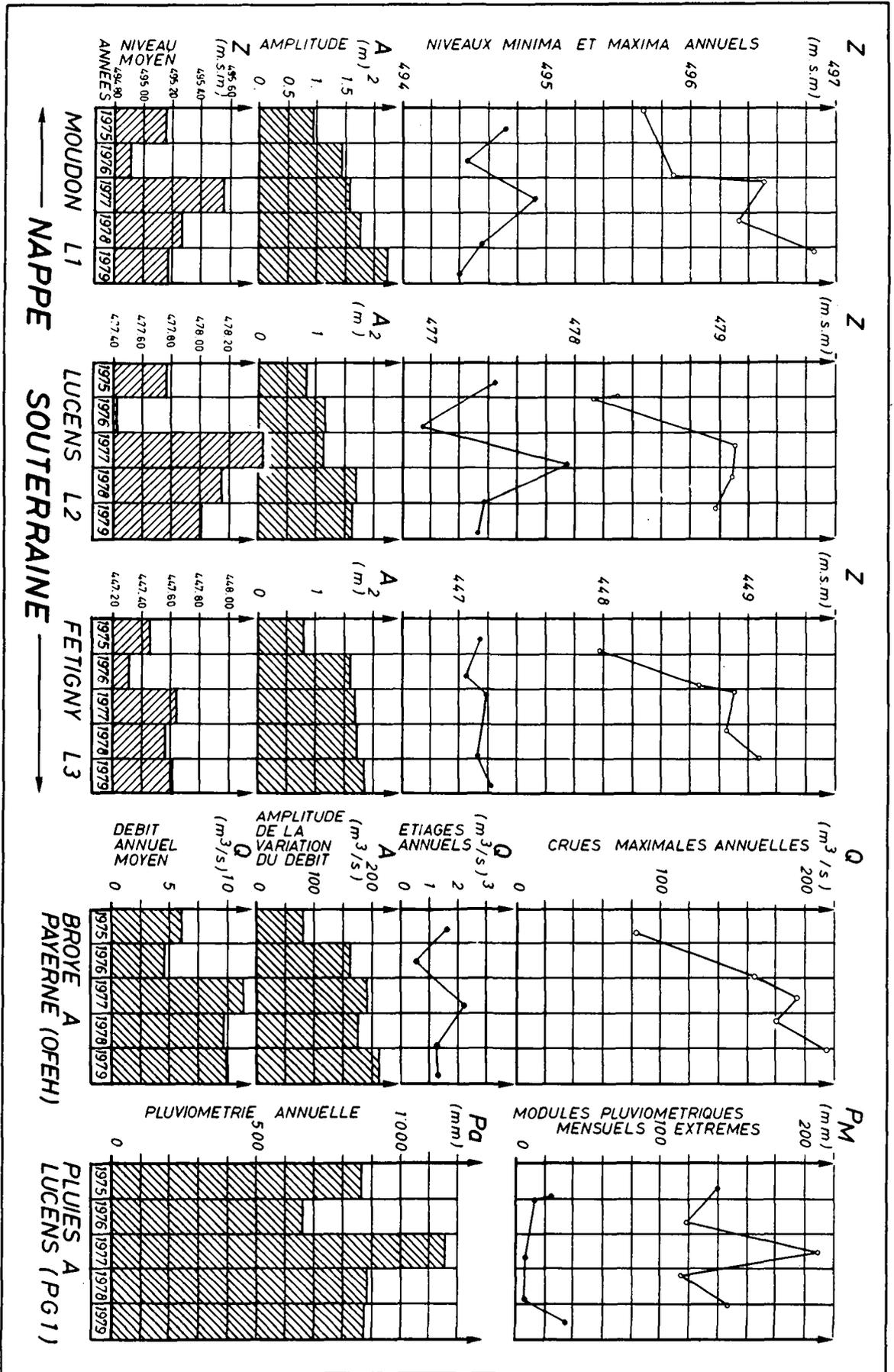


Figure 56 : Paramètres caractéristiques des limnigrammes de la nappe alluviale (station GEOLEP) en fonction du régime de la Broye et des précipitations.

anomalie de la station de Fétigny qui montre un niveau pour 1979 supérieur à celui de 1978, de même manière que la rivière. Les deux autres stations, en revanche, s'appliquent sur le modèle des précipitations. On a ici une confirmation du rôle prépondérant de la Broye dans le régime de la nappe de Fétigny.

2) NIVEAUX MINIMA ANNUELS (fig. 56)

L'étiage minimal est celui de la sécheresse de l'été 1976, à l'exception de la station Moudon qui a enregistré une baisse encore plus importante en automne 1979. L'étiage annuel le moins sévère est celui de 1977 sauf à Fétigny où il survient en 1979.

Les variations de ce facteur sont calculées au tableau 12.

<u>Tableau 12</u> Variations interannuelles de l'étiage annuel de 1975 à 1979 aux 3 stations GEOLEP.			
	Moudon L1	Lucens L2	Fétigny L3
Moyenne \bar{X} (msm)	494,61	477,41	447,15
Ecart-type σ (msm)	0,21	0,36	0,07
Amplitude max.(m)	0,53	1,01	0,17

On remarque que l'amplitude des variations est répartie de la même manière dans les diverses stations que pour le niveau annuel moyen : élevée à Lucens, moyenne à Moudon et très faible à Fétigny.

Mis à part les années 1978 et 1979, la corrélation avec les étiages de la Broye est tout à fait nette. La comparaison avec les modules pluviométriques mensuels minima annuels est moins évidente à cause des faibles pluies de septembre 1977.

3) NIVEAUX MAXIMA ANNUELS (fig. 56)

Les variations des niveaux maxima annuels ont été calculées au tableau 13.

Tableau 13 : Variations interannuelles du niveau maximal annuel de 1975 à 1979 aux 3 stations GEOLEP.			
	Moudon L1	Lucens L2	Fétigny L3
Moyenne \bar{X} (msm)	496,25	478,72	448,69
Ecart-type σ (msm)	0,47	0,46	0,43
Amplitude max. (m)	1,18	0,98	1,10

Ces valeurs montrent cette fois des résultats comparables pour les trois stations. L'amplitude est voisine de 1 m. En revanche, la répartition dans le temps de ces niveaux de pointe est assez différente. La valeur extrême à Lucens correspond aux fortes pluies de 1977. Celle-ci est encore dépassée aux stations Moudon et Fétigny au début de 1979, comme c'est le cas des débits de la Broye. A noter que cette année a vu les deux niveaux extrêmes mesurés à la station de Moudon.

4) AMPLITUDES MAXIMALES ANNUELLES DES NIVEAUX INSTANTANES(fig.56)

A Lucens et à Fétigny, les amplitudes annuelles maximales sont comparables. Elles se situent entre le minimum de 1975 (0,8 m) et le maximum de 1978 ou 1979 (1,9 m). La station Moudon montre pour sa part une croissance régulière de ce facteur de 0,95 m en 1975 à 2,2 m en 1979.

Le régime très fluctuant de la nappe de Fétigny et, dans une moins grande mesure, de celle de Moudon, explique la transition entre les variations instantanées et les variations à long terme (moyennes annuelles).

Dans les trois cas, la corrélation avec les amplitudes maximales du débit de la Broye est bien marquée.

5) VITESSE D'ASCENSION MAXIMALE (tableau 10)

La forme de l'ascension du limnigramme traduit bien la différence de vitesse de réponse face aux précipitations. La nappe de Fétigny, réalimentée par les crues de la rivière, réagit très violemment. L'aquifère de Moudon, bien que profond, répond assez massivement. La bonne perméabilité

de la couche aquifère et son caractère semi-captif en sont responsables. La station de Lucens montre une réaction moins intense par suite d'une moins bonne perméabilité des terrains de couverture.

6) TEMPS DE REPOSE MINIMUM PAR RAPPORT AUX PRECIPITATIONS
(tableau 10)

Afin de chiffrer le décalage entre les précipitations et la réponse dans la nappe, nous avons fixé comme "temps de réponse" le temps qui sépare le moment d'intensité pluvieuse maximale d'un événement isolé et le moment de la crue maximale des eaux souterraines qui lui correspond.

Dans toutes les stations, le temps de réponse minimal mesuré est très court, de l'ordre de 24 heures. Paradoxalement, c'est la nappe de Lucens qui montre le plus faible décalage.

7) VITESSE D'ABAISSEMENT MAXIMALE (tableau 10)

La forme de la décrue la plus rapide est illustrée par la vitesse d'abaissement maximale du limnigramme. Les différentes stations se caractérisent par des valeurs qui sont dans les mêmes proportions que les vitesses d'ascension. Ensemble, elles décrivent le régime très "pointu" de la nappe à Fétigny, plus régulier à Moudon et amorti à Lucens.

Sur la base de cette analyse, nous pouvons conclure que les nappes souterraines observées aux trois stations GEOLEP présentent des comportements comparables dans les grandes lignes. Ils correspondent en outre au régime des précipitations et du ruissellement. Toutefois, l'étude détaillée révèle des différences notables qui sont propres à la perméabilité de l'aquifère, à la situation de la nappe par rapport aux sources d'alimentation et aux zones de vidange.

Nous reviendrons encore sur ces problèmes lorsque nous traiterons du calcul des ressources.

Interaction rivière - nappe souterraine

L'étude des interactions entre la rivière et la nappe a été menée à l'occasion des reconnaissances pour le creusage de la fouille du gazoduc Orbe-Mülchi. Il s'était alors posé le problème de l'inondabilité de la tranchée implantée derrière la digue de la rivière. Un réseau de piézomètres courts a été mis en place le long du tracé. Il a fait l'objet d'observations durant huit mois.

Il est ressorti de cette étude que dans les conditions de basses, de moyennes et de hautes eaux modérées, la nappe converge fortement vers la rivière et participe à son alimentation. On observe d'une manière quasi-générale que le lit canalisé est entaillé dans les graviers supérieurs ou les sables qu'ils surmontent. Dans les cas où l'on possède des mesures piézométriques détaillées en bordure de la Broye, on note un net abaissement du niveau de la nappe au voisinage direct du cours d'eau (fig. 31 et 41).

Cette situation est mise en défaut lors des fortes crues de la Broye où cette dernière réalimente la nappe durant de courtes périodes. Au cours de ces événements, le niveau des eaux souterraines peut s'élever de un à deux mètres au-dessus de la cote normale. L'infrastructure mise en place pour cette étude n'a malheureusement pas permis de déterminer précisément le rayon d'action de cette recharge.

Son ordre de grandeur peut être cependant estimé à quelques dizaines de mètres de l'axe du canal comme c'est le cas dans le cours épigénétique de la Broye à Fétigny. Une ligne de piézomètres implantée perpendiculairement à la rivière pourrait apporter une réponse plus précise.

La convergence générale des filets de courant vers la Broye implique que la rivière est un grand consommateur des ressources en eau souterraine des alluvions. Cette "perte" pourrait être neutralisée localement par le réhaussement des eaux de surface grâce à des seuils judicieusement placés. Nous avons vu (fig. 38) quelle augmentation des réserves on pourrait tirer d'une telle réalisation.

LA COMPOSITION DES EAUX SOUTERRAINES ET SES VARIATIONS AU COURS DU TEMPS

La composition des eaux potables est analysée régulièrement par les Laboratoires cantonaux des denrées alimentaires. Les prélèvements portent principalement sur les réseaux de distribution. Ainsi, l'eau est généralement un mélange de ressources de différentes provenances.

Les échantillons collectés aux captages eux-mêmes sont moins courants. En règle générale, la fréquence des analyses demeure très réduite et irrégulière.

Dans le cas des principaux captages alluviaux de la plaine de la Broye, cette règle est de rigueur, à l'exception de quelques ouvrages plus étroitement surveillés. Quoi qu'il en soit, les résultats existants ont été collectés au Laboratoire cantonal vaudois et reportés sous forme graphique à l'annexe II. La période d'observation couvre habituellement 10 à 15 années durant lesquelles de grandes lacunes peuvent intervenir.

Tous les puits de captage importants de la plaine entre Moudon et Corcelles ont été retenus. Il s'agit d'amont en aval (tableau 14) :

Tableau 14 : Points d'eau choisis pour l'étude des variations chimiques au cours du temps.		
Diagramme	Captage	N° registre
A	Puits en Plan, Moudon	PR 552-170-1
B	Puits des Grands Champs, Lucens	PR 555-174-3
C	Puits des Arzils, Henniez-Lithinée SA	PR 555-175-1
D	Puits de la Taillaz, Seigneux	PV 556-174-1
E	Puits du Clos à Georges, Henniez-Santé SA	P 557-177-1
F	Puits Nestlé, Payerne	PV 561-185-2
G	Puits de Vuaz-Vauchy, Payerne	PV 561-186-1
H	Puits de la Verna, Corcelles	PR 562-187-1

Dans chaque cas, les paramètres suivants ont été représentés graphiquement :

- 1) Température de l'eau ($^{\circ}\text{C}$)
- 2) Saturation en oxygène (%) (ou év. conductivité électrique ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$))
- 3) Dureté totale (DF)
- 4) Dureté temporaire/dureté totale
- 5) Oxydabilité (mg/l KMnO_4)
- 6) Nitrates (mg/l NO_3^-)
- 7) Chlorures (mg/l Cl^-)
- 8) Sulfates (mg/l $\text{SO}_4^{=}$)

Par ailleurs, nous commenterons les résultats de quelques facteurs secondaires. C'est le cas notamment des ortho-phosphates dont les mesures très récentes ne permettent pas d'intégrer leurs teneurs au graphique. A ce propos, une seule analyse du phosphore total a été effectuée (voir A9) et les quantités de polyphosphates n'ont jamais été déterminées. Les concentrations des éventuels composants à caractère réduit (NO_2^- , NH_3 , Fe) sont également examinées.

Dans l'interprétation des données, il est important de savoir dans quelles conditions hydrologiques les prélèvements ont été effectués. Pour les années postérieures à 1973, nos enregistrements limnigraphiques apportent des éléments précieux (annexe I). Avant cette date, nous devons les approcher indirectement par les précipitations. A cette fin, nous avons calculé pour chaque analyse les deux paramètres pluviométriques suivants (annexe II) :

- P_{10J} = Somme des précipitations journalières des dix jours précédant le prélèvement.
Ce facteur décrit la possibilité d'apports d'eau mal filtrée pouvant influencer temporairement les eaux souterraines.
- P_{6M} = Somme des précipitations journalières des six mois précédant l'échantillonnage.
Par ce paramètre, nous pouvons situer l'état de la nappe souterraine lors du prélèvement (eaux basses, moyennes ou hautes).

Tout d'abord nous allons traiter du comportement des paramètres chimiques de chacun des captages. Puis nous procéderons à une synthèse des points d'eau étudiés.

A : Puits En Plan, Moudon PR 552-170-1 (annexe II A)

Les eaux du nouveau puits de Plan ont fait l'objet de 8 prélèvements et ceci durant 11 ans d'observation (1968-1978), avec une longue lacune de plus de 4 ans.

A1. TEMPERATURE DE L'EAU

Dans le cas des premières analyses, les échantillons ont été prélevés directement au puits. La température y est assez stable puisqu'elle se maintient pratiquement entre 10 et 11°C. En revanche, les trois derniers prélèvements proviennent d'une fontaine publique alimentée par l'eau du puits. Cet éloignement du captage explique les basses valeurs obtenues durant les mois d'hiver.

Des informations plus précises nous sont fournies par le thermolimnigraphe de la station L1 du GEOLEP installée dans l'ancien puits communal de Plan (PV 552-170-3). Les mesures en continu ont porté sur la période 1978-1980 (voir p. 334 et fig. 56). Elles montrent une température moyenne de 9,6°C, une très faible amplitude de variation (1°C) et un fort décalage avec la température de l'air.

A2. SATURATION EN OXYGENE

Seules 4 analyses de ce paramètre ont été faites et ceci entre 1968 et 1970. Sur la base de ces quelques points, on note une très nette augmentation de la teneur en oxygène dissous qui passe de 40 à 76%. L'entrée en action de l'écoulement artificiel et l'accélération de la régénération de l'eau est probablement responsable de cette amélioration.

A3. DURETE TOTALE

Ce paramètre, reflet de la minéralisation totale, montre une assez bonne constance (env. 30DF) durant les années hydrologiquement normales (1968 à 1970). Par contre, on note une forte croissance de la concentration en sels minéraux durant les années plus sèches (1975-1976) avec un pic à 36 DF (voir annexe). En revanche, durant la récente période de

hautes eaux (voir annexe II A), la dureté diminue pour atteindre un minimum de 27 DF. L'élévation doit résulter d'un accroissement du rayon d'action, donc du chemin parcouru par les eaux durant les étiages. Le temps de contact eau-squelette minéral est ainsi rallongé, permettant une mise en solution plus complète.

Les eaux de Plan sont donc généralement dans le sommet de la classe dite "eau assez dure". Elles sont toutefois plus douces que celles de nombreux captages dans les alluvions de la plaine de la Broye.

A4. DURETE TEMPORAIRE/DURETE TOTALE

La dureté carbonatée suit le même mouvement que celui de la minéralisation totale. Cependant, le rapport des deux paramètres montre que la première augmente dans une moins grande proportion que la seconde durant les années sèches. Ceci se traduit par un abaissement de ce rapport en 1975 et 1976. Il faut peut-être en rechercher la cause dans le fait que, une fois le CO_2 agressif neutralisé par le carbonate, la dissolution de ce dernier parvient à un plafond limitant sa concentration.

A5. OXYDABILITE

La quantité de matière organique en solution dans l'eau a été sujette à de grosses variations durant les premières années d'exploitation. Les concentrations de KMnO_4 correspondantes ont passé de moins de 1 à plus de 3 mg/l. Dans les dernières analyses en revanche, elles se sont stabilisées entre 2 et 2,5 mg/l de KMnO_4 . Les fluctuations observées ne paraissent pas liées systématiquement à la pluviosité antécédente ni au niveau de la nappe, l'analyse de juillet 1970 exceptée.

A6. NITRATES

Bien qu'appuyée sur un nombre restreint d'analyses, la croissance des nitrates en solution dans l'eau est manifeste.

En première approximation, elle a évolué d'environ

10 mg/l entre 1968 et 1970 à près de 30 mg/l en 1978. Un éventuel effet saisonnier n'apparaît pas sur le diagramme.

A7. CHLORURES

Comme dans le cas des nitrates, on constate une augmentation des chlorures au cours du temps, mais dans des proportions beaucoup plus modestes (12 à 18 mg/l). Aucune relation avec la saison du prélèvement n'est visible.

A8. SULFATES

L'analyse de ce paramètre n'a été effectuée qu'à quatre reprises et ceci durant les années 1968-1970. Une légère augmentation est constatée sans que l'on puisse savoir si elle est significative à long terme. La teneur moyenne est d'environ 20 mg/l.

A9. DIVERS

Une détermination de la concentration en orthophosphates a été pratiquée. La valeur obtenue ($0,03 \text{ mg PO}_4^{3-} / \text{l}$) est relativement importante. De plus, la seule analyse du phosphore total montre une quantité bien supérieure (0,19 mg/l).

Aucun élément réduit (ammoniaque et nitrites) n'est présent. En outre, la teneur en fer varie entre 0 et 0,04 mg/l).

B: Puits des Grands Champs, Lucens, PR 555-174-3 (annexe IIB)

Cinq analyses en onze ans d'observation caractérisent tant bien que mal l'évolution chimique des eaux du puits des Grands Champs. Là également, une lacune de quatre années sépare le premier prélèvement du second.

B1. TEMPERATURE DE L'EAU

Toujours échantillonnée au robinet de la station de pompage, l'eau montre une température oscillant entre 8,7 et 10°C. Le fait que la valeur maximale soit mesurée au mois de mars nous incite à douter de la représentativité des mesures.

Grâce à la station thermo-limnigraphique L2 du GEOLEP (555-174-2), des informations très précises sont à disposition. Les mesures en continu par thermistance portent sur la période 1978 à 1980 (voir p.334 et fig. 56). On obtient une température moyenne de $9,0^{\circ}\text{C}$, une forte amplitude ($3,2^{\circ}\text{C}$) et un léger décalage avec le régime des températures en surface.

B2. CONDUCTIVITE ELECTRIQUE

La conductivité électrique ne marque qu'une faible variation. La minéralisation maximale mesurée intervient paradoxalement durant le premier semestre 1977, soit à très hautes eaux (voir annexe II B). Cette observation paraît en désaccord avec la dureté totale.

B3. DURETE TOTALE

Sur la base de quatre analyses faites durant les premiers mois de l'année, on constate une variation de moyenne amplitude de la dureté totale (33 à 37°DF). Comme dans le cas de Moudon, la valeur maximale est obtenue durant une période de relativement basses eaux (voir annexe II B). En moyenne, la dureté est à attribuer à la partie inférieure de la classe des "eaux dures". Elle est donc déjà nettement supérieure à celle de Moudon (A3).

B4. DURETE TEMPORAIRE/DURETE TOTALE

Comme dans le puits de Moudon, l'augmentation de la dureté en 1976 est plus marquée pour la dureté permanente que pour la dureté temporaire. De plus, l'accroissement de la dureté totale moyenne à Lucens par rapport à celle de Moudon se solde par une baisse du facteur D. temporaire/D. totale (environ 0,8).

B5. OXYDABILITE

Variant entre 1 et plus de 3 mg/l de KMnO_4 durant les premières années d'observation, l'oxydabilité se stabilise vers 2 mg/l de 1976 à 1979.

B6. NITRATES

Seules deux valeurs ont été mesurées (1977 et 1979). Si elles ne permettent pas de décrire une évolution, elles indiquent tout de même une assez forte concentration en nitrates (30 à 35 mg/l).

B7. CHLORURES

La quantité de chlorures en solution dans l'eau est marquée par de fortes variations (15 à 30 mg/l). La valeur maximale est obtenue en juin 77, ce qui devrait permettre d'exclure une origine par le salage routier. C'est certainement le purinage des champs qui influence notablement la teneur en chlorures dans l'eau souterraine.

B8. SULFATES

Le seul échantillon analysé indique une concentration normale en sulfates (env. 20 mg/l).

B9. DIVERS

Les phosphates ont été mesurés à deux reprises. Dans les deux cas, la concentration est nulle.

En ce qui concerne les éléments réduits, on n'a découvert une faible quantité d'ammoniaque et de nitrite qu'en 1977 et 1979, soit en période de hautes eaux. La seule mesure du fer donne une concentration de 0,02 mg/l (1977).

C. Puits des Arzils, Henniez-Lithinée SA, PR 555-175-1 (annexe II C).

Le troisième puits à drains rayonnants est un captage d'eau industrielle. Aussi n'a-t-il fait l'objet que de deux analyses qui sont, de plus, très resserrées dans le temps. C'est dire que nous serons contraint à n'étudier que l'ordre de grandeur de ces valeurs instantanées.

C1. TEMPERATURE DE L'EAU

La température relevée varie de 10,6 à 11,6 selon qu'elle a été mesurée au puits ou à l'usine d'Henniez. Seule la première valeur est à considérer comme fiable.

C2. CONDUCTIVITE ELECTRIQUE

Les mesures sont comparables à celles de Lucens (cas B).

C3. DURETE TOTALE

Compris entre 36 et 37 DF, les résultats obtenus à fin 1970 peuvent être considérés comme des valeurs proches du minimum selon des données synchrones collectées à Moudon. Ils confirment donc l'accroissement de la minéralisation vers le NE de la plaine.

C4. DURETE TEMPORAIRE/DURETE TOTALE

Avec des duretés totales analogues à celles de Lucens, l'eau des Arzils se distingue du captage précédent par un rapport D. temporaire/D. totale nettement plus élevé ($\sim 0,87$). Cette augmentation est due à l'accroissement des chlorures et des nitrates plutôt qu'aux sulfates.

C5. OXYDABILITE

Durant le mois qui sépare les prélèvements, l'oxydabilité a passé de 1,4 à 1,9 mg/l de KMnO_4 . C'est bizarrement à la période la plus sèche que correspond le moins bon des deux résultats.

C6. NITRATES

Là également, le caractère variable de ce paramètre ressort d'une manière évidente. En un mois, la concentration en nitrates a baissé de 29 à 24 mg/l. Cette teneur est déjà assez élevée.

C7. CHLORURES

Comprise entre 12 et 13 mg/l, la quantité de chlorures en solution est très faible.

C8. SULFATES

Comme cela a été signalé plus haut (C4), la faible dureté permanente n'est pas due à une basse valeur de la concentration en sulfates. En effet, cette dernière (env. 20 mg/l) est semblable à celle mesurée dans les puits situés plus en amont.

C9. DIVERS

Aucune analyse des phosphates n'a été pratiquée. Il faut noter encore l'absence d'éléments réduits (NO_3^- et NH_4^+). Le fer et le manganèse n'ont pas été étudiés.

D. Puits de la Taillaz, Seigneux, PV 556-174-1 (annexe IID).

Le puits de la commune de Seigneux est également très pauvre en analyses. Durant les 13 années d'observation, seuls quatre échantillons ont été prélevés. L'un d'eux, pris directement après une longue période d'arrêt du pompage, a dû être écarté. Entre la seconde et la dernière analyse se sont écoulés 10 ans sans mesures.

D1. TEMPERATURE DE L'EAU

La température de l'eau a varié entre 10,2 et 12°C. Une influence saisonnière n'est pas visible avec des données si peu nombreuses.

D2. SATURATION EN OXYGENE

Mesurée à deux reprises, la teneur en oxygène dissous est excellente puisqu'elle approche la saturation.

D3. DURETE TOTALE

Bien que **variable**(38 à 44 DF), la dureté de l'eau du cône de Treize Cantons apparaît nettement élevée. Elle se situe à cheval sur les classes "eau dure" et "eau très dure" du Manuel suisse des denrées alimentaires.

D4. DURETE TEMPORAIRE/DURETE TOTALE

Ce paramètre est ici assez constant (env. 0,8). Toutefois, on constate comme d'habitude une légère baisse lorsque la dureté totale augmente.

D5. OXYDABILITE

La teneur en matière organique est variable tout en demeurant assez élevée (2,5 à 3,5 mg/l KMnO_4). Une infiltration du ruisseau pourrait en être éventuellement responsable. Le résultat maximal correspond à un indice P_{6M} élevé.

D6. NITRATES

Certes basée sur un nombre restreint de valeurs, l'ascension des nitrates entre le début de l'exploitation de l'ouvrage (30 à 38 mg/l) et les années actuelles (>50 mg/l) paraît nette. Des mesures plus serrées devraient permettre de contrôler cette situation critique.

D7. Chlorures

Collectées à des époques assez comparables de l'année, les trois analyses montrent une croissance des chlorures de 20 à 30 mg/l.

D8. SULFATES

La même remarque est à faire pour les sulfates dont la concentration passe de 17 à 32 mg/l.

D9. DIVERS

Malgré la très forte teneur en oxygène dissous, on observe tout de même une légère teneur en fer (0,01 à 0,04 mg/l).

En outre, la présence d'ammoniaque et de nitrites a été reconnue à une seule reprise (1977). Les phosphates n'ont pas été analysés.

E. Puits du Clos à Georges, Henniez-Santé SA, P 557-177-1
(annexe II E).

Le puits du Clos à Georges est sans conteste le point d'eau qui a fait l'objet du plus grand nombre d'analyses. Durant les 12 ans d'observation, 26 prélèvements ont été effectués, soit en moyenne plus d'un échantillon tous les 6 mois. L'étude de ces résultats est donc particulièrement intéressante.

E1. TEMPERATURE DE L'EAU

Une forte dispersion caractérise les différentes mesures de la température (6 à 12°C) avec une moyenne voisine de 9 à 10°C. Ceci provient du fait que les échantillons n'ont pas été prélevés au puits lui-même, mais à l'usine (distance 1600 m) durant les années 1967-1968 puis au réservoir du château (distance 500 m). Cette méthode de mesure ne permet pas de considérer les valeurs obtenues comme représentatives de l'eau de la nappe.

E2. CONDUCTIVITE ELECTRIQUE

Les résultats obtenus s'arrangent sur une courbe bien continue. On y remarque une nette croissance de la minéralisation à la suite de la sécheresse de 1972 puis une baisse assez régulière vers les périodes pluvieuses récentes.

E3. DURETE TOTALE

La même remarque que pour le paramètre précédent peut être faite. Dans le cas de la dureté totale, la sensibilité aux variations hydrologiques est toutefois supérieure. La gamme de valeurs obtenue s'étend de 31 à 42 DF avec une moyenne vers 37 à 38 DF. Ce sont donc des eaux franchement dures. La courbe de variation marque une nette croissance dès 1972. Elle culmine en 1975, puis lui succèdent une baisse de la

minéralisation et une stabilisation en 1977-1978. Un comportement analogue est observé pour les nitrates et les chlorures (voir E6 et 7).

E4. DURETE TEMPORAIRE/DURETE TOTALE

Comme dans le cas des autres puits, ce facteur est lié d'une manière inverse à la dureté totale à quelques exceptions près. Sa variation est faible (0,81 à 0,92) avec une moyenne d'environ 0,88, typique des nappes du bassin.

E5. OXYDABILITE

Le caractère peu profond de la nappe du cône de la Trémeule influence fortement la teneur en matière organique des eaux. L'oxydabilité est généralement normale entre 2 et 3 mg/l de KMnO_4 . Temporairement, elle monte à plus de 4 mg/l. L'infiltration d'eau de la Trémeule n'est probablement pas étrangère à ce phénomène.

E6. NITRATES

Relativement constante entre 1967 et 1972 (env. 18 mg/l), la teneur en nitrates subit de brusques écarts à partir de cette date (jusqu'à 35 mg/l); il est difficile d'y définir une valeur moyenne. Une légère augmentation systématique est notable, malgré un dernier résultat très faible. L'année 1977 est nettement la plus mauvaise avec une teneur moyenne de 30 mg/l. Le lessivage des engrais par les fortes précipitations en est responsable. En outre, l'oscillation relevée dans la dureté totale est également présente dans cet anion.

E7. CHLORURES

La concentration en chlorures n'est pas affectée par des variations de haute fréquence. Celles-ci se regroupent plutôt sur une ondulation régulière qui marque deux maxima en 1967 et en 1973-1974. Le second correspond à une période de basses eaux. Le domaine de variation des résultats s'étend de 19 à 28 mg/l avec une moyenne d'environ 22 mg/l. Aucune dérive

à long terme n'est visible.

E8. SULFATES

Mis à part la dernière année d'observation, un accroissement régulier de la teneur en sulfates est visible. De 10 mg/l en 1967 elle passe à plus de 25 mg/l en 1977.

E9. DIVERS

Dans les trois derniers prélèvements, la concentration en orthophosphates a été analysée. Elle a varié entre 0,15 et 0,2 mg/l PO_4^{--} ; elle est donc très élevée. Son origine est certainement à attribuer à l'infiltration de la Trémeule sur le haut de son cône.

Par ailleurs, aucun indice d'eau réduite n'a été détecté (ammoniaque-nitrites). Le fer n'a jamais été mesuré.

F. Puits Nestlé, Payerne, PV 561-185-2 (annexe II F)

L'histoire de cet ouvrage racheté par la commune de Payerne se divise en deux époques, avant et après la pollution d'hydrocarbures de 1970. Dans le premier temps, on possède des résultats diffus mais qui remontent loin dans le passé (1955).

Plus tard, par contre, des mesures régulières ont été pratiquées dès la remise en service de ce captage dans le réseau.

Il existe également des données très anciennes (1933, 1934, 1943 et 1947) où seules les teneurs en chlorures et en sulfates sont utilisables. Si elles ne figurent pas dans les diagrammes, elles sont en revanche commentées dans le texte qui concerne ces paramètres.

F1. TEMPERATURE DE L'EAU

Les températures relevées à la station de pompage sont passablement dispersées. Malgré tout, elles convergent vers une valeur moyenne d'environ 11°C, donc légèrement supérieure à celle des points d'eau traités jusqu'ici.

F2. SATURATION EN OXYGENE

D'une manière générale, l'eau pompée à l'ancienne condenserie est marquée par une assez faible teneur en oxygène dissous (env. 30% de la saturation). La gamme de variation sur 4 analyses est comprise entre 18 et 38%. Les valeurs minimales correspondent aux périodes sèches (p. ex. 1976), durant lesquelles les eaux exploitées sont moins bien renouvelées. L'interprétation de ces données doit toutefois rester prudente; nous pouvons supposer en effet que la quantité d'oxygène ne doit pas être constante durant les premières heures d'une manoeuvre de pompage (voir F3, F4, F6).

F3. DURETE TOTALE

A l'exception de deux valeurs basses, voisines de 39 DF (1965 et 1977), les duretés totales mesurées sont élevées (env. 44DF). Ce sont donc des eaux classées comme "dures" ou "très dures" selon que l'on se trouve en période de hautes ou de basses eaux. En outre, au cours d'une manoeuvre de pompage, on constate une nette augmentation en quelques heures de la dureté totale (env. 10%).

F4. DURETE TEMPORAIRE/DURETE TOTALE

Au contraire des observations faites sur les puits précédents, on remarque dans ce cas une constance de ce paramètre ($\sim 0,8$) malgré une forte variation de la dureté totale. Une seule valeur paraît anormalement basse (1975).

F5. OXYDABILITE

Les fluctuations de l'oxydabilité sont importantes (2 à > 4 mg/l KMnO_4). La moyenne aux environs de 3 mg/l est comparable à celle du Puits du Clos à Georges. Elle est en revanche nettement supérieure à celle des nappes du sud de la plaine. Une certaine corrélation avec la pluviosité est visible (p. ex. début 1977).

F6. NITRATES

Une croissance très irrégulière de la teneur en nitrates est observable (12 mg/l en 1955, 13 mg/l en 1975 et 19 mg/l un an plus tard). Cette irrégularité est à chercher dans l'état d'alimentation de la nappe. Durant l'étiage marqué de 1976, deux analyses prélevées le même jour ont montré à quatre reprises une brusque diminution des nitrates avec parallèlement l'apparition de nitrites. Il est très probable que ces prélèvements ont été faits au début d'un cycle de pompage. Dans ces conditions, ils démontrent qu'après quelques heures d'exploitation, des eaux moins aérées parviennent au captage. Ceci est confirmé par les remarques faites au point F3. Comme les protocoles des diverses analyses n'indiquent pas la durée du fonctionnement des pompes avant le prélèvement, les résultats sont à considérer avec prudence.

F7. CHLORURES

Cette nappe de zone urbaine montre en 47 ans un net accroissement de la concentration en chlorures. Cette montée est affectée de légères ondulations, notamment une baisse lors des hautes eaux du début de 1977. Un éventuel effet saisonnier n'est pas observable. Les valeurs récentes sont assez élevées (~ 30 mg/l).

F8. SULFATES

Entre 1955 et 1979, trois mesures de la teneur en sulfates ont été pratiquées. D'emblée, les résultats se sont révélés très élevés (35 à 55 mg/l). Le manque de mesures ne permet pas d'étudier une éventuelle tendance dans cette variation.

F9. DIVERS

Nous n'avons également à disposition que trois déterminations de la teneur en phosphates (2 en 1976 et 1 en 1977). Dans les trois cas, une très légère présence a été notée (0,005 à 0,1 mg/l).

Malgré la basse teneur en oxygène dissous, aucune mesure du fer et du manganèse n'a été effectuée. En considérant le chimisme de ces eaux, on peut toutefois supposer leur présence en faible quantité.

G. Puits de Vuaz-Vauchy, Payerne, PV 561-186-1 (annexe IIG)

L'exploitation de ce puits provisoire a été limitée à la période d'incapacité du captage de la Condenserie. De 1971 à 1973, deux analyses sont présentées.

G1. TEMPERATURE DE L'EAU

Seul le résultat de 1971 (10,8°C) est acceptable. Les 14°C mesurés en été 1973 sont dus à un prélèvement soit à la suite d'un pompage insuffisant, soit après la circulation de l'eau dans une conduite.

G2. SATURATION EN OXYGENE

Nous touchons là à un point critique de cette eau souterraine (voir p. 261). Le seul pourcentage de la saturation en oxygène mesuré (1971) indique pratiquement l'absence de cet élément en solution.

G3. DURETE TOTALE

Les deux résultats à disposition montrent un écart considérable (35 à 47 DF). Les eaux sont donc dures à très dures selon les cas.

G4. DURETE TEMPORAIRE/DURETE TOTALE

Malgré la forte variation de la dureté totale, cette proportion reste constante au voisinage de 0,86. Elle semble en contradiction avec la forte teneur en sulfates analysée en 1971 (voir G8).

G5. OXYDABILITE

Un écart très important sépare les deux résultats (6,2 et 2,8 mg/l KMnO_4). Des conditions de pompage différentes

lors des prélèvements sont présumées. La forte valeur n'est certainement pas à attribuer entièrement à de la matière organique mais surtout au caractère réduit de ces eaux.

G6. NITRATES

Le caractère réduit se manifeste d'une manière spectaculaire sur la concentration en nitrates. Les deux résultats montrent sa disparition plus ou moins complète au profit de l'ion nitrite.

G7. CHLORURES

Un écart appréciable sépare les deux résultats (22 et 12 mg/l). La cause d'une telle variation de ce paramètre habituellement assez stable ne peut être déterminée sur la base de résultats si peu nombreux. L'effet du salage routier peut être exclu (prélèvements estivaux).

G8. SULFATES

La seule valeur disponible indique, comme dans l'autre puits payernois, une forte concentration en sulfates (44mg/l).

G9. DIVERS

En ce qui concerne les éléments mis en solution dans les eaux à caractère réduit, on a observé tantôt une légère présence, tantôt l'absence du fer. Le manganèse est exceptionnellement abondant (0,5 mg/l). Les phosphates n'ont pas été mesurés.

H. Puits de la Verna, Corcelles-Payerne, PR 562-187-1

(annexe II H).

Le principal captage d'eau souterraine de tout le bassin a été soumis à 9 analyses durant les 16 années d'observation.

H1. TEMPERATURE DE L'EAU

Mis à part une donnée aberrante, les températures varient entre 9 et 10,5°C. Il ne semble pas que la nappe ait une grande inertie thermique puisque les valeurs maximales sont mesurées en été et en automne; au mois de janvier déjà, les valeurs sont à nouveau basses (9°C).

H2. SATURATION EN OXYGENE

Les 3 analyses de l'oxygène montrent une teneur élevée. L'aération de l'eau pratiquée dans le puits est probablement responsable de l'augmentation des deux dernières valeurs par rapport à celle du début de l'exploitation de l'ouvrage.

H3. DURETE TOTALE

La dureté totale de l'eau de la Verna est la plus élevée de tous les captages importants du bassin. Autour de sa valeur moyenne (env. 48 DF), elle oscille entre 45 et 52 DF. Il est difficile de corrélérer précisément ces fluctuations avec celles de la pluviosité. Aucune dérive à long terme n'est discernable.

H4. DURETE TEMPORAIRE/DURETE TOTALE

Assez stable autour de 0,80, ce paramètre montre tout de même de légères variations en liaison inverse avec celles de la dureté totale.

H5. OXYDABILITE

A l'exception de la valeur élevée de novembre 1977, tous les résultats s'appuient sur une courbe décroissante de forme parabolique. Cette nette diminution de la teneur en matière organique pourrait être due d'une part à une longue mise en équilibre du massif filtrant autour des drains (l'oxydabilité est demeurée inférieure à 2 mg/l même lors de la période extrêmement pluvieuse du début de l'année 1979). D'autre part, cette baisse régulière est certainement liée à la croissance de l'oxygène dissous qui

permet une meilleure oxydation de la matière organique à l'intérieur de la nappe (voir H2).

H6. NITRATES

Sur la base des trois analyses disponibles, on ne constate pas d'augmentation nette de ce paramètre au cours des années.

H7. CHLORURES

Assez constante jusqu'en 1977 (~25 mg/l), la concentration marque une subite hausse à partir de cette date. Elle a atteint près de 30 mg/l en février 1979. Un éventuel effet saisonnier est indécélable.

H8. SULFATES

Les quelques mesures des quantités de sulfates confirment son accroissement au cours du temps et d'amont en aval de la plaine de la Broye. Elle dépasse 45 mg/l en novembre 1977.

H9. DIVERS

Une très faible quantité de phosphate a été mise en évidence (0,005 mg/l). En ce qui concerne la présence éventuelle de composés chimiquement réduits, l'absence de nitrite et d'ammoniaque a été vérifiée. Le fer et le manganèse n'ont jamais été analysés.

Synthèse des résultats sur la composition des eaux

Dans ce paragraphe, nous tenterons de situer pour chaque paramètre retenu :

- sa variation dans le temps.
- sa variation géographique (valeurs moyennes).

Nous avons dressé pour chaque paramètre montrant une variation spatiale une carte des iso-valeurs moyennes (voir fig. 57). Un certain nombre de remarques préliminaires sont

toutefois nécessaires.

- Les valeurs moyennes ont été déterminées sur la base des années récentes (1970-1979)
- La qualité de la détermination de ces valeurs est fonction du nombre des mesures. Lorsque celui-ci est peu élevé (voir annexe II), le paramètre figuré est à considérer avec prudence.
- La construction des lignes d'iso-valeur est très approximative à cause de la faible densité du réseau. Dans les zones inobservées, leur situation est donc surtout symbolique.

1) TEMPERATURE DE L'EAU

Les mesures de la température tirées de ces résultats d'analyse ne possèdent ni la précision ni la fréquence nécessaires pour en déduire son évolution spatiale et dans le temps. Pour cette raison, nous nous baserons plutôt sur les enregistrements en continu de nos trois stations thermolimnigraphiques (voir tableau 15). Bien que portant sur une courte durée, ils décrivent parfaitement le régime thermique des eaux souterraines à ces points de mesure, sur un peu plus d'un cycle annuel (fig. 56).

Les relations entre la profondeur de la nappe et les variations des températures sont particulièrement marquées. En effet, si l'on compare le diagramme de la station Moudon dont l'aquifère principal se situe entre 14 et 26 m et celui des nappes plus superficielles de Lucens et Fétigny (5 à 10 m), on fait les observations suivantes (fig. 56 et tableau 15):

- 1) L'amplitude des variations de température dans la nappe profonde est environ trois fois plus petite que dans les deux nappes proches de la surface
- 2) Les valeurs moyennes sont en revanche comparables. Elles correspondent en outre avec les températures moyennes de l'air à la surface de la plaine (PRIMAULT, 1972)
- 3) Lorsque la pente de la courbe est positive, le déphasage avec la température en surface est d'autant plus important que la nappe est profonde
- 4) Dans la situation opposée, ce déphasage est paradoxalement plus faible à Moudon qu'aux deux autres points.
- 5) Il résulte de 3 et 4 qu'une forte assymétrie caractérise la courbe de Moudon, alors que celles des nappes plus hautes sont pratiquement symétriques.

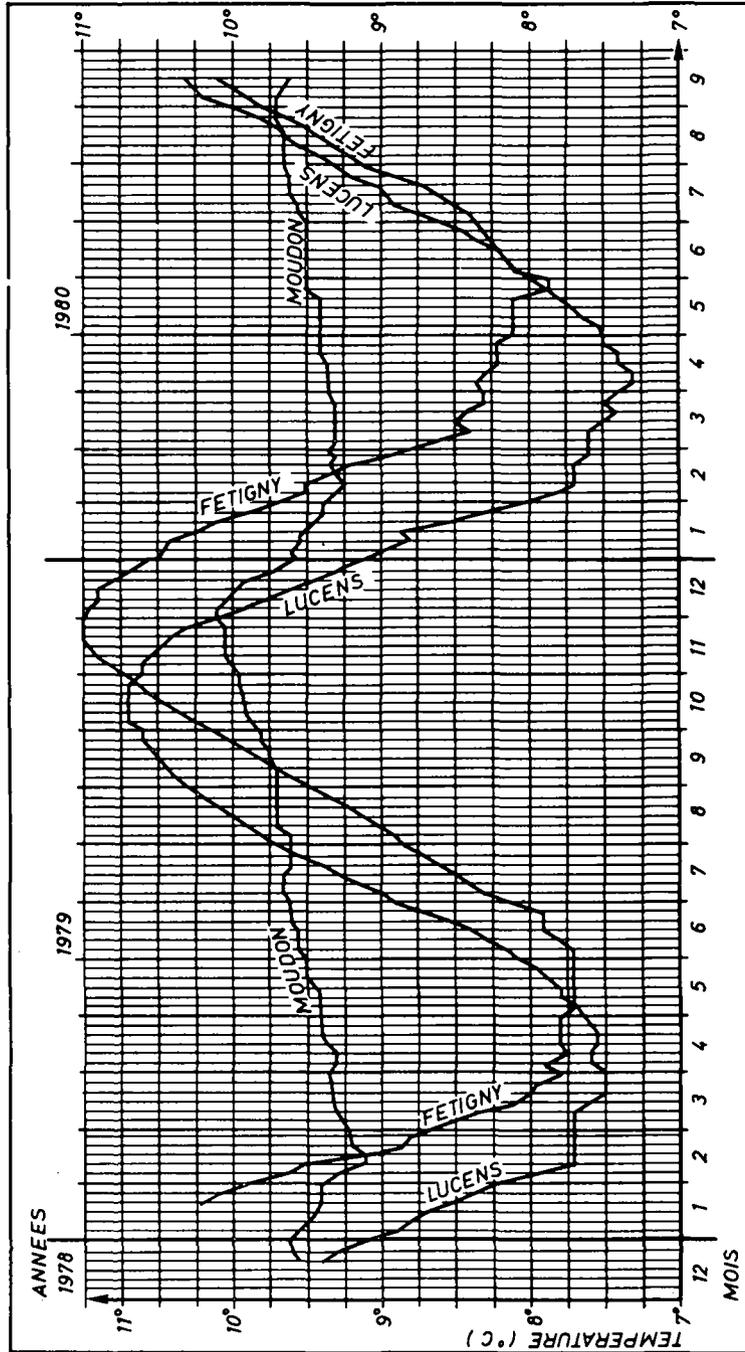


Figure 56 : Régime thermique des nappes souterraines aux trois stations GEOLEP (enregistrements continus).

	P	\bar{T}	A_t	λ_t	T_{\min}^{1979}	T_{\max}^{1979}	T_{\min}^{1980}	\bar{T}'	\bar{T}''
Moudon	20	9,6	1,0	352	13.2.79	2.12.79	1.2.80	20.6.79	29.12.79
Lucens	8	9,1	3,2	378	25.3.79	15.10.79	7.4.80	8.7.79	1.1.80
Fétigny	7	9,3	3,3	390	20.5.79	25.11.79	25.5.80	24.8.79	22.2.80

P = profondeur moyenne de la nappe (m)

\bar{T} = température moyenne sur le cycle 79-80 (°C)

A_t = amplitude de la variation de température durant le même cycle (°C)

λ_t = longueur d'onde de la variation (j)

T_{\min}^{79} = date de la valeur minimale du printemps 79

T_{\max}^{79} = date de la valeur maximale de la fin 79

T_{\min}^{80} = date de la valeur minimale du printemps 80

\bar{T}' = date de la valeur moyenne à la montée

\bar{T}'' = date de la valeur moyenne à la descente.

Tableau 15 : Variation de la température des eaux aux trois stations GEOLEP.

Ces observations confirment d'une manière générale la théorie de l'accroissement du déphasage de la température en profondeur par rapport à la surface, au fur et à mesure que l'on approche de la zone d'homothermie. Cette dernière devrait se situer entre 30 et 40 m sous la surface.

Cependant, cette règle est mise en défaut par la rapide descente de la température au printemps 1980 observée à la station Moudon. Il est probable que l'infiltration massive d'eau froide de la fin de l'hiver soit à l'origine de ce phénomène. Les enregistrements d'autres cycles annuels permettront peut-être d'éclaircir ce problème.

2. SATURATION EN OXYGENE (Fig. 57)

Ces données très incomplètes montrent tout de même une tendance générale à l'augmentation de la saturation en oxygène (Moudon et Corcelles). Cet élément, s'il se confirme, représente une tendance à l'amélioration de la qualité des

eaux.

Géographiquement, la valeur moyenne se situe vers 50%. Une anomalie élevée caractérise le puits de Seigneux. En aval de Payerne, en revanche, on pénètre progressivement dans une nappe dépourvue d'oxygène (Vuaz-Vauchy). Le cône latéral de l'Arbogne fait exception à cette règle.

2') CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (fig. 57)

A l'exception du puits de Moudon, une croissance au cours du temps de la minéralisation semble visible. La vitesse de variation est difficile à chiffrer. En général elle paraît comprise entre 1 et 3 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}/\text{an}$. A Corcelles, cette valeur dépasse 5 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}/\text{an}$. L'origine de ce phénomène est à rechercher principalement dans l'augmentation de la consommation des engrais agricoles.

La représentation en plan montre une croissance très régulière de la minéralisation de Moudon à Corcelles (env. 10 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}/\text{km}$). La raison de ce phénomène doit être de deux ordres :

- Les nappes quaternaires de la plaine sont alimentées, en plus des précipitations à leur surface, par l'infiltration de ruisseaux descendant les versants et par la vidange souterraine d'une multitude de sources à la bordure des alluvions. Or, la minéralisation des eaux liées à la molasse marine est légèrement inférieure à celle de la molasse d'eau douce. Ce phénomène est particulièrement bien visible sur une carte d'équirésistivité des eaux de sources tracée à partir des mesures du cadastre cantonal vaudois. On y remarque que la résistivité des eaux de sources des versants est en moyenne de :

$$\rho \approx 14 \Omega \cdot \text{m} \text{ à } 25^{\circ}\text{C} \text{ pour l'Aquitaniens } (\sigma = 714 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$$

$$\rho \approx 17 \Omega \cdot \text{m} \text{ à } 25^{\circ}\text{C} \text{ pour le Burdigalien } (\sigma = 588 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$$

Ces valeurs sont dans un rapport de 82%. Le rapport des conductivités dans la nappe alluviale étant d'environ 70%, la cause invoquée ici n'est pas suffisante à elle seule pour expliquer cette variation.

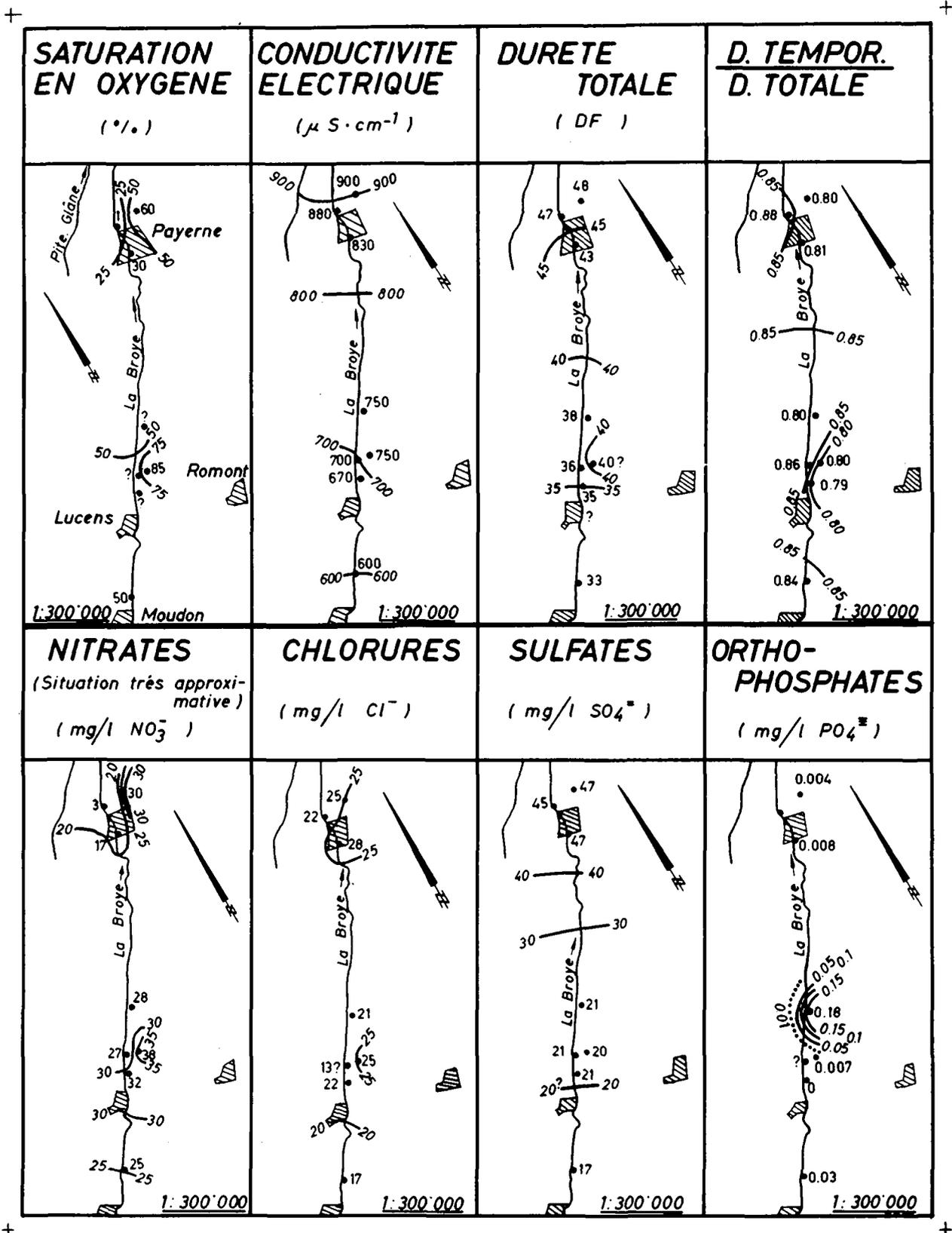


Figure 57 : Variation régionale du chimisme des eaux souterraines entre Moudon et Corcelles. Plan dessiné sur la base des analyses du laboratoire cantonal vaudois (annexe II).

- Il faut chercher peut-être une deuxième cause dans la teneur en CO_2 des sols. La région de Payerne est le siège d'une activité végétale légèrement supérieure à celle de Moudon-Lucens. L'altitude est en effet un peu plus basse et l'ensoleillement meilleur. Il doit en résulter une augmentation de la quantité de gaz carbonique dans le sol qui se traduit par une agressivité plus importante à l'entrée de l'eau dans la roche mère. Or, la masse de carbonate contenue dans le squelette des nappes alluviales est en excès par rapport à la capacité de dissolution de l'eau. A la suite d'un certain cheminement des eaux d'infiltration, elles s'équilibrent pratiquement en se chargeant en carbonate. Ce phénomène est particulièrement bien visible dans les zones aquifères à squelette carbonaté recouvert de tourbe. C'est le cas notamment de la Basse-Broye où la dureté totale peut dépasser 50 DF.

3) DURETE TOTALE (Fig. 57)

L'examen des fluctuations dans le temps de la dureté totale ne montre pas d'augmentation aussi nette que celle de la conductivité. La raison en est probablement la suivante. Face à l'augmentation de la concentration en sels d'acides forts tels que les chlorures et les sulfates, la détermination de ce type de minéralisation par la conductivité électrique est beaucoup plus sensible que par la mesure de la dureté.

Les variations en plan des valeurs moyennes indiquent également la croissance de la dureté totale vers l'aval, avec cette fois une anomalie dans le cône de Treize-Cantons. Le puits de la Caséine, non reporté dans cette étude comparative, doit également montrer des valeurs légèrement supérieures au champ présenté sur la figure (voir registre p. 15).

4) DURETE TEMPORAIRE/DURETE TOTALE (fig. 57)

Si l'augmentation de la minéralisation dans le temps n'était due qu'à l'apport des fertilisants, on devrait s'attendre à une diminution de la proportion des deux duretés. En effet, ces derniers n'influencent théoriquement que la dureté permanente (nitrates, phosphates, sulfates, etc...). Or,

une telle diminution n'est pas discernable. Si ce paramètre s'est révélé utile à maintes reprises pour déterminer rapidement différents types d'eau, il est en revanche trop peu sensible pour l'analyse de fines variations dans des eaux très semblables.

Le report en plan des valeurs moyennes montre que ce paramètre varie de 0,79 à 0,88. Les résultats les moins élevés se trouvent à Payerne et entre Lucens et Treize-Cantons. On pourrait escompter une bonne corrélation entre cette carte et celle des anions provenant des fertilisants. En réalité, ce n'est le cas que pour les nitrates où leur forte concentration coïncide avec les basses valeurs du rapport des duretés.

5. OXYDABILITE

Dans la majorité des puits, les variations de l'oxydabilité sont de haute fréquence. Elles obéissent surtout aux fluctuations de la météorologie et du niveau de la nappe. Elles entrent à l'intérieur d'une fourchette allant de 1 à 4 mg/l de KMnO_4 . Aucun effet à long terme n'est visible excepté au puits de la Varna à Corcelles qui marque une descente régulière de la quantité de matière organique.

Les variations dans le plan sont peu significatives et n'ont pas été figurées ici.

6. NITRATES (fig. 57)

Dans pratiquement tous les cas où l'on possède des mesures sur de longues durées, l'élévation progressive des nitrates est visible. Elle se situe entre 0,5 et 2 mg/l par année. Cette croissance dominante due à l'augmentation des fertilisants agricoles est affectée par de nombreuses variations de haute fréquence liées au brusque lessivage du sol durant les périodes d'intenses précipitations.

Pour le calcul des valeurs moyennes à reporter dans le plan, nous avons dû nous limiter aux cinq dernières années

à cause de la grande variation dans le temps. La carte obtenue montre une croissance de Moudon jusqu'au centre de la Broye moyenne à laquelle succède une diminution en direction de Payerne. Le puits de Corcelles marque enfin une nouvelle hausse. Les valeurs très basses du puits de Vuaz-Vauchy, au nord de Payerne, proviennent d'une disparition de la majeure partie des nitrates par réduction en nitrites et ammoniaque.

La variation spatiale des nitrates est la seule qui explique le champ des valeurs du rapport dureté temporaire/dureté totale.

7) CHLORURES (fig. 57)

A l'exception du puits du Clos à Georges (E7), tous les captages régulièrement contrôlés indiquent une croissance de la teneur en chlorures. Elle est toutefois limitée à quelque 0,5 mg/l par année en moyenne. La cause de cette augmentation peut être due soit à un engraissement organique intense (purin, fumier), soit à un effet à long terme du salage des chaussées ou de l'usage des adoucisseurs d'eau dans le bassin versant. Dans l'état actuel des données, l'investigation ne peut pas être poussée plus avant.

La carte des valeurs moyennes montre dans les grandes lignes un accroissement des chlorures vers l'aval (17 à 25 mg/l). Une anomalie est présente dans le cône du ruisseau de Seigneux où la teneur atteint 25 mg/l. La nappe sous la partie sud de la ville de Payerne est aussi fortement chlorurée (28 mg/l).

8) SULFATES (fig. 57)

Comme les nitrates et les chlorures, les sulfates sont l'objet d'une augmentation au cours du temps. Elle est en moyenne de 1 mg/l par année. Son origine est à chercher principalement dans l'utilisation des engrais.

La carte de la variation spatiale des sulfates en solution dans les eaux souterraines montre une croissance assez régulière de l'amont vers l'aval sans qu'aucun point d'eau ne contredise ce modèle. Dans son ensemble, cette augmentation

est importante puisque la teneur passe de 17 à 47 mg/l.

9) ORTHOPHOSPHATES (fig. 57)

L'analyse des variations dans le temps des phosphates n'est pas envisageable ici en raison du manque de données anciennes. En revanche, les quelques valeurs récentes permettent une esquisse de leur répartition spatiale. La carte de la figure 57 indique que la totalité des nappes quaternaires du bassin ne contient que de très faibles concentrations qui sont proches de la limite de sensibilité des analyses. Une seule exception est constituée par la nappe du cône du Ruisseau de Seigneux où des valeurs proches de 0,2 mg/l ont été analysées (voir D9).

En résumé, on constate une augmentation à long terme des anions provenant des fertilisants (NO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^-). Il s'ensuit un accroissement sensible de la minéralisation des eaux. Cet accroissement dans le temps se conjugue à celui qui caractérise la variation régionale de ces mêmes paramètres, de l'amont vers l'aval. Dans ce cas, des raisons géologiques (minéralisation des sources des sous-bassins) entrent également en jeu.

La station de Lucens est incluse dans le nouveau réseau hydrogéologique mis en place au GEOLEP et les nombreuses analyses régulières qui y seront pratiquées permettront de mieux approcher les variations des principaux composés de l'eau souterraine en comparaison avec divers types d'aquifères de Suisse romande.

ESSAI DE SYNTHÈSE SUR LES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN

Après avoir étudié et présenté en détail les caractéristiques hydrogéologiques de chaque tronçon de nappe ainsi que les captages principaux, nous essayons maintenant de tirer une synthèse de la capacité actuelle d'exploitation des eaux potables. Nous verrons ensuite les possibilités globales d'aménagement envisageables à court et à long terme, ainsi que les principes de leur réalisation.

Etat actuel

RESSOURCES EXPLOITABLES SUR LE PLAN ADMINISTRATIF

Les services administratifs cantonaux attribuent aux propriétaires de captages une concession d'utilisation des eaux du domaine public ($Q > 300$ l/mn) sur la base de leurs besoins et des capacités de la nappe. Ils fixent ainsi un débit d'exploitation théorique correspondant généralement à une valeur légèrement inférieure au débit maximal tiré lors d'un essai de pompage de longue durée.

Il est intéressant de calculer la somme des débits de concession en tant qu'ordre de grandeur de ce qu'il est permis d'exploiter aujourd'hui des nappes du bassin (Tableau 16). Nous ne prenons en compte ainsi que les captages importants, soit ceux implantés dans les nappes quaternaires. Les sources à débit connu, légèrement inférieur à 300 l/mn, mais associées au sillon graveleux d'Henniez, sont également retenues. En revanche, les ouvrages d'essais ne sont pas comptabilisés. Les eaux nécessitant un traitement pour devenir potables sont également écartées.

La ressource totale disponible en théorie aujourd'hui dépasse 20'000 l/mn. Les deux principaux centres d'approvisionnement (Moudon et Corcelles) constituent à eux seuls plus de la moitié de cette somme.

Ce calcul ne tient pas compte de l'apport des sources molassiques des versants du bassin, apport important malgré le faible débit propre à chaque captage.

Tableau 16 : Tablelle des débits théoriques des principaux captages dans les nappes quaternaires du bassin.

N° registre	Nom	Commune	Q (l/mn)
PV 552-158-1	Puits des Bures	Oron	450
PV 551-169-1	Puits Gisling	Moudon	150
PV 552-169-1	Puits Mayor	Moudon	450
PR 552-170-1	Nouveau puits de Plan	Moudon	5000
PV 552-170-3	Anciens puits de Plan	Moudon	700
PV 554-173-1	Puits de la Caséine	Lucens	1050
PR 555-174-3	Puits des Grands Champs	Lucens	1800
PV 556-174-1	Puits de la Taillaz	Seigneux	300
PR 555-175-1	Puits des Arzils	Villeneuve	500
CG 558-176-1-2-3	Sources minérales+commune	Henniez	400
P 557-177-1	Puits du Clos à Georges	Henniez	220
CG 559-178-1-2	Galleries du Devin	Marnand	350
CG 560-179-1-2	Galleries du R. de Trey	Trey	180
PV 560-181-1	Puits Gerber	Trey	140
PV 558-183-2-3	Puits de Granges des Bois	Cugy	240
PV 561-185-2	Puits Nestlé	Payerne	1500
PV 564-185-1	Puits de Cousset	Montagny	270
PV 561-186-1	Puits de Vuaz Vauchy	Payerne	1800
PR 562-187-1	Puits de la Verna	Corcelles-P.	6000
PV 568-192-1	Puits Schaltegger	Avenches	200
Total			21700

RESSOURCES REELLEMENT EXPLOITEES

Les ressources chiffrées au tableau 16 ne correspondent pas au débit moyen réellement exploité. Généralement, les puits de pompage ne sont utilisés que comme complément à l'adduction des sources. En période sèche, quelques ouvrages fonctionnent avec un débit proche de celui de la concession. La consommation annuelle moyenne est par contre bien plus réduite. Les pompes marchent par intermittences selon le niveau des réservoirs de distribution. Le cas du grand puits de Lucens est très illustratif à cet égard. Alors que son débit de concession est proche de 2000 l/mn, le débit moyen annuel n'est que de 500 l/mn, soit environ le 28%. Ce rapport tombe à 22% dans le cas du puits communal de Moudon et à 17% à Corcelles.

Sur la base des proportions calculées dans ces trois puits principaux, on peut estimer que sur les 22'000 l/mn théoriquement exploités, seuls 5000 à 8000 l/mn le sont réellement durant l'année. En outre, la consommation durant les mois d'été ne devrait pas dépasser 15'000 l/mn.

Force est donc de constater que dans l'ensemble du bassin, les ressources "construites" sont encore assez élevées, même pour couvrir la consommation de pointe.

Les eaux de surface du bassin ne sont pratiquement pas utilisées comme eau potable.

Perspectives de développement futur

La totalité des volumes actuellement exploités concernent uniquement des ressources en eau renouvelées. Par conséquent, dans l'optique d'une stabilisation de la consommation d'eau potable, les travaux des années futures se limiteraient à une reconstruction périodique des captages à la suite de phénomènes de vieillissement (colmatage, corrosion, etc...). Les nouveaux ouvrages pourraient être implantés au voisinage direct des anciens, sans grand problème. Toutefois, ceux qui sont particulièrement exposés à des pollutions potentielles, seront reconstruits dans un environnement plus compatible avec les

nouvelles prescriptions de la protection des eaux. Dans ces cas, une prospection hydrogéologique complète sera nécessaire.

Les prévisions sur la consommation d'eau demeurent hautement imprécises. Ce paramètre est directement lié à la conjoncture économique et l'expérience récente a montré à quel point la réalité a déjoué les pronostics faits dans ce domaine.

Quoi qu'il en soit, la consommation est actuellement en légère augmentation, en raison notamment des industries (p. ex. Lucens). Il est donc nécessaire d'étudier le cas d'une croissance des besoins même si l'hypothèse retenue ne se réalise pas ou que partiellement.

Dans cette optique, nous retenons deux phases :

- développement à court terme : augmentation d'environ 30% des besoins (échéance probable : 10 à 30 ans)
- développement à long terme : augmentation de plus de 30% des besoins.

CALCUL DES RESERVES

Avant d'envisager les aménagements à prévoir durant ces époques futures, il est nécessaire de calculer un certain nombre de paramètres globaux qui nous donneront une meilleure idée des quantités d'eau souterraine présentes. Ce seront successivement :

- Les réserves permanentes
- Les réserves régulatrices ou ressources régularisées
- La capacité d'emmagasinement.

Les deux premiers facteurs portent uniquement sur la nappe du Quaternaire stratifié, tandis que le dernier concerne le bassin versant total fermé à la station hydrométrique de Payerne.

Réserves permanentes

Par définition, les réserves permanentes d'une nappe libre correspondent au volume de l'eau gravifique contenue entre le plancher imperméable et la surface piézométrique en condition d'étiage.

Son calcul consiste à déterminer le volume de la nappe du Quaternaire stratifié. Ensuite, ce nombre est à multiplier par la porosité efficace de la nappe. Cette opération est menée tronçon par tronçon afin de tenir compte au mieux de la granulométrie du terrain aquifère.

La superficie mesurée est celle qui est comprise à l'intérieur du figuré "limite de nappe" de la carte hydrogéologique. L'épaisseur moyenne est évaluée sur la base du champ des épaisseurs figurées sur la carte et sur les profils hydrogéologiques. Cette détermination, qui se rapporte à la masse totale de terrains quaternaires stratifiés aquifères, est affectée d'une incertitude non négligeable.

La porosité efficace est choisie d'après les données usuelles mesurées en laboratoire. La valeur moyenne retenue pour chaque tronçon intègre les variations en plan et en profondeur de la granulométrie. C'est pour cette raison que la porosité retenue dans la Broye moyenne et la Basse-Broye est très faible (0,05) pour tenir compte de la prédominance des volumes des terrains limoneux sur ceux des alluvions grossières (tableau 17).

Le total obtenu, environ 300 millions de m³, représente une masse d'eau considérable. Pour comprendre la signification de ce nombre, on peut imaginer que si toute réalimentation était supprimée, on pourrait théoriquement poursuivre le régime actuel de pompage durant 100 ans avant d'atteindre l'assèchement du réservoir.

En réalité, cette masse d'eau n'est que très partiellement exploitable pour des raisons techniques. Seule sa frange supérieure peut être entamée temporairement dans le but de diminuer l'afflux d'eau souterraine à la rivière.

Tableau 17 : Calcul des réserves permanentes des terrains aquifères du Quaternaire stratifié.

Tronçon	S (km ²)	h _{moy} (m)	V (10 ⁶ .m ³)	m _e (%)	V _w (10 ⁶ .m ³)	r (%)
Palézieux-Oron	2,43	3	7,3	5	0,4	0,1
Châtillens	0,48	5	2,4	10	0,2	0,1
Ecublens	2,06	4	8,2	10	0,8	0,3
Total Haute-Broye	4,97		17,9		1,4	0,5
Broye moyenne (Bressonnaz + Stat.Broye Payerne)	25,97	50	1298,5	5	64,9	23,2
Sillon d'Henniez, d'Henniez à Marnand	0,66	12	7,9	15	1,2	0,4
Sillon d'Henniez de Marnand à les Mottes (Trey)	2,53	5	12,6	15	1,9	0,7
Vers chez Perrin	0,26	3	0,8	15	0,1	0
Plateau de Baussanne (Granges - Sassel)	0,97	2	1,9	10	0,2	0,1
Ménières - Granges	0,27	2	0,5	15	0,1	0
Plateau de Granges des Bois	0,63	5	3,2	10	0,3	0,1
Total Broye moyenne	31,3		1325		68,7	24,6
Basse-Broye (de la station Broye au lac de Morat)	52,42	80	4193,6	5	209,7	74,9
TOTAL	88,68	62,44	5537	5,05%	279,8	100

S = superficie du tronçon
h_{moy} = épaisseur moyenne de la nappe sur le tronçon
V = volume de la nappe par tronçon
m_e = porosité efficace
V_w = volume de l'eau contenue dans la nappe
r = rapport des V_w de chaque tronçon sur le volume V_w total

Réserves régulatrices ou ressources régularisées

Les réserves régulatrices sont déterminées par le volume d'eau apporté à la nappe par les différents processus de l'alimentation des eaux souterraines. Cette recharge suit un cycle annuel qui permet de fixer un état d'étiage minimum et un état de crue maximum. Ce volume est souvent exprimé par unité de temps auquel cas il correspond aux ressources en eau régularisées.

Dans le cas de la nappe du Quaternaire stratifié, les don-

nées de base sont les limnigrammes de nos trois stations enregistreuses Moudon L1, Lucens L2 et Fétigny L3 (tableau 18).

Tableau 18 : Ecart (m) entre les niveaux extrêmes lors des recharges saisonnières

Cycle de recharge →	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	Moyenne
MOUDON L1	1,10	0,80	2,00	1,40	2,25	1,51
LUCENS L2	0,55	0,85	2,10	1,10	1,60	1,24
FETIGNY L3	~0,90	0,80	1,80	1,65	1,90	1,41

La moyenne des 3 stations sur la période 1974-1979 est de $\Delta h = 1,4$ m, soit une lame d'eau $\Delta h_w = 280$ mm avec une porosité efficace $m_e = 0,2$ (32% des précipitations moyennes 1975-1979).

La généralisation de cette recharge sur les nappes quaternaires du bassin donne les volumes d'eau souterraine figurant au tableau 19.

Tableau 19 : Réserves régulatrices et ressources régularisées sur la base des états piézométriques maxima et minima (cycles de recharge 1974-1975, 1975-1976, 1976-1977, 1977-1978 et 1978-1979).

Hauteur moyenne de la recharge : $\Delta h = 1,4$ m $m_e = 0,20$							
Tronçon (uniquement nappe du Quaternaire stratifié)	S (km ²)	ΔV (10 ⁶ m ³)	Q (l/mn)	V_p (10 ⁶ m ³)	Q_p (l/mn)	V_t (10 ⁶ m ³)	Q_t (l/mn)
Haute-Broye et Broye moyenne → station hydrométrique Broye Payerne	36,3	10,2	19'000	2,6	5'000	12,8	24'000
Nappe entière de Palézieux au Lac de Morat	88,7	24,8	47'000	3,2	6'000	28,0	53'000

S = surface du tronçon
 ΔV = réserve régulatrice par cycle annuel de recharge (sans le débit exploité Q_p)
 Q = débit permanent annuel correspondant à ΔV
 V_p = volume annuel moyen exploité à débit moyen Q_p
 V_t = réserve régulatrice totale par cycle annuel de recharge (Q_t : débit annuel correspondant)

Les ordres de grandeur obtenus sont certainement très inférieurs aux apports réels à la nappe. En effet, la méthode de calcul classique utilisée contient deux prémisses simplificatrices :

- 1) La vidange de la nappe pendant la période de recharge est nulle
- 2) Les apports correspondant à d'autres phases d'infiltration que celle qui a entraîné le niveau maximal ne sont pas pris en compte.

Pour que de telles conditions soient valables, il est nécessaire d'être en présence d'un régime à deux saisons bien tranchées avec une période pluvieuse intense unique et de courte durée. Or, cette situation théorique est bien différente du régime des pluies de la Broye. On peut donc être certain que l'application de ce calcul tend à sous-estimer notablement les apports à la nappe.

Dans le but de déterminer d'une manière plus réaliste l'alimentation des eaux souterraines, nous proposons la méthode suivante : on calcule pour une période considérée (p. ex. une année) la somme des accroissements de la nappe lus sur le limnigramme. Cette méthode offre l'avantage de prendre en compte tous les événements de recharge de l'aquifère dont l'intensité est suffisante pour inverser la pente du diagramme. Ces recharges étant de courte durée, la perte par écoulement durant la montée de la courbe est négligeable.

Ce calcul a été appliqué à nos trois stations de référence pour les années civiles enregistrées (Tableau 20).

Ces résultats appellent un certain nombre de commentaires. On remarque tout d'abord que les lames d'eau infiltrées sont nettement plus importantes que celles déterminées par la méthode classique. D'une manière générale, elles correspondent mieux à la capacité d'infiltration des terrains alluviaux. Cependant, les résultats de la station Fétigny montrent bien que l'infiltration des pluies n'est pas le seul facteur en cause. En effet, un relèvement des niveaux de base, celui de la rivière, peut entraîner à lui seul un rehaussement de la nappe. Cette situation se produit lorsque la Broye réaligne temporairement les eaux souterraines, comme c'est le

Tableau 20 : Calcul de la somme des apports entraînant un rehaussement du limnigramme (programme LIMREP)

Station	Année civile	Δh (m)	Δh_w (mm)	SP	P_a (mm)	$\frac{\Delta h_w}{P_a}$
MOUDON L1	1975	2,88	576	PGL Lucens	866	0,67
	1976	3,04	608		661	0,92
	1977	5,09	1018		1157	0,88
	1978	3,39	678		883	0,77
	1979	4,27	854		877	0,97
LUCENS L2	1975	1,75	350	PGL Lucens	866	0,40
	1976	0,93	186		661	0,28
	1977	3,41	682		1157	0,59
	1978	1,46	292		883	0,33
	1979	2,37	474		877	0,54
FETIGNY L3	1975	4,11	822	Payerne-V.(ISM)	816	1,01
	1976	3,45	690		634	1,09
	1977	7,28	1456		1042	1,40
	1978	6,23	1246		842	1,48
	1979	7,25	1450		945	1,53

Δh : Σ des rehaussements de la nappe
 Δh_w : lame d'eau correspondante $\Delta h_w = \Delta h \cdot m_e$
 m_e : porosité efficace ($m_e = 0,20$)
 SP : Station pluviométrique de référence
 P_a : Précipitation annuelle à la station SP

cas dans le voisinage de la station L3.

On note en plus l'influence de la sensibilité de l'hydrogramme par suite d'une alimentation. Nous avons vu que les nappes de Moudon et Fétigny réagissent brusquement et intensément à l'infiltration des eaux. La décrue est également très rapide. Dans de tels cas, même les apports de faible volume sont inscrits sur le limnigramme par une ascendance et sont donc comptabilisés.

La station de Lucens (L2) réagit d'une façon beaucoup plus atténuée. Les variations piézométriques face à une infiltration sont de faible intensité. En revanche, l'eau est accumulée d'une manière plus durable. Il en résulte que des apports de faible volume ne se marquent pas par une ascension du niveau piézométrique et ne participent donc pas au calcul. Leur influence ne doit se traduire que par une rupture de la fonction de décrue en régime non alimenté.

Cette dernière remarque nous amène à concevoir une méthode de calcul encore plus élaborée qui permet de tenir compte d'une alimentation même lorsque celle-ci n'entraîne pas de remontée piézométrique. Son principe est le suivant :

- a) On établit une fonction de décrue moyenne du niveau piézométrique en régime non alimenté sur la base de longues périodes sans précipitations.
- b) Par cette fonction, on peut connaître à partir d'un niveau à un instant donné t_0 le niveau théorique à un instant t_1 si aucune alimentation n'était intervenue entre t_0 et t_1 .
- c) Si le niveau réel est supérieur au niveau théorique, la différence correspond à un apport par infiltration.
- d) Les apports totaux correspondent à la somme des écarts déterminés à chaque pas du calcul multipliés par la porosité efficace de l'aquifère.

Si la réalisation d'un tel calcul est aisée grâce aux limnigrammes digitalisés, le choix de la fonction de décrue qui caractérise le tarissement de la nappe à chaque station est plus difficile. Cette détermination a été réalisée de la manière suivante :

- 1) Une cote z_0 , légèrement inférieure au minimum de z , a été choisie arbitrairement pour chaque station (tableau 21).
- 2) Les limnigrammes $z-z_0$ ont été tracés en papier monologique. Ainsi, les décrues de forme exponentielle se transforment en droite sur lesquelles la mesure de l'exposant α de la fonction est aisée.

On remarque sur les diagrammes obtenus (fig.58) que les décrues sont en général rectilignes, sauf pour le début de l'abaissement aux stations L1 et L3; ces situations particulières ne sont pas prises en compte pour la mesure de α , l'imprécision qui en résulte ne portant que sur de courtes durées.

On constate en outre que la pente de la décrue peut varier selon la saison considérée. A Lucens et Moudon, les forts pompages estivaux accélèrent l'abaissement du niveau. A ces deux stations, nous avons choisi α sur la base de la moyenne d'une valeur estivale et d'une valeur automnale. Celle de l'été a été pondérée sur 3 mois (forts pompages), l'autre sur 9 mois (tableau 21).

Dans le cas de la station Fétigny, on note une très nette diminution de α lorsque le niveau de départ est bas, sans qu'une relation univoque n'existe. Les crues de la nappe étant particulièrement temporaires, nous n'avons retenu que les deux valeurs les plus basses (été 1976 et automne 1978); comme cet aquifère n'est pas soumis aux pompages de l'été, la simple moyenne arithmétique a été choisie.

Le calcul des apports à la nappe est obtenu par la somme annuelle des écarts entre la cote réelle et la cote théorique multipliée par une porosité efficace $m_e = 0,2$, et ceci pour chaque point digitalisé (plusieurs centaines de points par année). Lorsque la cote réelle est inférieure à la cote calculée, l'écart est posé égal à zéro. A titre d'exemple, la fig. 59 représente la courbe cumulée des apports de 1975 à Lucens selon les deux méthodes de calcul (LIMRES et LIMREP).

On obtient ainsi une valeur de la recharge annuelle de la nappe pour chacune des 5 années aux 3 stations (tableau 21 et fig. 60).

Tableau 21 : Calcul des apports à la nappe par l'étude du tarissement (progr. LIMRES) et comparaison avec les résultats obtenus sans tarissement (progr. LIMREP).

Porosité efficace me = 0,2		Moudon L1	Lucens L2	Fétigny L3
LIMRES (m)	1975	0,732	0,551	0,887
	6	0,740	0,308	0,759
	7	1,222	0,954	1,538
	8	0,848	0,527	1,325
	9	1,021	0,661	1,533
	moyenne	0,779	0,600	1,208
	Ec.type	0,435	0,235	0,365
LIMRES LIMREP	1975	1,27	1,57	1,08
	6	1,22	1,66	1,10
	7	1,20	1,40	1,06
	8	1,25	1,80	1,06
	9	1,20	1,39	1,06
LIMRES Pa	1975	0,85	0,62	1,09
	6	1,12	0,47	1,20
	7	1,06	0,82	1,48
	8	0,96	0,60	1,57
	9	1,16	0,75	1,62
z ₀ (msm)		494,00	476,50	446,50
α		0,0039	0,0032	0,0026
LIMRES : tarissement exponentiel		Equation des décrues		
LIMREP : tarissement nul voir				
P _a : précipitation annuelle tabl.		$z_{i+1} - z_0 = (z_i - z_0)e^{-\alpha(t_{i+1} - t_i)}$ t en jours		

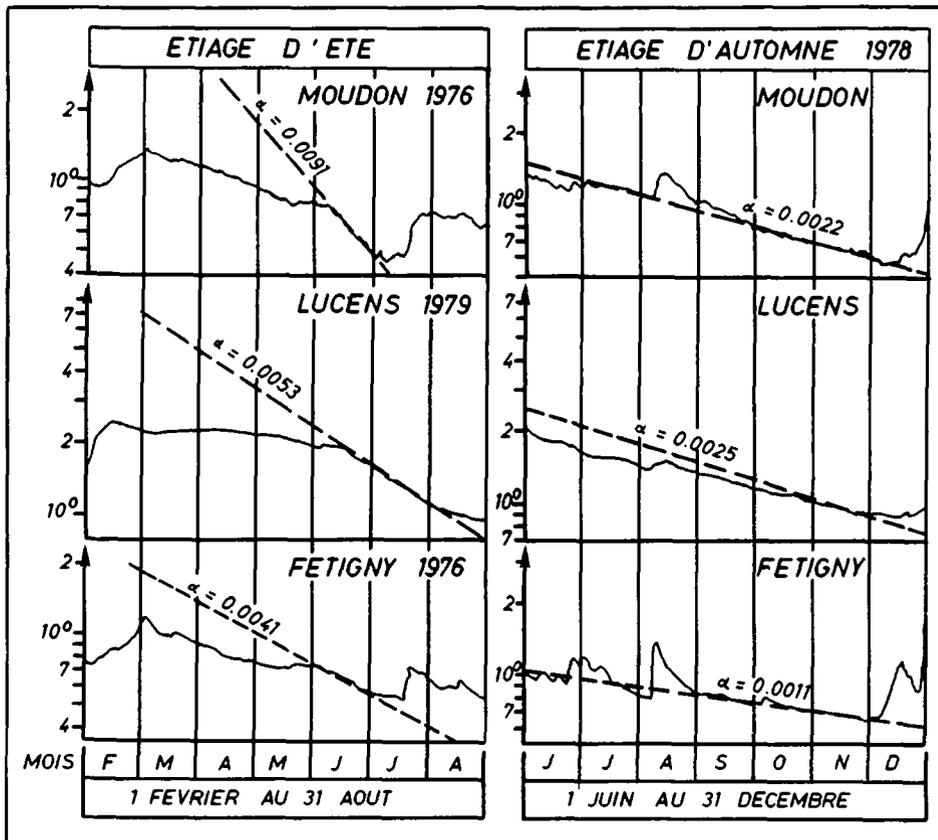


Figure 58 : Coefficients α de décrue exponentielle déterminés sur les limnigrammes $z - z_0$ tracés en papier mono-logarithmique.

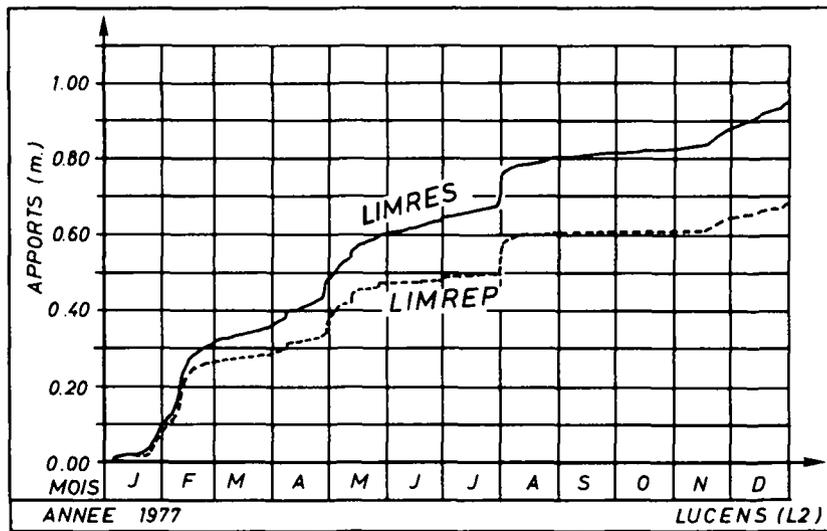


Figure 59 : Calcul des apports à la nappe de Lucens en 1977 selon les méthodes LIMRES et LIMREP.

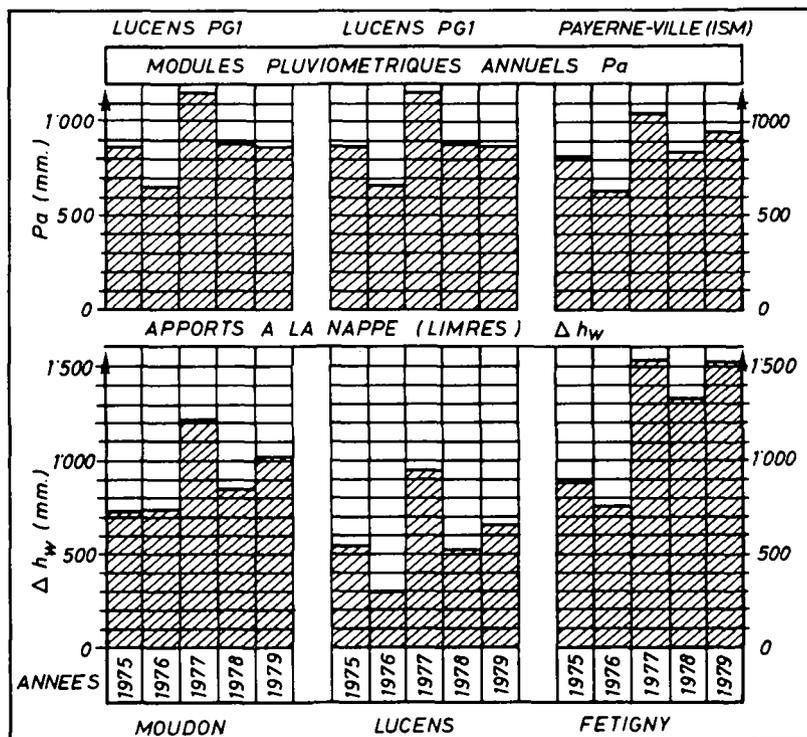


Figure 60 : Apports à la nappe alluviale aux 3 stations GEOLEP de 1975 à 1979 selon la méthode de calcul LIMRES. Comparaison avec les précipitations.

L'examen de ces résultats permet de faire un certain nombre de remarques :

- L'accroissement des apports à la nappe entre le système du tarissement (LIMRES) et celui du simple rehaussement du limnigramme (LIMREP) n'est pas homogène sur les différentes stations (tableau 21). Il est très faible à Fétigny (6 à 10%), plus élevé à Moudon (20-27%) et important à Lucens (39 à 80%). Ceci correspond bien au but fixé par cette nouvelle méthode de calcul et aux remarques faites sur les comportements des différentes stations. Les variations dans le temps de ces écarts sont faibles dans les cas où le nouveau calcul ne diffère pas trop du résultat antérieur (Moudon et Fétigny). Il est nettement plus élevé à Lucens sans qu'on puisse noter une relation avec le volume des précipitations.
- L'ordre de grandeur des apports à la nappe de Moudon devient en règle générale supérieur à celui des précipitations. Ce fait n'est nullement étonnant si l'on songe à l'alimentation latérale de la nappe par l'infiltration des ruisseaux. En outre, les valeurs de Lucens deviennent plus réalistes pour une nappe alluviale proche de la surface.

C'est donc les résultats du calcul par les courbes de tarissement que nous retenons pour l'évaluation finale des réserves renouvelables. Comme nous l'avons fait avec la notion classique des ressources (tableau 20), nous pouvons, en première approximation, généraliser la moyenne des différentes stations à l'ensemble des nappes du Quaternaire stratifié, soit 0,862 m pour la période 1975-1979 (tableau 22).

La ressource de 150'000 l/mn dont 65'000 l/mn en amont de Payerne est environ 3 fois supérieure à celle qui a été obtenue par la méthode classique (tableau 20) et 15 fois plus élevée que la ressource actuellement exploitée.

Cet écart s'explique par les notions différentes que caractérisent les résultats de chacune des méthodes de calcul :

Tableau 22 : Calcul des ressources annuelles moyennes de la nappe du Quaternaire stratifié par la méthode du tarissement (LIMRES).

Tronçon	S km ²	ΔV 10 ⁶ m ³	Q l/mn	V _t 10 ⁶ m ³	Q _p l/mn	V _p 10 ⁶ m ³	Q _t l/mn
Haute-Broye et Broye moyenne → Station Payerne	36,3	31,3	60000	2,6	5000	33,9	65000
Nappe entière de Palézieux au Lac de Morat	88,7	76,5	145000	3,2	6000	79,7	151000
$\Delta h_w = 0,862$ m Légende : voir tableau 20							

- 1) Par la méthode du tarissement, on tient compte de tous les apports à la nappe, y compris ceux qui se résolvent rapidement dans la vidange de l'aquifère. Cette quantité totale serait théoriquement exploitable si les pertes à la rivière et au Lac de Morat étaient supprimées. En réalité, une partie importante de cette alimentation sort du réservoir naturel avant qu'elle ait pu être captée. C'est le cas surtout en période de faible exploitation des eaux souterraines.
- 2) Par la méthode de la différence de volume entre les niveaux maxima et minima annuels, on obtient une valeur très éloignée des apports réels à la nappe. Toutefois, elle correspond mieux au débit exploitable avec un régime de pompage à grosses variations saisonnières.

Il faut donc souligner que, dans le concept d'un régime d'exploitation à fort pompage estival et d'une gestion classique des réserves, la ressource totale de la nappe du Quaternaire stratifié est d'environ 50'000 l/mn, soit 9 fois supérieure à la consommation actuelle. Par un système de gestion augmentant la capacité d'accumulation d'eau dans la nappe (voir p. 361), cette ressource pourrait être considérablement augmentée et s'approcher de la valeur théorique de la somme des apports. Une extension au-delà de cette limite pourrait être obtenue grâce à des installations de réalimentation artificielle.

Capacité d'emmagasinement

Dans le cas d'une rivière, la forme des hydrogrammes lors du tarissement du débit de base est souvent semblable à celle d'un réservoir muni d'un orifice. A un instant donné t_0 , on peut calculer le volume du contenu par l'équation

$$V_0 = \int_{t_0}^{\infty} Q_t \cdot dt$$

Lorsque la fonction liant le débit au temps est une exponentielle inverse de la forme

$$Q_t / Q_0 = e^{-\alpha t}$$

l'intégrale définie est très simplement

$$V_0 = Q_0 \cdot (-\alpha^{-1}) \cdot \left[\frac{1}{e^{\alpha t}} \right]_0^{\infty} = -\frac{Q_0}{\alpha} \cdot 0 - \left(-\frac{Q_0}{\alpha} \cdot 1 \right) = \frac{Q_0}{\alpha}$$

avec V_0 = capacité d'emmagasinement au temps t_0

Q_0 = débit au temps t_0

α = coefficient de tarissement

Nous avons vérifié (p. 46) que le débit de base de la Broye à la station de Payerne obéit bien à une telle loi :

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-0,026 \cdot t} \quad \text{avec } t \text{ en jour}$$

Nous pouvons donc calculer la capacité d'emmagasinement du bassin fermé à Payerne pour différents états d'étiage de la Broye (tableau 23). Pour obtenir des volumes en m^3 sur la base de débits en m^3/s , le coefficient α est à diviser par le nombre de secondes contenues dans 1 jour, soit 86'400.

Des résultats du tableau 23, on peut déduire que la capacité d'emmagasinement varie, selon les débits de base extrêmes considérés, dans un domaine de 15 à 1,3 millions de m^3 . La première valeur correspond au débit mensuel minimum d'une année normale (fig. 11). La seconde est en relation avec un étiage tout à fait exceptionnel qui pourrait se produire une fois tous les 100 ans. Entre ces deux bornes, on peut retenir la valeur de 4 millions de m^3 qui se rapporte à un débit d'étiage annuel courant ($Q = 1,2 m^3/s$).

Tableau 23 : Capacité d'emmagasinement V du bassin de la Broye fermé à Payerne en fonction de différents états d'étiage de la rivière.

A Selon les débits journaliers Q_j non dépassés le x % du temps (voir fig. 12)			B Selon les débits minima annuels Q_{min} de période de retour T (ajustement Gibrat p. 43)		
X (%)	Q_j (m^3/s)	V ($10^6 m^3$)	T (année)	Q_{min} (m^3/s)	V ($10^6 m^3$)
50	4,5	15,0	2	1,2	4,0
40	3,8	12,7	5	0,8	2,7
30	3,0	10,0	10	0,65	2,2
20	2,3	7,6	20	0,55	1,8
10	1,7	5,6	50	0,45	1,5
			100	0,4	1,3

La capacité d'emmagasinement représente théoriquement la quantité d'eau contenue dans l'ensemble des terrains aquifères du bassin et qui sont situés à une cote supérieure à la station hydrométrique de Payerne (440 m). La valeur de 4 millions de m^3 devrait donc correspondre à ce volume dans les conditions habituelles de l'étiage annuel des nappes souterraines.

Or, la partie théoriquement vidangeable à la station de Payerne correspond à une fraction des réserves calculées par la méthode directe (tableau 17). Dans le cas des nappes quaternaires de la Haute-Broye, leur volume d'eau peut se déverser entièrement dans la rivière, soit $1,4 \cdot 10^6 m^3$. En ce qui concerne celles de la Broye moyenne, seule leur partie supérieure est située au-dessus de la cote 440 m. Elle est représentée par une tranche de 15 m d'épaisseur en moyenne sur la superficie de la nappe, c'est-à-dire $390 \cdot 10^6 m^3$ de nappe ou $19,5 \cdot 10^6 m^3$ d'eau avec une porosité efficace de 5%. Nous obtenons donc un volume total d'environ $25 \cdot 10^6 m^3$ d'eau.

Ce dernier résultat est plus de huit fois supérieur à la capacité d'emmagasinement calculée par la courbe de tarissement qui, de plus, porte sur le bassin entier. Il faut chercher dans les faits suivants la raison d'une telle différence :

- Une partie importante des réserves permanentes ne peut s'écouler que très difficilement dans la rivière. La présence de strates finement sableuses et limoneuses sous son lit entraîne un cloisonnement de certains horizons aquifères profonds qui ne participent pratiquement pas à l'écoulement de base de la Broye.
- La méthode de calcul de la capacité d'emmagasinement s'est montrée peu précise dans les nombreuses régions où elle a été appliquée.

Rapportée à l'aire totale du bassin fermé à Payerne, la capacité calculée représente une lame d'eau de 1 cm. Avec une porosité efficace de 5%, elle correspondrait à une nappe épaisse de 20 cm en moyenne. Une telle grandeur ne saurait correspondre à la capacité d'emmagasinement réelle des terrains.

PARTIE EXPLOITABLE DES RESSOURCES ET DES RESERVES

La consommation des ressources de la nappe du Quaternaire stratifié est partagée entre les captages, le lac et la Broye. Il en résulte que le régime d'exploitation des puits influence directement les apports souterrains à la rivière.

Les ressources calculées se situant à une cote plus élevée que le tronçon de cours d'eau qui leur fait face, elles pourraient être, en théorie, entièrement attribuées au débit de base de la Broye si les prélèvements artificiels étaient supprimés. A l'opposé, si la vidange souterraine dans la rivière était inexistante, la convergence des filets de courant dans la nappe vers le centre de la plaine disparaîtrait au profit d'un écoulement parallèle aux versants.

Le facteur primordial qui règle la part des deux types de consommation est la cote relative des eaux souterraines par rapport au niveau de la rivière. Plus cette cote est basse, plus le rayon d'appel des captages et le flux d'alimentation sont importants. En conséquence, les pertes à la rivière vont en diminuant (voir fig. 31). Cette augmentation parvient à un point singulier lorsque la cote de la nappe est égale à celle des eaux de surface et que l'entier du flux souterrain est utilisé par les captages. Lorsque le phénomène se poursuit,

la rivière devient un point haut de la nappe et commence à perdre à son tour une partie de son eau dans le réservoir souterrain. Si la perméabilité des berges le permet, une infiltration totale peut intervenir. Cette dernière situation décrit le régime maximal théorique dans l'alimentation des eaux souterraines.

Le déroulement d'un tel processus n'a pas été réalisé dans la plaine de la Broye. En effet, la sollicitation de la nappe souterraine n'a jamais été assez intense pour abaisser son niveau au-dessous de la rivière sur une grande superficie. En réalité, l'exploitation des captages s'est toujours limitée à prélever une partie des apports à la Broye ou au lac, sans jamais les supprimer. Cette observation est confirmée par la comparaison entre les ressources calculées et celles qui sont effectivement utilisées. Ces pertes sont, pour la nappe alluviale entière, d'environ 140'000 l/mn ($2,4 \text{ m}^3/\text{s}$) si l'on considère les apports totaux. Pour les nappes du Quaternaire de la Haute et de la Moyenne Broye jusqu'à Payerne, elles se montent à 60'000 l/mn ou $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (voir tableau 22).

NOUVELLE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

A l'examen de ce qui précède, on peut concevoir une gestion nouvelle des eaux souterraines qui met à contribution non seulement le volume des réserves régularisées mais aussi une partie des réserves permanentes. Elle s'inspire de celle des lacs de retenue dans laquelle on exploite un "creux" dans les réserves, creux qui sera rempli lors des prochaines hautes eaux.

Dans le cas de nappes souterraines alluviales, le processus serait le suivant :

- 1) Exploitation estivale très intense impliquant un prélèvement aux réserves permanentes, avec ou sans réalimentation par la rivière (réalisation du "creux").
- 2) Première phase de reconstitution automnale rapide, sans perte à la rivière (comblement du "creux").

3) Seconde phase de reconstitution avec réapparition de l'écoulement au cours d'eau.

Une telle gestion offre l'avantage de concentrer le flux de la réalimentation vers la partie exploitable de la nappe au détriment des pertes à la rivière. Il en résulte une augmentation des apports et des ressources disponibles.

L'application de ce système d'exploitation nécessiterait plusieurs conditions. Parmi les plus importantes, citons :

- Captages en nombre suffisant pour créer l'abaissement général de la nappe sans surexploitation localisée
- Epuration soigneuse des eaux usées afin de conserver la qualité des eaux de la rivière.

Il est probable que l'exploitation de la partie supérieure des réserves permanentes s'accompagne, durant les premiers cycles, d'une augmentation de la minéralisation des eaux souterraines. Cet effet devrait aisément disparaître après quelques années.

DEVELOPPEMENT A COURT TERME

Dans l'optique d'un développement à court terme de l'exploitation des eaux, il faut considérer que seules les ressources souterraines entrent en ligne de compte. Un nouvel apport d'eau du Lac de Neuchâtel, voire de celui de Morat, n'est toutefois pas à exclure dans la Basse-Broye.

Les ressources souterraines à développer proviennent d'une part des sources non captées du plateau molassique et des versants, d'autre part de la plaine alluviale.

Aquifères des plateaux et des versants de la vallée

Les nombreuses sources que l'on rencontre sur les versants et les plateaux dominant la plaine constituent une ressource globale considérable. Seule une partie de ces eaux est actuellement utilisée. Cependant, leur grande dispersion rend leur captage coûteux lorsque l'on désire obtenir des débits importants. Anciennement, on saisissait

l'eau tantôt au moyen de galeries, tantôt par des tranchées ou des puits creusés à l'endroit de la source naturelle. Le rayon d'influence de ces ouvrages était souvent faible. Grâce aux méthodes modernes de forage, on peut construire aujourd'hui des systèmes captants qui peuvent rayonner loin au-delà de la zone d'émergence de la nappe. Une limitation importante dans le développement de ces ressources est la conservation d'un débit d'étiage raisonnable dans les ruisseaux. Une analyse détaillée doit être faite dans chaque projet.

Aquifère alluvial de la plaine

Nous avons vu qu'une partie importante des eaux de la nappe principale s'écoule directement à la rivière. Avec la gestion actuelle des eaux souterraines de la plaine, seule cette part pourrait être encore captée au moyen de puits filtrants ou de tranchées.

Dans la description hydrogéologique de détail, nous avons cité dans chaque tronçon les zones à développer selon ce principe. Une étude complète des interactions possibles avec les captages existants sera nécessaire.

DEVELOPPEMENT A LONG TERME

Nous distinguons dans les perspectives de développement à long terme les ressources en eau de surface et en eau souterraine.

Eaux de surface

Les eaux de surface comprennent celles du Lac de Morat et celles de la rivière. Les eaux captées au Lac de Neuchâtel et qui sont distribuées dans la Basse-Broye ne font pas partie des ressources autochtones.

Eaux du Lac de Morat

Le Lac de Morat constitue une réserve considérable d'eau douce (environ 500 millions de m³). Il est alimenté par les différents cours d'eau qui s'y jettent à raison d'un débit annuel moyen voisin de 12 m³/s. C'est donc une ressource pratiquement inépuisable. Malheureusement, la qualité

des eaux est fortement affectée par la matière organique qui s'y développe. L'usage massif des fertilisants dans ce bassin à vocation agricole en est la cause principale. Il en résulte une diminution importante de l'oxygène dissous et l'apparition de composés chimiques réduits. Le traitement à faire subir à ces eaux pour les rendre potables est particulièrement difficile.

Depuis quelques années, la ville de Morat étudie la possibilité d'utiliser les eaux du lac comme alimentation en eau potable (7000 l/mn). Elle a implanté une prise d'eau provisoire à une profondeur de 34 m sous la surface.

A la figure 61, nous avons reporté le résultat de deux analyses de l'eau brute et la composition après le traitement. Nous y avons joint, à titre de comparaison, la moyenne des 4 analyses faites en 1973 dans la Broye (voir fig. 62). La composition de l'eau souterraine de la nappe du cône du Chandon, proche du lac, a également été reportée; cette dernière ressource est demeurée inexploitée en raison de sa teneur limite en fer (voir p.286).

Etudions plus en détail les variations des paramètres physico-chimiques des eaux brutes et de l'eau traitée en les comparant avec ceux de la Broye et de la nappe du Chandon (fig. 61).

1) Turbidité :

La turbidité mesurée dans les deux échantillons de l'eau du lac est élevée. Elle est plus de 2 fois supérieure en automne 1978 qu'en été 1980. Grâce au traitement, elle disparaît presque totalement.

2) pH :

Les eaux du lac montrent des valeurs voisines comprises entre 7,5 et 8; le traitement entraîne une légère baisse du pH par l'utilisation du chlorure ferrique comme coagulant (production d'acide chlorhydrique). Elles se situent entre l'eau de la nappe qui est proche de la neutralité et celle de la rivière, nettement plus alcaline en raison de sa faible teneur en acide carbonique.

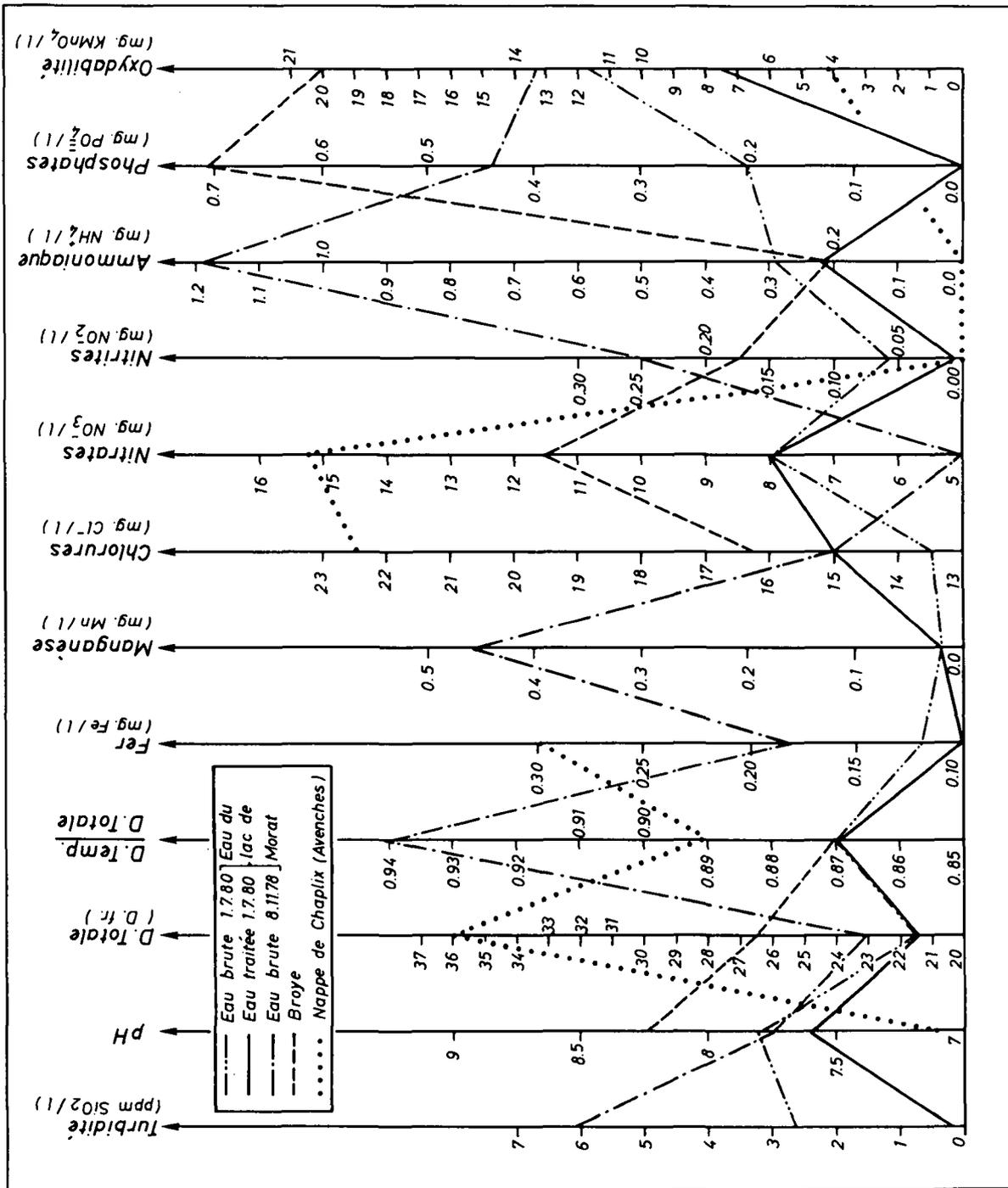


Figure 61 : Comparaison entre la composition des eaux du lac de Morat (avant et après traitement), de la Broye et de la nappe souterraine du cône du Chandon. D'après les analyses des laboratoires cantonaux fribourgeois et vaudois et de l'OFEH.

3) Dureté totale

Nous avons vu la nette diminution de la dureté de l'eau de la Broye par rapport à celle des nappes souterraines. Ce phénomène s'accroît encore avec les eaux du lac dont la dureté totale ne dépasse pas 25 DF. Ceci s'explique par le fait que les analyses exécutées dans la rivière correspondent à des débits modérés. Durant les fortes crues de la Broye, qui constituent une alimentation massive du lac, les sels dissous doivent fortement diminuer.

Le traitement des eaux du lac n'entraîne pas de modification de ce facteur.

4) Dureté temporaire/dureté totale

Exception faite de l'eau du lac pompée en automne 1978, qui montre une très faible dureté permanente, tous les échantillons convergent entre 0,87 et 0,89. Aucun changement n'intervient par le traitement.

5) Fer

L'eau brute du lac contient entre 0,1 et 0,2 mg/l de fer. Cette teneur est nettement supérieure à celle de la plupart des nappes souterraines du bassin. Elle est toutefois un peu plus basse que celle de la nappe du Chandon dont la teneur atteint la limite de tolérance pour une eau potable.

L'oxydation et la filtration par le traitement de l'eau du lac n'a permis qu'un léger abaissement du contenu en fer en 1980 alors qu'il avait pratiquement disparu en 1978.

6) Manganèse

La teneur en manganèse varie très fortement dans les deux échantillons d'eau brute du lac. La forte concentration analysée en 1978 (0,46 mg/l) disparaît totalement avec le traitement.

7) Chlorures

La teneur en chlorures est plus faible (15 mg/l) dans les eaux du lac que dans la Broye et dans la nappe du Chandon et ceci pour les mêmes raisons que celles invoquées pour la dureté totale. On ne constate pas d'augmentation entre 1978 et 1980.

Le traitement entraîne une légère croissance de ce facteur (12%) par l'usage de flocculants chlorurés.

8) Nitrates

La faible concentration en nitrates des eaux du lac par rapport à la rivière et aux nappes est explicable par deux phénomènes : d'une part la dilution résultant des fortes crues de la Broye, d'autre part une probable réduction bactérienne en nitrites puis en ammoniacque à l'intérieur du lac. On ne note pas de modification par le traitement.

9) Nitrites

Seule la nappe souterraine est dépourvue de nitrites. La concentration dans la rivière est comprise entre les deux résultats de l'eau brute du lac (0,05 à 0,25 mg/l). Ces valeurs élevées sont ramenées au voisinage de 0 grâce à une oxydation massive lors du traitement.

10) Ammoniacque

Là également, seule la nappe montre l'absence d'ammoniacque. L'eau brute du lac échantillonnée en 1980 est caractérisée par des valeurs déjà supérieures à celles de la Broye. L'analyse de 1978 a révélé des concentrations extrêmement élevées avec 1,2 mg/l qui confirment bien l'activité réductrice qui règne au sein du lac. Comme pour les nitrites, le traitement a comporté une oxydation suffisamment efficace pour supprimer ce défaut.

11) Phosphates

Grâce au processus de floculation, la charge importante en phosphates des eaux brutes du lac disparaît totalement lors du traitement.

12) Oxydabilité

Les valeurs d'oxydabilité des eaux brutes du lac sont élevées, bien qu'inférieures à celles de la rivière. Par le traitement correctif, on est arrivé à ramener par oxydation la charge en matière organique à des ordres de grandeur compris entre 7 et 8 mg KMnO_4 /l. Toutefois, ces résultats demeurent nettement plus élevés que les concentrations usuelles rencontrées dans les eaux souterraines.

En dehors des éléments analysés à la station d'essai de Morat, il serait intéressant de connaître la concentration de certains facteurs secondaires tels que les herbicides et les pesticides par exemple. De plus, la teneur en métaux lourds devrait être étudiée, lorsqu'on considère leur forte présence dans les sédiments de l'Eau Noire au sortir de la zone industrielle d'Avenches (VERNET 1976).

En résumé, l'utilisation du lac de Morat comme eau potable paraît possible grâce à un traitement intensif. La qualité de l'eau traitée est cependant inférieure à celle des eaux souterraines actuellement exploitées dans le bassin. Le développement futur de cette ressource de surface nécessitera une surveillance accrue de la composition chimique et biologique des eaux au cours du temps. Il plane en effet sur le devenir du Lac de Morat les mêmes incertitudes que sur les autres lacs en ce qui concerne les problèmes de l'augmentation des fertilisants, des chlorures et des métaux lourds.

La comparaison économique entre l'utilisation du Lac de Morat et celle des eaux souterraines qui sont actuellement inexploitées en raison de leur teneur en fer devra être faite en tenant compte du coût des traitements et de la qualité des eaux obtenues. Des progrès dans l'étude des doses maximales admissibles pour l'homme en ce qui concerne certaines substances dissoutes dans les eaux seraient souhaitables.

Eaux de la Broye

Une utilisation future de la Broye comme ressource en eau potable serait particulièrement difficile. Certes, le débit d'étiage reste important puisqu'il est en général supérieur à 40'000 l/mn à Payerne.

C'est plutôt la qualité de l'eau qui poserait de graves problèmes. Il faut distinguer ici les difficultés dues à la matière en suspension, à la composition chimique et au contenu bactériologique.

1) Matières en suspension

Au cours des nombreuses crues qui caractérisent le régime de la Broye, la rivière se charge d'une quantité importante de matières en suspension. Il s'agit surtout de

matière minérale : sables, limons et argiles. Le fonctionnement d'une station de traitement des eaux serait particulièrement difficile durant ces périodes.

2) Composition chimique

Quatre analyses ont été pratiquées à Payerne durant les différentes saisons de l'année 1973 par l'Office fédéral de l'économie hydraulique (OFEH). Leurs résultats principaux ont été reportés graphiquement à la figure 62

Nous procédons à un commentaire sur le comportement de chaque paramètre en fonction de la composition des eaux souterraines et sur les corrections à apporter par un traitement qui devrait rendre potable cette eau (voir aussi fig. 61).

a) Débit :

Les quatre prélèvements ont été faits dans des conditions d'écoulement modéré. Le débit a varié de 6 à 3 m³/s d'avril à décembre 1973. Les prélèvements de la fin du printemps et de l'été correspondent à des débits intermédiaires (env. 4 m³/s).

b) Température :

Le domaine de variation de la température de l'eau s'étend de 1 à 19°C. Le maximum a été mesuré en juin, le minimum en décembre. Ces valeurs contrastent nettement avec celles des eaux souterraines.

Les hautes températures de l'été seraient gênantes pour la conservation de l'eau après son traitement.

c) pH et CO₂ libre :

Dans chaque analyse, l'eau s'est révélée nettement alcaline (8 à 8,5). La relativement forte teneur en gaz carbonique produite durant la saison chaude par l'oxydation de la matière organique entraîne une baisse du pH.

d) Dureté totale :

La dureté totale est nettement plus faible lors des débits élevés que celle des eaux souterraines. A l'étiage, en revanche, elle s'en rapproche notablement avec des valeurs supérieures à 25 DF. Cette minéralisation modé-

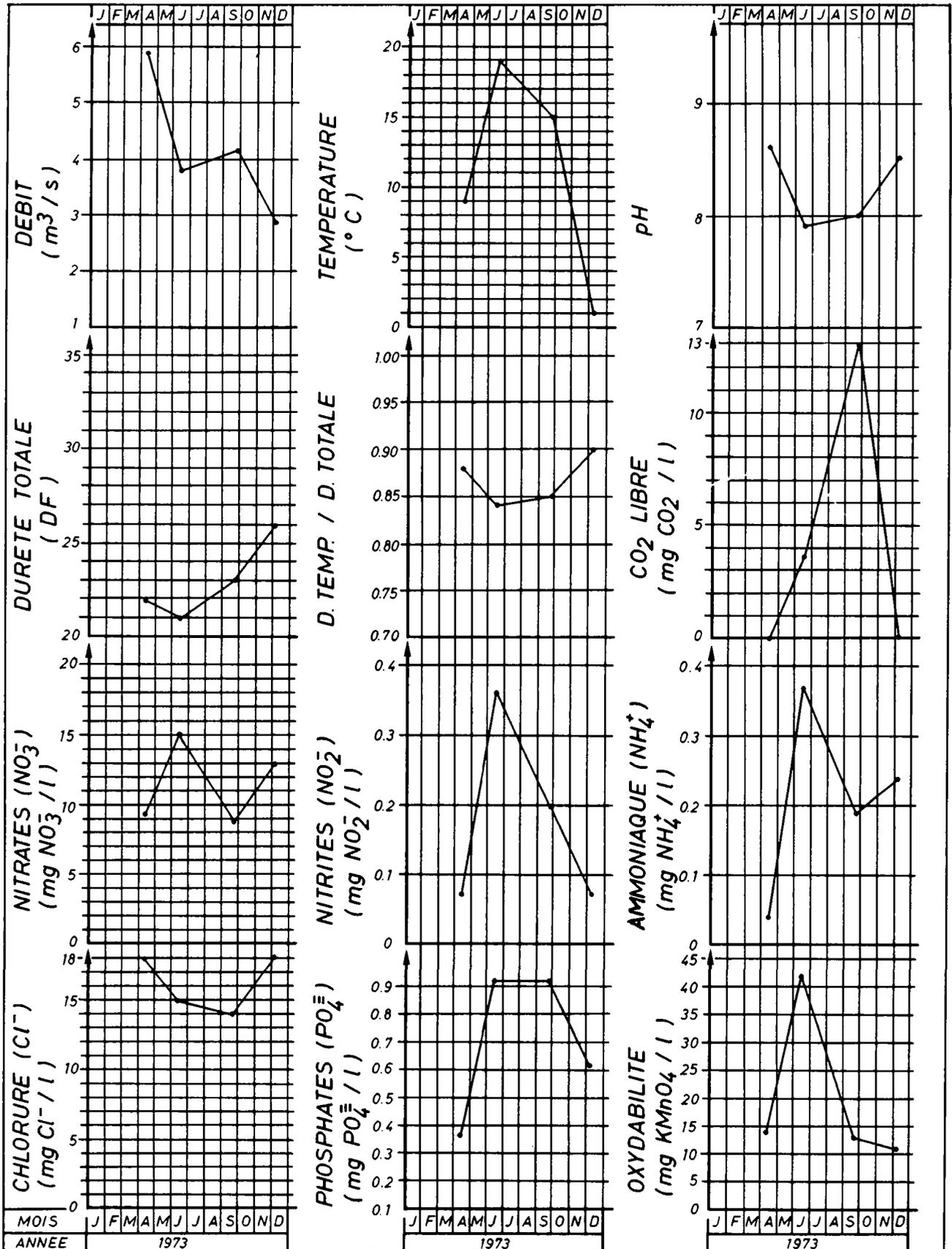


Figure 62 : Variations de la composition des eaux de la Broye à Payerne durant l'année 1973 (analyses OFEH).

rée serait un facteur favorable pour l'utilisation de ces eaux de surface, afin d'abaisser les duretés parfois critiques des nappes par un mélange dans les réservoirs.

c) Dureté temporaire/dureté totale :

Ce facteur, compris entre 0,84 et 0,90, est semblable aux valeurs mesurées dans les eaux souterraines. En revanche, on constate que l'augmentation de la dureté totale correspond à une croissance plus grande de la dureté temporaire par rapport à la minéralisation non carbonatée.

f) Nitrates :

La variation de la teneur en nitrates se corrèle directement avec les engrais agricoles. La valeur obtenue en avril, qui correspond au début de la première période d'épandage, demeure assez faible à cause de la dilution entraînée par le fort débit de la rivière. Celle de juin est maximale; elle est en rapport avec la fin de cette période d'engraissement printanière. La mesure de l'été est minimale; elle traduit la pause estivale dans le traitement des sols. En décembre, on note une nouvelle croissance due au lessivage des engrais d'automne.

Le domaine de variation s'étend de 9 à 15 mg/l de nitrates. Il est donc toujours inférieur aux concentrations relevées dans les eaux souterraines. Ce facteur ne nécessite donc aucune correction pour rendre l'eau potable.

g) Nitrites et ammoniacque :

Ces deux paramètres caractérisent avec les nitrates le régime des engrais. Leur courbe de variation est pratiquement semblable, à l'exception de la décroissance hivernale des nitrites.

Les valeurs absolues élevées ne sont pas compatibles avec celles des normes pour l'eau potable. Une oxydation intense serait nécessaire.

h) Chlorures :

Les teneurs en chlorure ne varient guère au cours de l'année. Une légère baisse estivale amène la concentration de 18 à 14 mg/l. Cette variation est certainement

liée à l'épandage des engrais de ferme. Toutefois, au contraire des nitrates, la valeur d'avril est supérieure à celle de juin. Ceci provient de la plus grande vitesse de solubilisation de l'anion monovalent.

La concentration en chlorures dans la rivière est semblable à celle mesurée dans les eaux souterraines.

i) Phosphates :

La variation de la concentration en phosphate est sensible, elle aussi, à l'utilisation des fertilisants agricoles. Comme pour les nitrates, les nitrites et l'ammoniaque, on observe une valeur maximale en juin et une basse teneur en avril. Une différence notable est visible dans le prélèvement de septembre où la concentration en phosphate demeure égale au maximum de juin (0,92 mg/l). Il s'agit probablement d'une rétention plus longue de cet anion dans les sols.

Les valeurs absolues sont 2 à 5 fois supérieures à la concentration maximale mesurée dans la nappe du cône de la Trémeule. Elles sont 40 à 100 fois supérieures à la teneur habituellement rencontrée dans les autres puits filtrants. Une précipitation des phosphates serait nécessaire dans la chaîne du traitement des eaux.

j) Oxydabilité :

L'oxydabilité est caractérisée par des valeurs courantes voisines de 15 mg/l de KMnO_4 . Seule l'analyse de juin montre une forte croissance de la matière organique à plus de 40 mg/l de KMnO_4 . Ces valeurs sont nettement supérieures aux tolérances valables pour les eaux potables. Elles devraient donc être abaissées par une oxydation.

k) Divers :

Plusieurs éléments importants n'ont pas été analysés :

- Oxygène dissous : la circulation active de l'eau dans le lit de la rivière devrait garantir une teneur en oxygène satisfaisante.
- Fer : il est probable qu'une certaine quantité de fer soit présente. Son élimination aurait lieu par l'oxygénation et la filtration de l'eau.

- Métaux lourds : les rejets industriels de la région ne devraient pas en contenir en grande quantité; ce facteur est à analyser avec soin.
- Hydro-carbures : en règle générale, leur concentration doit être très faible. Toutefois certaines vidanges accidentelles peuvent se produire.
- Colorants chimiques : des déversements massifs de colorants sont pratiqués par des industries de Moudon, teintant la rivière sur plusieurs centaines de mètres.
- Pesticides et herbicides : aucune donnée n'existe à ce sujet.

Sur le plan chimique, on réalise que peu des facteurs analysés sont des obstacles majeurs au traitement des eaux. Il subsiste en revanche de lourdes inconnues à lever dans les composés accessoires, dont l'élimination est souvent problématique, voire impossible.

3) Contenu bactériologique

Sans analyse à disposition, il est difficile d'être précis sur ce sujet. On peut penser toutefois qu'une oxydation et une filtration classiques devraient résoudre ce problème ici, comme elle le fait dans le cas des eaux de lacs.

En conclusion, l'utilisation de l'eau de la Broye comme eau potable est envisageable. Cependant, un grand nombre d'inconnues subsistent dans la composition chimique complète dont certains éléments pourraient condamner d'emblée un tel projet. Quoi qu'il en soit, le traitement de l'eau brute serait difficile à maints égards et sans doute coûteux. La garantie d'un fonctionnement permanent ne pourrait jamais être obtenue à cause du fort débit solide de la rivière pendant les crues.

Il faut noter enfin que la Broye ne se prête pas à l'alimentation de pompes à chaleur durant l'hiver, la température de l'eau s'abaissant au voisinage de 0°C.

Réalimentation artificielle de l'aquifère alluvial

La réalimentation artificielle des nappes souterraines est particulièrement adaptée aux terrains perméables qui montrent une alimentation naturelle limitée. C'est le cas de la partie supérieure de l'aquifère alluvial de la plaine de la Broye.

On distingue dans la recharge artificielle deux méthodes principales :

1) Réalimentation induite

La réalimentation induite consiste à provoquer une recharge de la nappe par l'eau d'un cours d'eau. Nous avons vu dans le cas de Lucens l'effet d'un rehaussement du niveau de la Broye sur l'alimentation de l'aquifère (fig. 38). Or, un tel processus est concevable tout au long de la rivière. En particulier, il pourrait être réalisé au droit des grands puits de Moudon et de Lucens.

Ces aménagements seraient encore plus judicieux s'ils étaient conçus dans l'optique d'une gestion nouvelle des eaux souterraines telle que nous l'avons exposée précédemment (p. 361). Une surveillance constante de la qualité chimique des eaux de la Broye serait impérative.

2) Infiltration artificielle

Cette méthode considérée comme révolutionnaire il y a quelques décennies devient de plus en plus fréquente. Elle consiste à infiltrer des eaux de surface dans la nappe, selon différentes techniques :

- arrosage par aspersion
- infiltration dans des puits filtrants
- infiltration dans un réseau de drains
- infiltration en bassins

Les trois dernières techniques infiltrent l'eau au-dessous du sol, directement dans la zone non saturée. Elles nécessitent un traitement préalable de l'eau de surface afin de préserver la viabilité des installations et d'éviter leur colmatage.

Dans le cas de la nappe alluviale de la Broye, les eaux de surface à disposition sont abondantes :

- Eaux de la rivière : cette solution rendrait nécessaire un pompage ou alors la création d'une retenue bien en amont de la station et d'un bief qui amènerait les eaux par gravité. Si le débit disponible est considérable, la chimie des eaux pourrait être parfois problématique.
- Eaux des affluents : cette ressource pourrait être acheminée par simple gravité sur le site de réalimentation au moyen d'un bief longeant le pied du versant. Certes, le débit dérivable est plus restreint mais la qualité des eaux pourrait être meilleure.

Le choix de l'un de ces deux types d'eau dépendra surtout du débit de projet de la station de traitement et de recharge.

Dans chaque cas, les observations du régime des cours d'eau et de leur qualité chimique devront être assurées.

En outre, la prise au ruisseau devra être conçue de manière à garantir en tout temps un débit minimum dans le lit naturel afin de conserver la faune aquatique. Des détecteurs automatiques de la turbidité devront commander la fermeture de la prise lors des grandes crues. Une surveillance identique des hydro-carbures serait également judicieuse.

De telles installations seraient justifiées dans les sites des grands puits actuels qui sont généralement surdimensionnés. Citons-en les principaux :

a) Site de Moudon - Le Plan

Eau de surface : - La Broye
- R. de Vaucignery
- La Voraire
- Riau Gresin
- La Mérine

Eventuellement : - R. de Pré Cerjat

Zone de recharge : entre les deux cônes du Villaret et du Plan.

b) Site de Lucens - Caséine

Eau de surface : - La Broye
- R. des Vaux
- R. des Bioles

Eventuellement : - La Cerjaule

Zones de recharge : - pied du cône du ruisseau des Bioles
- terrasse de Bramafan
- anciennes gravières de Riche

c) Site de Lucens - Grands Champs

Eau de surface : comme le site de Lucens-Caséine avec en plus les ruisseaux du plateau des Murailles.

Zone de recharge : - alluvions de Champ-du-Vuaz - La Pièce

d) Site de Treize-Cantons - La Taillaz

Eau de surface - R. de Seigneux
- R. des Grands Bois

Eventuellement : - La Broye

Zone de recharge : la partie supérieure du cône.

e) Site d'Henniez - Clos à Georges

Eau de surface : - La Trémeule

Eventuellement : - La Broye

Zone de recharge : la partie supérieure du cône.

f) Site de Payerne - La Boverie

Eau de surface : - La Broye

Zone de recharge : ancien chenal de la Boverie

g) Corcelles - La Verne

Eau de surface : - L'Arbogne

Zone de recharge : le cône, en aval du village.

En dehors de ces sites actuellement équipés de stations de pompage, un grand nombre d'endroits non prospectés ou dont les ressources ont été jugées insuffisantes deviendraient exploitables à l'aide d'une réalimentation artificielle (p. ex. le cône du Chandon à Avenches).

La conception de stations de réalimentation artificielle, qui nécessitera des études économiques et hydrologiques particulièrement détaillées, pourra apporter une solution réaliste pour augmenter les ressources souterraines.

Eaux souterraines du fond des alluvions

Dans la description de détail, nous avons montré que la majeure partie du remplissage quaternaire de la plaine est constituée de sédiments fins, peu à très peu perméables. Nous avons mentionné toutefois les indices d'une légère augmentation de la granulométrie dans le sondage profond de Treize-Cantons (SM 556-175-3) où les limons argileux passent à des sables et même à des sables grossiers vers 80 m de profondeur. On ignore tout de l'épaisseur de cette couche, de sa perméabilité et du chimisme des eaux qu'elle contient.

Par ailleurs, nous avons vu (p.189) que la sismique réflexion détecte en profondeur, entre Lucens et Treize-Cantons, un milieu à vitesse élevée qui pourrait correspondre soit à une moraine soit à des alluvions relativement grossières.

Ces deux indices mériteraient d'être vérifiés même si les sondages électriques n'ont pas été sensibles à ces dépôts plus grossiers.

On peut admettre en première approximation que la ressource à disposition ne devrait pas dépasser quelques centaines de l/mn par forage captant.

Eaux du substratum rocheux

Il se peut qu'un jour on soit intéressé de capter des eaux à plus grande profondeur, dans des buts divers tels que, par exemple :

- L'exploitation d'eaux minérales pour la consommation humaine
- L'exploitation d'eaux thermales comme ressource énergétique ou à usage médical.

Des eaux de ce type sont à rechercher dans le soubassement rocheux du bassin. Or, en fonction de leur éloignement de la surface, il faut distinguer deux ensembles lithologiques :

1) Soubassement molassique

Par les sondages pétroliers, on sait que le Tertiaire du Plateau conserve à grande profondeur une certaine porosité d'interstices due à une cimentation partielle des grès molassiques. Cette porosité, de l'ordre de quelques pour-cents,

confère à la roche une très faible perméabilité qui peut être localement augmentée dans des zones tectonisées. En raison de la grande épaisseur de ces assises détritiques, on arrive à obtenir des débits relativement importants par des forages profonds.

La perméabilité des séries molassiques dépend de la proportion grès-marne qui est différente selon les étages stratigraphiques considérés. Il en est de même de la qualité chimique des eaux d'imbibition.

- Le_Burdigalien

La forte proportion de grès dans cet étage est un élément favorable. Cette formation étant relativement proche de la surface, on peut penser que ses eaux sont douces, malgré l'origine marine du sédiment.

Entre Moudon et Seigneux, le Burdigalien pourrait être foré sur les flancs de la plaine. Son épaisseur devrait être de l'ordre de 100 à 200 m.

- L'Aquitancien

Moins gréseux que le Burdigalien, l'Aquitancien montre tout de même de nombreuses séquences grossières, surtout dans le haut de la série et éventuellement à la base. Cette formation ne contient pas de niveaux évaporitiques et devrait donc contenir des eaux douces. Quelques fins horizons de calcaires sont présents, comme le montrent la coupe du Ruisseau de Marnand et le forage pétrolier de Chapelle.

Dans le bassin de la Broye, l'Aquitancien affleure au niveau des alluvions de la plaine dans la demi-boutonnière de la haute vallée, dans la partie aval de la Broye moyenne et dans toute la Basse-Broye (voir fig. 1). Dans les deux premiers segments, on se trouve en face de la partie supérieure de la série. Entre Granges et Payerne en revanche, les roches marneuses de l'Aquitancien moyen sont à l'affleurement. En outre, il faut considérer que la puissance totale de cet étage diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la faille subalpine Lausanne - Oron.

La coupe du sondage pétrolier de Chapelle/Moudon (LEMKE, 1959) permet de situer le contact Aquitanien - Chattien au sens lithologique à - 200 msm grâce aux marnes à gypse. La puissance de l'Aquitanién est donc d'environ 800 m légèrement à l'ouest de Moudon.

En fonction de ces diverses observations, nous pouvons supposer que l'Aquitanién pourrait être foré sur des épaisseurs qui varient de 1000 m près de la faille d'Oron à 200 m dans la région du Lac de Morat. La température des eaux à la base de la série devrait ainsi varier de 40°C à 25°C.

Il faut tenir compte également d'une augmentation de la diagenèse lorsque l'on se rapproche de la tête du bassin. Toutefois, la diminution de la porosité qui en résulte devrait être compensée par l'augmentation de la perméabilité de fissure au voisinage du grand accident.

- Le Chattien

La diminution des grès esquissée à l'Aquitanién s'accroît dans les molasses chattiennes. Les grès n'ont que quelques mètres d'épaisseur au maximum, souvent quelques décimètres. On trouve dans les marnes des horizons de calcaires lacustres et des niveaux d'anhydrite. Il est probable que ces derniers soient partiellement transformés en gypse et influencent fortement la salinité des eaux d'imbibition.

Dans le forage de Chapelle (LEMKE, 1959), la base du Tertiaire appartient encore à la molasse d'eau douce inférieure. Elle se situe à la cote - 670 msm, fixant ainsi une épaisseur de près de 500 m au Chattien. Cette dernière doit augmenter de plusieurs centaines de mètres dans la Haute-Broye, lorsque l'on s'approche de la faille. Une fois qu'on l'a franchie, on se trouve sur le compartiment subalpin qui est constitué d'une puissante série d'écaillés chattiennes. A cet endroit, l'épaisseur du Tertiaire doit atteindre 3000 m.

Dans la Broye moyenne puis dans la Basse-Broye, les épaisseurs relevées à Chapelle demeurent à peu près constantes (BUCHI et al., 1965).

A la base de la molasse, la température des eaux doit se situer vers 100° dans le compartiment subalpin. Elle diminue rapidement vers l'aval pour atteindre des valeurs de 50° à Moudon et 30° près du Lac de Morat.

A moins que les eaux séléniteuses constituent le but du captage, cette formation est moins intéressante en ce qui concerne la quantité d'eau disponible.

2) Soubassement mésozoïque

D'après les résultats des sondages pétroliers (BUCHI et al., 1965), ce sont les couches crétacées du Barrémien qui constituent le substratum de la molasse. La puissance totale du mésozoïque doit passer de 1500 m dans la Basse-Broye à 2500 m environ dans le haut du bassin. Dans cette série, plusieurs assises calcaires pourraient être aquifères : calcaires du Crétacé inférieur, du Malm et du Dogger. Les perméabilités d'interstices y sont faibles. Dans les zones intensément tectonisées, on peut espérer une augmentation de cette perméabilité grâce à la fracturation et à une éventuelle karstification. Les ordres de grandeur de ces paramètres demeurent très vagues comme l'a montré PASQUIER (1977) dans son étude sur les possibilités de stockage profond en Suisse. Cette imprécision résulte pour une bonne part du secret qui entoure les résultats des recherches pétrolières. A ce propos, la campagne sismique effectuée dans la Broye en 1979 devrait livrer des données intéressantes sur la structure profonde du substratum mésozoïque et sur la situation d'accidents tectoniques favorables à la fissuration des roches.

Quelles que soient les incertitudes sur ce sujet, il faut s'attendre à découvrir des eaux très chaudes et la plupart du temps salées.

Un développement de ces ressources profondes ne pourra être envisagé qu'en collaboration étroite avec les milieux pétroliers.

En résumé, on peut imaginer un développement des ressources en eau du bassin sous des formes très diverses.

La mise en valeur des eaux de la plaine alluviale interviendra la première, d'abord en régime naturel puis couplée à une alimentation artificielle avec une gestion plus élaborée de l'exploitation. Parallèlement risquent de s'implanter des pompages dans les eaux de surface avec leurs fortes capacités mais également leurs difficultés quant à la qualité de l'eau.

Les réserves géologiques profondes semblent, pour leur part, plutôt destinées à des usages spéciaux tels que les eaux minérales et thermales.

CONCLUSION GENERALE

Lorsque l'on considère la taille du Lac de Morat, l'énorme surcreusement glaciaire de la vallée de la Broye et la masse impressionnante de dépôts quaternaires qui y a été accumulée, on réalise que cette plaine contient une quantité d'eau très importante.

Si notre étude confirme bien ce fait, elle montre toutefois que seule une part minime du volume de l'eau souterraine est assimilable à une réserve, et à plus forte raison, à une ressource. Les causes en sont les suivantes :

- L'essentiel des alluvions appartient à des sédiments de fine granulométrie
- Leur porosité efficace n'est environ que le 1/5 de la porosité totale
- Leur très faible perméabilité limite d'une manière critique le rendement de puits filtrants.

A ces restrictions viennent se joindre des complications d'ordre chimique qui prohibent l'exploitation de certains réservoirs perméables et qui rendent difficile le traitement des eaux de surface.

Ce sombre tableau est heureusement éclairé par la possibilité d'utiliser une partie non négligeable des alluvions, partie que nous nous sommes attaché à prospecter et à décrire en détail; ce sont les terrains aquifères gravelo-sableux cantonnés dans le haut du remplissage. Le captage des eaux y est réalisé actuellement d'une manière conventionnelle. Toutefois, un développement intensif de ces ressources nécessitera une conception nouvelle de leur gestion par un contrôle des pertes souterraines à la rivière, avec d'éventuelles installations de réalimentation artificielle de la nappe.

Une mise en valeur des aquifères à faible perméabilité sera également à envisager. Elle fera appel à des techniques spéciales, peu utilisées dans nos régions.

Cette perspective d'un développement difficile incite à rendre la protection et la conservation des ressources d'autant plus impérative. Notre étude constitue une base scientifique qui devrait contribuer à sauvegarder cette richesse naturelle. Elle fournit une synthèse provisoire qui sera utile aux praticiens de l'hydrogéologie, de la géotechnique et aux responsables administratifs de la protection des eaux.

Mes travaux d'investigation dans le bassin de la Broye n'auraient pu être menés sans la collaboration d'un grand nombre de personnes.

J'aimerais particulièrement remercier les bureaux techniques, les administrations communales et d'Etat qui m'ont fourni une quantité de données.

Ma reconnaissance va à mes maîtres H. Badoux et feu A. Bersier qui m'ont guidé dans le début de cette étude. Elle va également à Monsieur le Professeur J.-H. Gabus qui m'a témoigné sa confiance et qui a participé activement à la rédaction de mon texte. J'exprime toute ma gratitude à l'équipe du Laboratoire de Géologie de l'EPFL qui m'a accompagné dans mes nombreuses investigations broyardes.

Mes remerciements vont enfin à ma famille qui m'a beaucoup aidé et qui a dû supporter les longues soirées passées sur la planche à dessin ainsi que les années sans vacances.

C'est à toutes ces personnes de bonne volonté que je dédie ce travail.

Bibliographie

- AMBERGER, G., 1974, Carte hydrogéologique du Canton de Genève : dép. Int. Agr. cant. Genève
- ARGELO, S.M., 1967, Two Computer Programs for the Calculation of standard Graphs for Resistivity Prospecting : Geophys. Prosp., v.XV, no 1.
- ASTIER, J.L., 1971, Géophysique appliquée à l'hydrogéologie : éd. Masson, Paris.
- AXELROD, A., 1978, Contribution à l'étude géophysique de la région des lacs de Neuchâtel, Bienne et Morat : Juris Druck + Verlag, Zürich.
- BADOUX, H., BERSIER, A., 1965, Bassin d'Henniez. Etude hydrogéologique : non publ.
- BADOUX, H., MAUTNER, J., Carte hydrogéologique du canton de Vaud et cadastre des sources : non publ.
- BECKER, F., 1972, Géologie de la région du lac de Morat entre la Vallée de la Sarine et le lac de Neuchâtel : Thèse Univ. Fribourg, Ed. API, Fribourg.
- BERSIER, A., 1938, Recherches sur la géologie et la stratigraphie du Jorat : Thèse, Mém. Soc. vaud. Sci. nat., v.6, no 3.
- BLAU, R.V., DELLA VALLE, G., 1970, Die hydrogeologische Karte des Kantons Bern : Eclg. Geol. Helv., v.63, no 2.
- BRIEL, A., 1962, Géologie de la région de Lucens (Broye) : Thèse Univ. Fribourg, Impr. Birkäuser, Bâle.
- BUCHI, U.P., LEMKE, K., WIENER, G., ZIMDARS, J., 1965, Geologische Ergebnisse der Erdölexploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens : Bull. ASP, no 82.
- CASTANY, G., 1967, Traité pratique des eaux souterraines : Ed. Dunod, Paris.
- DE GELIS, E., 1956, Eléments d'hydraulique souterraine : Notes et mém. du Serv. géol. du Maroc. Rabat, 136.
- DESCROIX, P., 1978, La méthode Vyredox pour l'enlèvement du fer et du manganèse des eaux souterraines : T.S.M. - L'eau, 73^e année, no 8-9.
- GUILLOT, P., 1970, Conférences sur la prévision hydrologique : Proc. Regional Training Seminar on Methods of hydrological Forecasting, Hydrometeorological Institute of Czechoslovakia.
- INGLIN, H., 1960, Molasse et Quaternaire de la région de Romont : Thèse Univ. Fribourg, Impr. St.-Paul, Fribourg.

- KELLER, V., FRISCHKNECHT, F., 1970, Electrical Methods in Geophysical Prospecting : Pergamon Press, Oxford.
- KELLERHALS, P., TROHLER, B., 1976, Hydrogeologie Seeland : WEA Kant. Bern, non publ.
- KIRALY, L., 1973, Notice explicative de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel : Suppl. Bull. Soc. neuch. Sci.nat., T.96.
- LEMKE, K., 1959, Das Profil der Bohrung Chapelle 1 : Bull. ASP, no 70.
- LUDI, W., 1935, Das Grosse Moos : Verlag Hans Huber Berne.
- MEYER de STADELHOFEN, C., 1973, Atlas des résistivités électriques apparentes du moyen pays vaudois : Cah. Amén. rég. no 15, Off. cant. vaud. Urban., Lausanne.
- PARRIAUX, A., 1974, Contribution à l'étude de l'hydrologie de surface du bassin versant de la Broye : Mém. final cours 3^e cycle, EPF, Lausanne, non publ.
- PARRIAUX, A., 1976, Elément hydrographique fossile dans la Broye moyenne : Bull. Soc. vaud. Sci. nat., v.73, no 349.
- PARRIAUX, A., 1978 a, Quelques aspects de l'érosion et des dépôts quaternaires du bassin de la Broye : Eclog. Géol. Helv., v.71, no 1.
- PARRIAUX, A., 1978 b, Le gîte des eaux minérales d'Henniez : Etat des connaissances et données nouvelles sur sa prolongation : Eclog. Geol. Helv., v.71, no 2.
- PARRIAUX, A., 1979, Penecontemporaneous Deformation Structures in a Pleistocene periglacial Delta of western swiss Plateau : in Moraines and Varves, Ed. Ch. Schlüchter, Balkema, Rotterdam.
- PASQUIER, F., 1977, Les conditions hydrogéologiques du stockage souterrain d'eau chaude en Suisse : Bull. Centre Hydrogéol. Neuchâtel, no 2.
- PETCH, M., 1970, Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de l'Orbe : Matér. Géol. Suisse, Géophysique, no 11.
- PRIMAULT, B., 1972, Etude méso-climatique du Canton de Vaud : Cah. Amén. rég. no 14, Off. cant.vaud.Urban., Lausanne.
- RIJKSWATERSTAAT, 1969, Standard Graphs for Resistivity Prospecting, Ed. Europ.Assoc.Expl. Geophys.
- RUMEAU, J.L., 1954, Géologie de la région de Payerne : Thèse Univ. Fribourg, Ed. Crépin-Leblond et Cie, Paris.
- SCHNEEBELI, G., 1966, Hydraulique souterraine : Ed. Eyrolles, Paris.

- SCHWAB, H., MULLER, R., 1973, Le passé du Seeland sous un jour nouveau, les niveaux des lacs du Jura : Ed. universitaires, Fribourg.
- SEGUIN, K., 1971, La géophysique et les propriétés physiques des roches : Presses Univ. Laval, Québec.
- SIEBER, R., 1959, Géologie de la région occidentale de Fribourg : Thèse Univ. Fribourg, Impr. St.-Paul Fribourg.
- STRAHLER, A.N., 1957, Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology : Am. Geophys. Union Trans. v.38.
- VERNET, J.P., SCOLARI, G., RAPIN, F., 1976, Teneur en métaux lourds des sédiments de rivières suisses, du Rhône français et de ses principaux affluents : Bull. BRGM, sect. III, no 1/2.

CURRICULUM VITAE

Originaire de Ste-Croix, je suis né à Payerne le 25.8.1946. Après l'école primaire à Combremont-le-Petit, je suis entré au collège secondaire de Payerne en 1958 où j'ai obtenu mon certificat en 1963. A la suite des deux années passées au gymnase de la Cité à Lausanne, je suis entré à l'Université de cette ville, en section géologie. La Licence es sciences et le Diplôme de géologue m'ont été décernés en 1969 et 1970.

C'est en janvier 1970 que j'ai été engagé comme assistant au Laboratoire de géologie de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Ma tâche de chercheur et d'assistant du professeur A. Bersier a été complétée par une intense formation de troisième cycle en hydrogéologie (Neuchâtel), hydrologie, mécanique des sols et des roches (EPF Lausanne). J'ai ainsi obtenu les certificats de 3ème cycle en hydrogéologie et en hydrologie opérationnelle et appliquée.

Parallèlement à ces activités académiques, j'ai participé à de nombreuses études pratiques en géologie du génie civil et en hydrogéologie sous la direction du Professeur Bersier.

En 1976, j'ai été nommé principal collaborateur du nouveau directeur du Laboratoire de Géologie, le professeur J.H. Gabus. Depuis ce jour, j'ai procédé à un élargissement des projets de recherche du Laboratoire en matière d'hydrogéologie avec, notamment, la création d'un réseau d'observation des nappes souterraines typiques. Ces recherches sont conjuguées avec diverses études pratiques et expertises.

ANNEXE I

VARIATION DU NIVEAU DE LA NAPPE ALLUVIALE AUX STATIONS L1 - L2 - L3

VARIATION DU DEBIT DE LA RIVIERE A PAYERNE

VARIATION DES PRECIPITATIONS A LUCENS

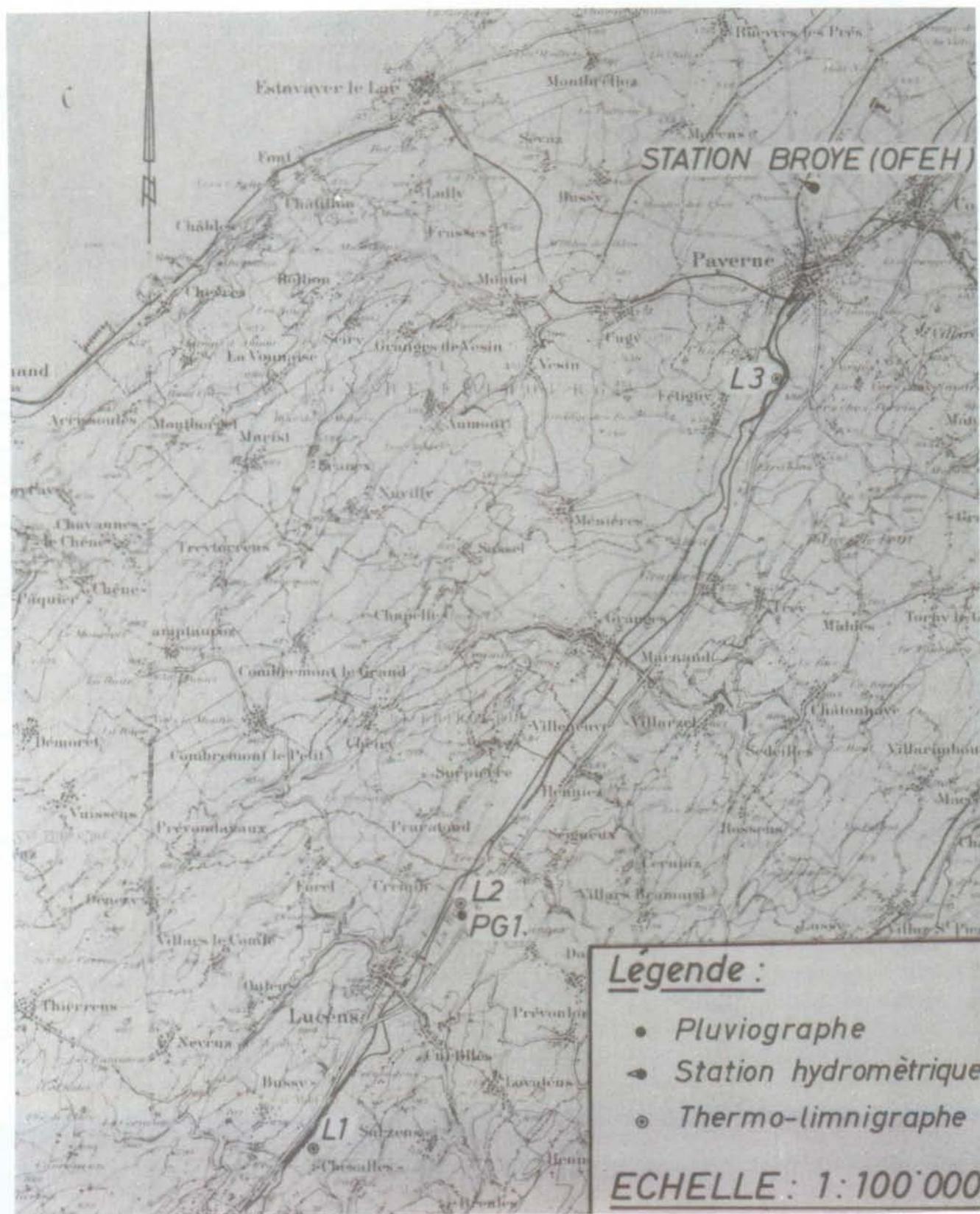
SITUATION VOIR AU DOS

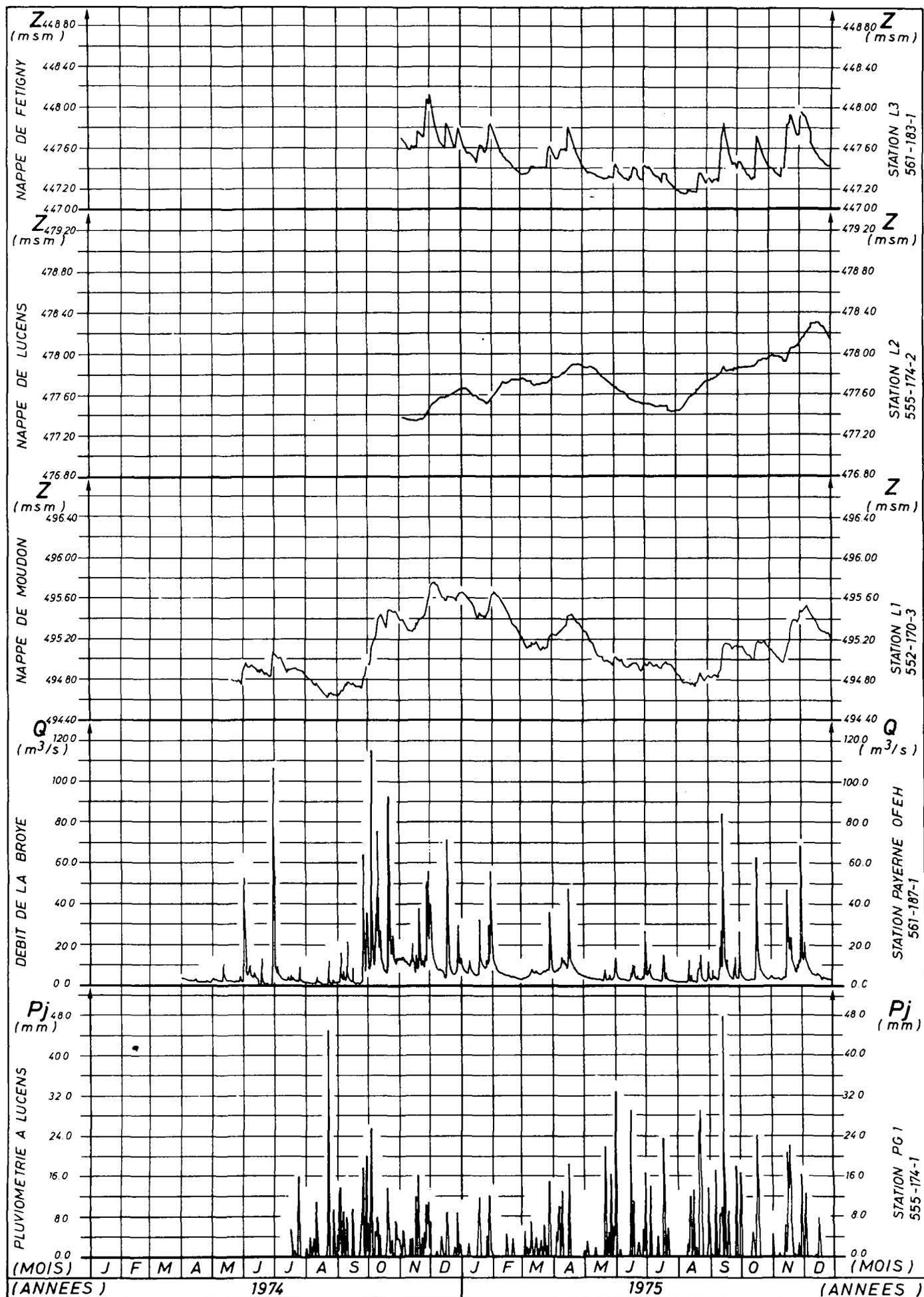
IA : ANNEES 1974 - 1975

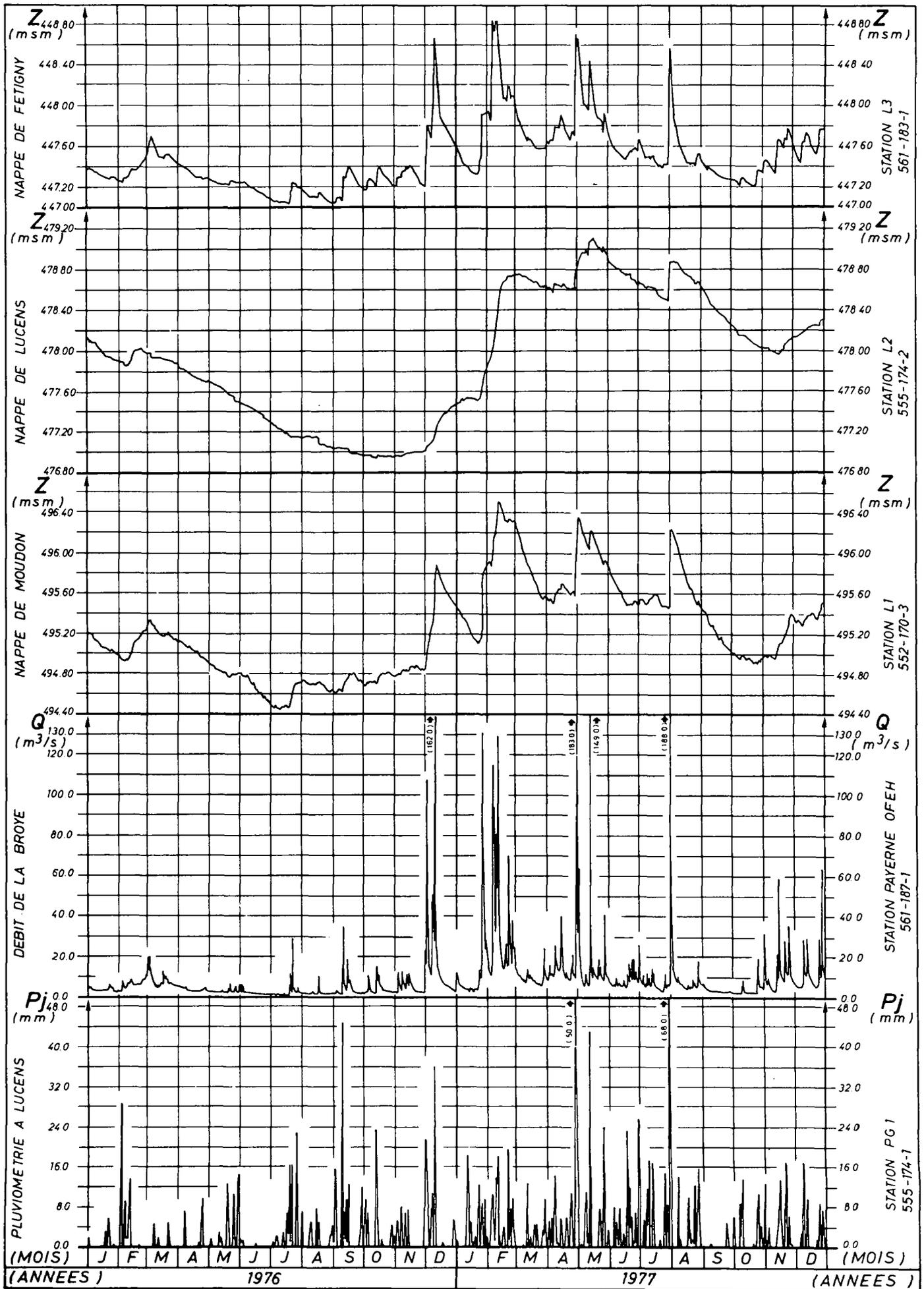
IB : ANNEES 1976 - 1977

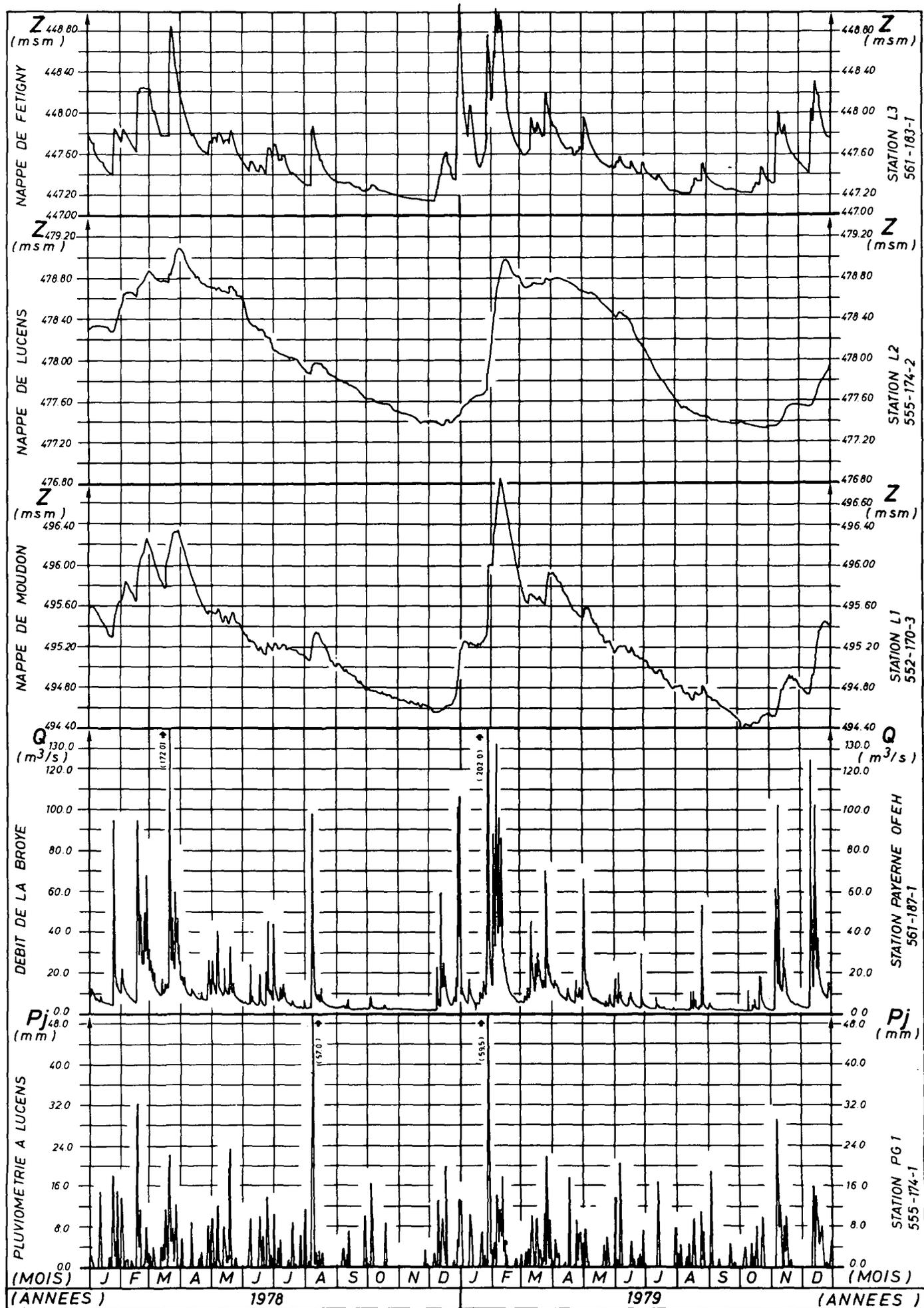
IC : ANNEES 1978 - 1979

SITUATION DES STATIONS









ANNEXE II

VARIATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES AU COURS DU TEMPS

IIA : PUIITS EN PLAN, MOUDON (PR 552-170-1)

B : PUIITS DES GRANDS CHAMPS, LUCENS (PR 555-174-3)

IIc : PUIITS DES ARZILS, HENNIEZ-LITHINEE SA (PR 555-175-1)

D : PUIITS DE LA TAILLAZ, SEIGNEUX (PV 556-174-1)

IIe : PUIITS DU CLOS A GEORGES, HENNIEZ SANTE SA (P 557-177-1)

F : PUIITS NESTLE, PAYERNE (PV 561-185-2)

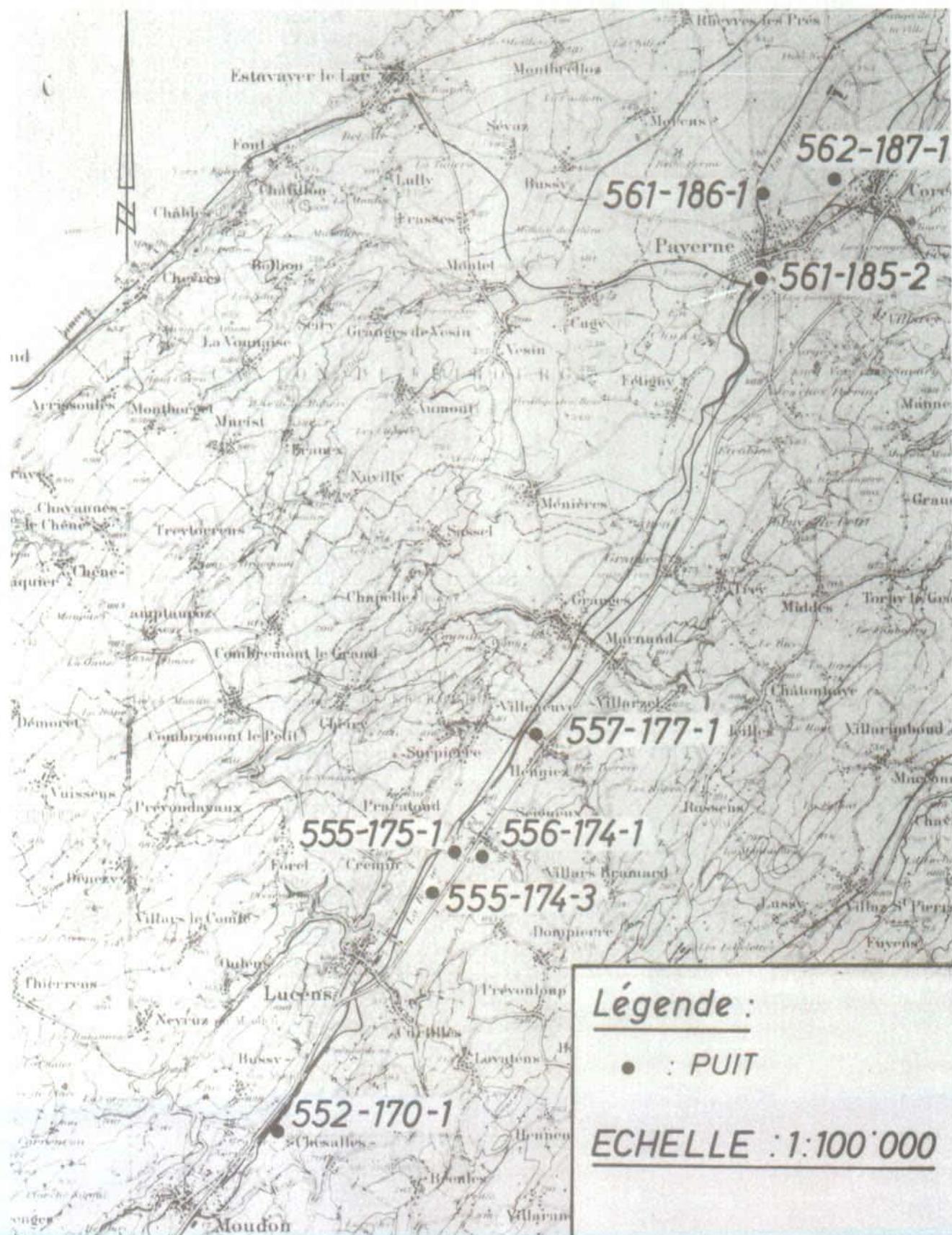
IIg : PUIITS DE VUAZ VAUCHY, PAYERNE (561-186-1)

H : PUIITS DE LA VERNA, CORCELLES-P. (562-187-1)

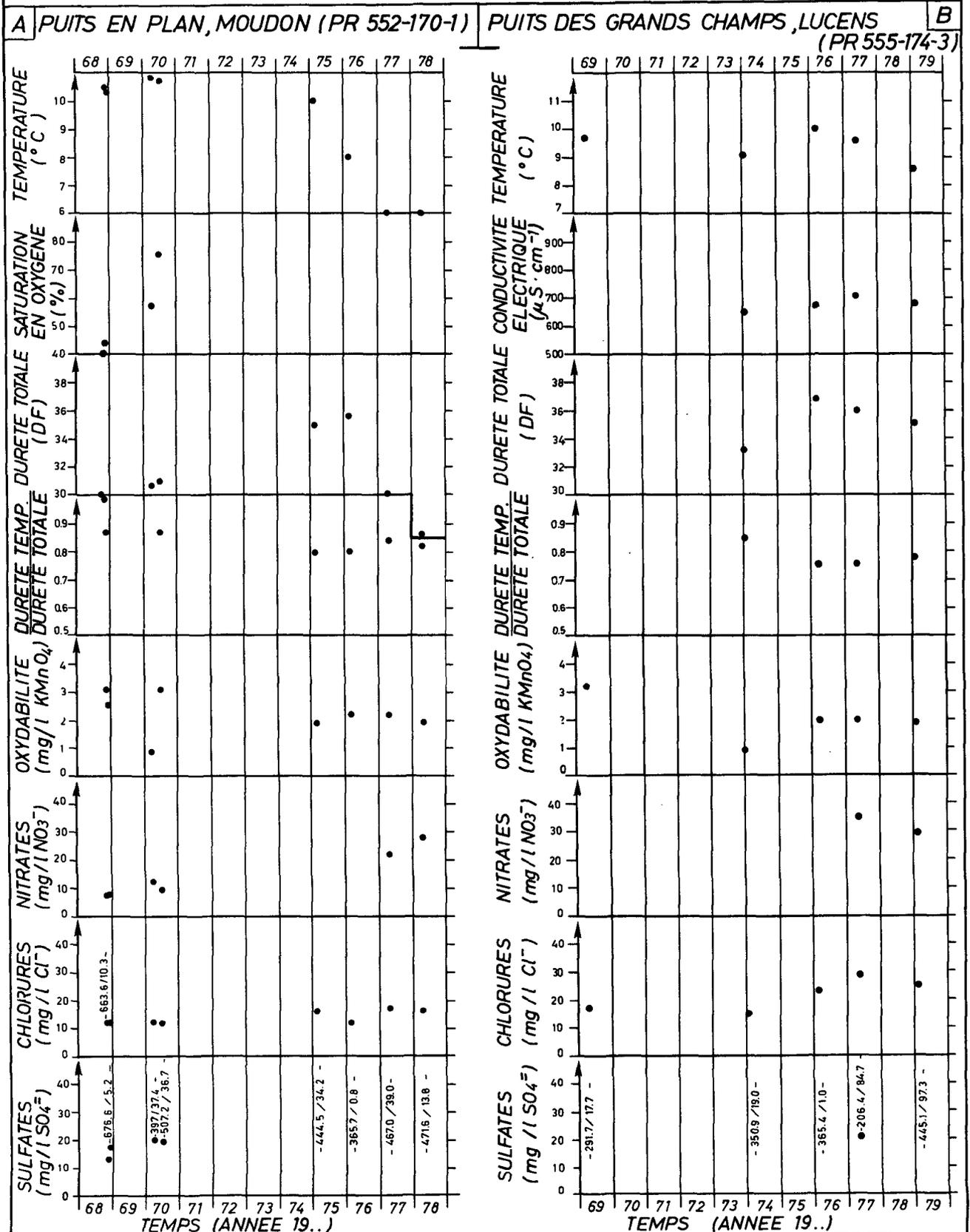
SITUATION VOIR AU DOS

NB : LES ANALYSES PROVIENNENT DES ARCHIVES DU LABORATOIRE
CANTONAL VAUDOIS.

SITUATION DES POINTS DE PRELEVEMENT



Variation de la composition physico-chimique de l'eau au cours du temps.



Indices des précipitations antécédentes : P_{6M} / P_{10j}

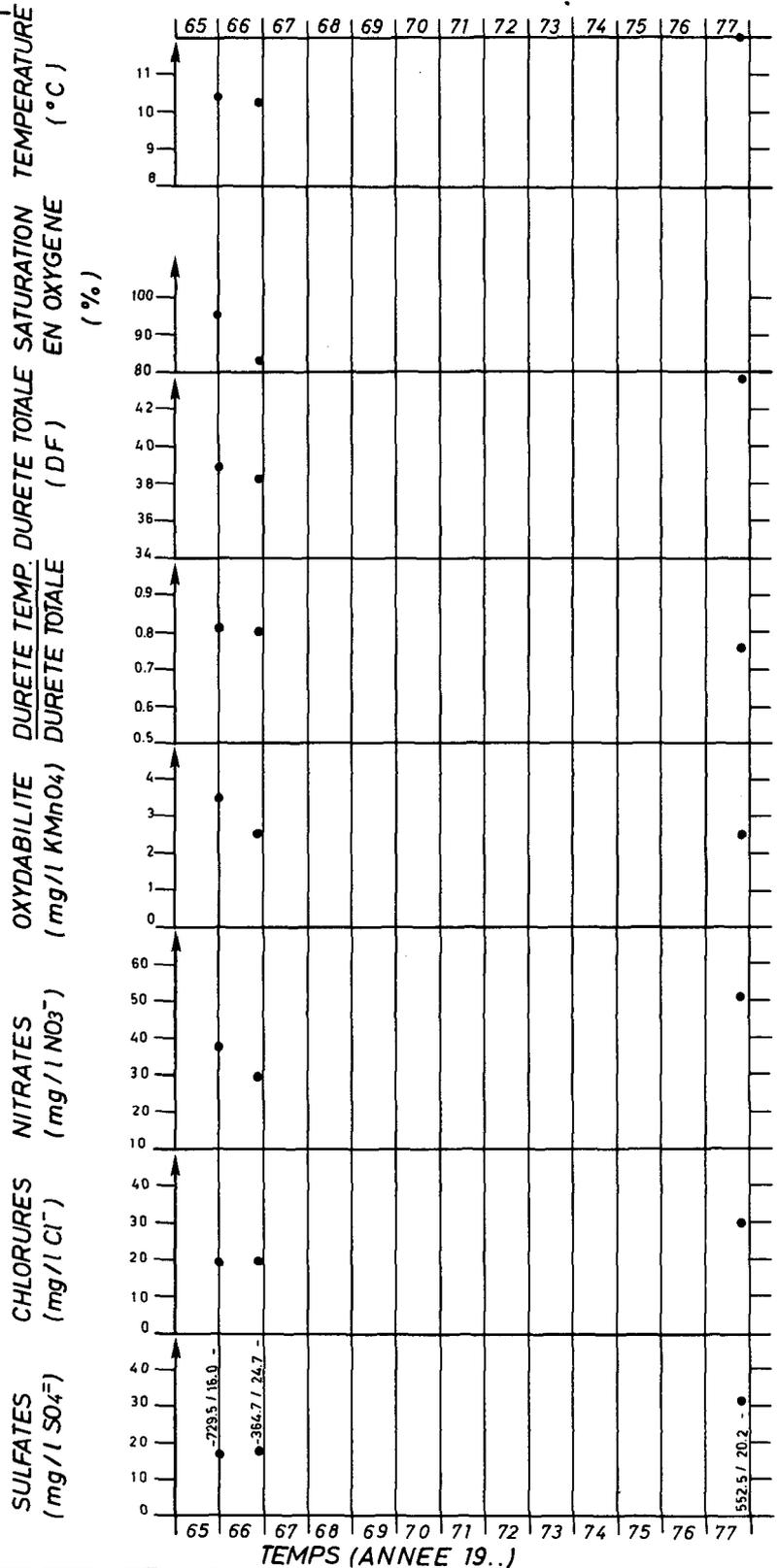
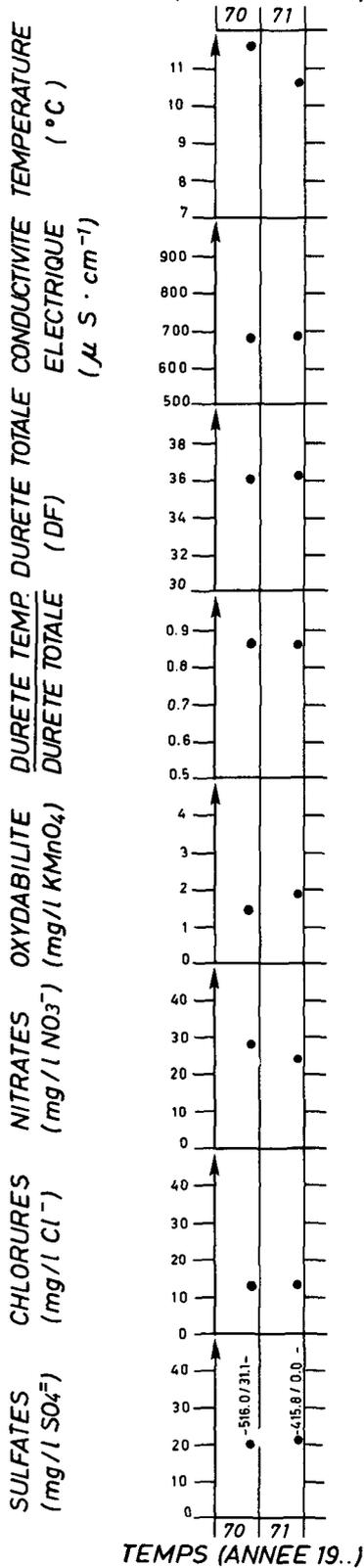
Remarque : Sur la base des analyses du laboratoire cantonal.

Variation de la composition physico-chimique de l'eau au cours du temps.

C PUIITS DES ARZILS, HENNIÉZ-LITHINÉE SA (PR 555-175-1)

PUITS DE LA TAILLAZ, SEIGNEUX (PV 556-174-1)

D

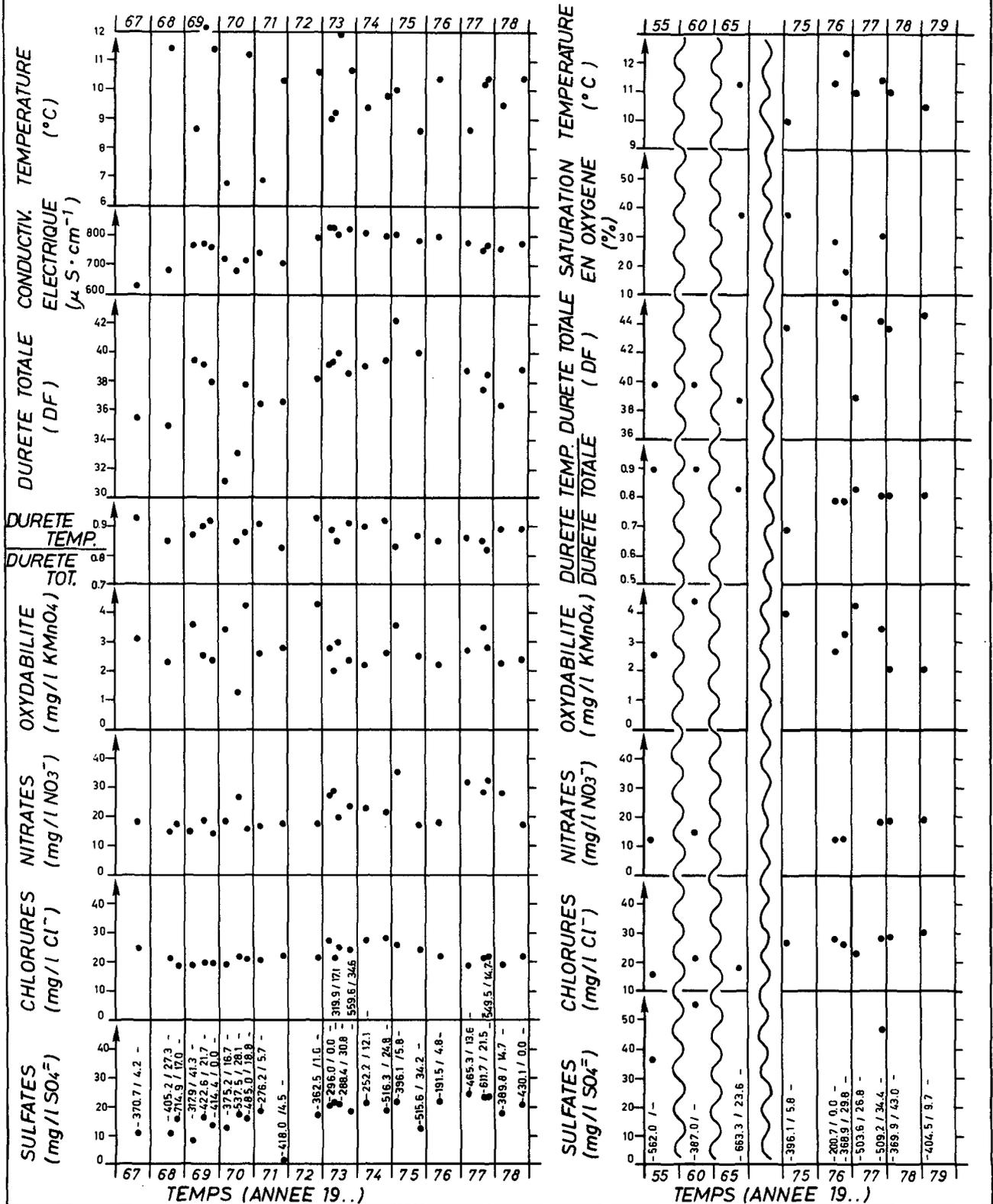


Indices des précipitations antécédantes: P_{6M} / P₁₀;

Remarque: Sur la base des analyses du laboratoire cantonal.

Variation de la composition physico-chimique de l'eau au cours du temps.

E | PUIITS DU CLOS A GEORGES, HENNIEZ SANTE SA. (P 557-177-1) | PUIITS NESTLE, PAYERNE (PV 561-185-2) | F



Indices des précipitations antécédantes: P_{6M} / P_{10j}

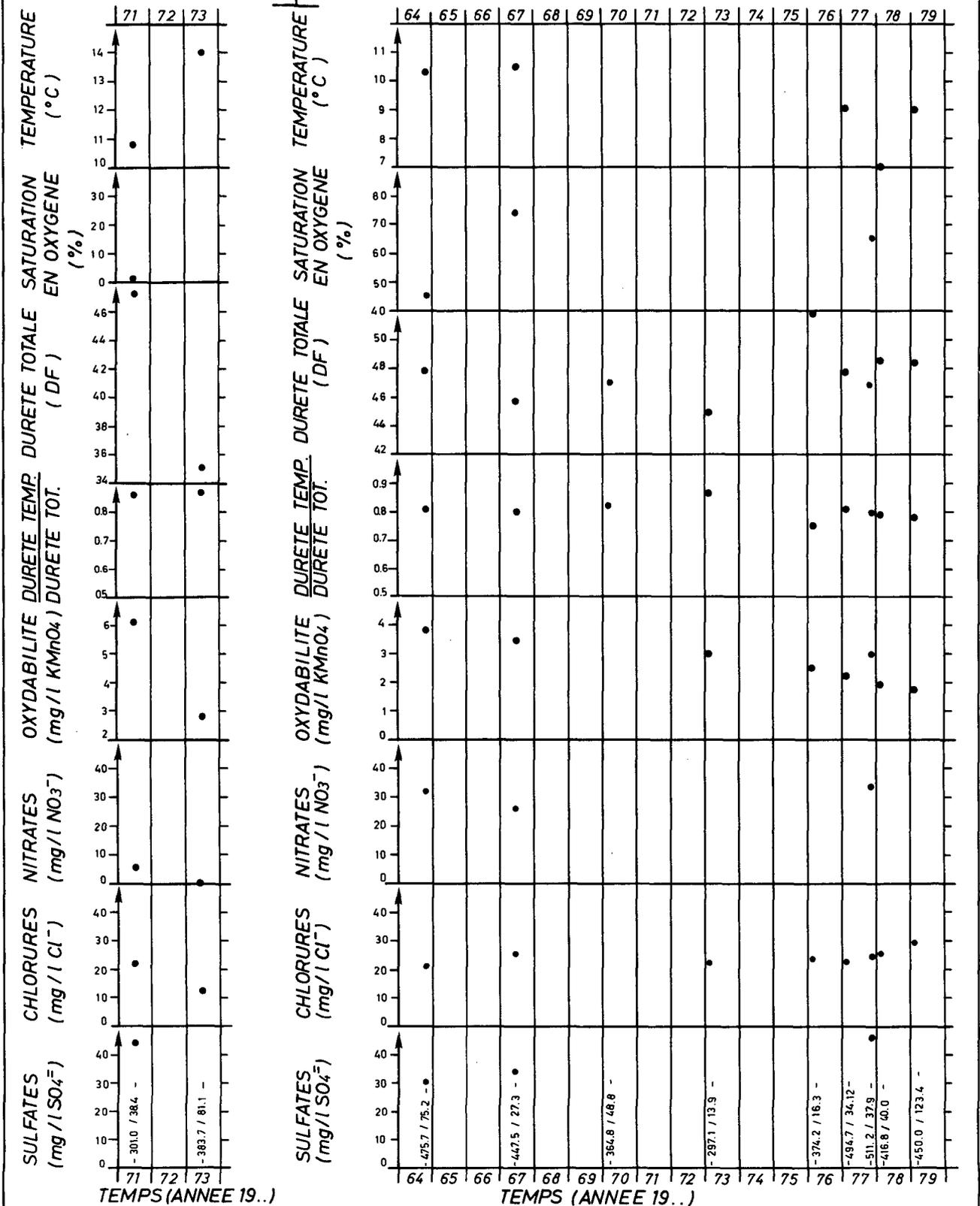
Remarque: Sur la base des analyses du laboratoire cantonal.

Variation de la composition physico-chimique de l'eau au cours du temps.

G PUIITS DE VUAZ VAUCHY,
PAYERNE (PV 561-186-1)

PUIITS DE LA VERNA, CORCELLES-P.
(PR 562-187-1)

H



Indices des précipitations antécédantes: P_{6M} / P_{10j}

Remarque: Sur la base des analyses du laboratoire cantonal.

ANNEXE III

CARTES DES RESISTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES

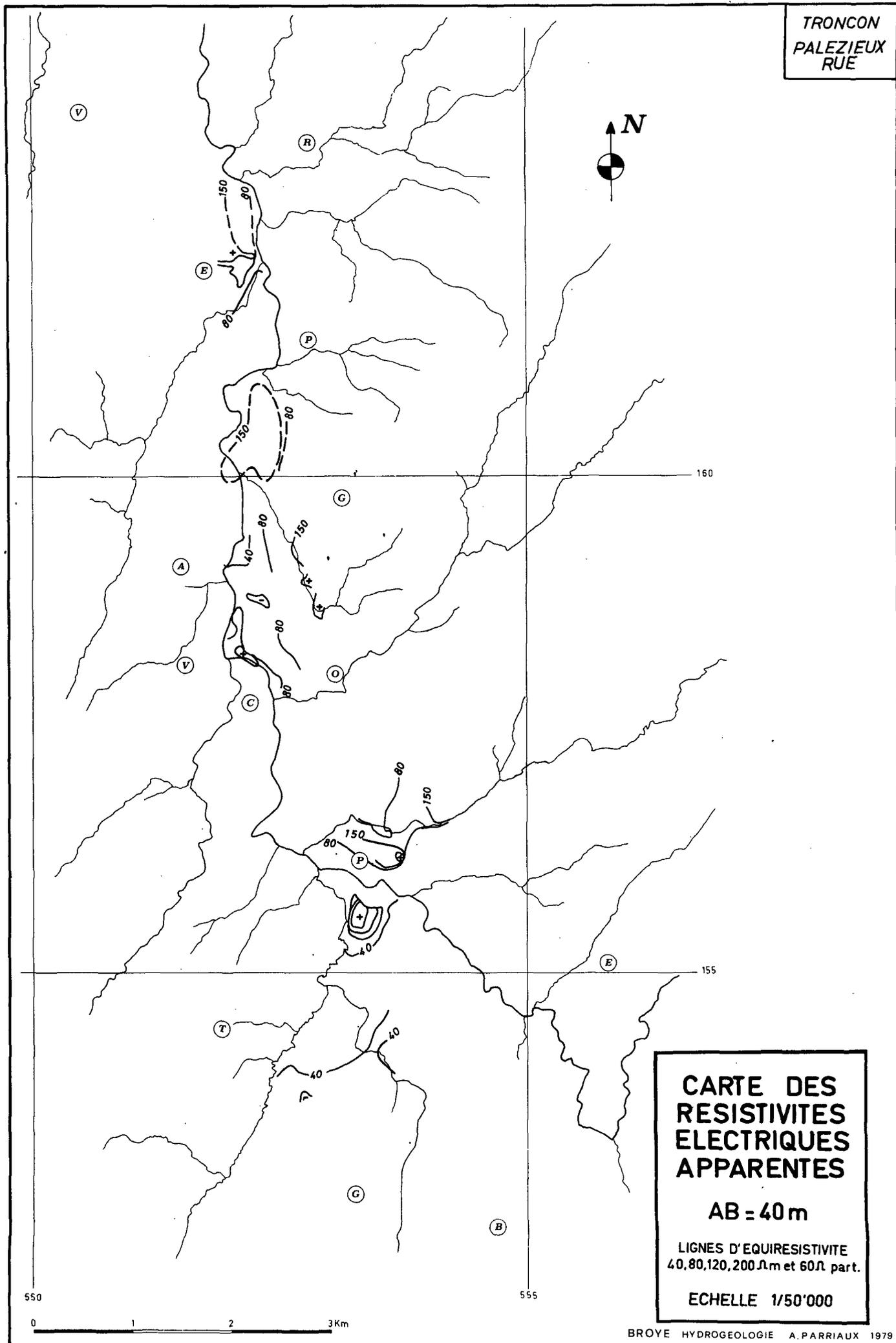
III A : AB=40M. TRONCON PALEZIEUX-RUE (1/50'000)
III B : AB=60M. TRONCON MONTET-GL-HENNIEZ (1/50'000)
III C : AB=60M. TRONCON HENNIEZ-CORCELLES (1/50'000)
III D : AB=60M. TRONCON CORCELLES-AVENCHES (1/50'000)

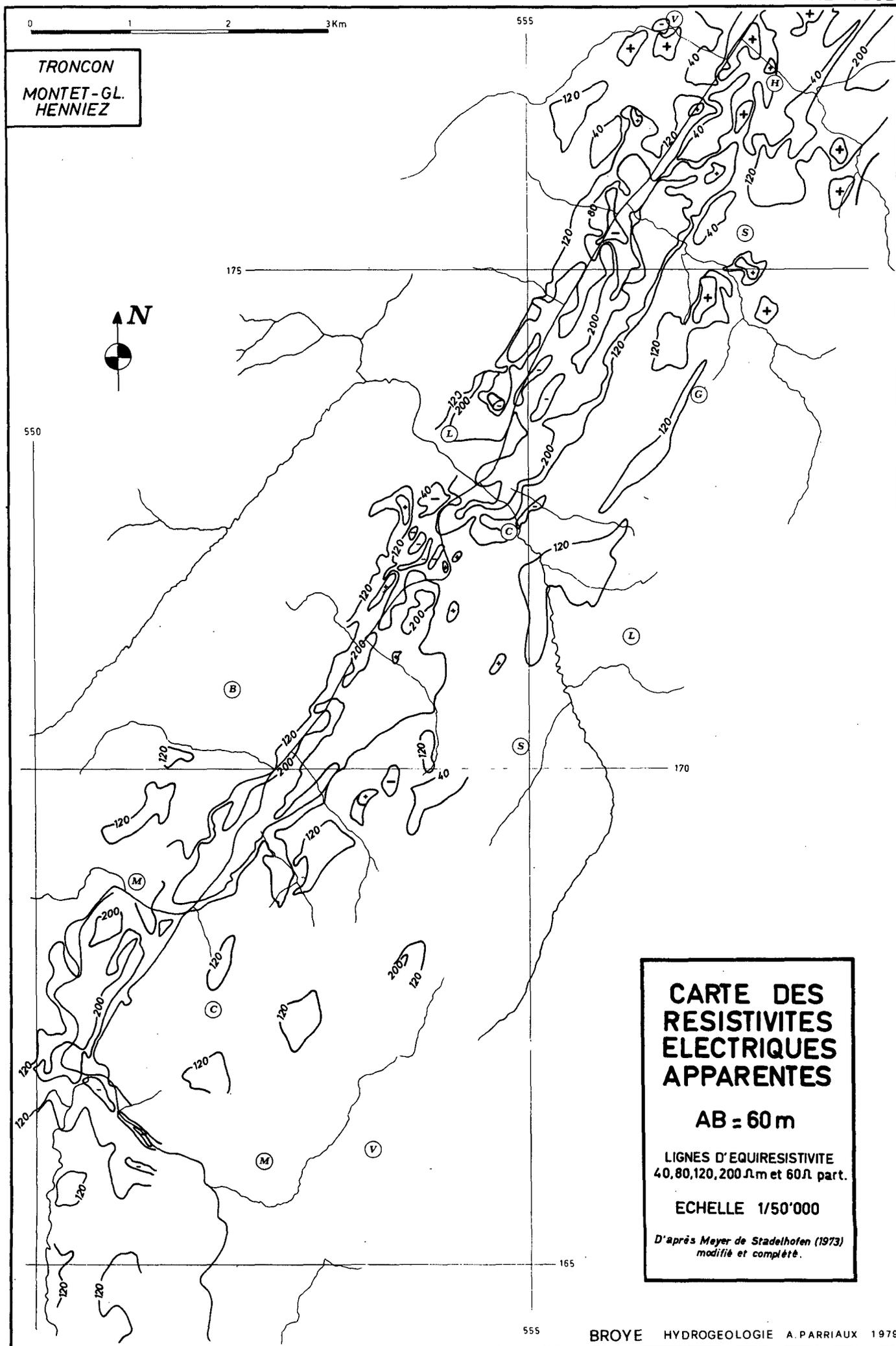
III E : AB=100M. (1/100'000)
III F : AB=100M. MESURES DE DETAIL DE MOUDON A SEIGNEUX
(1/25'000)

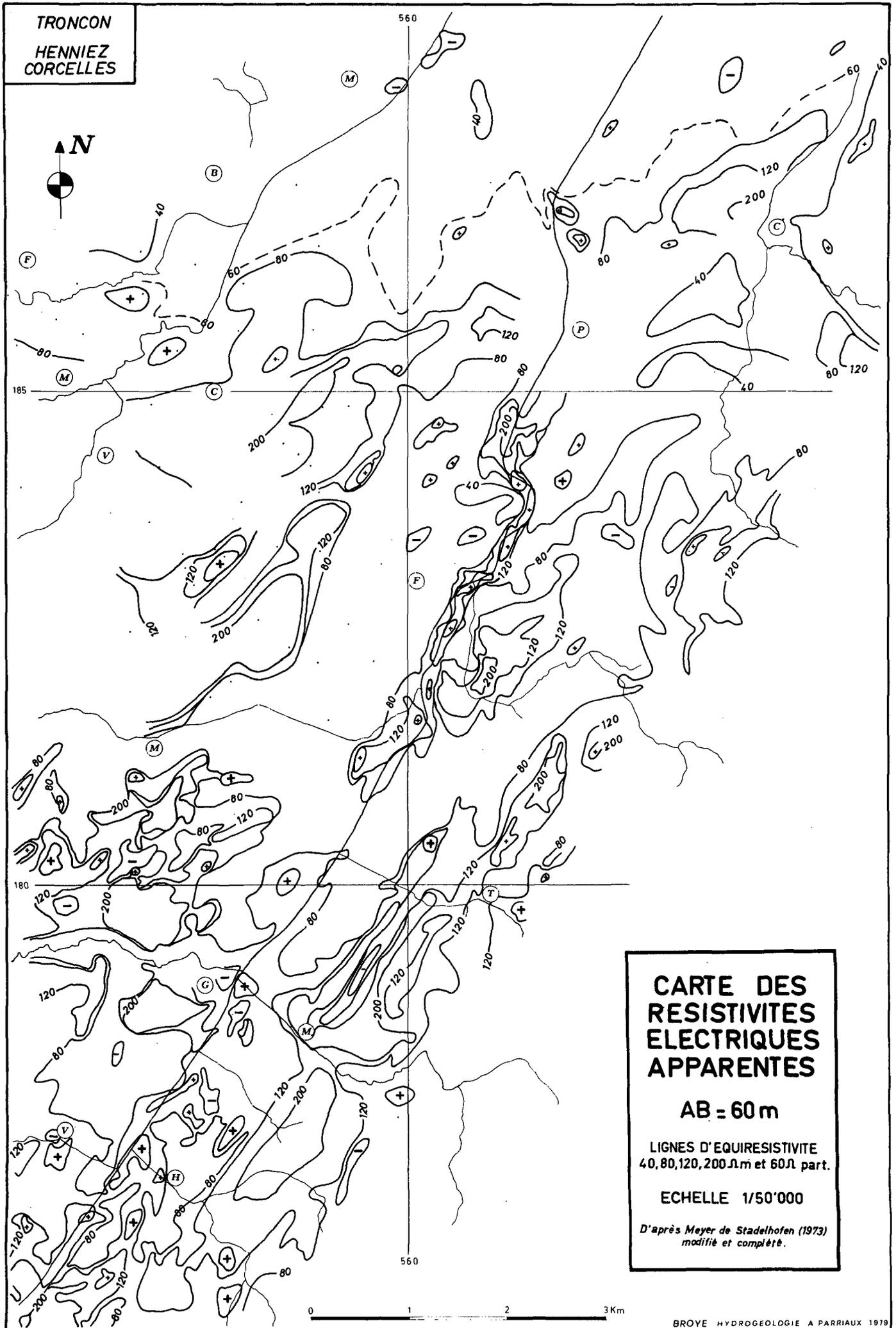
III G : AB=200M. (1/100'000)

III H : AB=400M. (1/100'000)

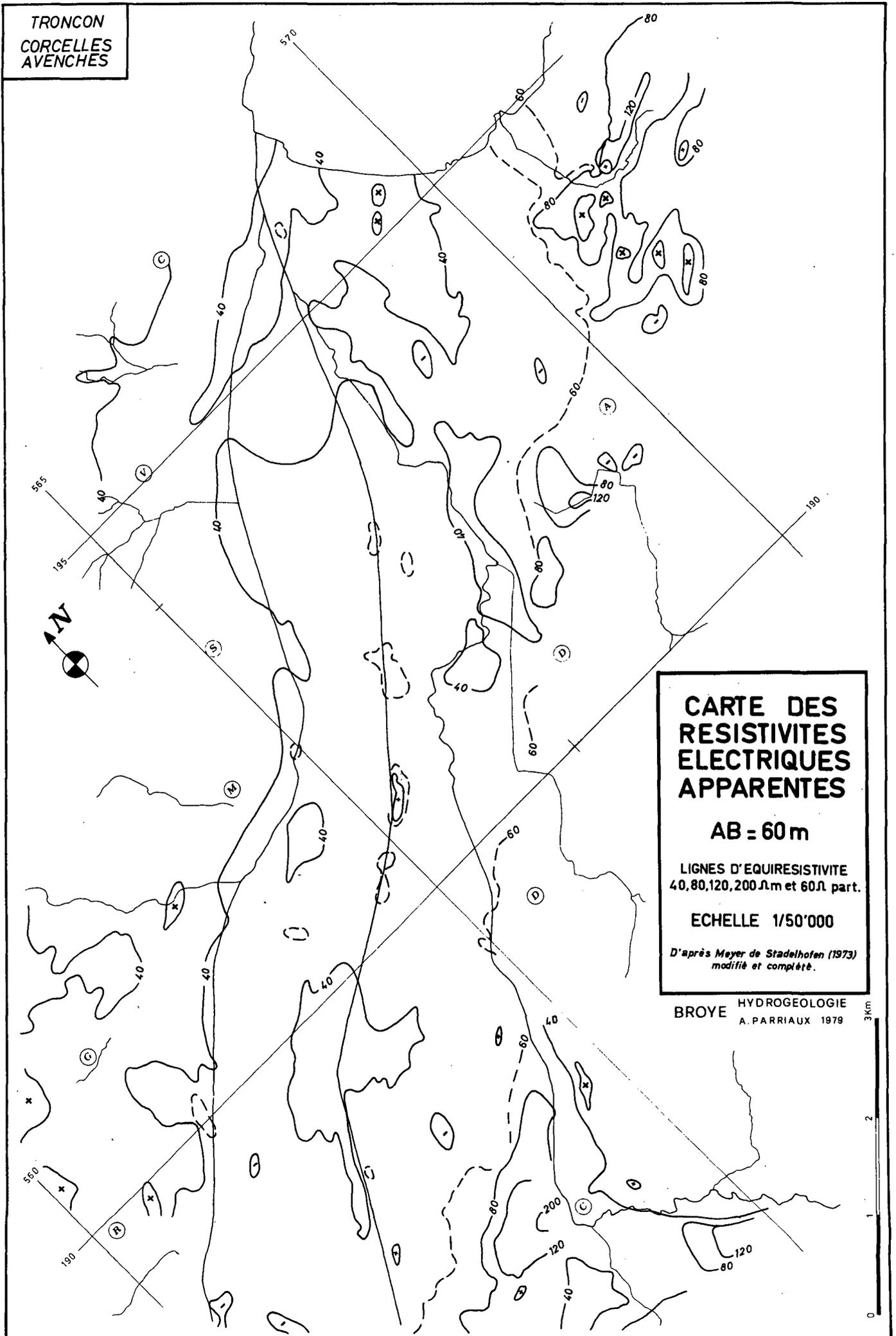
TRONCON
PALEZIEUX
RUE

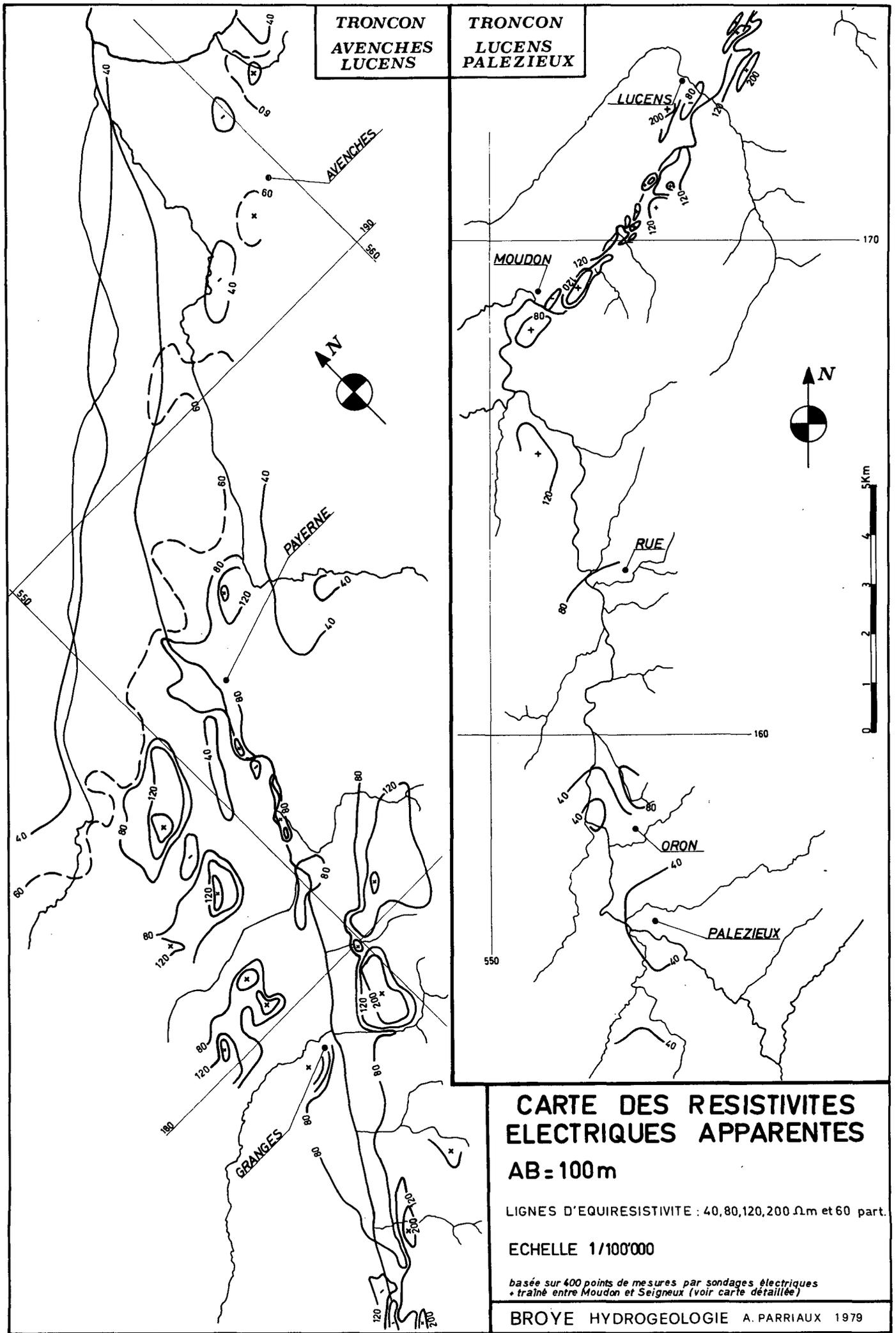






TRONCON
CORCELLES
AVENCHES





**TRONCON
AVENCHES
LUCENS**

**TRONCON
LUCENS
PALEZIEUX**

**CARTE DES RESISTIVITES
ELECTRIQUES APPARENTES**

AB = 100m

LIGNES D'EQUIRESISTIVITE : 40, 80, 120, 200 Ω m et 60 part.

ECHELLE 1/100'000

*basée sur 400 points de mesures par sondages électriques
+ traîné entre Moudon et Seigneux (voir carte détaillée)*

BROYE HYDROGEOLOGIE A. PARRIAUX 1979

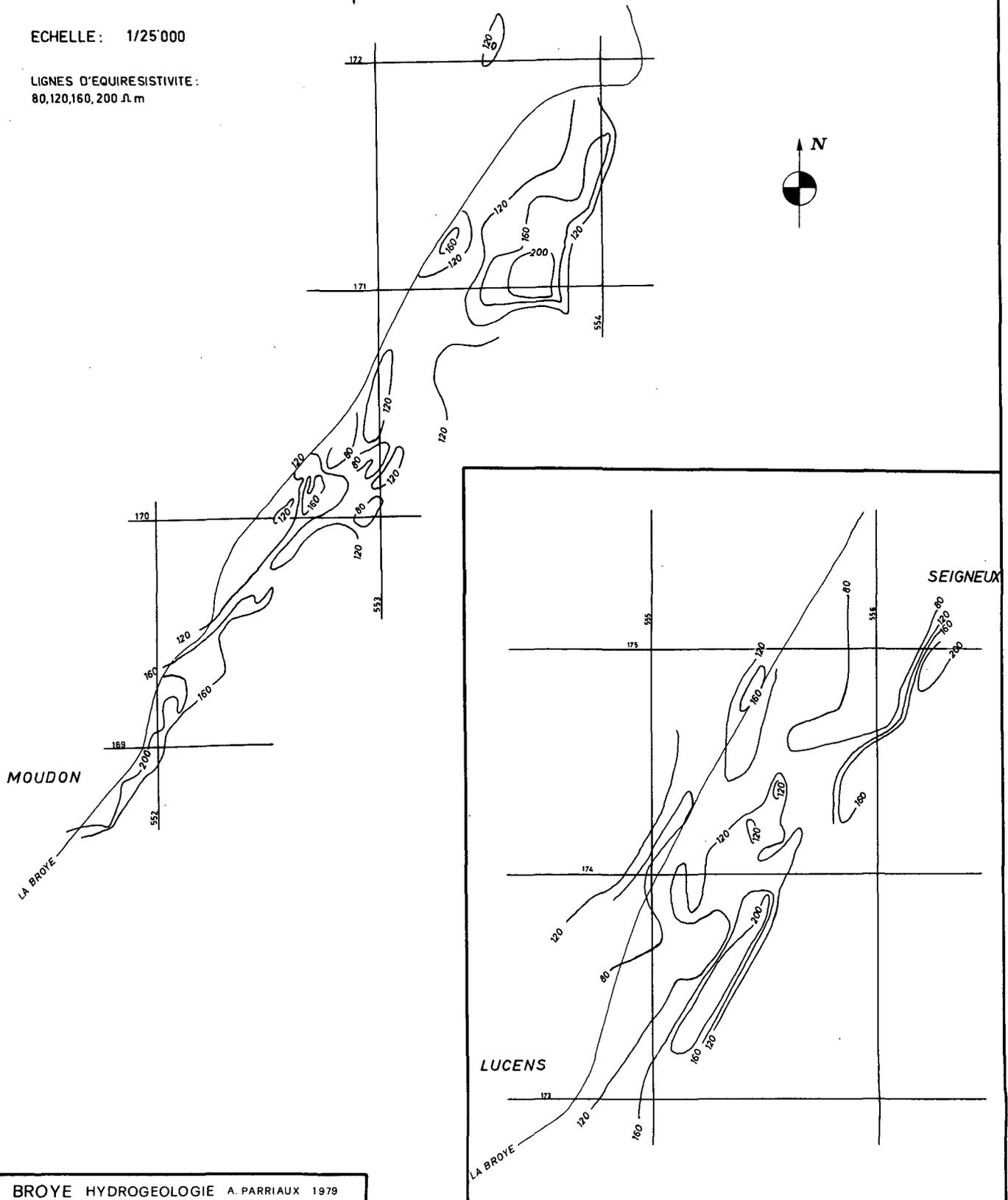
TRAINE AB = 100 m.

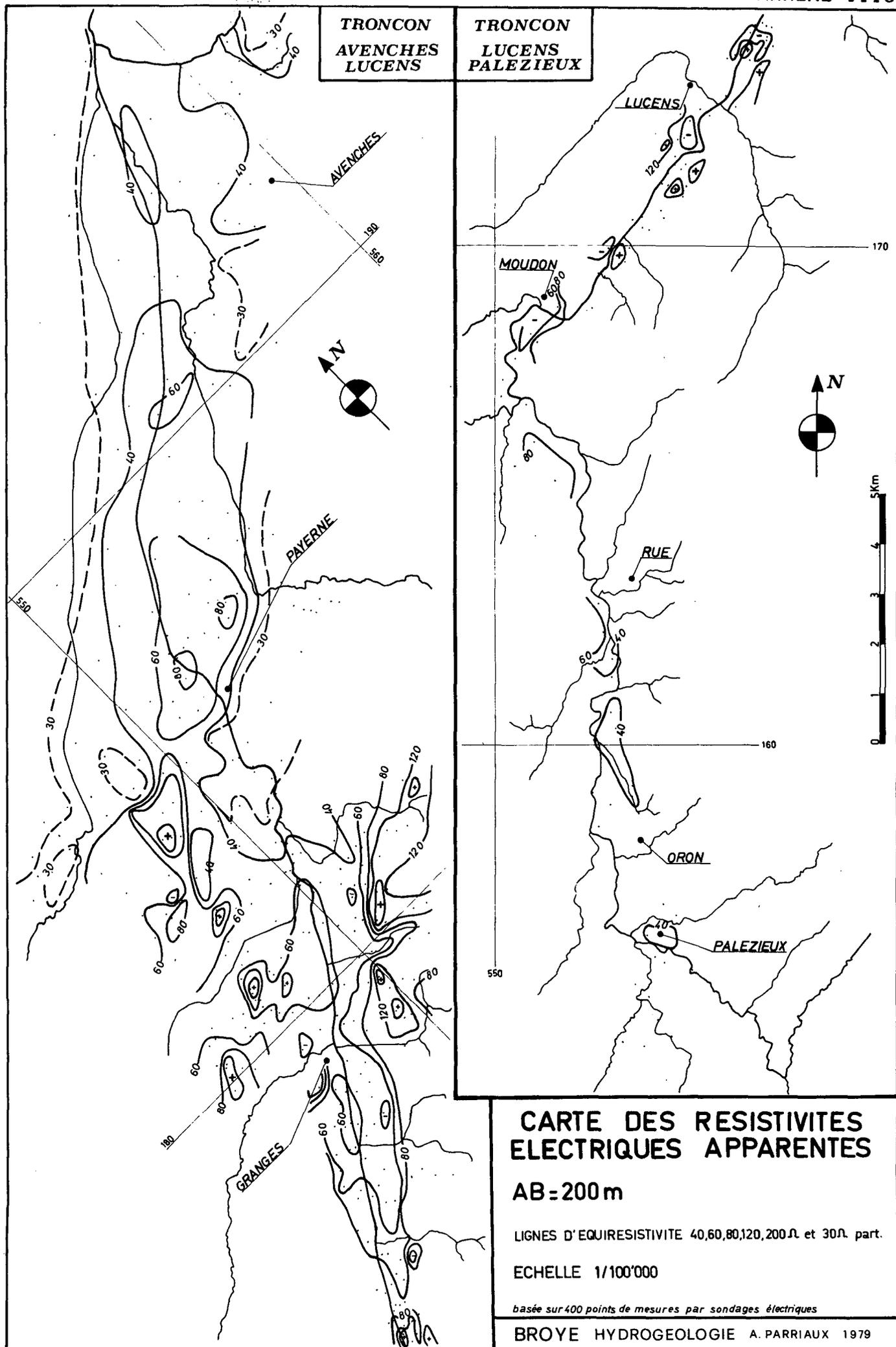
CARTE DES RESISTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES

MESURES DE DETAIL DE
MOUDON A SEIGNEUX

ECHELLE: 1/25'000

LIGNES D'EQUIRESISTIVITE:
80, 120, 160, 200 $\Omega \cdot m$





**TRONCON
AVENCHES
LUCENS**

**TRONCON
LUCENS
PALEZIEUX**

**CARTE DES RESISTIVITES
ELECTRIQUES APPARENTES**

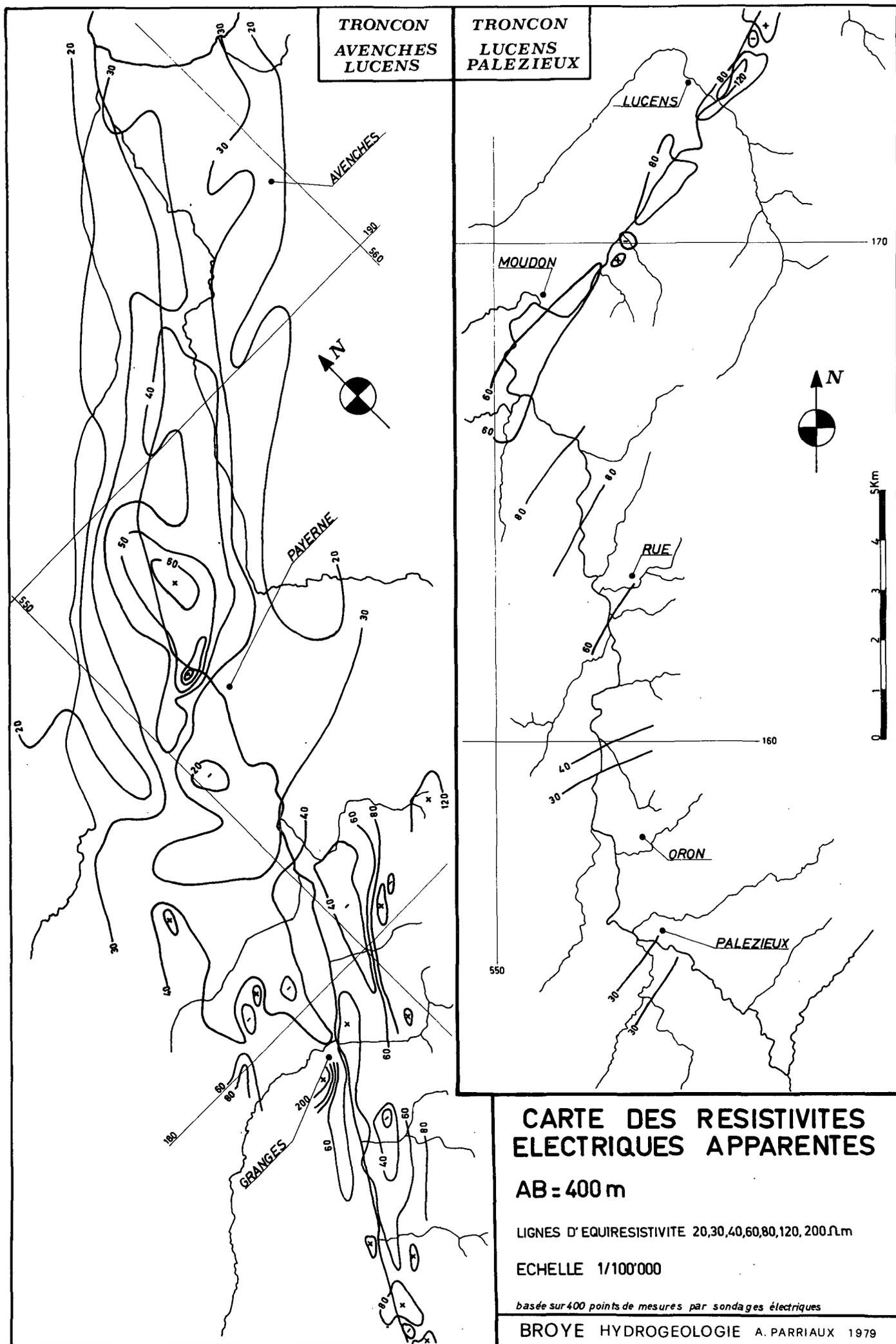
AB = 200 m

LIGNES D'EQUIRESISTIVITE 40,60,80,120,200 Ω et 30 Ω part.

ECHELLE 1/100'000

basée sur 400 points de mesures par sondages électriques

BROYE HYDROGEOLOGIE A. PARRIAUX 1979



**TRONCON
AVENCHES
LUCENS**

**TRONCON
LUCENS
PALEZIEUX**

**CARTE DES RESISTIVITES
ELECTRIQUES APPARENTES**

AB = 400 m

LIGNES D'EQUIRESISTIVITE 20,30,40,60,80,120,200 Ω.m

ECHELLE 1/100'000

basée sur 400 points de mesures par sondages électriques

BROYE HYDROGEOLOGIE A. PARRIAUX 1979

ANNEXE IV

CARTE DE BASE (B)

ECHELLE : 1/25'000

CARTE EN 11 FEUILLES + 1 LEGENDE

BROYE

HYDROGEOLOGIE

A. PARRIAUX 1978

CARTE DE BASE (B)

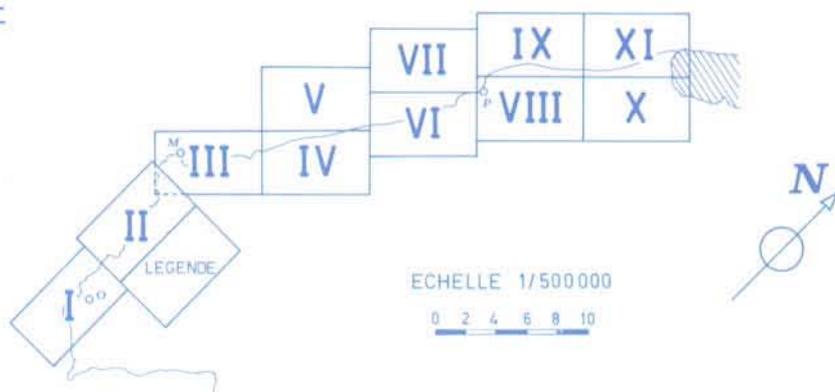
ECHELLE 1/25'000

Carte complémentaire au REGISTRE des données

ASSEMBLAGE

FEUILLES

IB - XII



LEGENDE

N = numero d'ordre du Registre dans le km² (Y-X)

CAPTAGES, SOURCES

- 1.1 Source, non captée. Débit comme 1.2
- 1.2 * Source captée. Ordre de grandeur du débit moyen Q :
Q: 0 15 50 100 200 ∞ l/mn. Q inconnu.
- 1.3 Puits artisanal.
- 1.4 Puits filtrant vertical. h = profondeur du puits (m)
Q: 0 300 1000 2500 5000 ∞ l/mn. (Q de concession)
- 1.5 Puits à drains rayonnants. h et Q comme 1.4
- 1.6 Captage d'eau de rivière

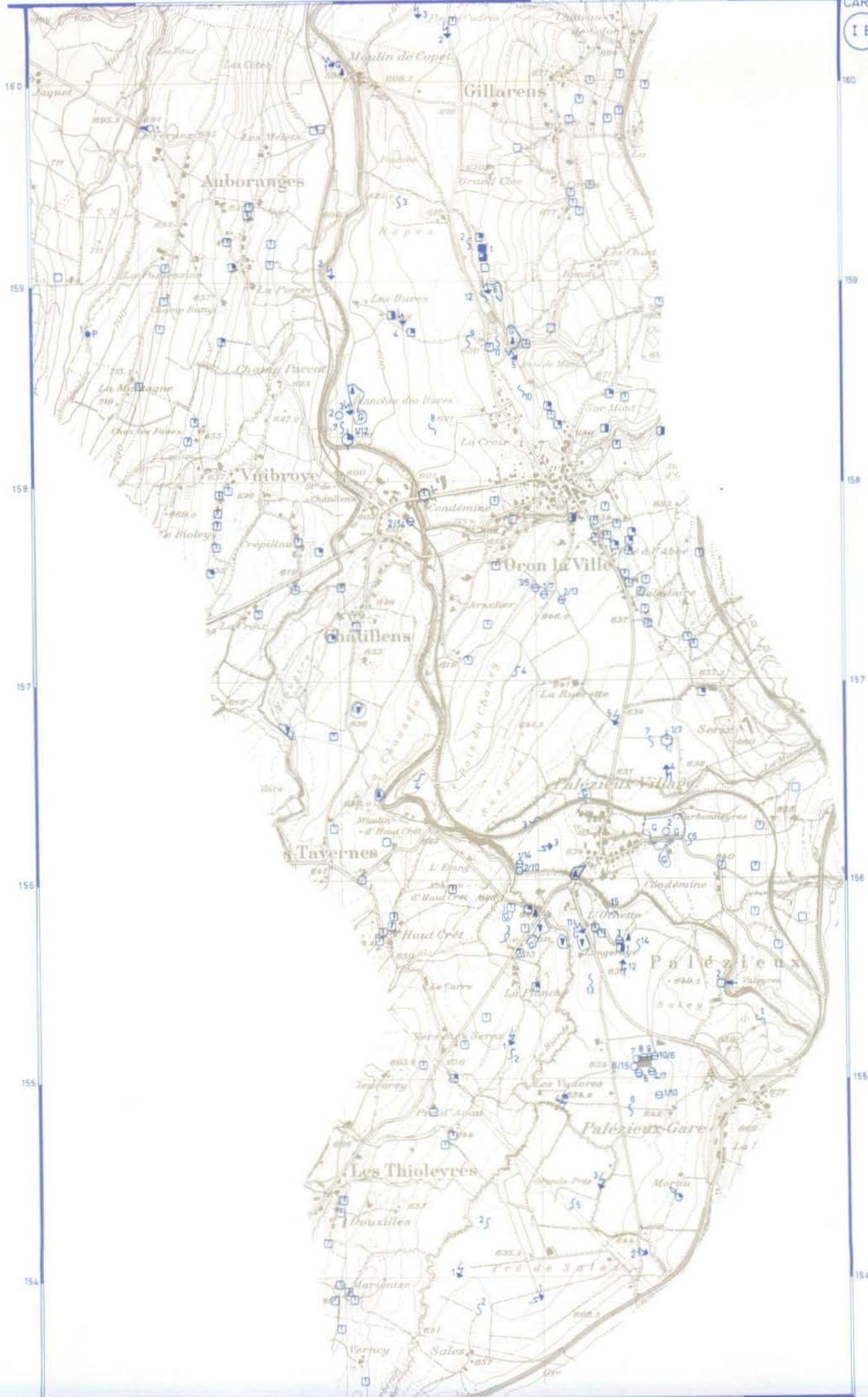
SONDAGES

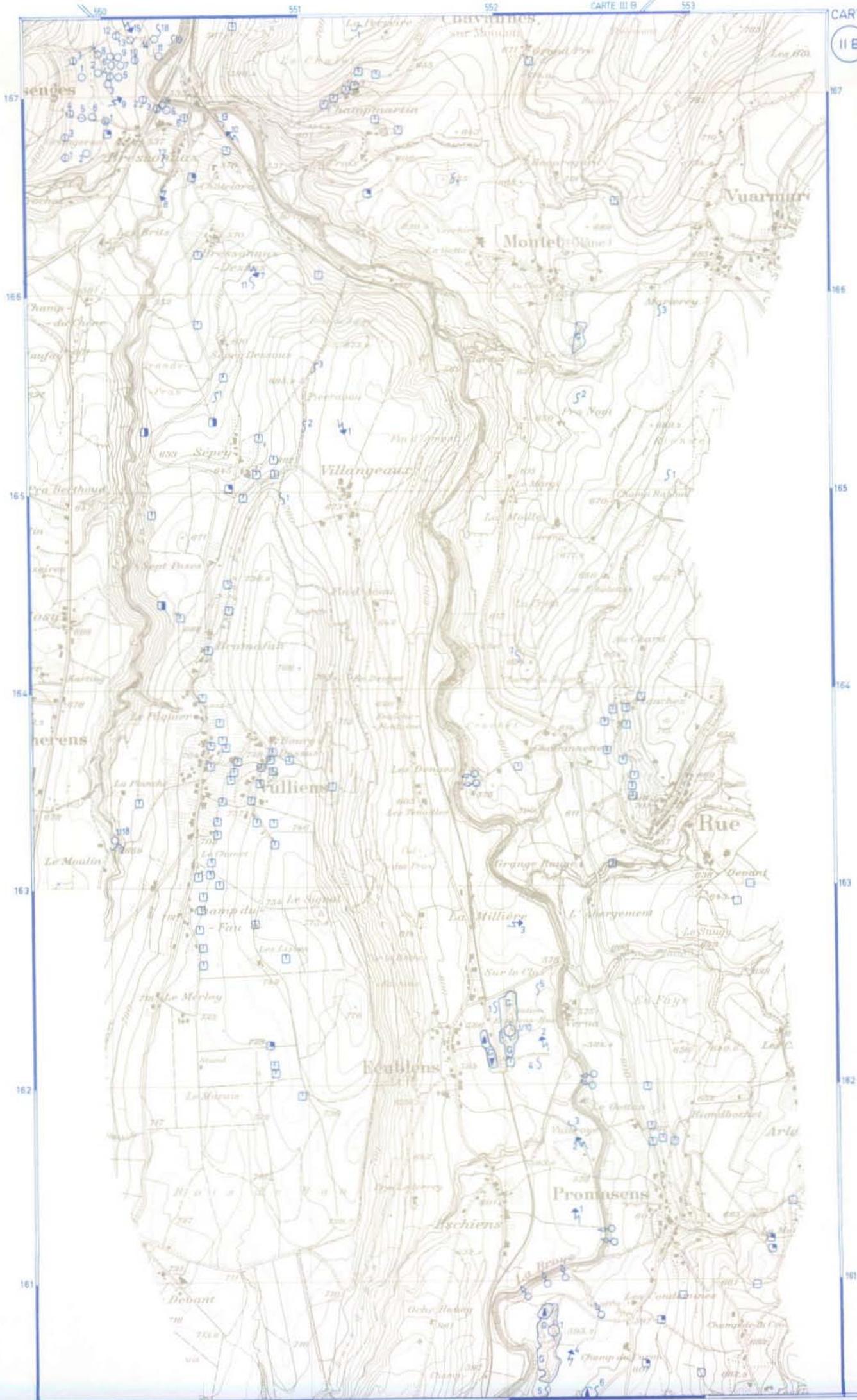
- 2.1 Sondage mécanique carotté. h = profondeur sond. (m)
- 2.2 idem 2.1 sans eau souterraine
- 2.3 idem 2.1 touchant la molasse à h (m) de profondeur
- 2.4 idem 2.1 avec piézomètre (installation permanente)
- 2.5 Sondage électrique
- 2.6 Sondage sismique réfraction

DIVERS

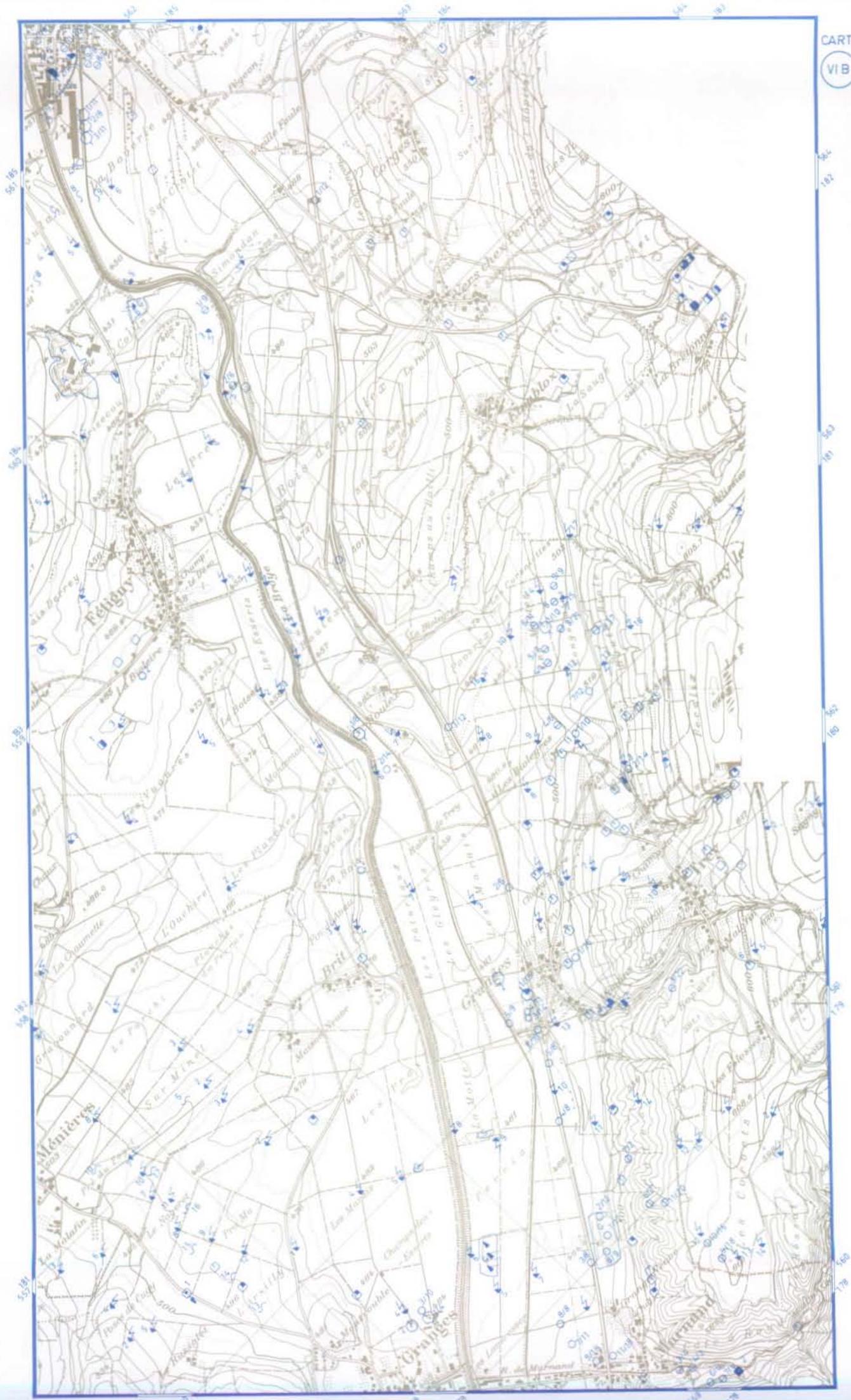
- 3.1 Pluviomètre officiel, pluviographe
- 3.2 Station hydrométrique
- 3.3 Station limnigraphique sur puits, sur piézomètre
- 3.4 Infiltration d'hydrocarbures
- 3.5 Exploitation de Gravier, Sable, Argile
- 3.6 Remblai terreux
- 3.7 Remblai de matériaux de construction
- 3.8 Remblai d'ordures ménagères

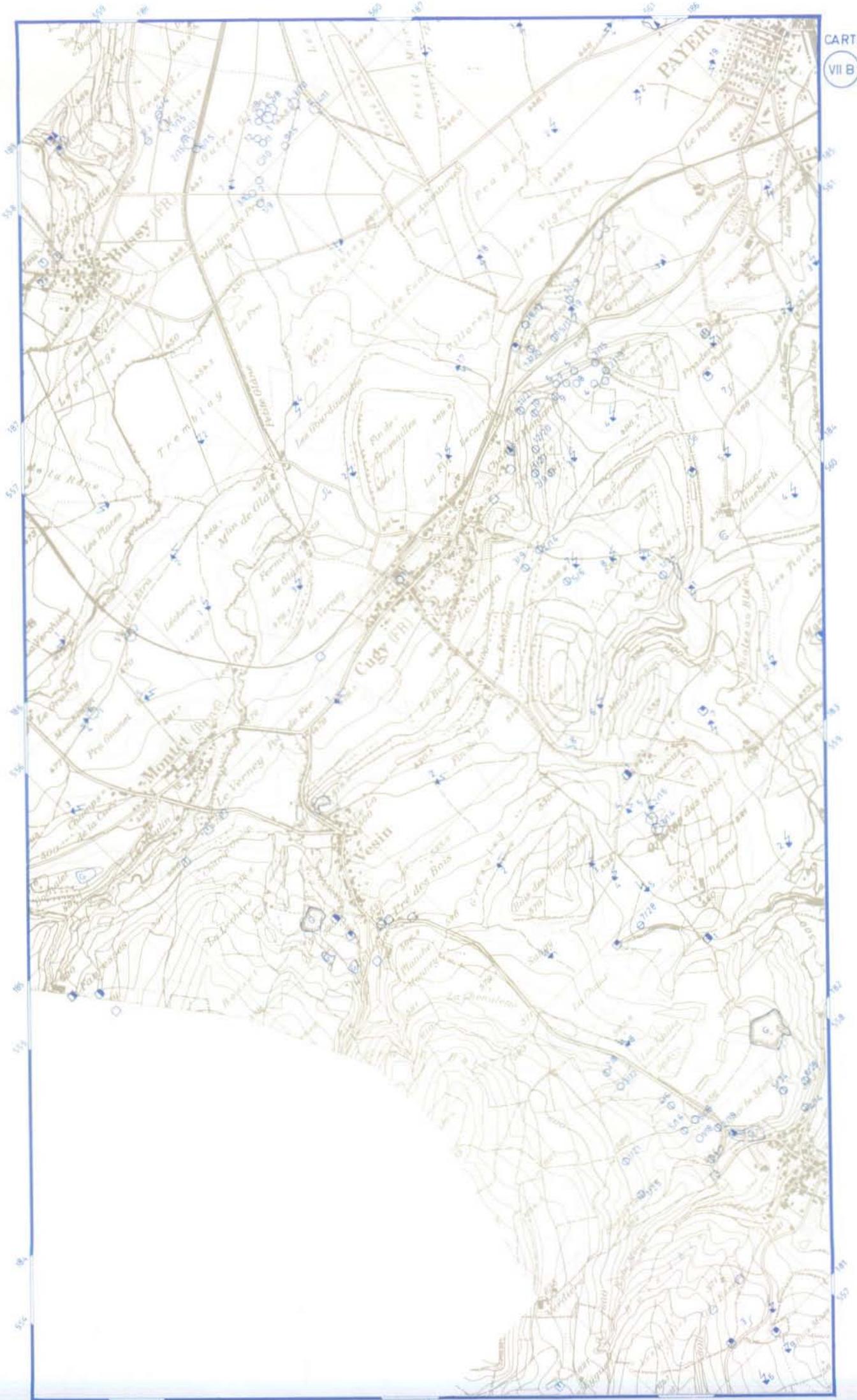
* les 1.2 sans N de la partie vaudoise sont tirées du Cadastre des sources du Canton de Vaud (Badoux - Mautner)

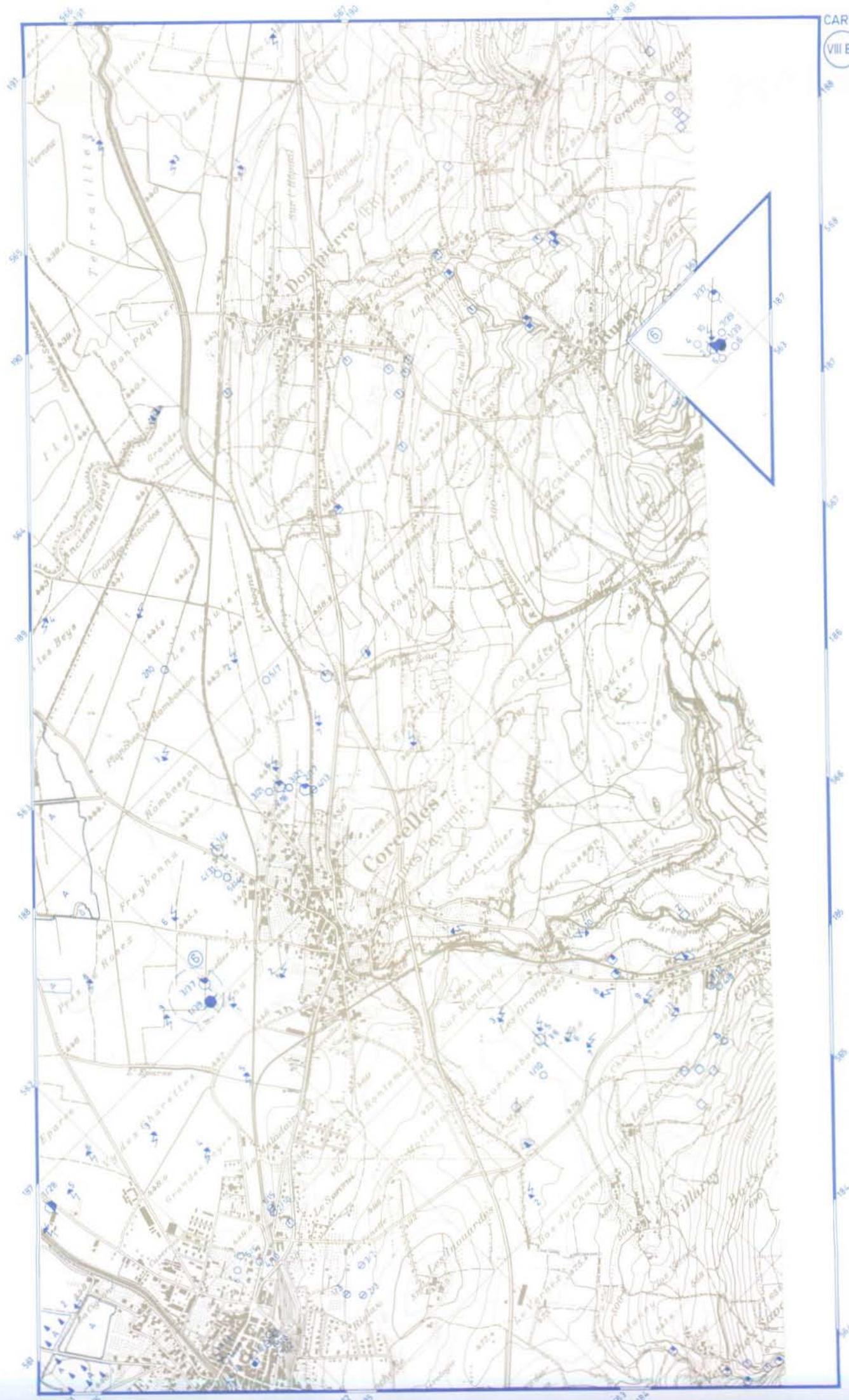


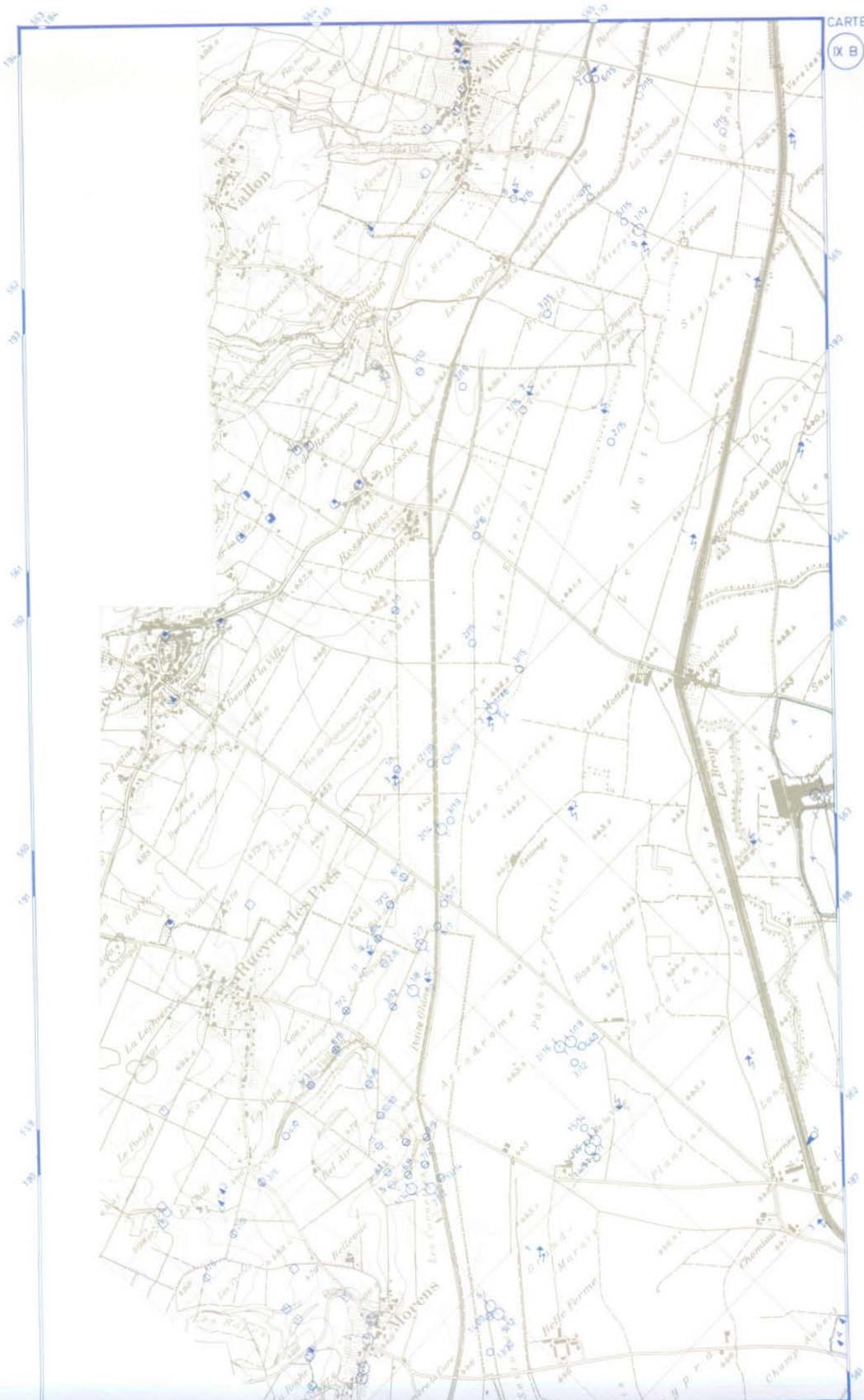


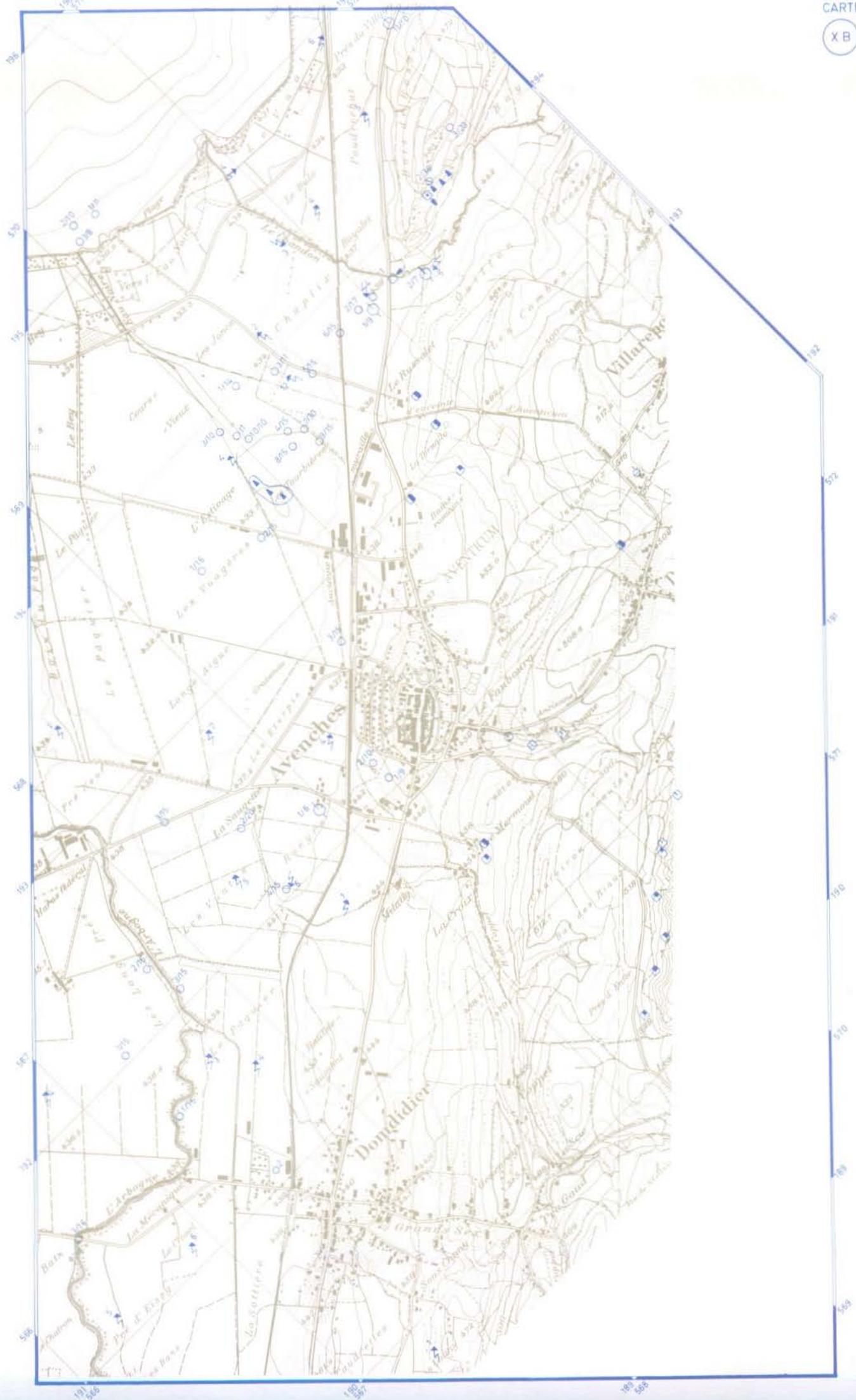














ANNEXE V

CARTE HYDROGEOLOGIQUE (H) ET PROFILS

ECHELLES : CARTE : 1/25'000
 PROFILS : 1/2'500 - 1/25'000
 1/25'000 - 1/25'000

CARTE EN 11 FEUILLES, PROFILS EN 4 FEUILLES ET UNE LEGENDE COMMUNE.

Erratum : Sur la carte VI H, remplacer les valeurs des coordonnées 559 à 563 par 560 à 564.

BROYE

HYDROGEOLOGIE

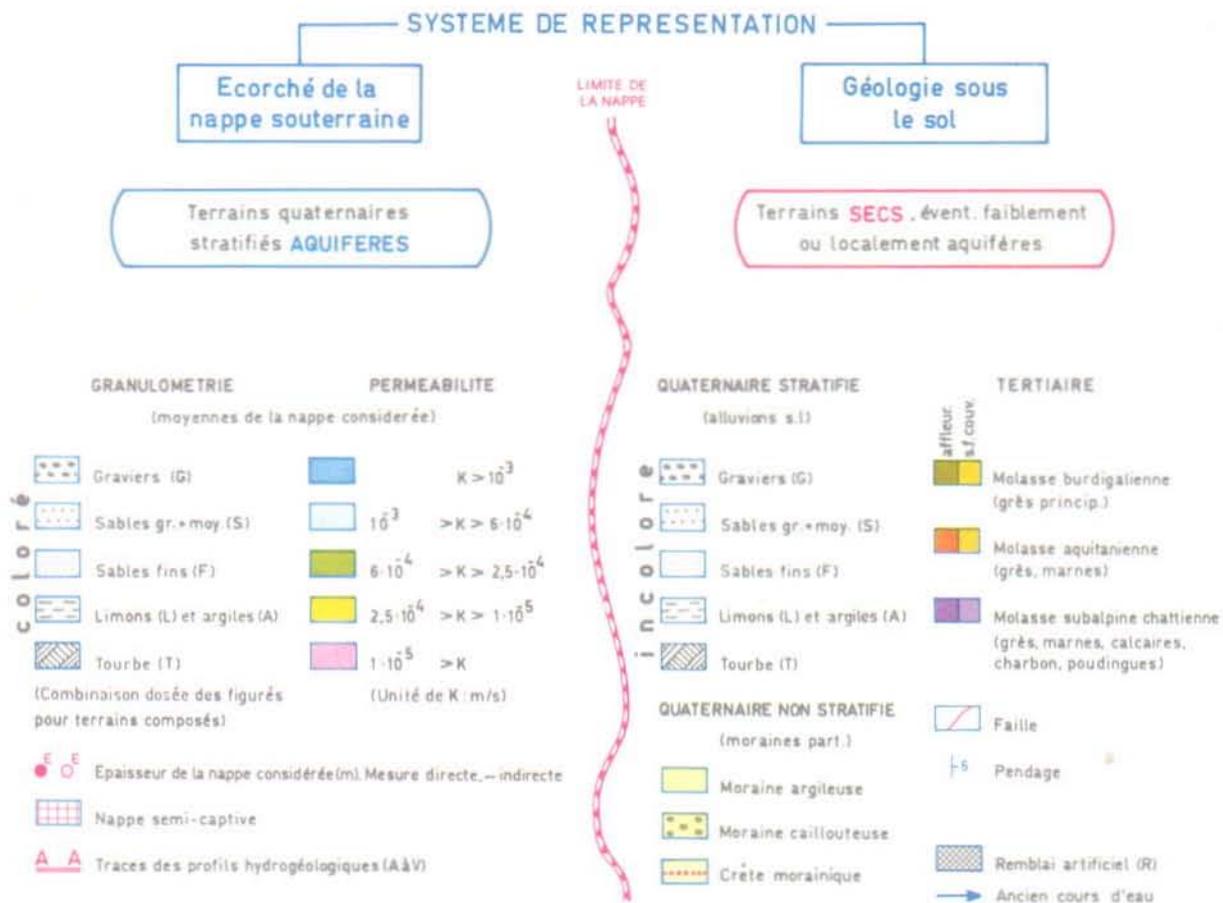
A. PARRIAUX 1980

CARTE HYDROGEOLOGIQUE

ECHELLE 1/25'000

FEUILLES -IH- -XIH (Assemblage comme carte de base B)

LEGENDE DE LA CARTE

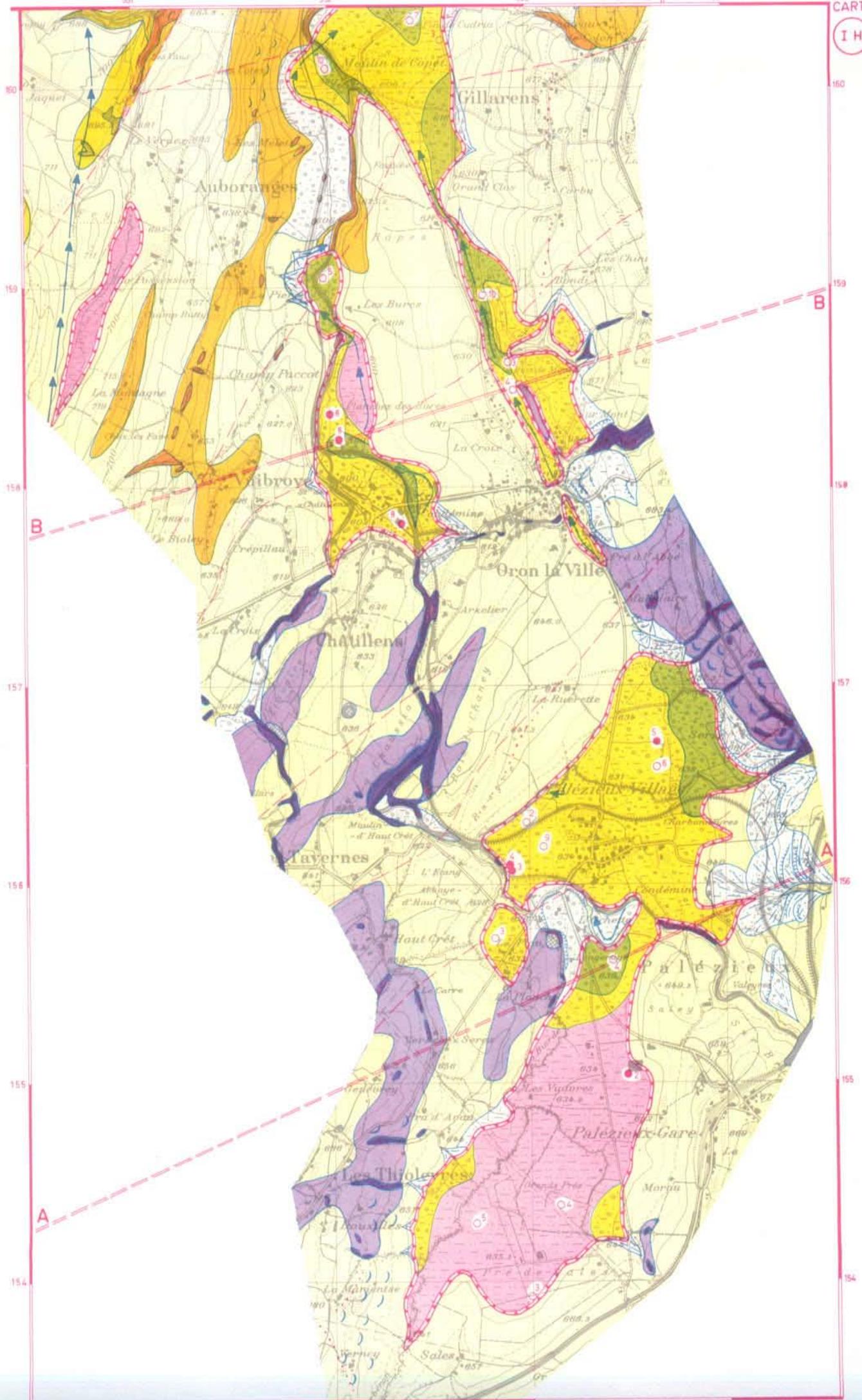


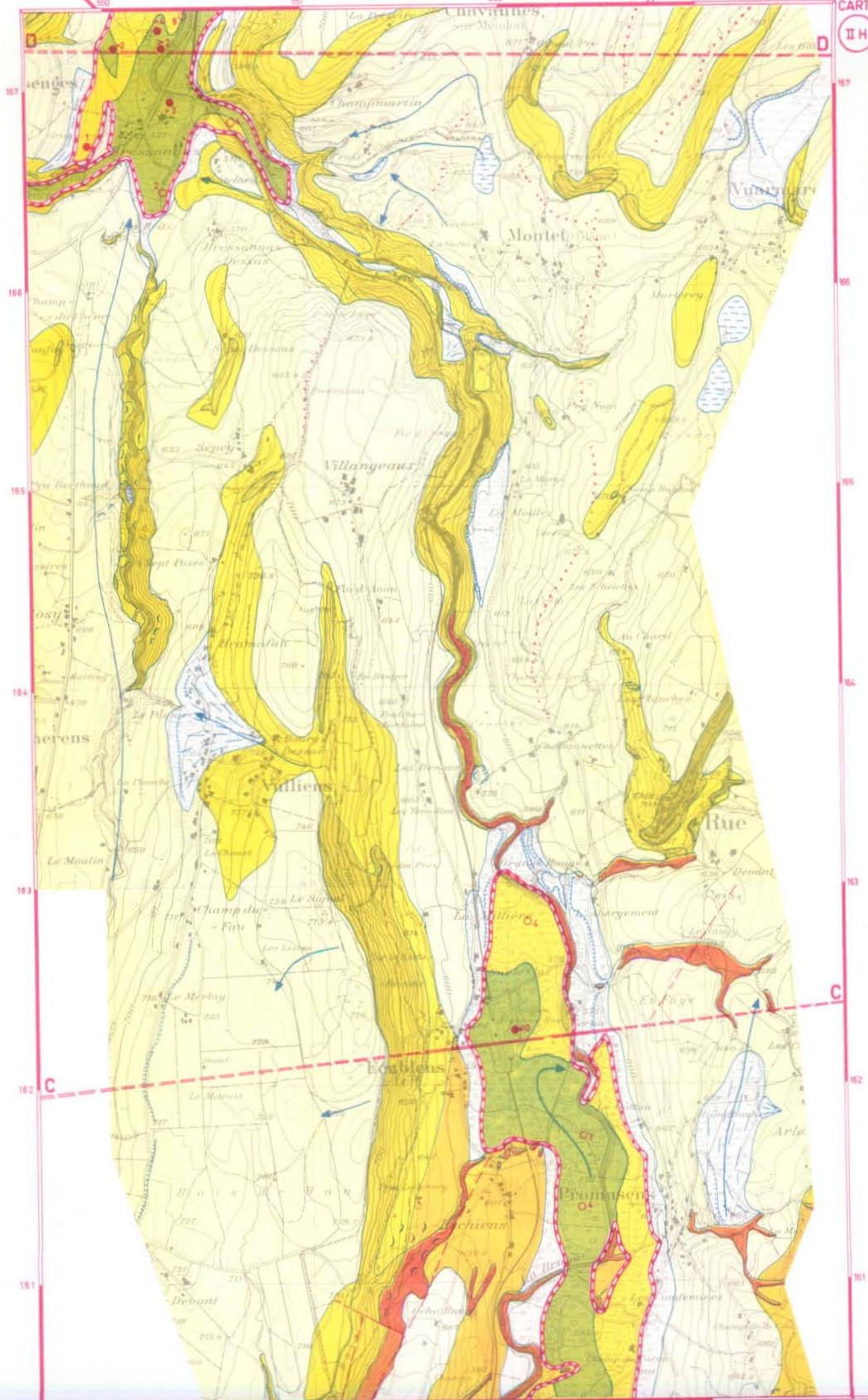
LEGENDE DES PROFILS

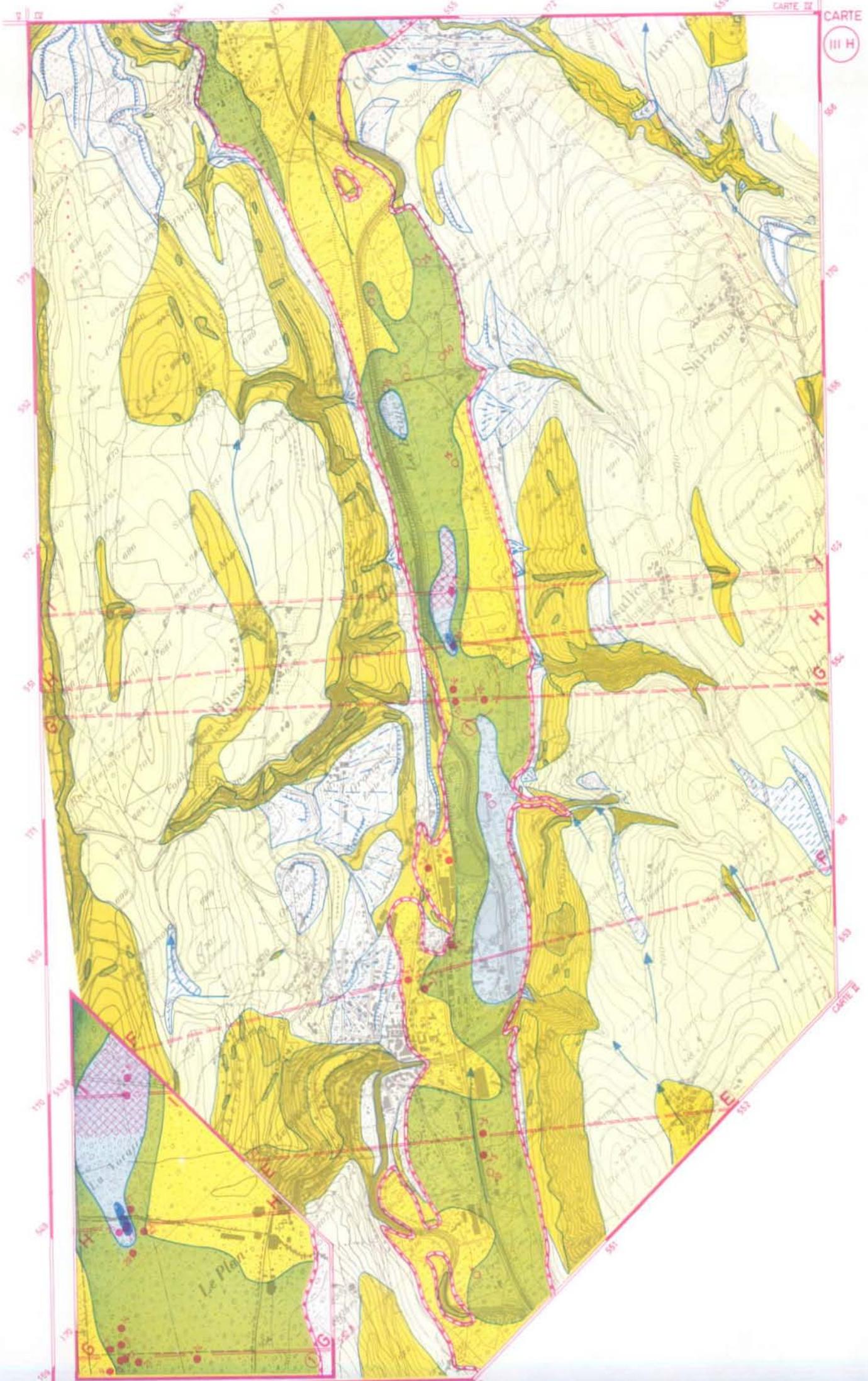


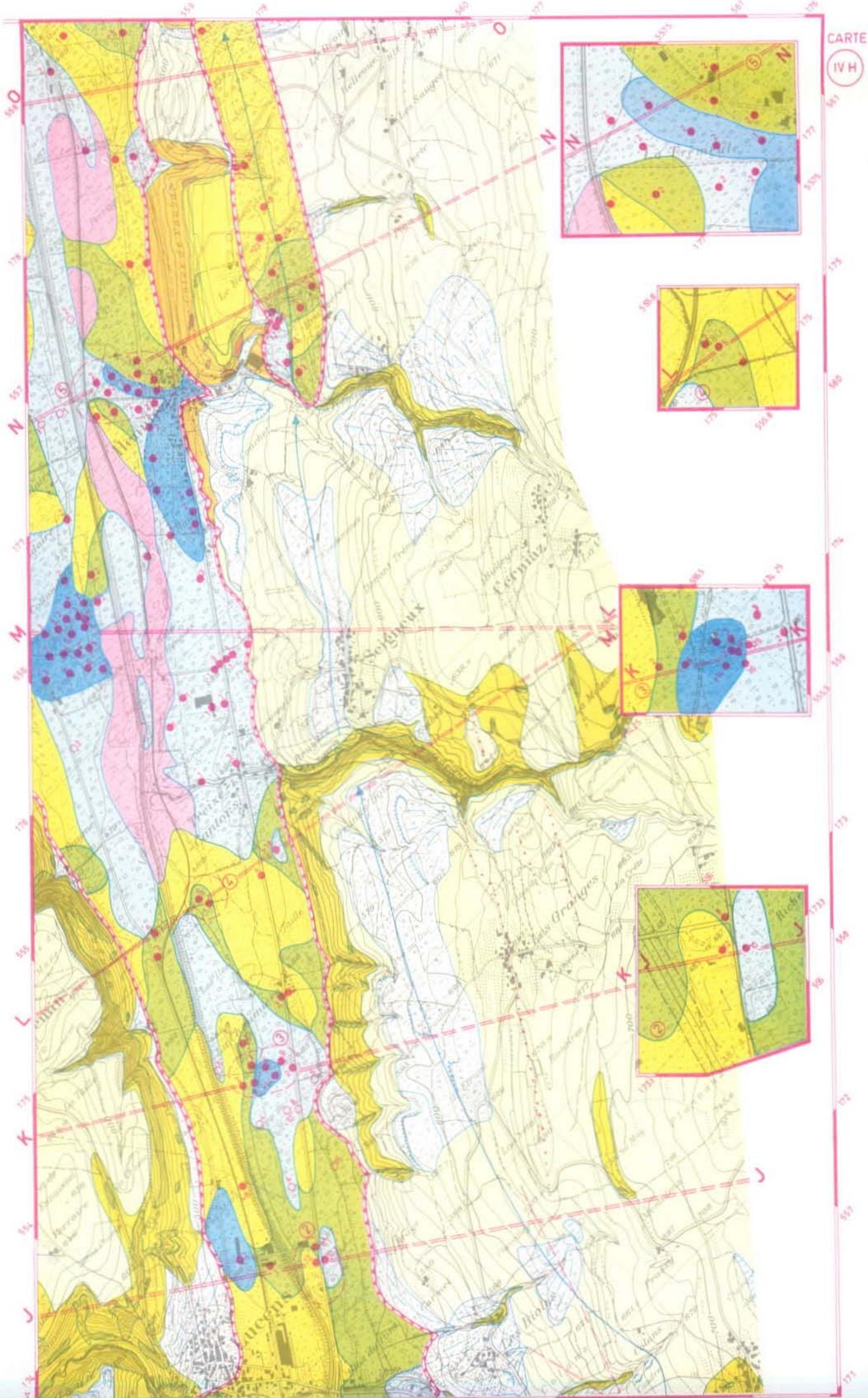
D'après les levés géologiques de Becker, Briel, Inglin, Parriaux, Rumeau et Sieber

REPRODUIT AVEC L'AUTORISATION DU SERVICE TOPOGRAPHIQUE FEDERAL DU 16. I. 1976

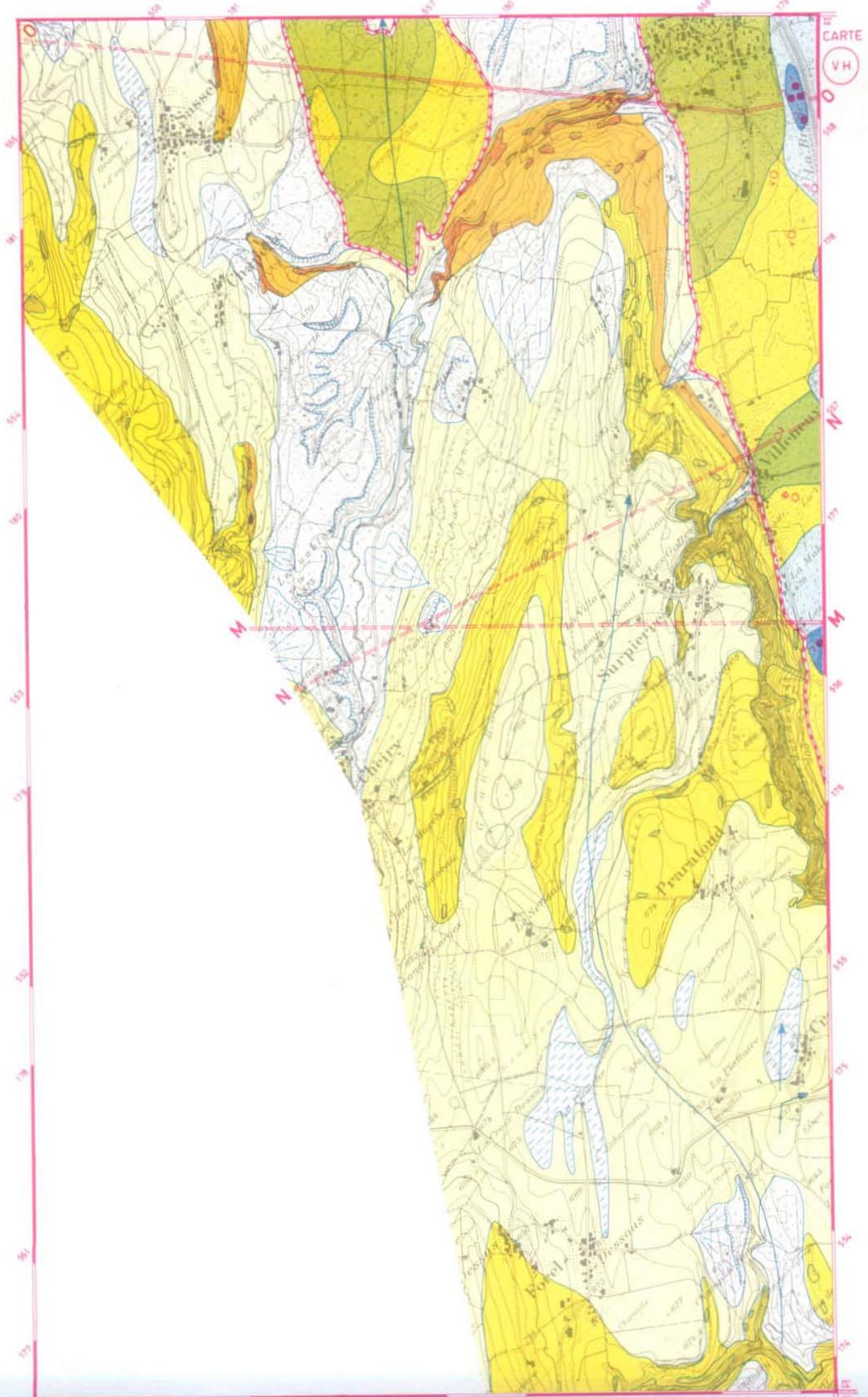


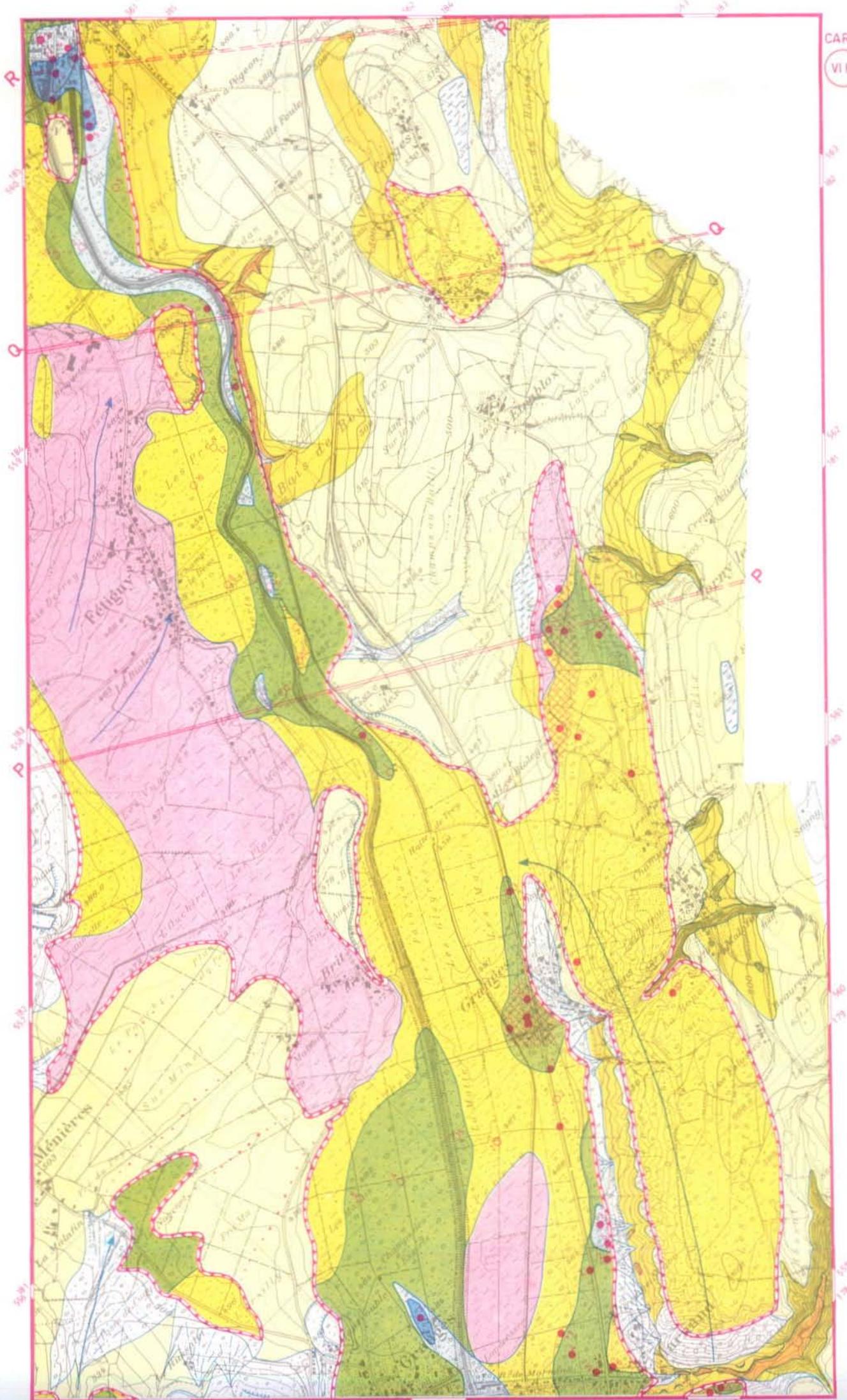


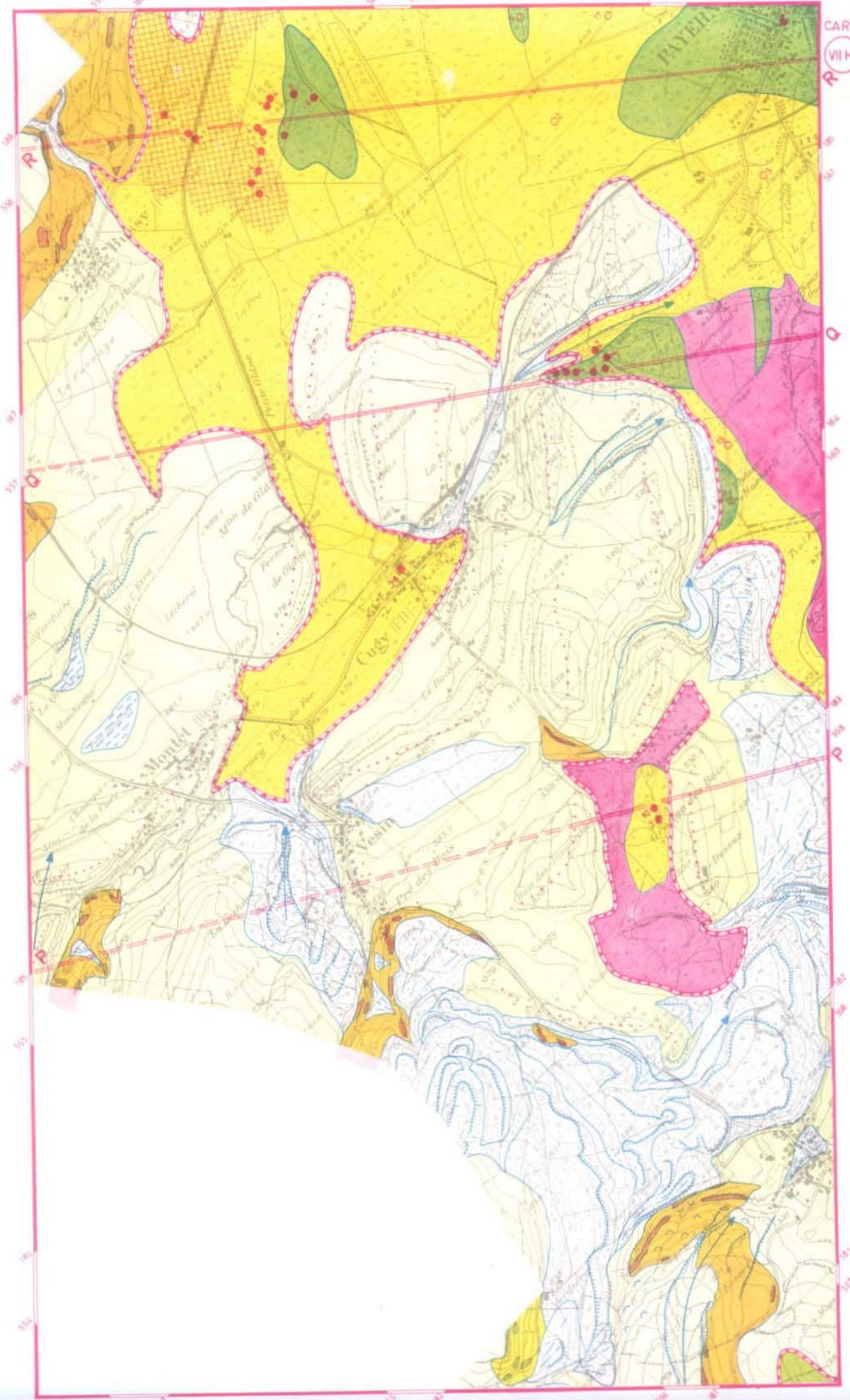


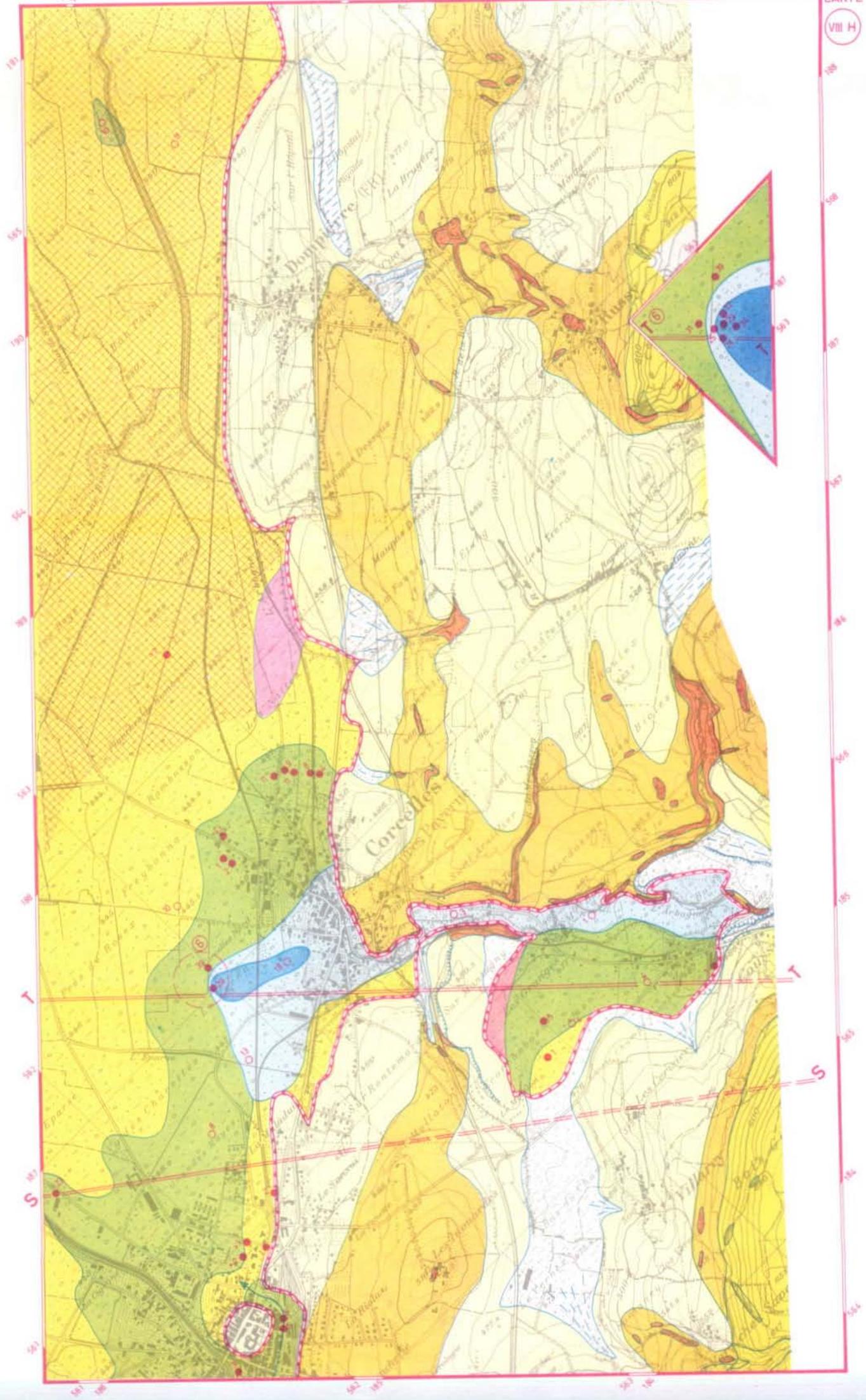


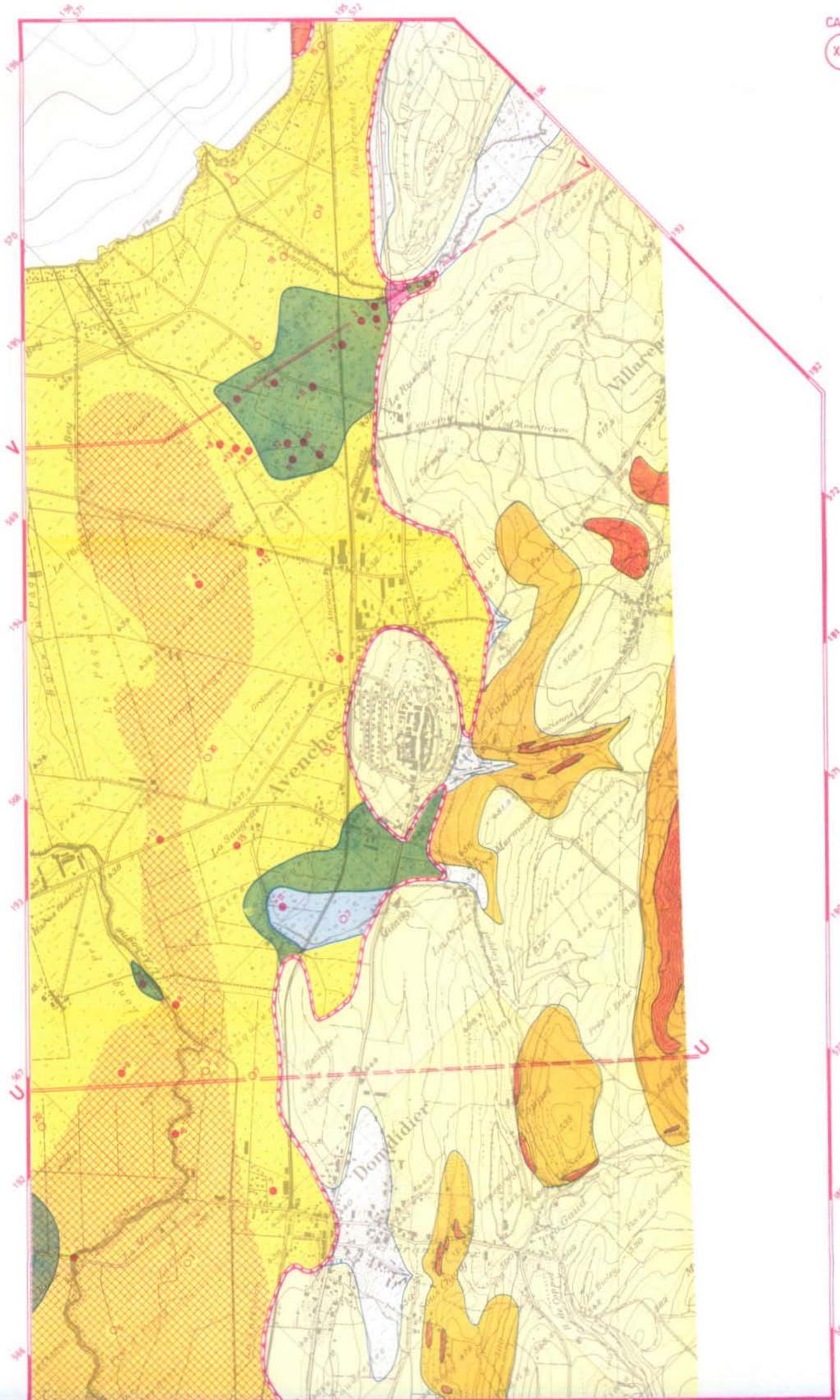
CARTE
VH

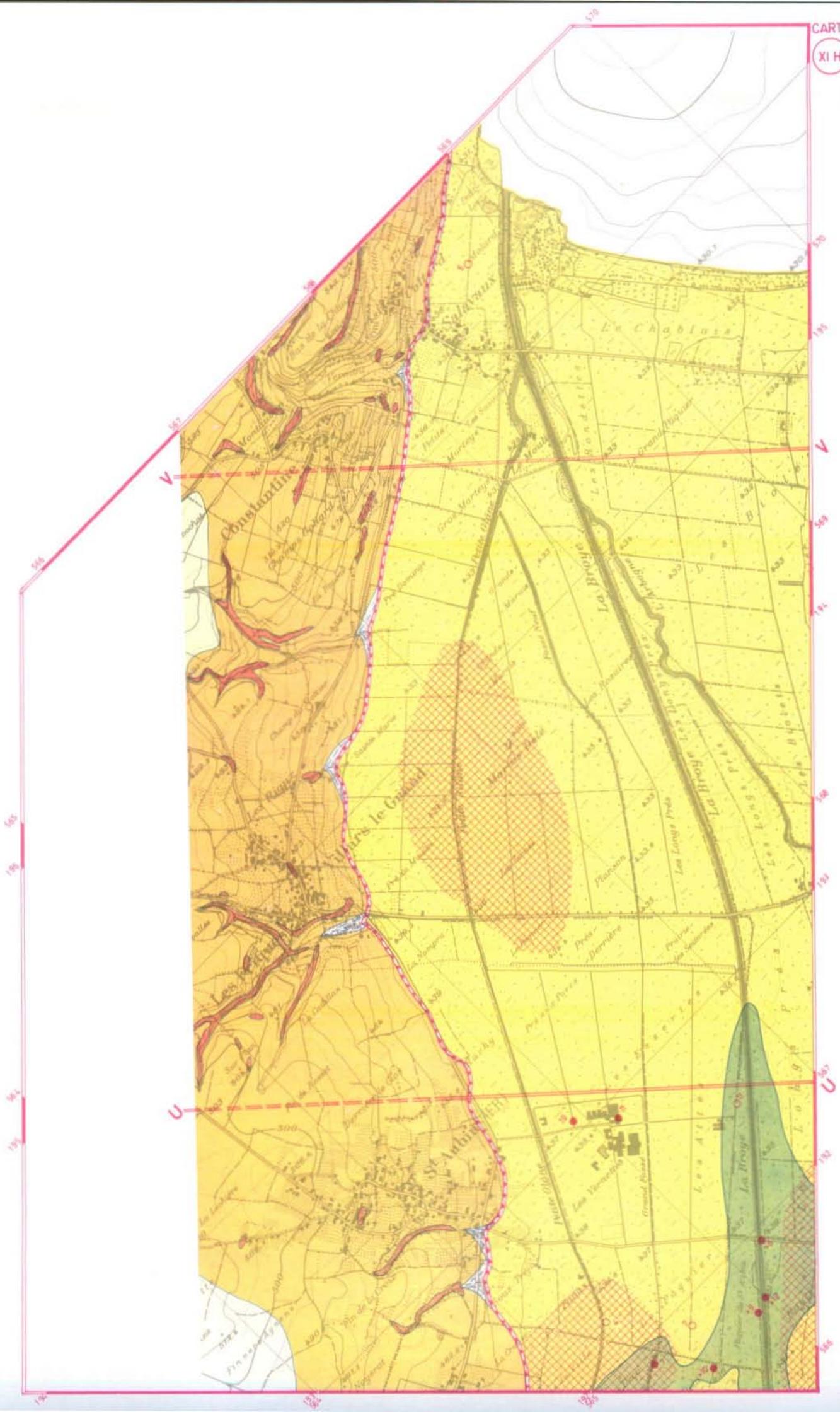


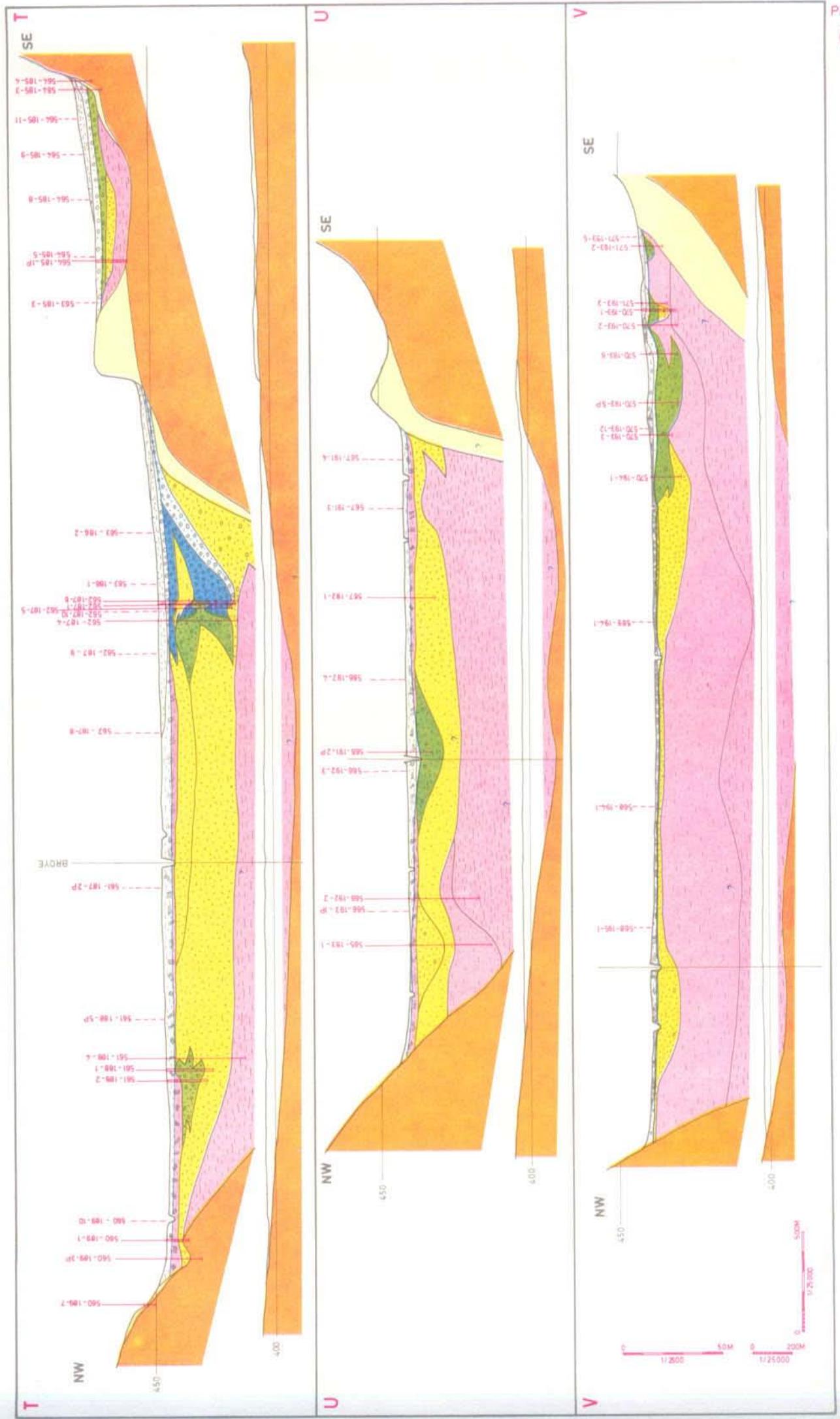












ANNEXE VI

REGISTRE

INTRODUCTION

LEXIQUE DES CODES

67 PAGES DE DONNEES

REGISTRE

DEFINITION

tables de référence pour le stockage de l'information hydrogéologique brute sous forme condensée et partiellement codée.

BUTS

- fournir une information détaillée sur des points précis figurés sur la carte de base
- rassembler et sauver de l'oubli des informations très dispersées dans le temps et dans l'espace.

CONTENU

Le registre contient des informations scientifiques et techniques sur de nombreux équipements de captage et de mesure, sur les sondages mécaniques et géophysiques. Il contient en outre certaines indications se rapportant à la protection des eaux (situation et nature des remblais de gravières etc...)

En ce qui concerne les sources sur territoire vaudois, la majorité d'entre elles ont été cartographiées dans le "Cadastre des Sources du Canton de Vaud". Elles n'ont donc pas été reprises dans ce registre.

STRUCTURE

Le registre est classé par km² selon le découpage du réseau topographique suisse, chaque carré étant identifié par les coordonnées de son sommet SW.

La surface du bassin est divisée en tranches W-E de 1 km de large, étagées du S au N (153 à 194). Chaque tranche est balayée d'W en E.

A l'intérieur des km², chaque élément porte un numéro d'ordre de 1 à N. Ces numéros sont remis à 1 au début d'un nouveau km².

Tout élément du registre est donc identifiable par trois nombres : Y - X - Numéro.

CODES

les paramètres décrits sont représentés par des codes alphanumériques décrits dans le lexique ci-après. Les codes les plus courants sont rappelés au bas de chaque page du registre.

ACCES

par l'intermédiaire de la carte de base sur laquelle chaque élément du registre porte un symbole et un numéro. On cherche chronologiquement :

- 1 les coordonnées du kilomètre-carré dans lequel figure le symbole. Par exemple, pour le puits d'Oron : 552 - 158.

L'accès au km² dans le registre se fait d'abord par l'abscisse X (par ex. 158), puis par l'ordonnée Y (par ex. 552).

- 2 le numéro d'ordre, c'est-à-dire le premier nombre figurant à côté du symbole (par ex. 1 pour le puits d'Oron). Ce numéro figure dans le registre à l'extrémité gauche de la page.

Lexique des codes

CODE	SIGNIFICATION	CODE	SIGNIFICATION
A, a	Argile, - argileux	Q	Débit moyen de l'ouvrage de captage (C) ou débit de concession (P)
Az	Azimat des lignes de sondages géophysiques (N vers l'E en degré)	Q/	Dépôts quaternaires meubles stratifiés (yc. alluvions interglaciaires)
C, CT, CG, CR	Captage, - en tranchée, - en galerie, - en rivière	<u>Indications granulométriques :</u>	
COMPOS.EAU	Analyse à la date indiquée (j,m,a) ou moyenne de plusieurs analyses (moy.) (Lab. cantonal)	G	: gravier
1/Température eau °C	2/Taux sat. O ₂ %	L	: limon
3/Dureté totale DF	4/D.pas./D. tot.	S	: sable moy. et gros.
5/Ca ⁺⁺ mg/l	6/Mg ⁺⁺ /Ca ⁺⁺	F	: sable fin
7/Fer mg/l	8/Oxydabilité mg/l	A	: argile
9/NO ₂ ⁻ 10 ⁻³ .mg/l	10/NO ₃ ⁻ mg/l	T	: tourbe
11/Cl ⁻ mg/l	12/SO ₄ ⁼ mg/l	Les fractions granulométriques dominantes sont représentées par des majuscules, les second. par des minuscules. Si elles sont entre deux parenthèses, la fraction n'est que légèrement présente.	
13/Nb germes/ml	14/Nb Coli/100ml	Ex : Q/Sg(l) : Quaternaire stratifié fait de sable graveleux légèrement limoneux.	
d	Diamètre de forage du puits ou du sondage	Les terrains désignés granulométriquement sont rattachés au dernier ensemble géologique exprimé (dernier Q/ ou M/ ou T/)	
A	Rabattement (m)	Qu	Qualité d'ajustement des mesures géophysiques expérimentales aux lois théoriques basées sur les hypothèses simplificatrices habituelles (pour SE et SS)
E/	Entreprise ayant effectué les travaux	E = excellent	B = bon
Et,Z	Numéro et cote d'un étage de drains horizontaux	S = satisfaisant	P = peu satisfaisant
F,f	Sable fin, - finement sableux	M = médiocre	
G,g	Gravier, - graveleux	N/	Remblai (indic. granul. = Q/)
I/	Bureau d'ingénieur ou géologue responsable	S	Sondages verticaux. Profils reportés à l'horizontale, de gauche à droite.
K	Coefficient de perméabilité (m/s)	SE	Sondage électrique. Profil des résistivités en Ωm. Profondeur logarithmique (10 ¹ = 6,2 cm). Interprétation par terrains homogènes et isotropes. En pratique, réduire les profondeurs de ~ 10% (Coef. d'anisotropie A _μ = 1,1)
Km ²	Surface de 1x1 km située au NE du point donné par les coordonnées indiquées	SM	Sondage mécanique carotté. Profil géologique au 1/200
L,l	Limon, - limoneux	SS	Sondage sismique. Profil des vitesses en m/s. Profondeur au 1/200.
Ld	Longueur totale des drains perforés d'un étage Et	T	Transmissivité (m ² /s)
M/	Terrains morainiques (indications granulométriques identiques à Q/)	T/	Roches tertiaires molassiques
MO/	Maître de l'oeuvre	S :	molasse subalpine
NC	Nappe captive	C :	molasse du Plateau "Chattien"
Nd	Nombre de drains sur l'étage Et	A :	molasse du Plateau "Aquitainien"
NL	Nappe libre	B :	molasse du Plateau "Burdigalien"
Numéro	Numéro d'ordre à l'intérieur du km ²	Y,X	Coordonnées du réseau national suisse
OA	½ longueur de ligne (sondages géophysiques)	Z	Cote du terrain naturel (msm)
P,PV,PR	Puits, - filtrant vertical, - à drains rayonnants		
Pf n ₁ ,n ₂	Tronçon crépiné de n ₁ m à n ₂ m prof.		
Ps n ₁ ,n ₂	Piézomètre perforé de n ₁ m à n ₂ m		

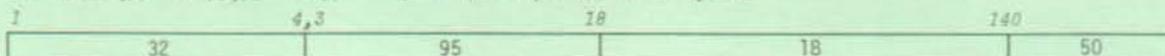
S sondage	P puits	C captage	Symb.granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	S subalp.
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	G gravier	C chatt.
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/ remblai	S sable g+m	A aquit.
unités : SE Ωm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE log	F sable fin	L limon	B burdig.
		A argile	T tourbe	
			M/ moraine	
			+ symb.	
			= Q	
			A. PARRIAUX 1977	

numéro

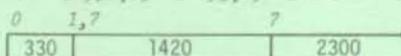
CARTE IB KM²

552 - 153

1 SE Y 552,99 X 153,93 Z 637 Az = 76 - 256 OA = 200 Qu = S



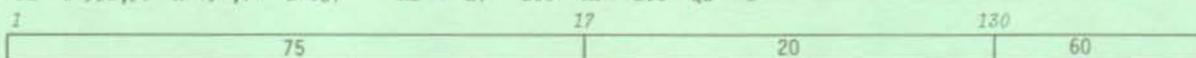
2 SS Y 552,65 X 153,85 Z 646 Az = 26 OA = 65 Qu = B



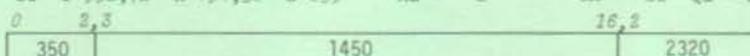
CARTE IB KM²

552 - 154

1 SE Y 552,56 X 154,01 Z 637 Az = 27 - 208 OA = 200 Qu = S



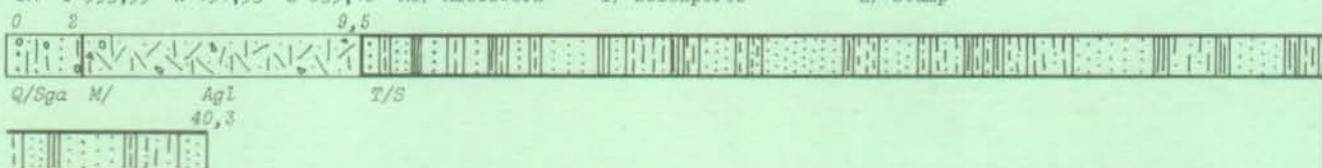
2 SS Y 552,72 X 154,36 Z 635 Az = 2 OA = 60 Qu = B



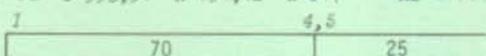
CARTE IB KM²

553 - 154

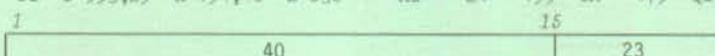
1 SM Y 553,59 X 154,93 Z 635,40 MO/ Albiswerk I/ Solexperts E/ Stump



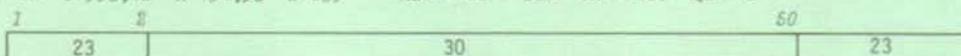
2 SE Y 553,54 X 154,12 Z 647 Az = 144 - 302 OA = 125 Qu = B



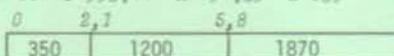
3 SE Y 553,29 X 154,46 Z 636 Az = 24 - 195 OA = 175 Qu = B



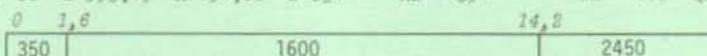
4 SE Y 553,12 X 154,93 Z 635 Az = 60 - 208 OA = 200 Qu = B



5 SS Y 553,14 X 154,39 Z 635 Az = 28 OA = 100 Qu = B



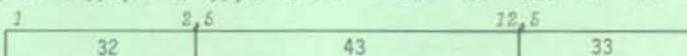
6 SS Y 553,45 X 154,80 Z 634 Az = 351 OA = 100 Qu = B



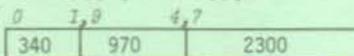
CARTE IB KM²

552 - 155

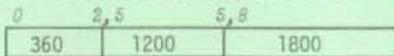
1 SE Y 552,84 X 155,18 Z 641 Az = 28 - 200 OA = 200 Qu = S



2 SS Y 552,82 X 155,18 Z 641 Az = 26 OA = 65 Qu = S



3 SS Y 552,82 X 155,73 Z 632 Az = 203 OA = 55 Qu = S



CARTE IB KM²

553 - 155

1 CT Y 553,42 X 155,68 Z 628 MO/ C. Palésieux I/ Herter Q 60

T drainante à 2 bras de 10 m direct. 115 - 285 à la base des graviers, sur la moraine. Débit très variable.

COMPOS. EAU (12. 6.52) 1/8,3 2/-- 3/31 4/87 5/-- 6/-- 7/0 8/3,4 9/0 10/16 11/12 12/0 13/4 14/0

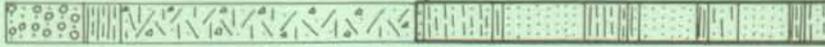
S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom. : MAJ. gr. domin. / min. gr. second.	T/ molasse
SM - mécanique	FV - filtr. vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	+ symb.
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	.. S sable g+m	= Q
unités : SE Gm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		.. F sable fin	
			L limon	
			A argile	
			T tourbe	
				A. PARRIAUX 1977
				S subalp.
				C ehatt.
				A aquit.
				B burdig.

numéro

CARTE IB KM² SUITE 553 - 155

2 CR Y 553,94 X 155,49 Z 639 MO/ Robafarm E/ Stump Q 600
Eau industrielle de refroidissement.

3 SM Y 553,40 X 155,70 Z 628 MO/ C.Palézieux E/ Stump
0 2 3 10,8 21,8



Q/Ga Al M/Alg T/S

4 SM Y 553,56 X 155,04 Z 635,50 MO/ Albiswerk I/ Solexperts E/ Swissb. d 145/115
0 3,1 7 17,2



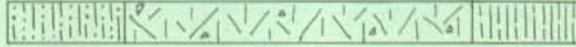
Q/La M/Lag T/S

5 SM Y 553,49 X 155,04 Z 636,85 MO/ Albiswerk I/ Solexperts E/ Swissb. d 145/115
0 0,3 11,4 16,2



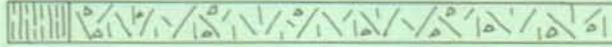
Q/La M/Lag T/S

6 SM Y 553,47 X 155,07 Z 635,80 MO/ Albiswerk I/ Solexperts E/ Stump
0 3,1 12,4 15,2



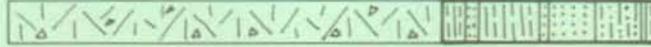
Q/SLa M/Lag Q/La

7 SM Y 553,49 X 155,11 Z 635,75 MO/ Albiswerk I/ Solexperts E/ Swissb. d 145/115
0 1,6 18,3



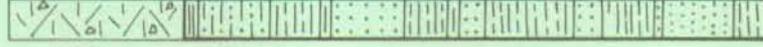
Q/Lag M/Lag

8 SM Y 553,52 X 155,12 Z 636,30 MO/ Albiswerk I/ Solexperts E/ Swissb. d 145/115
0 11,5 17,2



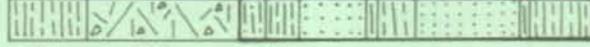
M/Lag T/S

9 SM Y 553,55 X 155,12 Z 636,70 MO/ Albiswerk I/ Solexperts E/ Swissb. d 145/115
0 4,0 20,1



M/Lag T/S

10 SM Y 553,58 X 155,12 Z 638 MO/ Albiswerk I/ Solexperts E/ Stump
0 8 16,6



Q/La M/Lag T/S

11 SE Y 553,23 X 155,75 Z 635 Az = 160 - 340 OA = 125 Qu = P
1 1,5 3 15

200	50	90	26
-----	----	----	----

12 SE Y 553,42 X 155,62 Z 636 Az = 28 - 190 OA = 150 Qu = B
1 7 17 80

330	75	40	18
-----	----	----	----

13 SS Y 553,26 X 155,51 Z 636 Az = 0 OA = 60 Qu = B
0 1,4 8,7 10,1

350	730	1420	1950
-----	-----	------	------

14 SS Y 553,50 X 155,69 Z 638 Az = 188 OA = 70 Qu = B
0 2,1 5,2

350	930	1920
-----	-----	------

15 SS Y 553,37 X 155,85 Z 627 Az = 182 OA = 55 Qu = B
0 1,8 5,2

340	1620	2250
-----	------	------

CARTE IB KM² 554 - 155

1 SS Y 554,11 X 155,32 Z 654 Az = 107 OA = 70 Qu = P
0 2,2

330	2180
-----	------

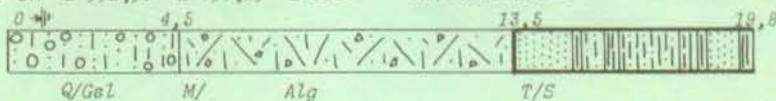
S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

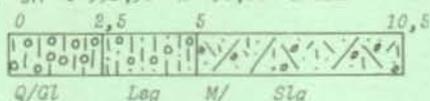
CARTE IB KM²

552 - 156

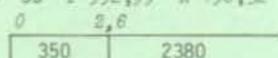
1 SM Y 552,90 X 156,09 Z 622 MO/C.Palézieux E/Stump



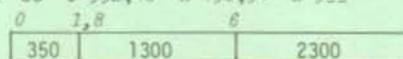
2 SM Y 552,90 X 156,06 Z 622 MO/C.Palézieux I/Merz



3 SS Y 552,99 X 156,32 Z 624 Az = 55 OA = 70 Qu = B



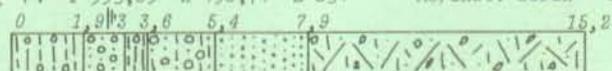
4 SS Y 552,40 X 156,54 Z 533 Az = 255 - 137 OA = 75 Qu = B



CARTE IB KM²

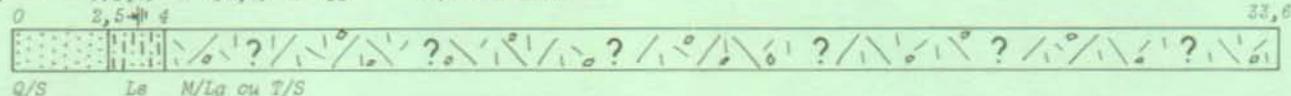
553 - 156

1 PV Y 553,65 X 156,71 Z 634 MO/Inst. Serix I/Glapey+Merz d 1200 Pf 2/6 Q 50

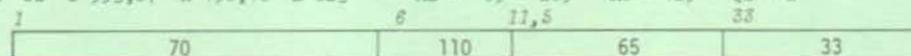


Données sur comportement hydraulique manquantes. K approx. 1×10^{-4} m/s. Pompage discontinu. Eau de consommation.

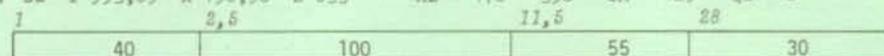
2 SM Y 553,65 X 156,25 Z 633 MO/C.Palézieux



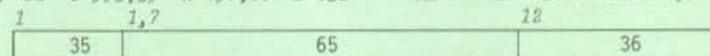
3 SE Y 553,07 X 156,18 Z 623 Az = 85 - 265 OA = 125 Qu = B



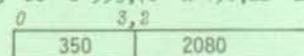
4 SE Y 553,65 X 156,58 Z 633 Az = 178 - 358 OA = 125 Qu = S



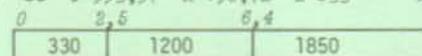
5 SE Y 553,39 X 156,80 Z 632 Az = 18 - 218 OA = 150 Qu = B



6 SS Y 553,76 X 156,22 Z 636 Az = 10 OA = 75 Qu = B



7 SS Y 553,57 X 156,72 Z 633 Az = 128 OA = 50 Qu = B



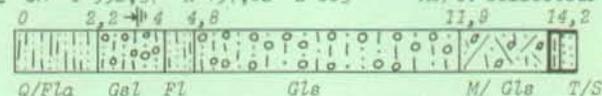
CARTE IB KM²

552 - 157

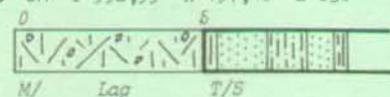
1 P Y 552,44 X 157,95 Z 601 MO/Delmonico E/Delmon. d 1000

Tuyaux ciment. Prof 4 m dans gravier. Débit inconnu. Eau pour lavage de graviers.

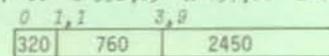
2 SM Y 552,37 X 157,82 Z 603 MO/C. collecteur I/de Cerenville E/de Cer. d 100/75



3 SM Y 552,99 X 157,48 Z 638 MO/Mine charbon I/Bersier



4 SS Y 552,89 X 157,06 Z 644 Az = 22 OA = 100 Qu = M



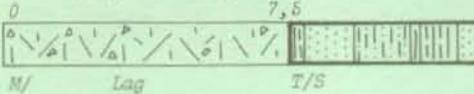
S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE cm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log P sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

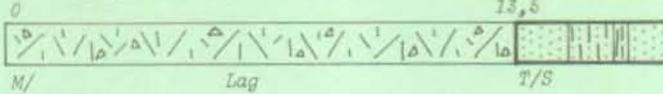
CARTE IB KM²

553 - 157

1 SM Y 553,04 X 157,45 Z 641 MO/ M.charbon I/ Bersier



2 SM Y 553,13 X 157,42 Z 642 MO/ M.charbon I/ Bersier



CARTE IB KM²

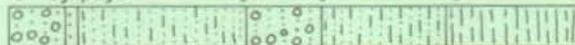
550 - 158

1 Y 550,74 X 158,77 Z 695 Station pluviographique (IGR-EPFL). Observ. depuis 1973.

CARTE IB KM²

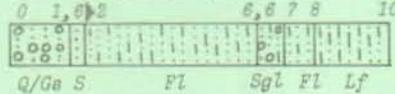
552 - 158

1 PV Y 552,05 X 158,23 Z 599 MO/ C.Oron-V. I/ Ebner d 2000 Pr 6/ 8 Q = 450



Nappe très hétérogène. Hyp: NL, H = 6 m, K eq. = $3,5 \times 10^{-4}$ (Si Hyp: NC, e = 2m, K = 9×10^{-4}). T = 2×10^{-3} m²/s. Influence par crues de la Broye après 6 à 10 h de décalage. Act., puits léger. ensablé : débit permanent max : 280 l/mn.
COMPOS. EAU (18. S.66) 1/9,5 2/-- 3/31,54/0,785/-- 6/-- 7/-- 8/4,4 9/0 10/5,8 11/4,4 12/9,8 13/14,8 14/0

2 SM Y 552,01 X 158,35 Z 598 MO/ C.Oron+Chât. I/ de Cerenville E/ de Cer. d 160/130 Pz 2/ 6



3 SE Y 552,08 X 158,35 Z 599 Az = 180 - 350 OA = 125 Qu = P

1	1,5	4,7	10	35
60	400	50	90	18

4 SE Y 552,33 X 158,80 Z 612 Az = 173 - 353 OA = 200 Qu = P

1	6	11	110
75	35	20	30

5 SE Y 552,91 X 158,62 Z 629 Az = 161 - 315 OA = 150 Qu = M

1	3,5
65	30

6 SE Y 552,76 X 158,95 Z 621 Az = 152 - 346 OA = 150 Qu = S

1	2,6	14,6
45	250	25

7 SS Y 552,04 X 158,27 Z 598 Az = 180 - 360 OA = 76 Qu = P

0	3,2
350	1700

8 SS Y 552,48 X 158,28 Z 615 Az = 181 OA = 50 Qu = B

0	2,3
340	2200

9 SS Y 552,66 X 158,71 Z 632 Az = 162 OA = 65 Qu = B

0	2,3
350	2030

10 SS Y 552,92 X 158,47 Z 638 Az = 150 OA = 50 Qu = B

0	1,6	4,9
380	1660	2100

11 SS Y 552,81 X 158,71 Z 637 Az = 171 OA = 65 Qu = S

0	1,7	4,8
340	280	2150

12 SS Y 552,77 X 158,91 Z 620 Az = 298 OA = 50 Qu = S

0	1,3
350	2350

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
 unités : SE Gm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre P 5

numéro CARTE IB KM² 551 - 159

- 1 Y 551,00 X 159,80 Z 686 Station hydrométrique sur le Parimbot(IGR-EPFL) Observ. depuis 1973.

- 2 SE Y 551,97 X 159,03 Z 595 Az = 20 - 158 OA = 125 Qu = B

1	230	30
---	-----	----

CARTE IB KM² 552 - 159

- 1 C Y 552,76 X 159,18 Z 622 MO/C.Oron-V.
Tranchées et galerie dans la base du cône de déjection fluvioglacière sablo-graveleux. Débit important mais variable. Eau de consommation, complément de celle du puits des Bures.

- 2 SS Y 552,68 X 159,20 Z 615 Az = 347 OA = 55 Qu = B

0	1,8	330	2460
---	-----	-----	------

- 3 SS Y 552,32 X 159,42 Z 625 Az = 180 OA = 55 Qu = B

0	1,8	7,1	370	870	2250
---	-----	-----	-----	-----	------

CARTE IB KM² 551 - 160

- 1 SE Y 552,00 X 160,09 Z 589 Az = 146 - 326 OA = 125 Qu = B

1	2	550	190	39
---	---	-----	-----	----

CARTE I - IIB KM² 552 - 160

- 1 PV Y 552,24 X 160,76 Z 592 MO/Rod E/Rod
Ancien puits filtrant pour traitement de graviers. Captage dans le fond de la gravière. Géométrie et hydraulique manquantes. Actuellement disparu.

- 2 SE Y 552,57 X 160,24 Z 607 Az = 3 - 167 OA = 200 Qu = P

1	1,6	2,4	5,5	38	125
60	500	115	45	22	150

- 3 SE Y 552,42 X 160,33 Z 604 Az = 2 - 174 OA = 180 Qu = S

1	1,4	11,5	500	220	40
---	-----	------	-----	-----	----

- 4 SE Y 552,33 X 160,65 Z 597 Az = 20 - 200 OA = 200 Qu = S

1	1,3	3,4	13,5	56	350	150	40
---	-----	-----	------	----	-----	-----	----

- 5 SS Y 552,20 X 160,45 Z 600 Az = 200 OA = 50 Qu = B

0	0,9	3,4	8,5	330	610	1310	2180
---	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

- 6 SS Y 552,45 X 160,44 Z 602 Az = 7 OA = 60 Qu = B

0	1,1	3,9	9,2	340	620	900	2400
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

CARTE IIB KM² 552 - 161

- 1 SE Y 552,35 X 161,37 Z 578 Az = 1 - 181 OA = 80 Qu = B

1	1,8	5,5	450	320	50
---	-----	-----	-----	-----	----

- 2 SE Y 552,36 X 161,74 Z 576 Az = 153 - 310 OA = 200 Qu = B

1	2	55	500	250	62	40
---	---	----	-----	-----	----	----

- 3 SS Y 552,34 X 161,79 Z 575 Az = 330 OA = 50 Qu = B

0	2,8	7,2	350	630	1400
---	-----	-----	-----	-----	------

S sondage P puits C captage Symb.granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile A aquit.
 unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro	CARTE IIB	KM ²	551 - 162
--------	-----------	-----------------	-----------

1 SS Y 551,95 X 162,39 Z 584 Az = 170 OA = 50 Qu = S

0 2,8 7,2

350	630	1400
-----	-----	------

CARTE IIB	KM ²	552 - 162
-----------	-----------------	-----------

1 PV Y 552,03 X 162,27 Z 578 MO/ Delmonico E/ SIF d 630/520 Pz 0/10

Eau industrielle pour lavage des graviers. Hydraulique et débit inconnus.

COMPOS. EAU (28.10.73) 1/-- 2/-- 3/29,74/0,915/-- 6/-- 7/-- 8/-- 9/-- 10/19 11/8 12/-- 13/-- 14/--

0 5,8 6,3 12,2

Q/Ge F Sg

2 SE Y 552,18 X 162,25 Z 579 Az = 171 - 351 OA = 100 Qu = S

1 1,9 3,6 6,5 17

600	300	50	95	67
-----	-----	----	----	----

3 SE Y 552,10 X 162,82 Z 573 Az = 85 - 277 OA = 100 Qu = B

1 2 6,5

1200	70	35
------	----	----

4 SS Y 552,17 X 162,12 Z 575 Az = 200 OA = 55 Qu = S

0 2,7 10,1

350	1280	2450
-----	------	------

5 SS Y 552,17 X 162,49 Z 581 Az = 174 OA = 70 Qu = B

0 5,2

370	1650
-----	------

CARTE IIB	KM ²	550 - 163
-----------	-----------------	-----------

1 SM Y 550,02 X 163,25 Z 658 MO/ C.Vulliens I/ Mers 18

M/ Lag

2 SS Y 550,02 X 163,25 Z 658 Az = 180 OA = 50 Qu = P

0 2,3

410	2720
-----	------

CARTE IIB	KM ²	550 - 164
-----------	-----------------	-----------

1 SS Y 550,89 X 164,97 Z 700 Az = 152 OA = 45 Qu = S

0 1,5 5,4

370	1400	2250
-----	------	------

CARTE IIB	KM ²	552 - 164
-----------	-----------------	-----------

1 SS Y 552,09 X 164,18 Z 648 Az = 185 OA = 90 Qu = B

0 3 8,4 19,1

340	1300	2250	3200
-----	------	------	------

CARTE IIB	KM ²	550 - 165
-----------	-----------------	-----------

1 SS Y 550,55 X 165,49 Z 613 Az = 1 OA = 70 Qu = S

0 4 8,9

340	880	3200
-----	-----	------

CARTE IIB	KM	551 - 165
-----------	----	-----------

1 SE Y 551,21 X 165,30 Z 671 Az = 176 - 350 OA = 250 Qu = B

1 1,3 4,5 50

80	65	95	75
----	----	----	----

2 SS Y 551,01 X 165,34 Z 686 Az = 191 OA = 75 Qu = B

0 2,2 5,2

360	1700	2100
-----	------	------

3 SS Y 551,07 X 165,64 Z 692 Az = 28 OA = 75 Qu = B

0 1,4 5,5

340	1650	2180
-----	------	------

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	L limon
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	••• S sable g+m	A argile
unités : SE cm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Lag		••• F sable fin	T tourbe
				+ symb.
				= Q
				S subalp.
				C chatt.
				A aquit.
				B burdig.

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 7

numéro

CARTE II - B KM²

552 - 165

- 1 SS Y 552,87 X 165,08 Z 656 Az = 214 OA = 55 Qu = B
 0 2,2

340	2030
-----	------
- 2 SS Y 552,41 X 165,48 Z 666 Az = 195 OA = 65 Qu = S
 0 1,3 2,7 8

330	730	1220	2130
-----	-----	------	------
- 3 SS Y 552,82 X 165,92 Z 672 Az = 190 OA = 55 Qu = B
 0 2,2 4,4

350	1250	1950
-----	------	------

CARTE II - B KM²

549 - 166

SM I/ de Cérenville E/ de Cérenville d 160 - 100

- 1 Y 549,82 X 166,69 Z 567,4
 0 2,9 4,1
- 2 Y 549,92 X 166,72 Z 560,3
 0 5,1 5,5
- 3 Y 549,81 X 166,79 Z 569,9
 0 3,2 6,1
- 4 Y 549,84 X 166,92 Z 571,0
 0 6,1 6,1 8,1

 Q/Fl Gs Sf
- 5 Y 549,90 X 166,90 Z 565,2
 0 2 4,1 7 8,1

 Q/Fl Sf Gs Slg
- 6 Y 549,95 X 166,90 Z 560,8
 0 2,5 3,1 4 6

 Q/Fl Lfg Gal Slg

CARTE II - B KM²

550 - 166

SM I/ de Cérenville E/ de Cérenville d 160 - 100

- 1 Y 550,01 X 166,88 Z 547,9
 0 4,8 6
- 2 Y 550,21 X 166,99 Z 533,9
 0 6,6 7,1
- 3 Y 550,28 X 166,94 Z 534,9
 0 6,5 6,8 7,6 8,6
- 4 Y 550,31 X 166,96 Z 526,1
 0 1 3,0 6,9 7,1
- 5 Y 550,33 X 166,94 Z 526,8
 0 1,4 4,1 6,2 8,1
- 6 Y 550,41 X 166,90 Z 528,1
 0 2,6 3,3 4,1 5,1
- 7 SE Y 550,78 X 166,08 Z 604 Az = 164 - 339 OA = 250 Qu = S
 1 3,4 18 80

90	170	120	50
----	-----	-----	----
- 8 SE Y 550,29 X 166,47 Z 534 Az = 25 - 206 OA = 200 Qu = S
 1 2,7 3,8 38 48

450	70	160	90	40
-----	----	-----	----	----
- 9 SE Y 550,11 X 166,99 Z 539 Az = 78 - 258 OA = 100 Qu = P
 1 1,5 2,3 3,8 38

150	35	500	130	30
-----	----	-----	-----	----
- 10 SE Y 550,63 X 166,82 Z 531 Az = 143 - 323 OA = 100 Qu = B
 1 6 44

65	100	45
----	-----	----
- 11 SS Y 550,76 X 166,07 Z 605 Az = 326 OA = 65 Qu = B
 0 2,7 7,8

350	1320	2050
-----	------	------
- 12 SS Y 550,31 X 166,67 Z 534 Az = 0 OA = 50 Qu = P
 0 4,1

330	1770
-----	------
- 13 SS Y 550,60 X 166,87 Z 529 Az = 143 OA = 65 Qu = S
 0 1,6 5

340	1130	2700
-----	------	------

CARTE II - III B KM²

549 - 167

SM I/ de Cérenville E/ de Cérenville d 160 - 100

- 1 Y 549,90 X 167,10 Z 562,0
 0 6,1 6,1 8,1

 Q/Sfl Gs Sfg
- 2 Y 549,98 X 167,123 Z 543,5
 0 10,1

 Q/Fl
- 3 Y 549,86 X 167,19 Z 567,6
 0 2 6,2

 Q/Fl Gs

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log T tourbe B burdig.
 A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE II-III B KM²

SUITE 549 - 167

SM I/ de Cérenville

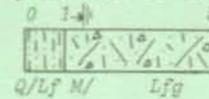
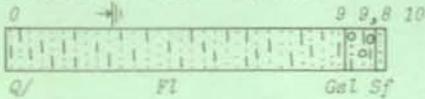
E/ de Cérenville

d 160 - 100

4 Y 549,99 X 167,21 Z 545,8

5 Y 549,89 X 167,59 Z 574,0

6 Y 549,82 X 167,59 Z 594,1



CARTE II-III B KM²

550 - 167

1 PV Y 550,56 X 167,88 Z 522 MO/ Cartonnerie d 2500 Pr 4/7 Q 50
Ouvrage dans aquifère graveleux(?). Coupe géologique et hydraulique inconnues. Niveau au repos : env. 517-518 m.
Puits en tuyaux-ciment, prof. 7,7 m sous la cave de l'usine. Eau industrielle de qualité pour découpage papier.

2 PV Y 550,51 X 167,98 Z 519 MO/ Cartonnerie d 1500
Ancien ouvrage en tuyaux-ciment, prof. 5 à 10 m. Géologie et hydraulique inconnues. Le débit serait de 100 à 150 l/mn. Eau industrielle. Actuellement non utilisé.

SM I/ de Cérenville

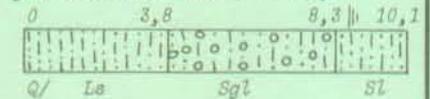
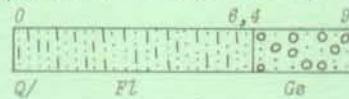
E/ de Cérenville

d 160 - 100

3 Y 550,03 X 167,07 Y 539,4

4 Y 550,04 X 167,11 Z 539,1

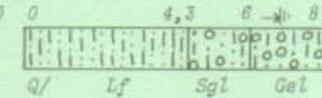
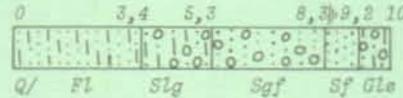
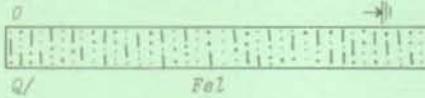
5 Y 550,09 X 167,10 Z 538,5



6 Y 550,05 X 167,16 Z 540,0

7 Y 550,10 X 167,16 Z 538,5

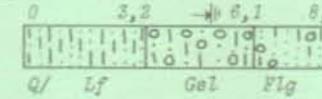
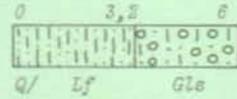
8 Y 550,05 X 167,21 Z 540,5



9 Y 550,08 X 167,21 Z 538,8

10 Y 550,17 X 167,19 Z 536,7

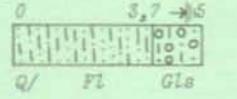
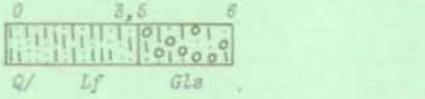
11 Y 550,29 X 167,21 Z 525,7



12 Y 550,08 X 167,31 Z 536,5

13 Y 550,15 X 167,29 Z 534,9

14 Y 550,27 X 167,29 Z 526,5



15 SE Y 550,15 X 167,32 Z 533 Az = 166 - 346 OA = 180 Qu = S

70	200	110	45
----	-----	-----	----

16 SE Y 550,40 X 167,75 Z 521 Az = 27 - 207 OA = 125 Qu = S

500	300	100	40
-----	-----	-----	----

17 SE Y 550,40 X 167,36 Z 521 Az = 208 - 342 OA = 175 Qu = E

1000	80	250	120	80	40
------	----	-----	-----	----	----

18 SS Y 550,29 X 167,34 Z 522 Az = 8 OA = 65 Qu = P

330	650	2180
-----	-----	------

19 SS Y 550,37 X 167,29 Z 522 Az = 18 OA = 55 Qu = B

320	600	1020	2200
-----	-----	------	------

20 SS Y 550,56 X 167,75 Z 525 Az = 215 OA = 60 Qu = B

335	1180	2750
-----	------	------

21 SS Y 550,26 X 167,69 Z 520 Az = 62 OA = 65 Qu = B

340	1500	2550
-----	------	------

22 SS Y 550,33 X 167,66 Z 521 Az = 62 OA = 55 Qu = B

340	1000	1730	> 2500 ?
-----	------	------	----------

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon C chatt.
SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile A aquit.
unités : SE Ωm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE log F sable fin T tourbe = Q A. PARRIAUX 1977 B burdig.

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 9

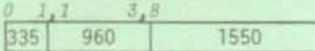
numéro

CARTE II-B

KM²

551 - 167

1 SS Y 551,31 X 167,33 Z 713 Az = 64 OA = 50 Qu = S

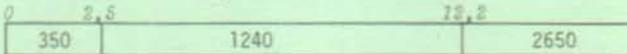


CARTE III-B

KM²

552 - 167

1 SS Y 552,38 X 167,87 Z 717 Az = 35 OA = 60 Qu = S



CARTE III-B

KM²

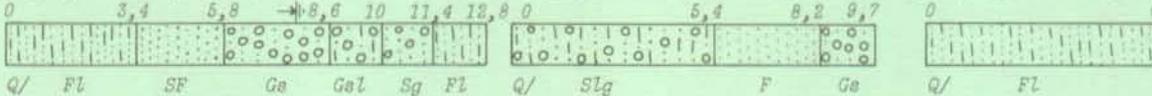
550 - 168

1 PV Y 550,54 X 168,02 Z 519 MO/ Cartonnerie d 1500
Ancien ouvrage en tuyaux-ciment, prof. 5 à 10 m. Géologie et hydraulique inconnues. Le débit serait de 100 à 150 l/mn. Eau industrielle. Actuellement non utilisé.

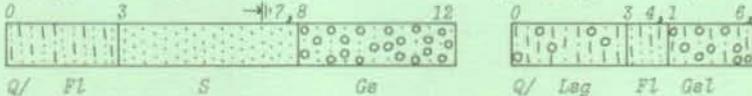
2 CR Y 550,37 X 168,11 Z 513 MO/ Cartonnerie
Eau industrielle courante pour la fabrication du carton.

SM MO/ Soc. Agric. I/ de Cérenville E/ de Cérenville d 130

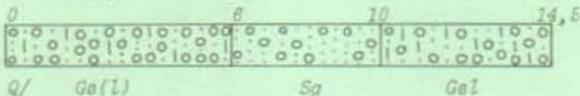
3 Y 550,88 X 168,16 Z 519 4 Y 550,97 X 168,10 Z 525 5 Y 550,96 X 168,17 Z 520



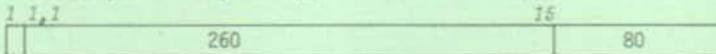
6 Y 550,96 X 168,24 Z 517 7 Y 550,99 X 168,31 Z 516



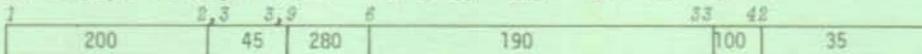
8 SM Y 550,56 X 168,36 Z 540 MO/ Rod E/ Stump d 186 - 146



9 SE Y 550,71 X 168,24 Z 530 Az = 22 - 177 OA = 100 Qu = M



10 SE Y 550,84 X 168,07 Z 521 Az = 33 - 223 OA = 175 Qu = S



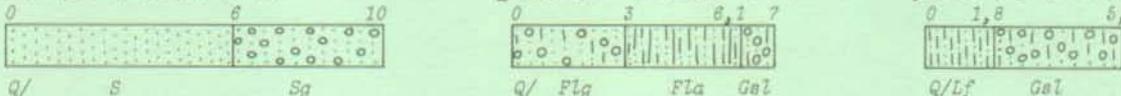
CARTE III-B

KM²

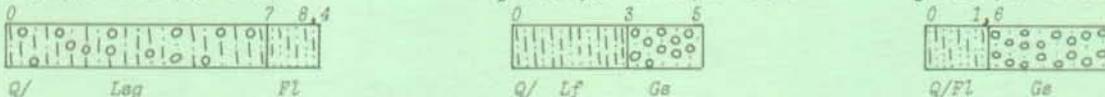
551 - 168

SM MO/ L. Baudraz I/ de Cérenville E/ de Cérenville

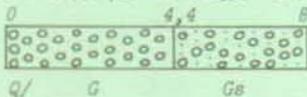
1 Y 551,02 X 168,17 Z 525 2 Y 551,11 X 168,22 Z 519 3 Y 551,13 X 168,49 Z 511



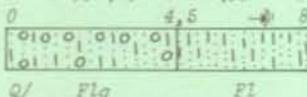
4 Y 551,26 X 168,39 Z 517 5 Y 551,35 X 168,48 Z 510 6 Y 551,20 X 168,55 Z 510



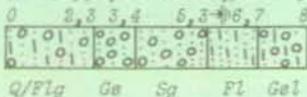
7 SM Y 551,23 X 168,95 Z 511 MO/ C. Pension E.V I/ Bolomey E/ Swissb. d 115



8 SM Y 551,25 X 168,99 Z 511 MO/ Retr. pop. I/ de Cérenville E/ de Cér. d 100



9 SM Y 551,28 X 168,98 Z 510 MO/ Retr. pop. I/ de Cérenville E/ de Cér. d 130

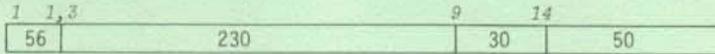


S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ, gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble N/ moraine S subalp.
SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
unités: SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

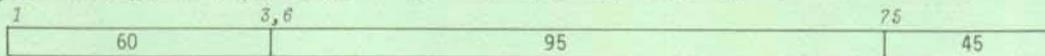
numéro

CARTE III-B KM² SUITE 551 - 168

10 SE Y 551,26 X 168,78 Z 510 Az = 43 - 214 OA = 80 Qu = P

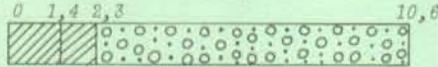


11 SE Y 551,96 X 168,76 Z 538 Az = 46 - 242 OA = 250 Qu = P



CARTE III-B KM² 551 - 169

1 PV Y 551,85 X 169,33 Z 506 MO/ Gisling I/ Merz d 2200 Pf 5/11 Q 150

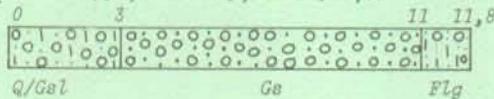


R/GsL SL Q/ Ga

Ouvrage en tuyaux-ciment perforés. Le fond du puits serait entré dans des sables fins. Essai de pompage de courte durée. NL: h = 6m, k = 1,7.10⁻⁴m/s, T = 1x10⁻³m²/s. Pas de piézomètre d'observation. Eau industrielle.

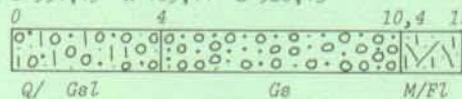
SM MO/ Collège M. I/ de Cérenville E/ de Cérenville d 145/115

2 Y 551,16 X 169,11 Z 528,18



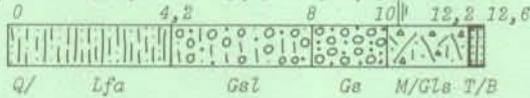
Q/GsL Gs FLg

3 Y 551,19 X 169,14 Z 528,13



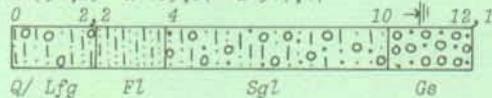
Q/ GsL Gs M/FL

4 Y 551,21 X 169,09 Z 518,23



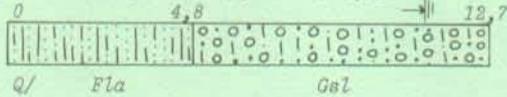
Q/ Lfa GsL Ga M/GLs T/B

5 Y 551,25 X 169,07 Z 517,47



Q/ Lfg FL Sg Ga

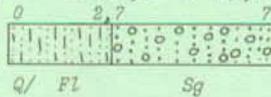
6 Y 551,21 X 169,04 Z 517,53



Q/ FLa GsL

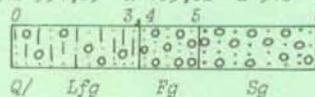
SM MO/ Retr. Pop. I/ de Cérenville E/ de Cérenville d 100

7 Y 551,31 X 169,01 Z 510



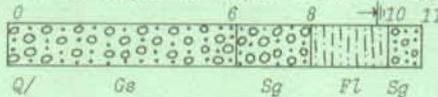
Q/ FL Sg

8 Y 551,29 X 169,02 Z 510



Q/ Lfg Fg Sg

9 SM Y 551,53 X 169,03 Z 510 MO/ SVAV I/ Curchod E/ SIF d 190/165



Q/ Gs Sg FL Sg

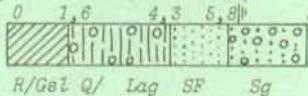
10 SM Y 551,81 X 169,29 Z 506 MO/ Gisling I/ Schopfer Karakas



R/ SF Ga

SM MO/ S.I. Pré-bryand I/ Schopfer Karakas

11 Y 551,74 X 169,36 Z 512



R/GsL Q/ Lag SF Sg

12 Y 551,74 X 169,39 Z 515

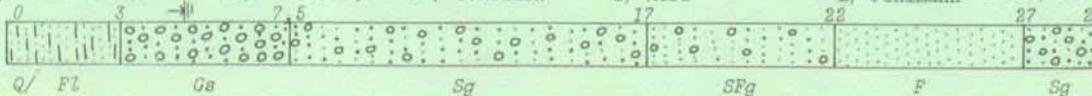


R/GsL Q/ Sg Sg(L)

CARTE III-B KM² 552 - 169

1 PV Y 552,72 X 169,82 Z 501,27 MO/ Mayor E/ Fehlmann d 89 Pf 8/10 Q 450
Tube crépiné métallique battu dans graviers sableux. Absence de coupe géologique et d'essai de pompage. Niveau de repos = 4,5 m. Remontée rapide après pompage. K approx. = 9.10⁻⁴ Eau d'irrigation.

2 PV Y 552,58 X 169,78 Z 502,04 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 600/400 Pf 4/ 8 Q 600



Q/ FL Gs Sg SFg F Sg

Puits d'essai métallique abandonné. Essai de pompage de 4j. Niveaux rapidement stabilisés. Influence peu décalée sur puits 552-169-1 et 3. Remontée rapide. Dupuit NL:H = 12m, K = 4x10⁻⁴, T = 5x10⁻³. Jacob pompage: idem.

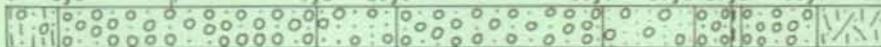
S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	L limon
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	.. S sable g+m	A argile
unités : SE Ωm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		.. F sable fin	T tourbe
				+ symb. = Q
				S subalp.
				C chatt.
				A aquit.
				B burdig.

numéro

CARTE III-B KM² SUITE 552 - 169

3 PV Y 552,45 X 169,88 Z 501,45 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 600/350 Pr 4/21 Q 1500

0 1,3 8,2 10,3 15,8 18,2 19,2 21,5 23,3



Q/Lag Gs Sg Gs Fg Gs La Gs M/Le

Puits d'essai métallique abandonné. Essai de pompage de 21j, puis exploitation provisoire. Nappe complexe: 1 NL sur 2 N légèrement captives mais certainement communicantes latéralement (courbe caractéristique type NL). Assimilée à 1 NL pour calcul: pour A normal, avec H = 17m; Dupuit: K = 4x10⁻⁴, T = 7x10⁻³. Thiem: K variable selon directions. Jacob pompage et remontée idem Dupuit pour Q < 1000. Influence rapide du pompage sur les piézomètres y.c. le 552-169-2. Pas d'observation sur rôle de la Broye sur nappe au repos.

4 PV Y 552,47 X 169,86 Z 502,04 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 600/400 Pr 22/27 Q 1300

0 1,2 7,4 12,5 16 18,5 20,6 22,6 27 33 33,6

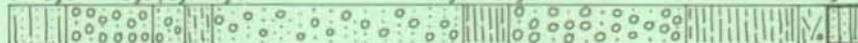


Q/Fa Gs S F Sg F S Gs La T/B

Puits d'essai métallique abandonné. Essai de pompage de 4j simultanément avec 552-169-3. Interprétation hydraulique imprécise. Nappe complexe en 2 parties séparées par des sables à K faible à moyen; assimilée à 1 NL pour calcul approx. Dupuit: H = 2m, K équivalent = 4,8x10⁻⁴, T = 10⁻². Influence rapide du pompage sur piézomètres

5 PV Y 552,49 X 169,89 Z 500,88 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 600/500 Pr 8/18 Q 400

0 1,5 3,8 4,7 5,4 12,1 13,3 18 21 21,8 22,7

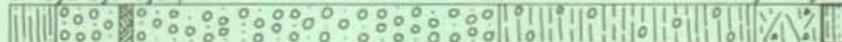


Q/Fa Gs Sfg Lf Sg La Gs La M/Alg T/B

Puits d'essai métallique abandonné. Essai de pompage d'1j. Nappe complexe assimilée à 1 NL. Dupuit: H = 14m, K éq. = 4,1x10⁻⁴, T = 5,7x10⁻³. Bonne communication hydraulique avec les piézomètres.

6 SM Y 552,44 X 169,89 Z 501,22 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 600/500 Pr 8/12

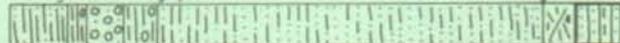
0 1,2 2,3 3,2 13 18,8 21,8 22,3



Q/Fa Gs St Gs Lag M/Lag T/B

7 SM Y 552,41 X 169,89 Z 500,86 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 600/500 Pr 8/12

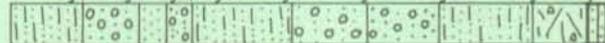
0 1,5 2,3 3,3 14,2 15,1 16,3



Q/Fa Lag Lag Fl M/Lag T/B

8 SM Y 552,44 X 169,92 Z 501,06 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 600/500 Pr 7/12

0 1,8 3,4 4,7 4,8 7,5 8,8 11,4 13,9 15,4 15,8



Q/Fl Gs F Sg Fl Fg Sg Fl M/Lag T/B

9 SM Y 552,47 X 169,91 Z 501,06 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 600/500 Pr 9/14

0 1,3 14,2 15,5 20 21,4 22



Q/Fl Gs La GsL F M/Lag T/B

10 Y 552,37 X 169,2 Z 530 Source non captée Q 35
Résurgence naturelle résultant de l'intersection du ruisseau actuel avec une profonde gorge fossile remblayée de matériel quaternaire. (voir A.PARRIAUX, BSVSN 1976, vol 73).

11 SE Y 552,08 X 169,46 Z 505	Az = 51 - 212	OA = 200	Qu = B
1	1,8	37	72
6000	140	80	45

12 SE Y 552,21 X 169,37 Z 506	Az = 52 - 211	OA = 175	Qu = B
1	2,5	19,5	41 51
250	200	140	100 50

13 SE Y 552,50 X 169,64 Z 502	Az = 45 - 225	OA = 200	Qu = B
1	1,5 2,5 4,5	16,5	57
55 2000 1000	200	120	60

14 SE Y 552,63 X 169,69 Z 503	Az = 42 - 228	OA = 255	Qu = B
1	2,4	16	86
40	280	105	40

15 SE Y 552,29 X 169,96 Z 508	Az = 41 - 221	OA = 200	Qu = P
1	1,6	5,6	40
550	60	110	60

16 SE Y 552,49 X 169,91 Z 502	Az = 40 - 220	OA = 200	Qu = E
1	3,5	6	58 80
1500	50	170	90 30

S sondage P puits C captage Symb.granulom.: MAJ, gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon C chatt.
 SS - sismique R/ remblai S sable g+m A argile = q A aquit.
 unités: SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log P sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE III-B

K M²

SUITE 552 - 169

17 SE Y 552,71 X 169,96 Z 504 Az = 41 - 221 OA = 260 Qu = P
 1 2,4 4 11,5 70

120	1000	260	130	30
-----	------	-----	-----	----

18 SS Y 552,44 X 169,93 Z 503 Az = 40 OA = 60 Qu = B
 0 3,4 6,3 13,6

350	970	1470	1950
-----	-----	------	------

19 SS Y 552,47 X 169,90 Z 503 Az = 40 OA = 50 Qu = B
 0 3,5 8

350	1370	1850
-----	------	------

20 SS Y 552,49 X 169,88 Z 503 Az = 40 OA = 75 Qu = S
 0 1,5 3,8 7,9

350	630	940	1500
-----	-----	-----	------

21 SS Y 552,54 X 169,84 Z 503 Az = 40 OA = 70 Qu = B
 0 2,5 14,9

340	1280	1760
-----	------	------

22 SS Y 552,59 X 169,78 Z 503 Az = 40 OA = 70 Qu = B
 0 3,8 7,1

330	960	1560
-----	-----	------

23 SS Y 552,63 X 169,75 Z 503 Az = 40 OA = 60 Qu = S
 0 3,4 6,8 12,3

325	820	1180	1840
-----	-----	------	------

24 SS Y 552,67 X 169,68 Z 506 Az = 220 OA = 80 Qu = S
 0 2 7,8

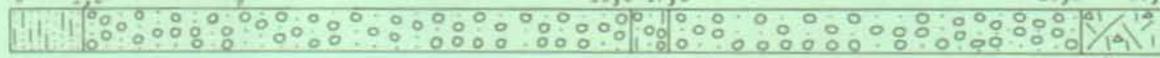
340	480	1400
-----	-----	------

CARTE III-B

K M²

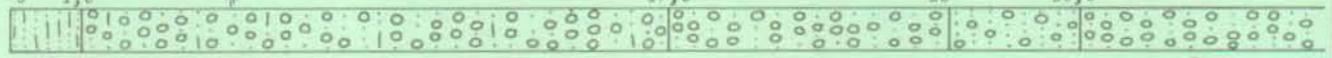
552 - 170

1 PR Y 552,65 X 170,08 Z 501,41 MD/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 4000 Q 5000
 0 1,9 16,5 17,5 28,5 30,6



Et I Z 487 Nd 3 Ld 58 Et II Z 483 Nd 4 Ld 136 Et III Z 480 Nd 4 Ld 116 Et IV Z 476 Nd 4 Ld 124
 COMPOS. EAU (84. 8.70) 1/10,72/76 3/31 4/0,875/-- 6/-- 7/0,1 8/0 9/0 10/9,8 11/12,4 12/18,6 13/75 14/0
 Ouvrage d'exploitation construit en 1969 au voisinage du PV 552-170-2. Remplace le PV 552-170-3. Aquirère à géométrie très complexe (voir étude hydrogéologique ci-jointe). Fond du puits sur flanc W d'un sillon de direction N10E. Orientation des drains principaux parallèle au sillon. Essai de pompage de 21j à paliers de débits très nombreux mais courts (Q_{max} = 13500) sans stabilisation des rabattements. Calculs hydrauliques très difficilement applicables : Ec. permanent NL, formule approchée, avec extrapolation de Δ vers stabilisation supposée, K = 6x10⁻⁴, T = 1,5x10⁻² (valeur imprécise, voir calcul sur géométrie plus simple 552-170-2). Enregistrement limnigraphique dans le puits depuis 1970. Consommation : 660'000 m³/an ou 1370 l/mn.

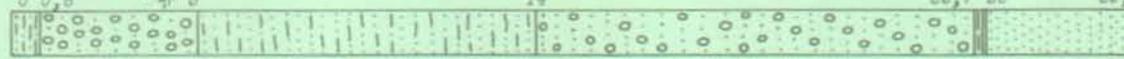
2 PV Y 552,66 X 170,09 Z 501,58 MD/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 600/350 Pf 8/33 Q 2400
 0 1,9 17,5 25 28,5



Q/FL 35,6 37
 M/Lag

Puits d'essai métallique abandonné. Essai de pompage de 10j, avec pompage simultané dans 552-170-3 et 552-169-3. Rabattements pour Q > 1500 mal stabilisés. Dupuit NL : H = 29m, K = 10⁻³, T = 2,9x10⁻².

3 PV Y 552,85 X 170,28 Z 499 MD/ C.Moudon I/ Raymond d 1700/1150 Pf 22/27 Q 700
 0 0,8 14 25,7 26 28,8



Ancien puits d'exploitation construit en 1969, abandonné en 1969, après un ensablement progressif dû à de fréquentes surexploitations. Essai de pompage 2j (Merz 1963). Nappe principalement profonde couverte de sables à K faible à moyen. Peut être assimilé soit à 1 NC à e = 12m, H = 22 avec 8,3x10⁻⁴ et T = 9,7x10⁻³, soit à 1 seule NL de H = 22m avec K_{eq} = 4,4x10⁻⁴ et T = 9,7x10⁻³. Station limnigraphique (L1) du Labo. de Géologie EPFL depuis 1974.

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	⊙ G gravier	+ aymb.
SS - sismique	= niv. hydrost.	B/ remblai	••• S sable g+m	= Q
unités : SE cm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/300. SE Log		••• F sable fin	
			⊠ L limon	
			⊡ A argile	
			⊞ T tourbe	
				A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE III-B

Km²

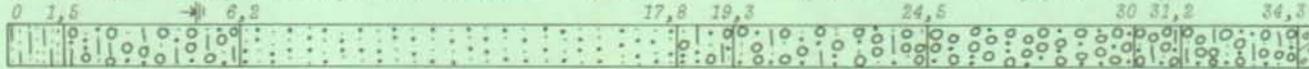
552 - 170

4 PV Y 552,87 X 170,29 Z 499 MO/ C.Moudon I/ Glapey d 1000/800 Fr 21/30 Q 950

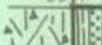


Ancien puits d'exploitation construit en 1930, abandonné en 1952 après tentative d'amélioration par explosifs. Essai de pompage de 3j. Nappe complexe en contact avec le puits dans sa partie inférieure seulement. Fond de l'aquifère pas atteint (puits incomplet). Donc hypothèse sur épaisseur réelle. Calculs hydrauliques très approximatifs. On considère soit 1 NC à e = 11, H = 27 avec K = 5,3x10⁻⁴ et T = 5,8x10⁻³, soit 1 seule NL à H = 27m avec K_{eq} = 2,7x10⁻⁴ et T = 7,2x10⁻³.

5 SM Y 552,62 X 170,04 Z 501,03 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 190/160 Pz 17/46

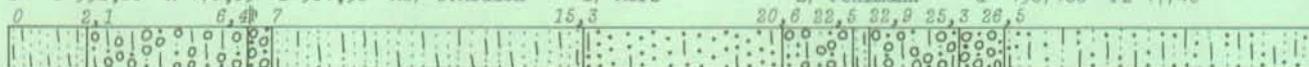


38,7 37,5

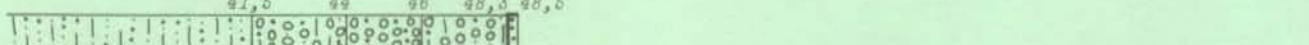


M/Gla T/B

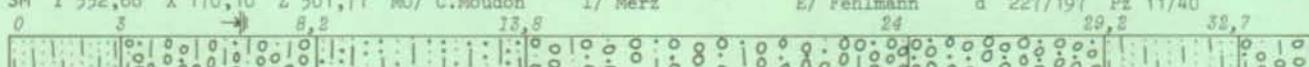
6 SM Y 552,68 X 170,05 Z 501,58 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 190/160 Pz 17/46



41,5 44 46 48,3 48,5



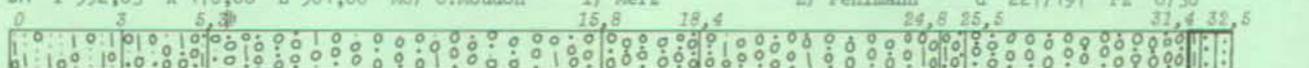
7 SM Y 552,68 X 170,10 Z 501,71 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 227/197 Pz 11/40



35,5 36,2 38,5 40,5 41



8 SM Y 552,63 X 170,08 Z 501,00 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 227/197 Pz 8/30



9 SM Y 552,83 X 170,25 Z 499 MO/ C.Moudon I/ Merz E/ Fehlmann d 400 Pz 4/10



10 SE Y 552,65 X 170,03 Z 504 Az = 34 - 223 OA = 300 Qu = S

1	1,2	5,5	10,5	16,5	60
100	800	250	60	120	45

11 SE Y 552,78 X 170,53 Z 507 Az = 37 - 217 OA = 200 Qu = B

1	6	45
45	150	55

12 SE Y 552,98 X 170,36 Z 498 Az = 32 - 212 OA = 150 Qu = S

1	2	27	80
3000	200	100	60

13 SE Y 552,97 X 170,58 Z 498 Az = 31 - 221 OA = 200 Qu = S

1	1,6	9	14	24
160	640	54	128	70

14 SS Y 552,99 X 170,61 Z 497 Az = 30 OA = 55 Qu = S

0	4,1	24,6
360	1500	2650

CARTE III-B

Km²

553 - 170

1 SE Y 553,12 X 170,32 Z 498 Az = 32 - 212 OA = 200 Qu = B

1	1,2	3	11,5
1000	105	45	

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	L limon
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	... S sable g+m	A argile
unités : SE cm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE log		... F sable fin	T tourbe

A. PARRIAUX 1977

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre P 14

numéro

CARTE III-B

K M²

SUITE 553 - 170

2 SE	Y 553,35	X 170,72	Z 498	Az = 31 - 206	OA = 180	Qu = B
	1	3,2	4,2	19	27	120
	65	1000	170	50	110	50
3 SE	Y 553,42	X 170,57	Z 515	Az = 38 - 219	OA = 200	Qu = S
	7	4,4			50	100
	105		165		90	45
4 SE	Y 553,79	X 170,99	Z 519	Az = 44 - 218	OA = 300	Qu = P
	7	3,2		16	21	100
	340	190	50	100		40
5 SS	Y 553,04	X 170,56	Z 497	Az = 30	OA = 85	Qu = B
	0	3,1		14,4		
	330	1450		1930		
6 SS	Y 553,08	X 170,53	Z 497	Az = 30	OA = 95	Qu = S
	0	3,2	6,6		20,4	
	330	900	1680		2250	
7 SS	Y 553,14	X 170,48	Z 497	Az = 30	OA = 55	Qu = B
	0	2,3	6,6		23,4	
	350	650	1520		2250	
8 SS	Y 553,20	X 170,43	Z 497	Az = 30	OA = 65	Qu = B
	0	3,7	6,6			
	335	1030	1640			
9 SS	Y 553,24	X 170,39	Z 498	Az = 30	OA = 65	Qu = S
	0	5,7				
	340		2180			

CARTE III-B

K M²

553 - 171

1 CR	Y 553,47	X 171,47	Z 490	MO/ C.nucléaire Eau industrielle.		
2 SE	Y 553,37	X 171,26	Z 496	Az = 37 - 217	OA = 200	Qu = S
	1	3,8	8,5	28		
	850	550	160	85		
3 SE	Y 553,49	X 171,22	Z 497	Az = 32 - 212	OA = 300	Qu = S
	1	4	5	11		110
	125	800	230	110		35
4 SE	Y 553,69	X 171,14	Z 503	Az = 37 - 220	OA = 200	Qu = S
	1			55	85	
	280			100	60	
5 SE	Y 553,86	X 171,19	Z 508	Az = 40 - 220	OA = 200	Qu = P
	1			40,8	80	
	130			100	50	
6 SE	Y 553,63	X 171,80	Z 495	Az = 31 - 221	OA = 200	Qu = S
	1	4,6		34	75	
	180		80	120	55	
7 SE	Y 553,63	X 171,61	Z 494	Az = 36 - 216	OA = 200	Qu = S
	1	1,5	4,6	13,5	28	100
	190	560	335	55	110	60
8 SE	Y 553,75	X 171,53	Z 495	Az = 20 - 192	OA = 200	Qu = P
	1	5				125
	350		110			40
9 SE	Y 553,85	X 171,64	Z 499	Az = 29 - 209	OA = 250	Qu = P
	1	6,6	11,5	55	85	
	90	300	140	100	40	
10 SE	Y 553,95	X 171,58	Z 501	Az = 31 - 211	OA = 250	Qu = S
	1	4	13,5	34		115
	130	460	200	83	50	
11 SE	Y 553,99	X 171,48	Z 505	Az = 36 - 216	OA = 200	Qu = P
	1	1,8	2,6	58		
	85	1000	150		70	

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie [OO] G gravier [] L limon [] + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai [] A argile [] = Q A aquit.
 unités: SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log [] F sable fin [] T tourbe [] B burdig.
 A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE III-B

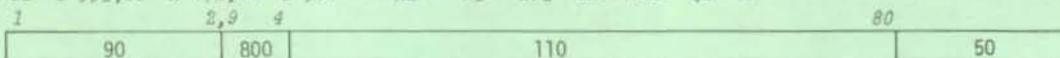
KM²

553 - 172

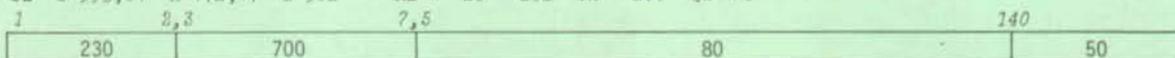
1 SE Y 553,54 X 172,06 Z 508 Az = 24 - 204 OA = 300 Qu = M



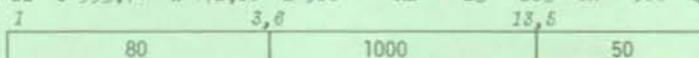
2 SE Y 553,68 X 172,14 Z 504 Az = 23 - 203 OA = 200 Qu = P



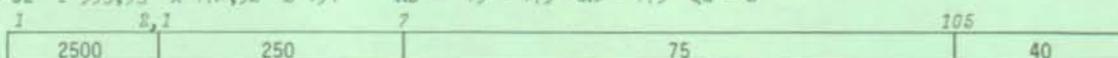
3 SE Y 553,81 X 172,17 Z 502 Az = 20 - 202 OA = 200 Qu = P



4 SE Y 553,74 X 172,66 Z 506 Az = 23 - 203 OA = 506 Qu = B



5 SE Y 553,93 X 172,52 Z 491 Az = 15 - 175 OA = 175 Qu = S

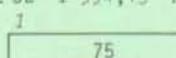


CARTE III-IV B

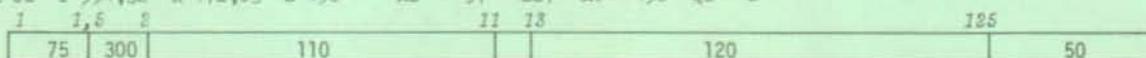
KM²

554 - 172

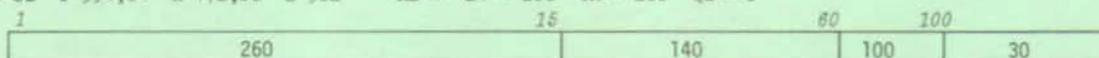
1 SE Y 554,13 X 172,74 Z 490 Az = 33 - 211 OA = 200 Qu = M



2 SE Y 554,32 X 172,63 Z 490 Az = 57 - 227 OA = 490 Qu = S



3 SE Y 554,84 X 172,80 Z 502 Az = 21 - 208 OA = 200 Qu = P

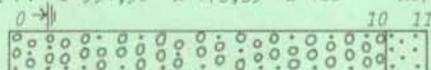


CARTE IV-B

KM²

554 - 173

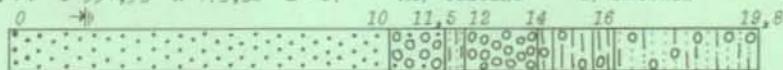
1 PV Y 554,96 X 173,35 Z 486 MO/ Caséine I/ Raccaud E/ Fehlmann d 1500/1250 Pf 3/9 Q 1050



Ouvrage en tuyaux béton perforés construit en 1944. Coupe géologique très schématisée. Essai de pompage de 8j. dans puits provisoire et 2j. dans puits définitif. Dupuit NL : H = 10, K = 8x10⁻⁴, T = 8x10⁻³. Influence du pompage très faible sur 554-173-2. Eau potable et industrielle.

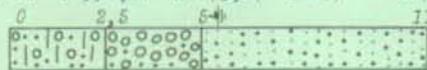
COMPOS. EAU (8. 3.87) 1/11,52/— 3/38 4/0,805/— 6/— 7/— 8/3,8 9/0 10/— 11/24,812/— 13/340 14/8

2 PV Y 554,93 X 173,38 Z 487 MO/ Caséine I/ Raccaud E/ Fehlmann d 400 Pf 4/19 Q 120



Puits d'essai métallique abandonné (1944). Essai de pompage de 4j. Dupuit NL : avec H = 12, K=5,7x10⁻⁵, T=6,7x10⁻⁴

3 PV Y 554,81 X 173,27 Z 487 MO/ CVE I/ Lab.cantonal E/ Stump d 800 Pf 5/10 Q 50



Puits métallique pour récupération d'une infiltration d'huile minérale de refroidissement pour transformateur (accident 6.9.76). Quantité d'huile fine infiltrée non encore déterminée (perte initiale : 10'000 litres). Actuellement, après excavation des terrains supérieurs, pompage intermittent et séparation (11.76).

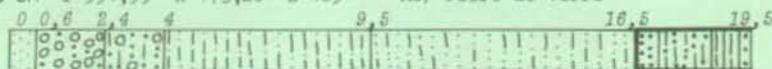
4 PV Y 554,65 X 173,68 Z 487 MO/ C.Lucens



Ouvrage très ancien. Information imprécise. Eau de secours en quantité assez limitée.

5 CR Y 554,83 X 173,53 Z 479 MO/ Caséine Eau industrielle.

6 SM Y 554,55 X 173,20 Z 489 MO/ Fibre de verre E/ Fehlmann d 400/350



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie OO G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai ZZZ A argile = Q A aquit.
 unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE log P sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE IV-B

K M²

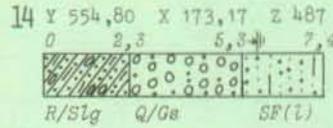
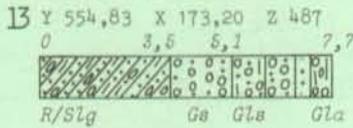
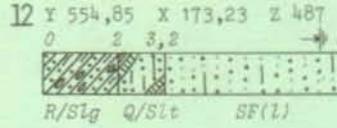
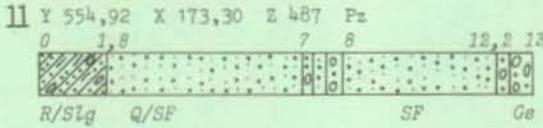
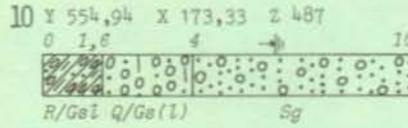
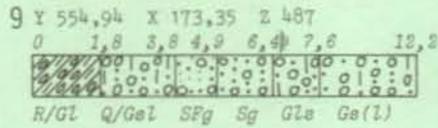
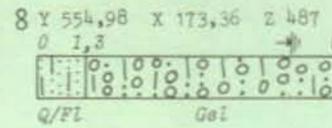
SUITE 554 - 173

SM MO/ S.Routes VD

I/ Horbert

E/ Rochat

d 140/100

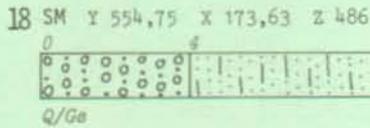
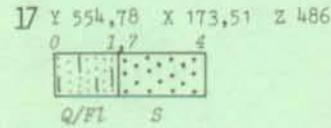
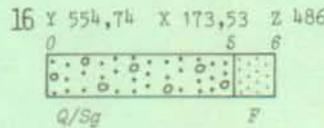
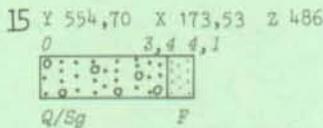


SM MO/ U.Laitière

I/ Pizzera-Poletti

E/ SIF

d 114



MO/ Caséine

E/ Drivet

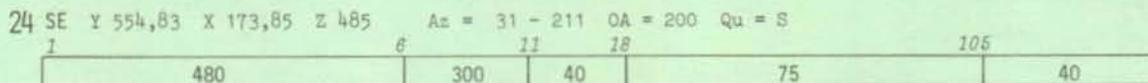
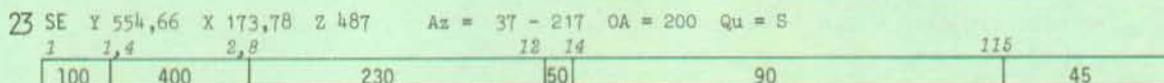
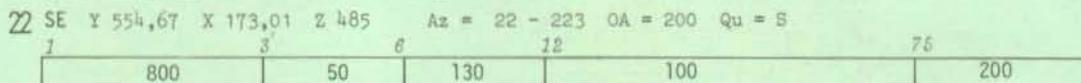
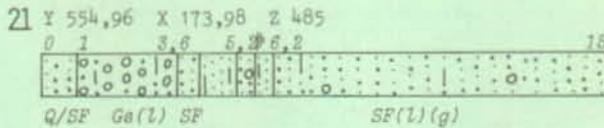
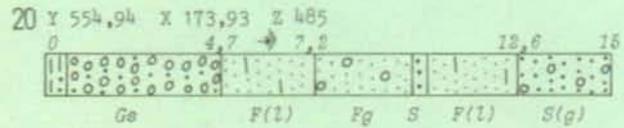
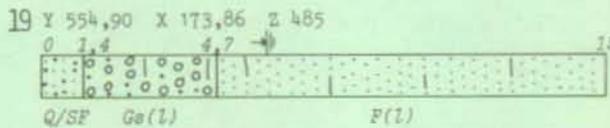
d 1000

SM MO/ C.Lucens

I/ de Cérenville

E/ de Cérenville

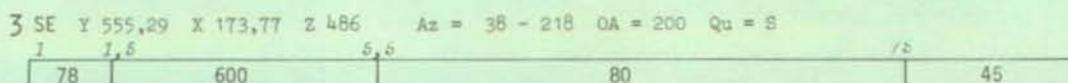
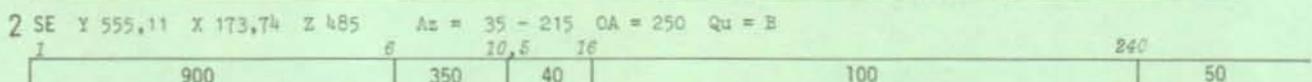
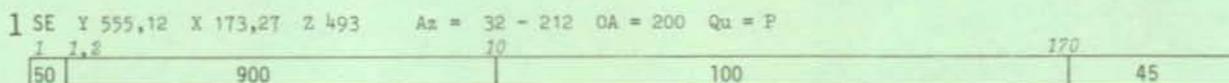
d 130/100



CARTE IV-B

K M²

555 - 173



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ, gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie O G gravier L limon + symb. C chatt.
SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai ZZZ F sable fin A argile = Q A aquit.
unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE IV-B

K M²

SUITE 555 - 173

4 SE	Y 555,34	X 173,66	Z 493	Az = 33 - 202	OA = 200	Qu = E			
	1	2		7	22		85		
	200	1100		280		120		60	
5 SE	Y 555,09	X 173,96	Z 484	Az = 34 - 209	OA = 200	Qu = S			
	1	2,6		7,5			55	85	
	1500	100		200			100	45	
6 SE	Y 555,43	X 173,99	Z 485	Az = 37 - 217	OA = 200	Qu = P			
	1	2		14	18		80		
	70	320		50		80		60	

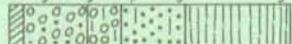
CARTE IV-B

K M²

555 - 174

1 Y 555,46 X 174,14 Z 484 Station pluviographique permanente P1 (Labo. Géologie EPFL). Observations depuis 1974. Dépouillement des enregistrements en précipitations journalières et événements pluvieux

2 SM Y 555,38 X 174,30 Z 479,6 MO/ L.Géologie EPFL I/ Parriaux E/ L. Géol. d 130/100 Pz 2/5
0 0,4 2,1 3 4,7 7,5



Q/Gs G1 S(L) La

Station limnigraphique L2 du Labo. de Géologie EPFL. Observations depuis 1974.

3 PR Y 555,47 X 174,19 Z 483,70 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 3600 Q 1800
0 1,3 4,5 8,9 13,2 19,2 22



Q/S Gs S Laf Gs FL

COMPOS. EAU (13. 5.68) 1/10,22/93 3/31,84/0,845/94,86/0,217/0,028/2 9/0 10/16 11/16,712/14,213/196 14/0

Et I Z 471 Nd 3 Ld 80 Et II Z 469 Nd 3 Ld 110 Et III Z 465 Nd 5 Ld 139
Ouvrage d'exploitation construit en 1969 au voisinage du PV 555-174-4. Aquifère graveleux incliné, captif sous un toit limoneux (voir modèle structural dans l'étude hydrogéologique ci-jointe). Essai de pompage de 21j, d'abord par étages individuels puis global. Débits croissants jusqu'à 6400 l/mn. Niveaux stabilisés pour Q < 3000 l/mn, obtenus déjà par un pompage dans un seul étage (soit II ou III). A peine ce débit dépassé, la réalimentation naturelle devenant insuffisante, la nappe baisse fortement. Effet du pompage net sur les piézomètres y.c. sur étang 555,70-174,66. Légère baisse non déterminante observée au puits 555-175-1. Ouvrage surdimensionné pour les conditions naturelles. Pourrait être pleinement fonctionnel dans un projet de réalimentation artificielle de la nappe. Exploitation par pompage nocturne. Consommation annuelle : environ 250'000 m³ soit 500 l/mn en permanence. Pointe en 1974 : ~ 550'000 m³ ou 1000 l/mn. Max. hebdomadaire en août 74 avec 17'500 m³ ou 1740 l/mn. Calculs de perméabilité : voir 555-174-4. Zone de protection de 140'000 m² autour du puits. Enregistrements limnigraphiques dans le puits.

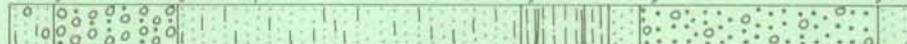
4 PV Y 555,47 X 174,19 Z 483,54 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 600/400 Pf 10/17 Q 1200
0 2,8 5,1 9,5 10,2 17 18,5



Q/S Gs SF FL Gs SF

Puits d'essai métallique abandonné. Remplacé par PR 555-174-3. Essai de pompage de 12j avec Q < 1800 l/mn. Débits stabilisés pour Q < 1300 l/mn. Calculs de perméabilité par Dupuit NC : avec H = 12, e = 7, K = 2x10⁻³, T = 1,4x10⁻². Influence rapide sur piézomètres. Pas d'observations quant au rôle de la Broye sur la nappe au repos.

5 SM Y 555,47 X 174,17 Z 484,04 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 230/190 Pz 16/20
0 1,2 4,5 13,7 16 16,8 23,2 24



Q/Flg Gs FL La F Sg F

6 SM Y 555,42 X 174,19 Z 483,72 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 230/190 Pz 4/8
0 1,1 2,7 4,9 8,2 8,6 10,4



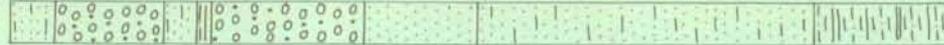
Q/Flg Sg Gs FL La S Sg

7 SM Y 555,19 X 174,49 Z 483,80 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 230/190 Pz 10/16
0 1 5,2 9,6 12,3 13,3 18,5 22,5 25



Q/FL Gs FL La FL Gs F Sfg

8 SM Y 555,48 X 174,22 Z 483,67 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 600/350 Pz 4/9
0 1,2 4,1 5 5, 8,5 12,5 21,5 25



Q/FL Gs FL La Gs F FL La

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire neuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	S subalp.
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	OO S sable g+m	C chatt.
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		OO F sable fin	A argile
			OO T tourbe	B burdig.

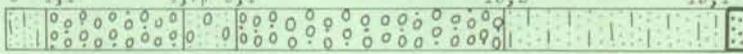
numéro

CARTE IV-B

KM²

SUITE 555 - 174

9 SM Y 555,36 X 174,24 Z 483,10 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 200/160 Pz 9/13
 0 1,1 4,7 6,1 13,2 18,1 19,5



Q/Fl Gs Fg Gs Fl ?T/B?

10 SM Y 555,42 X 174,32 Z 479,63 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 200 Pz 2/6
 0 1,8 4,9 5,8 12



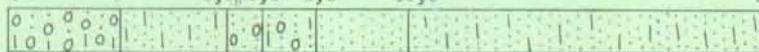
Q/Fl Gs F La

11 SM Y 555,51 X 174,39 Z 477,93 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 200
 0 1,8 2,2 4,4 8 9,5



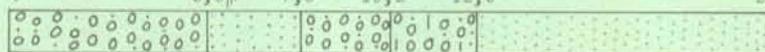
Q/Gs F La Lf La

12 SM Y 555,31 X 174,27 Z 482,95 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 200/160 Pz 4/8
 0 3 5,8 6,8 8,2 10,5 20



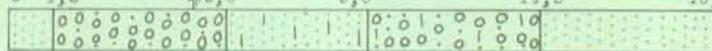
Q/ Gsl Fl Sg Slg F Fl

13 SM Y 555,46 X 174,25 Z 483,55 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 200/160 Pz 6/10
 0 5,3 7,8 10,2 12,5 20,3



Q/Gs SF Gs Gls F

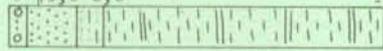
14 SM Y 555,54 X 174,22 Z 483,67 MO/ C.Lucens I/ Merz E/ Fehlmann d 200/160 Pz 8/12
 0 1,2 5,8 8,6 14,2 18,8



Q/F Gs Fl Gls F

15 P Y 555,66 X 174,54 Z 483
 Puits artisanal en pierre construit au 19e siècle. Ouvrage peu profond. Aurait été parfois asséché. Débit inconnu

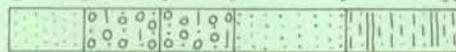
16 SM Y 555,70 X 174,66 Z 478 MO/ L.Géologie EPFL I/ Parriaux E/ L. Géologie d 130/100 Pz 1/10
 0 1,8 2,5 10



Q/S Fl La

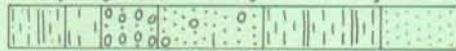
Tube piézométrique mesuré mensuellement par Labo. Géologie EPFL depuis 1974.

17 SM Y 555,55 X 174,16 Z 484 MO/ S.Routes VD I/ Norbert E/ Rochat Pz
 0 2 4 6 9 12



Q/F Gsl Gs(l) SF Laf

18 SM Y 555,78 X 174,45 Z 486 MO/ S.Routes VD I/ Norbert E/ Rochat Pz
 0 1,5 2,4 4 6,8 9,9 12



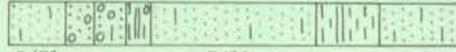
Q/Lfa Sl Gs Sg(l) La F

19 SM Y 555,80 X 174,48 Z 487 MO/ S.Routes VD I/ Norbert E/ Rochat
 0 2 4,3 10 11,5



Q/Fl Gsl FLa Laf

20 SM Y 555,82 X 174,45 Z 488 MO/ S.Routes VD I/ Norbert E/ Rochat Pz
 0 1,5 3,8 8,2 9,9 12



Q/Fl F(l) La Fl

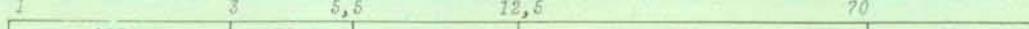
21 SE Y 555,23 X 174,08 Z 484 Az = 35 - 215 OA = 200 Qu = S
 1 4,2 10



22 SE Y 555,38 X 174,02 Z 484 Az = 37 - 217 OA = 200 Qu = P
 1 1,6 7,5 16 22,5



23 SE Y 555,00 X 174,03 Z 486 Az = 31 - 225 OA = 200 Qu = B
 1 3 5,5 12,5 70



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
 unités : SE Gm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro	CARTE IV-B		Km ²	SUITE 555 - 174	
24 SE Y 555,03 X 174,33 Z 489 Az = 19 - 210 OA = 200 Qu = S 1 1,4 19,5 26,5 150	600	400	40	85	45
25 SE Y 555,14 X 174,30 Z 483 Az = 28 - 208 OA = 200 Qu = P 1 1,8 17	3200	40		75	
26 SE Y 555,27 X 174,43 Z 483 Az = 31 - 211 OA = 200 Qu = E 1 6 18 265	1000	375		90	45
27 SE Y 555,38 X 174,49 Z 480 Az = 31 - 211 OA = 200 Qu = B 1 6 9	380	140		95	
28 SE Y 555,46 X 174,43 Z 480 Az = 28 - 209 OA = 150 Qu = S 1 3,2 185	500		90		45
29 SE Y 555,56 X 174,40 Z 483 Az = 35 - 220 OA = 200 Qu = S 1 4,5 8,5 180	1400	250		100	50
30 SE Y 555,34 X 174,98 Z 480 Az = 28 - 208 OA = 200 Qu = B 1 1,5 2,5 48 140	2000	200	93	80	40
31 SE Y 555,43 X 174,79 Z 481 Az = 31 - 211 OA = 200 Qu = B 1 3,3 6 29 95	2700	450	180		95
32 SE Y 555,62 X 174,84 Z 479 Az = 31 - 211 OA = 200 Qu = B 1 1,7 9 17 220	450	200	50	95	40
33 SE Y 555,85 X 174,91 Z 483 Az = 33 - 213 OA = 200 Qu = B 1 1,5 5,5 13,5 27,5 65	80	500	300	40	65
34 SE Y 555,87 X 174,74 Z 482 Az = 41 - 211 OA = 200 Qu = P 1 4,6 14 24	38		130	30	70

CARTE IV-B Km² 556 - 174

1 PV Y 556,29 X 174,99 Z 492 MO/ C.Seigneux I/ Vernier E/ Gardiol d 850 Pf 13/28 Q 300
0 2,9 8 11,6 16 18 19 21,8 23 24 29

Q/Fl Ge Gel Ge S La F La S Ge
COMPOS. EAU (7.11.66) 1/10,22/82 3/38,44/0,805/-- 6/-- 7/0,048/2,5 9/0 10/30,311/20,412/18,513/180 14/0
Ouvrage d'exploitation d'eau potable (1967) à crépine galvanisée. Nappe complexe dans le cône de déjection du R. de Seigneux. NL dans la partie supérieure, captive à la base. Le puits se termine avant le fond de l'aquifère (puits incomplet). Nappe assimilée à 1 seule NL pour calcul de perméabilité. Essai de pompage de 26 j, avec débit décroissant de 900 à 250 l/mn pour que le niveau se stabilise. Nappe très perméable au voisinage direct du puits (Ec. non permanents : K = 7x10⁻⁴) mais peu perméable à sa périphérie (Dupuit sur niveau stabilisé : K = 7,7x10⁻⁵). Donc faible réalimentation naturelle. Augmentation des ressources possible par réalimentation artificielle. Zone de protection circulaire de 200 m de diamètre.

2 SM Y 556,13 X 174,95 Z 488 MO/ S.Routes VD I/ Norbert E/ Rochat Pz
0 1,9 3,1 4,9 8 10,6 12,2 14

Q/Sla Ge Gel SF FL La

3 SE Y 556,15 X 174,73 Z 492 Az = 35 - 215 OA = 200 Qu = E 1 2,2 9,5 34 75	140	300	200	100	45
---	-----	-----	-----	-----	----

4 CT Y 556,90 X 174,96 Z 558 Q 30
Source sortant de sables fins légèrement graveleux de la prolongation du sillon d'Henniez au contact de la molasse. Eau souvenant chargée de limon.

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	L limon
SS - sismique	= niv. hydrostat.	R/ remblai	... S sable g+m	A argile
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		... F sable fin	T tourbe

A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE IVB KM²

555 - 175

1 PR Y 555,82 X 175,09 Z 481 MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 3000 Q 500

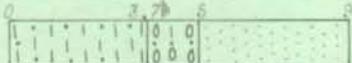


Q/ Si Ga P S Sg La

Et I : 473 M 9 L 145

COMPOS. EAU (3.II.71) 1/10,62/-- 3/36,34/0,885/-- 6/-- 7/-- 8/1,9 9/0 10/20,411/13,812/21,713/55 14/0
 Ouvrage d'exploitation (1969) sur la base de 21 forages d'exploration et un puits d'essai dans un périmètre de 60 m. Nappe libre sablo-graveleuse de forme très allongée et étroite N10E. Passe latéralement à des sables fins aquifères avec graviers très peu épais. Puits collecteur et drains principaux dans l'axe de la nappe graveleuse. Es pomp. 13j avec Q de 300 à 1000 l/mn. Stabilisation à ~700 l/mn non vérifiée sur longue période. Dupuit NL : avec $E = 1,5$ $K = 6,6 \times 10^{-4}$ $T = 3 \times 10^{-3}$ (valeurs peu précises). Pas d'influence visible sur 555-174-3 et 556-174-1 durant l'essai de pompage. Enreg. limnigr. depuis 1969.

2 SM Y 555,84 X 175,04 Z 481 MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 3000 Q 500



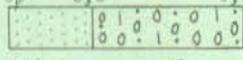
Q/ La Gel F

SM MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 146/130

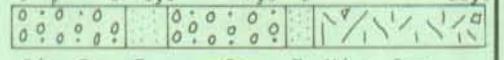
3 Y 555,47 X 175,05 Z 478 4 Y 555,50 X 175,09 Z 476 5 Y 555,53 X 175,14 Z 477



Q/ Ga Glc Sg LF M/Lag



Q/ F Gla

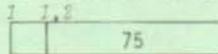


Q/ Ga F Ge F M/ Lag

6 SE Y 555,92 X 175,40 Z 479 Az = 14 - 199 OA = 200 Qu = S
 1 2,2 13 21 180

60	110	30	75	45
----	-----	----	----	----

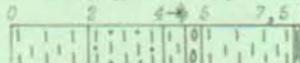
7 SE Y 555,90 X 175,79 Z 476 Az = 26 - 206 OA = 200 Qu = M



CARTE IVB KM²

556 - 175

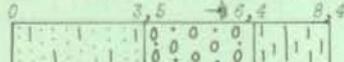
1 P Y 556,50 X 175,87 Z 483,8 MO/ Henniez-Santé I/ Badoux Pf 4/5 Q 100



Q/ L La L G L Al

Ouvrage mixte : puits filtrant vertical avec tranchées NE-SW tronquant le mince aquifère graveleux sur toute son épaisseur. Q < 100 l/mn après pomp. prolongé. Influence nette sur sources du pied de la terrasse. Eau industr.

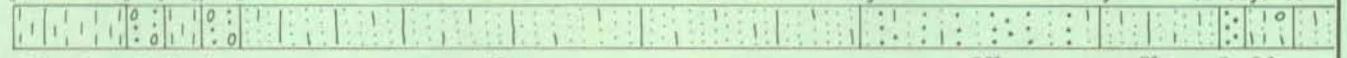
2 PV Y 556,57 X 175,74 Z 487 MO/ Henniez-Santé



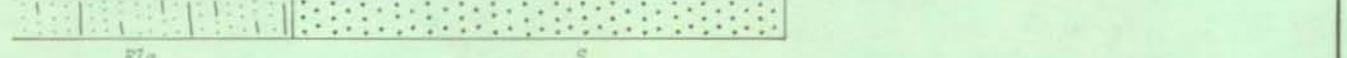
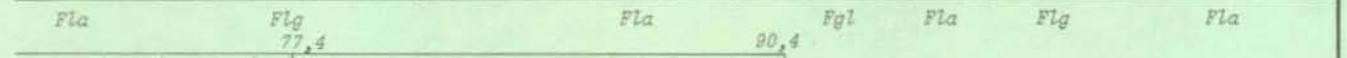
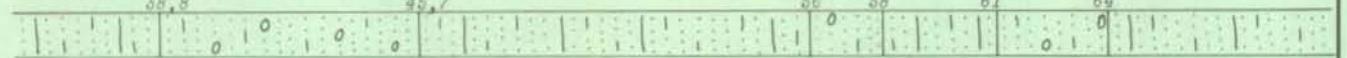
Q/ Fl Ga La

Ouvrage actuellement sous l'usine. Nappe souterraine très mince. Débit inférieur à 100 l/mn. Eau industrielle.

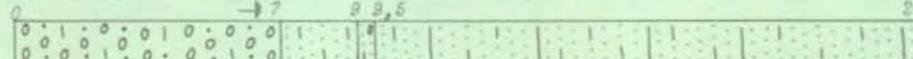
3 SM Y 556,34 X 175,82 Z 483 MO/ Henniez-Santé E/ Rochat 22,5 28,9 32 32,8 34



Q/ La Sg L Sg Fla Sfl Fla S Lfg



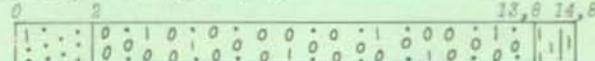
4 SM Y 556,26 X 175,51 Z 487 MO/ C. Seigneux I/ Vernier E/ Rochat



Q/ Gel FL Flg Fla

SM MO/ S. Routes VD I/ Norbert E/ Rochat

5 Y 556,45 X 175,44 Z 494 6 Y 556,63 X 175,70 Z 489



Q/S(L) Gel La



Q/Ls Gl Slg Gl Sg Gls Lfa

S sondage P puits C captage Symb. granulom. : MAJ. gr. domin. / min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Lag T tourbe = Q B burdig.
A. PARRIAUX 1977

BROYE - HYDROGEOLOGIE

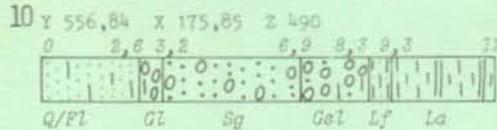
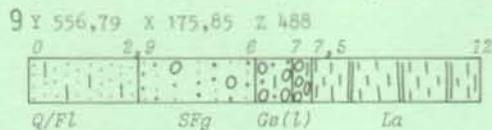
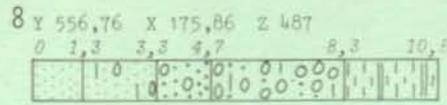
Registre P 21

numéro

CARTE IV-B KM² SUITE 556 - 175

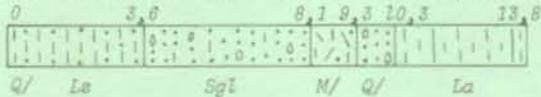
SM MO/ S. Routes VD I/ Norbert

E/ Rochat

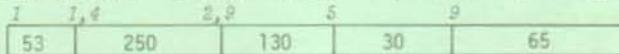


11 SM Y 556,93 X 175,82 Z 496 MO/ Henniez-Santé

E/ Rochat



12 SE Y 556,01 X 175,32 Z 480 Az = 9 - 211 OA = 175 Qu = P



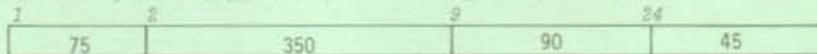
13 SE Y 556,12 X 175,06 Z 486 Az = 35 - 212 OA = 200 Qu = S



14 SE Y 556,27 X 175,00 Z 495 Az = 35 - 215 OA = 200 Qu = S



15 SE Y 556,87 X 175,99 Z 485 Az = 35 - 215 OA = 200 Qu = B

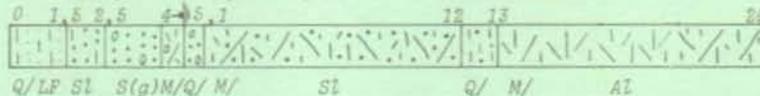


16 SE Y 556,90 X 175,86 Z 492 Az = 35 - 215 OA = 200 Qu = E



CARTE IV-B KM² 557 - 175

1 SM Y 557,44 X 175,74 Z 566 MO/ Henniez-Santé E/ Rochat

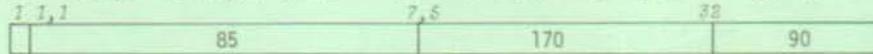


2 SE Y 557,84 X 175,77 Z 610 Az = 46 - 220 OA = 200 Qu = B



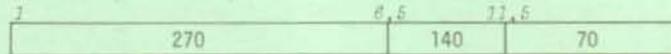
CARTE IV-B KM² 558 - 175

1 SE Y 558,09 X 175,53 Z 630 Az = 19 - 212 OA = 200 Qu = B



CARTE IV-B KM² 555 - 176

1 SE Y 555,92 X 176,09 Z 477 Az = 26 - 206 OA = 150 Qu = S



CARTE IV-B KM² 556 - 176

1 P Y 556,02 X 176,26 Z 477 MO/ Gram.
Puits en tuyaux ciment. Géologie et hydraulique inconnues.

2 PV Y 556,83 X 176,09 Z 483,5 MO/ Henniez-Santé
Ouvrage de faible capacité dans nappe sablo-graveleuse peu épaisse. Nappe perméable mais à faible réserve, tarie durant la sécheresse de 1976. Puits destiné à l'exploitation d'eau industrielle. Actuellement en attente.

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	3/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	L limon
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	OO S sable g+m	A argile
unités : SE Gm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		OO F sable fin	T tourbe
				A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE IV-VB

KM²

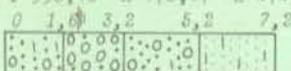
SUITE 556 - 176

3 PV Y 556,89 X 176,51 Z 473 MO/ Henniez-Santé

Ouvrage en réserve, non équipé. Aquifère graveleux très mince sur les limons lacustres. Situé dans la zone de résurgence de la nappe perchée de la terrasse.

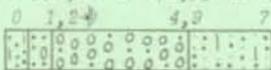
SM MO/ BAR FR I/ BAR FR

4 Y 556,40 X 176,47 Z 474,32 Pz



Q/Sgl Gs Sg(L) FL

6 Y 556,42 X 176,53 Z 474,63 Pz



Sg Gs FaL

8 Y 556,41 X 176,61 Z 474,01



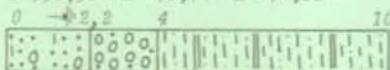
Q/Slg Gs Sg(L) Fla

10 Y 556,54 X 176,51 Z 473,93



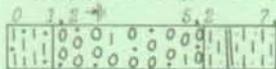
Q/SL Gs Fla

12 Y 556,50 X 176,71 Z 474,06



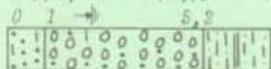
Q/Slg Gs Laf

14 Y 556,29 X 176,56 Z 475,22 Pz



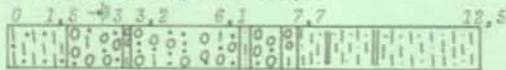
Q/Ls Gs(L) Lfa

16 Y 556,10 X 176,59 Z 475,64



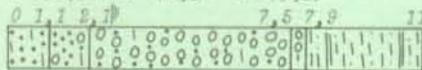
Q/SL Gs(L) Laf

18 Y 556,22 X 176,45 Z 475,33



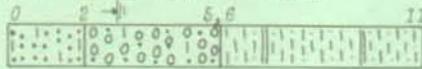
Q/Ls Gs(L) GS(L) Lfa

20 Y 556,33 X 176,38 Z 475,39



Q/SL Gs(L) Lfa

22 Y 556,06 X 176,43 Z 476,34



Q/SL Gs(L) Lfa

24 Y 556,24 X 176,32 Z 475,54



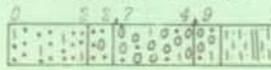
Q/Fgl Sg Gs(L) SFgl Fla

26 Y 556,72 X 176,93 Z 471,45



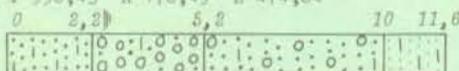
Ga(L) Laf

27 SM Y 556,99 X 176,25 Z 482 MO/ S.Routes VD I/ Norbert E/ Rochat Pz



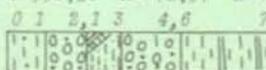
Q/SL Sg Gs(L) Laf

5 Y 556,43 X 176,49 Z 474,84



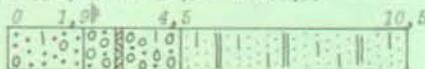
Q/SL Gs(L) Sg(L) FL

7 Y 556,36 X 176,57 Z 474,75 Pz



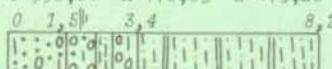
Q/Ls Gs Ltf Gs(L) La

9 Y 556,48 X 176,56 Z 474,55



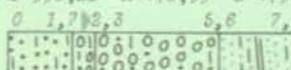
Q/Sg(L) T Gs(L) Fla

11 Y 556,61 X 176,63 Z 473,26



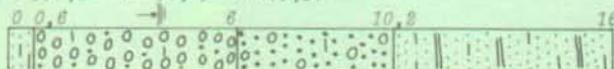
Q/Slg Lfa

13 Y 556,22 X 176,59 Z 475,21 Pz



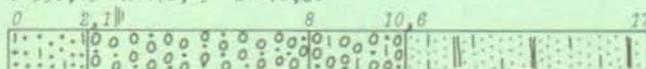
Q/SL Gs Gs(L) Fla

15 Y 556,32 X 176,49 Z 475,37



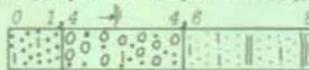
Q/FL Gs(L) Sg(L) Fla

17 Y 556,15 X 176,49 Z 476,30



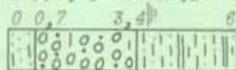
Q/SL Gs Gs(L) Fla

19 Y 556,27 X 176,41 Z 475,96



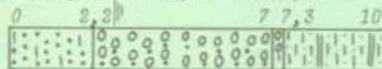
Q/SL GS(L) Fla

21 Y 556,43 X 176,31 Z 474,28



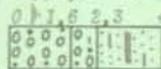
Q/FL Gs(L) Lfa

23 Y 556,16 X 176,36 Z 475,83



Q/SL Gs Lfa

25 Y 556,30 X 176,26 Z 473,57



Q/Gs Fla

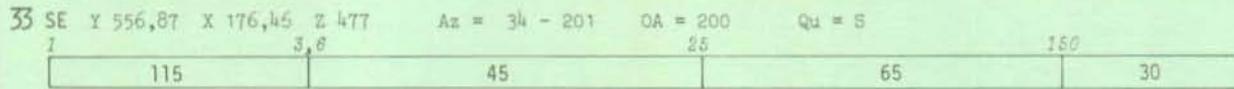
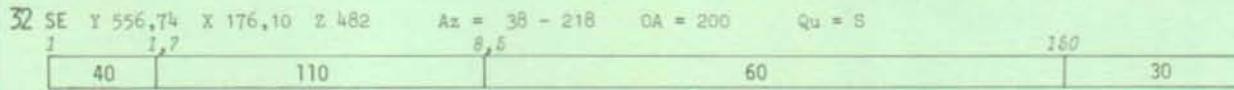
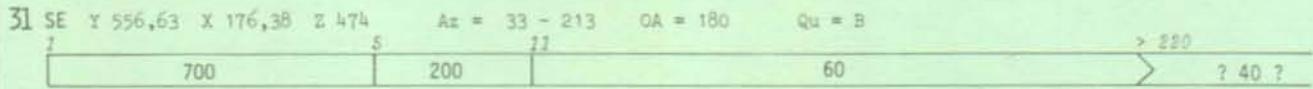
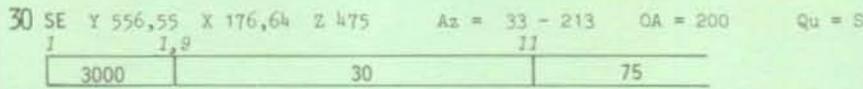
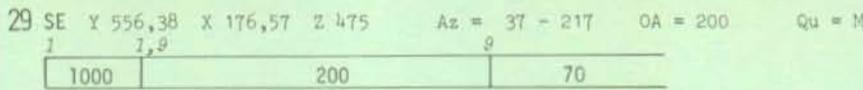
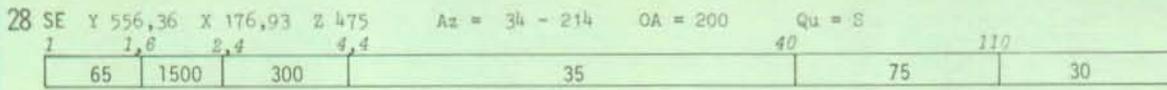
S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	+ symb.
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	... S sable g+m	= Q
unités : SE Sm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE log		... F sable fin	... C chatt.
			... T tourbe	... A aquit.
				... B burdig.

numéro

CARTE IV-VB

KM²

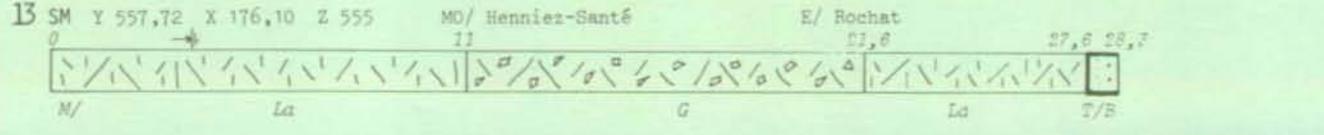
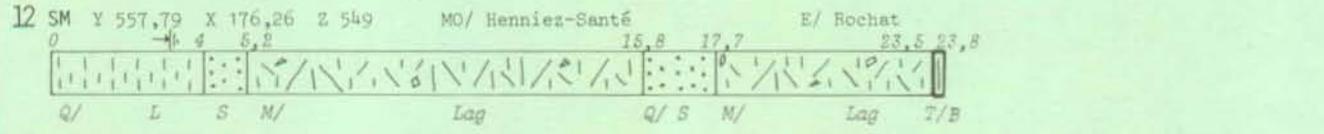
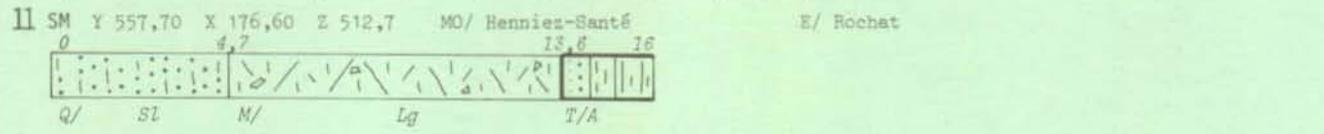
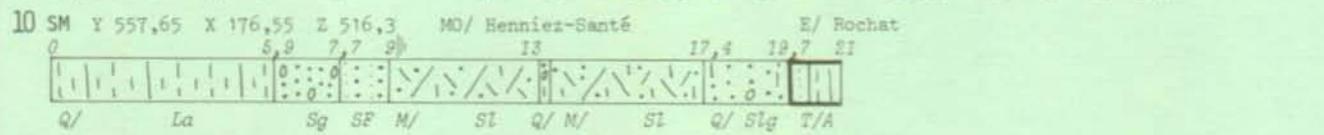
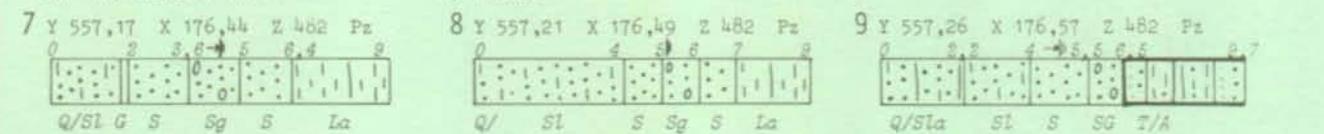
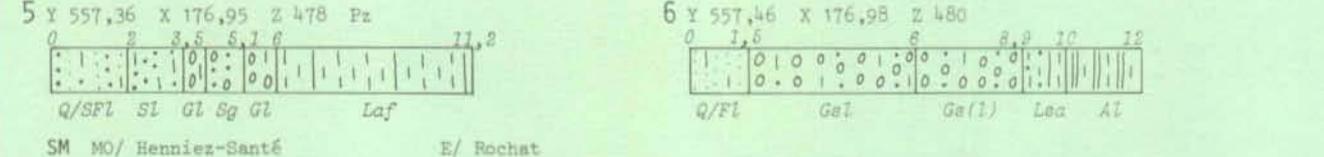
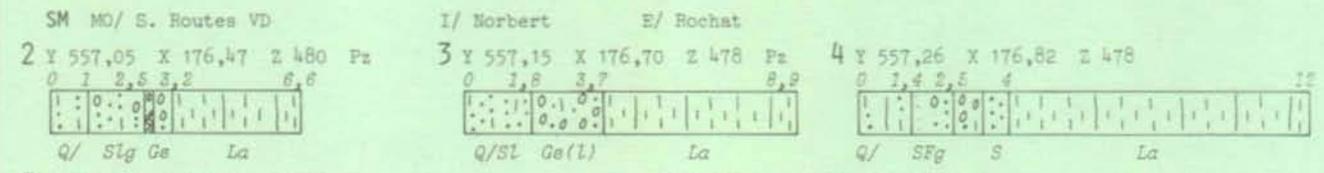
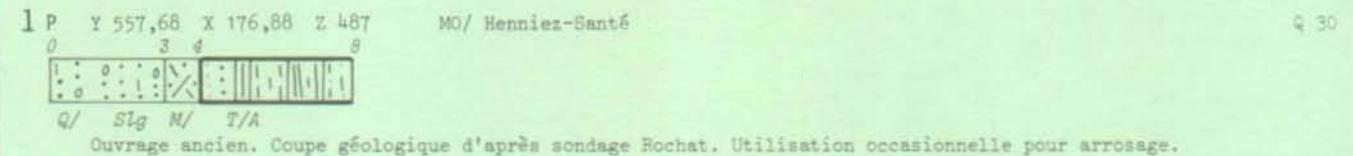
SUITE 556 - 176



CARTE IVB

KM²

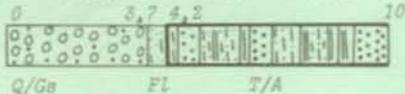
557 - 176



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique FV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE m; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro CARTE IV-B KM² SUITE 557 - 176

14 SM Y 557,83 X 176,78 Z 495,51 MO/ H-L + H-S I/ Badoux-Bersier E/ Rochat d 146



15 SE Y 557,18 X 176,60 Z 480 Az = 40 - 220 OA = 200 Qu = B
 1 2 5,5 7,6
 50 600 60 25

16 SE Y 557,28 X 176,17 Z 515 Az = 36 - 216 OA = 200 Qu = E
 1 3,4 44
 32 90 42

17 SE Y 557,46 X 176,09 Z 548 Az = 32 - 215 OA = 200 Qu = B
 1 1,7 100
 75 105 45

18 SE Y 557,73 X 176,06 Z 559 Az = 49 - 231 OA = 200 Qu = E
 1 7 22 95
 55 160 100 50

CARTE IV-B KM² 558 - 176

1 CG Y 558,02 X 176,57 Z 502 MO/ Henniez-Lithinée I/ Mers Q 145
 Captage d'eau minérale à 3 galeries : 10 m vers N90E, 30 m vers N165E, 100 m vers N10E, suivant à peu près le fond molassique du sillon graveleux. Débit annuel 64-65 selon Badoux-Bersier.

2 CG Y 558,15 X 176,84 Z 507 MO/ Henniez-Lithinée I/Mers Q 180
 Captage d'eau minérale récoltant des venues d'eau des graviers plus ou moins cimentés du sillon. Situation plus élevée que le fond molassique. Débit annuel 64-65 selon Badoux-Bersier.

3 CT Y 558,18 X 176,88 Z 510 MO/ C.Henniez Q 80
 Captage par tranchée de 26 m de long et 5 m de profondeur d'eau sortant des graviers du sillon.
 COMPOS. EAU (30. 5.88) 1/9,8 2/-- 3/32,14/0,915/-- 6/-- 7/-- 8/1,9 9/0 10/9,9 11/9,8 12/33,413/-- 14/--

4 CT Y 558,50 X 176,76 Z 570 MO/ Henniez-Santé
 Groupe des captages d'eau minérale de Fra Tserère, par puits et tranchées diverses. Eau souterraine d'origine molassique et morainique.

SM MO/ Henniez-Lithinée + Henniez-Santé I/ Badoux-Bersier E/ Rochat

5 Y 558,10 X 176,59 Z 529,90 Pz
 0 3,6 17,5 20 25,4 29,7
 Q/SL M/ SLg GeL Q/GSF T/A

6 Y 558,06 X 176,66 Z 521,60
 0 6,5 9,5 18,3 18,6 20,3
 Q/Lag GeL Ga M/Ag T/A

7 Y 558,10 X 176,67 Z 526,70 Pz
 0 2 13,1 24,7 27,6
 Q/L M/ GL SL T/A

8 Y 558,17 X 176,71 Z 529,75 Pz
 0 3,5 6,7 13,5 28,3 32
 Q/La GeL M/ Lag Ge(L) T/A

9 Y 558,07 X 176,70 Z 522,20
 0 5,8 16 16,2 18,4
 Q/Lg Ga T/A

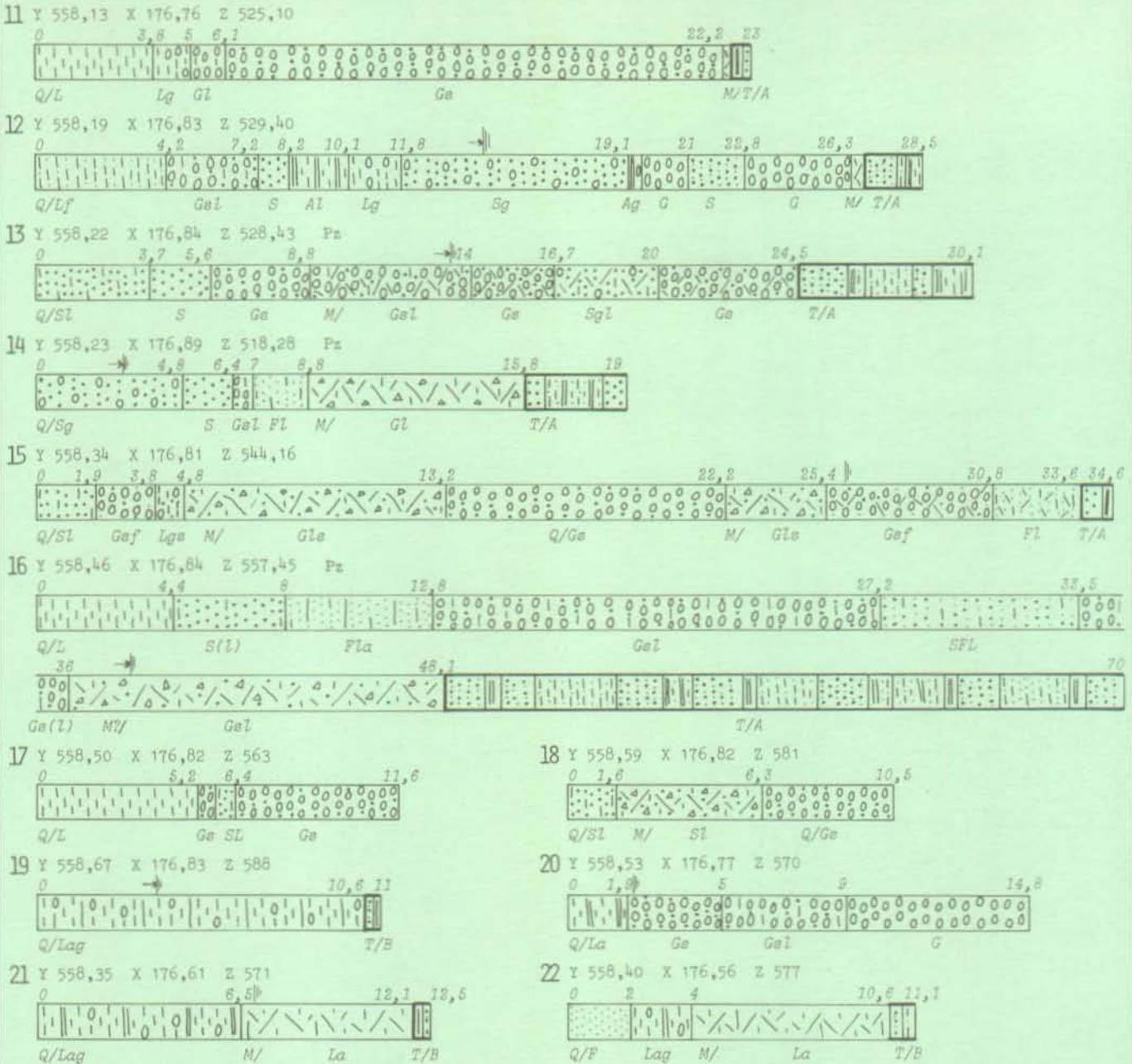
10 Y 558,06 X 176,73 Z 519,60
 0 3 6,8 7,2 11,6 17,5
 Q/L GaL Ga GL T/A

S sondage	P puits	C captage	Symb.granulom.: MAI, gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	L limon
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/remblai	••• S sable g+m	A argile
unités : SE Gm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		••• F sable fin	T tourbe
				+ symb. C chatt.
				= Q A aquit.
				B burdig.

numéro

CARTE IV-B KM² SUITE 558 - 176

SM MO/ Henniez-Lithinée + Henniez-Santé I/ Badoux-Bersier E/ Rochat



CARTE IV-VB KM² 556 - 177

- 1 P Y 556,79 X 177,08 Z 472
Ouvrage artisanal en tuyaux-ciment à la base du cône de Villeneuve. Aquifère peu épais.
- 2 P Y 556,45 X 177,35 Z 479
Groupe de puits artisanaux en tuyaux-ciment souvent profonds (>10 m).
- 3 SE Y 556,54 X 177,20 Z 475 Az = 34 - 214 OA = 200 Qu = S

1											
	75		120			70		105			40
- 4 SE Y 556,70 X 177,48 Z 475 Az = 34 - 214 OA = 175 Qu = P

1											
	30	250		110		30		36			55
- 5 SE Y 556,97 X 177,36 Z 471 Az = 5 - 209 OA = 200 Qu = S

1											
	700		350		38		18				65

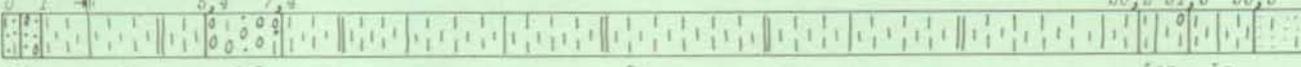
S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai ZZZZ S sable gtm A argile = Q A aquit.
 unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe B burdig.

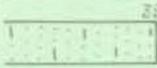
A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE IV-VB Km²

557 - 177

1 P Y 557,42 X 177,17 Z 476 MO/ Henniez-Santé I/ Gilliland d 150 Pf 6/8 Q 220
 0 1 2 3 4 5,4 7,4 30,2 31,5 33,5

 Q/ La Gsl La Lag La

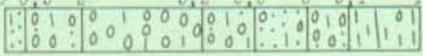


FL

Ouvrage d'exploitation (1960) constitué d'un puits filtrant vertical raccordé à deux tranchées : N 80 E, long. 30 m; N 240 E, long. 40 m. Essai de pompage de 6 j avec rabattement stabilisé pour Q = 220. La nappe peut devenir captive lors des hautes-eaux. Eau industrielle.

2 P Y 557,26 X 177,29 Z 472 MO/ Henniez-Santé
 Puits artisanal implanté dans une mince couche graveleuse de la base du cône de déjection. Géologie et hydraulique inconnues. Pas utilisé actuellement.

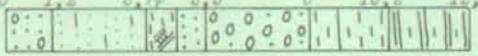
3 SM Y 557,51 X 177,06 Z 481 MO/ Serv. Routes VD I/ Norbert E/ Rochat Pz

0 0,5 2 5,2 6,6 8 9,1 11


Q/ Gls Gl Gls Sgl Gsl La(g)

Station limnigraphique du bureau Norbert depuis juin 1977.

4 SM Y 557,49 X 177,24 Z 475 MO/ Henniez-Santé E/ Rochat

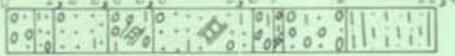
0 1,2 3,7 5,3 8 10,2 12,2


Q/ Fl Lt S Ge La Al

SM MO/ Serv. Routes VD I/ Norbert

E/ Rochat Pz

5 Y 557,38 X 177,05 Z 477

0 1,2 2,6 3,8 6,5 7 9 11,3


Q/ S(gl) Sgl(t) Gl Gsl Laf

6 Y 557,42 X 177,05 Z 478

0 2 2,6 4 6 6,8 8,3 10

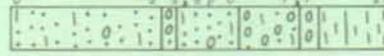

Q/ F(l) Sgl Lt Gl Slt La

7 Y 557,46 X 177,01 Z 480

0 1,4 3 8,9 11

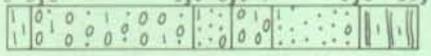

Q/ Gsl Gel Laf

8 Y 557,43 X 177,11 Z 477

0 4 4,4 6 7,7 10


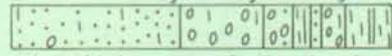
Q/ Sl(g) Ge Slg Gel G La

9 Y 557,50 X 177,18 Z 476

0 0,8 4,9 5,9 7 9,3 10,8


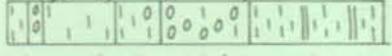
Q/ Gls Slg Gl S(lg) Al

10 Y 557,54 X 177,10 Z 478

0 4,4 6,7 8,8 9 10


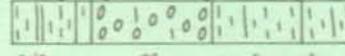
Q/ Sl(g) Gl Ge S La

11 Y 557,55 X 177,23 Z 475

0 0,9 2,8 4 8,4 10


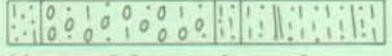
Q/ Sl Lag Gel La

12 Y 557,40 X 177,28 Z 473

0 1,7 2,1 5,3 7,7 9


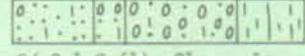
Q/Lae Gls Lea La

13 Y 557,32 X 177,30 Z 472

0 0,9 5,5 8,2 10


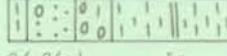
Q/ Gsl Le Las

14 Y 557,33 X 177,22 Z 473

0 2,2 3 6 7,8


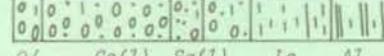
Q/ Sgl Sg(l) Gls La

15 Y 557,20 X 177,18 Z 472

0 0,5 2,8 6


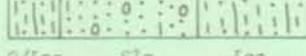
Q/ S(g) La

16 Y 557,28 X 177,13 Z 474

0 0,8 4,2 5 6,3 8,5 10


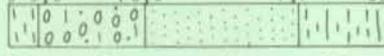
Q/ Gs(l) Sg(l) La Al

17 Y 557,88 X 177,60 Z 470

0 1,4 5 8


Q/Lae Slg Las

18 SM Y 557,95 X 177,54 Z 470 MO/ Henniez-Lithinse I/ Merz E/ Fehlmann d 131/146

0 0,8 3,6 7,7 10


Q/ Gl F La

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	L limon
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	.. S sable g+m	A argile
unités : SE Gm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE log		.. F sable fin	T tourbe
				A. PARRIAUX 1977

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 27

numéro

CARTE IV-VB KM² SUITE 557 - 177

19	SE Y 557,06 X 177,02 Z 472	Az = 28 - 208	OA = 255	Qu = P
	1 900	3,5 45		
20	SE Y 557,07 X 177,32 Z 471	Az = 24 - 204	OA = 200	Qu = S
	1 650	5	55	85
21	SE Y 557,09 X 177,92 Z 470	Az = 43 - 223	OA = 200	Qu = B
	1 220	5 40	9 60	145 35
22	SE Y 557,23 X 177,76 Z 469	Az = 34 - 214	OA = 200	Qu = S
	1 400	5 65		
23	SE Y 557,37 X 177,73 Z 469	Az = 34 - 214	OA = 200	Qu = B
	1 550	8	70	210 40
24	SE Y 557,41 X 177,33 Z 472	Az = 53 - 248	OA = 175	Qu = S
	1 1000	3	60	165 35
25	SE Y 557,46 X 177,62 Z 469	Az = 34 - 214	OA = 200	Qu = B
	1 600	2,3 300	7 65	> 260 ? 35 ?
26	SE Y 557,68 X 177,38 Z 471	Az = 40 - 220	OA = 200	Qu = S
	1 35	1,8 75	12 150	22 40
27	SE Y 557,97 X 177,40 Z 490	Az = 34 - 216	OA = 255	Qu = S
	1 35	8	14 70	28

CARTE IV-B KM² 558 - 177

1	PV Y 558,61 X 177,55 Z 532	MO/ Henniez-Santé	I/ Mornod	d 900/500 Pf 6/32
	0 2	6,3	18,5	18,7 20,4
	25,5	27,5 28,8	31	
	Q/S	G	GS	S G FS Ge M/ T/A
	Puits d'essai métallique. Essai de pompage de 23 j avec Q < 1400 l/mn. Rabattement non stabilisé. K = 1x10 ⁻⁴ T = 2x10 ⁻³ .			
2	PV Y 558,45 X 177,20 Z 560	MO/ Henniez-Santé	I/ Mornod	d 580/420 Pf 32/50
	0	7,5	22,5	
	Q/	La	GS	Gla
	36,7	47,5	50,8	
	S	Ge		
	Puits d'essai incomplet. Pas d'essai de pompage réalisé.			
3	SM Y 558,37 X 177,04 Z 527,31	MO/ HL + HS	I/ Badoux-Bersier	E/ Rochat d 115/146 Pz
	0	10,4	11	13 13,5
	18,4	18,9	25,2	26,7
	Q/Ge	Gla	Ge Gf	GS SL Ge GfL T/A
4	SM Y 558,51 X 177,14 Z 545,98	MO/ HL + HS	I/ Badoux-Bersier	E/ Rochat
	0	11,1	12	19
	30	32,7		
	Q/Sg	SgI	SF	FL M/ Gel
5	SM Y 558,57 X 177,30 Z 564,24	MO/ HL + HS	I/ Badoux-Bersier	E/ Rochat
	0	4	11	27,1 28
	Q/L	Leg	Sg(L)	Fg Ge
	38	57,3		
	M/	GL		

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chett.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Gm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE IV-B KM² SUITE 558 - 177

6 SM Y 558,63 X 177,53 Z 532,47 MO/ H-L + H-S I/ Badoux-Bersier E/ Rochat d 115/146 Pz
 0 2,1 9,5 10 11,2 20,4 24,4 32,2 34 35



7 SM Y 558,80 X 177,60 Z 573 MO/ Henniez-Santé E/ Rochat
 0 2,5 3,9 5,5,6 7,7 10,8 12,6



8 SM Y 558,29 X 177,97 Z 476 MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 131/146

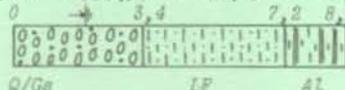


9 SE Y 558,03 X 177,81 Z 469 Az = 39 - 219 OA = 200 Qu = P

1	3	7	35
50	25	60	38

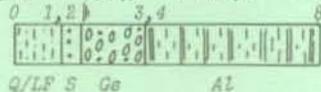
CARTE IV-VB KM² 557 - 178

1 PV Y 557,97 X 178,65 Z 465,78 MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 600 Pf 3/6 Q 120



Puits d'essai métallique abandonné. Nappe très perméable mais peu épaisse. Essai de pompage de 5j : un débit >150 l/mn assèche le puits. Rabattement stable de 0,3 m pour Q = 100. Dupuit NL, avec H = 1,5, K = 3x10⁻³, T = 5x10⁻³. Abaissement des piézomètres peu sensible. Reconstitution rapide des réserves. Forte influence de la rivière. Par hautes eaux, l'écoulement souterrain suit parallèlement la rivière et doit probablement s'inverser de la Broye vers la nappe lorsque le cours d'eau s'élève encore. (observations piézométriques).

2 SM Y 557,94 X 178,51 Z 466,31 MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 600 Pz 1/4



3 SE Y 557,42 X 178,70 Z 501 Az = 43 - 223 OA = 200 Qu = S

1	1,4	17,5	38
160	3000	800	200

4 SE Y 557,48 X 178,15 Z 468 Az = 45 - 220 OA = 200 Qu = S

1	8	34	>190
75	35	60	? 35 ?

5 SE Y 557,63 X 178,42 Z 472 Az = 39 - 225 OA = 200 Qu = S

1	85	60	>160
85	60	? 35 ?	

6 SE Y 557,74 X 178,23 Z 468 Az = 35 - 215 OA = 200 Qu = E

1	2,5	8,5	4,8
750	350	50	75

7 SE Y 557,90 X 178,10 Z 468 Az = 30 - 210 OA = 200 Qu = S

1	3	17
300	100	45

CARTE IV-V-VI B KM² 558 - 178

SM MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 600

1 Y 558,02 X 178,61 Z 466,03 Pz 2/4



2 Y 558,03 X 178,67 Z 466,23 Pz 2/5



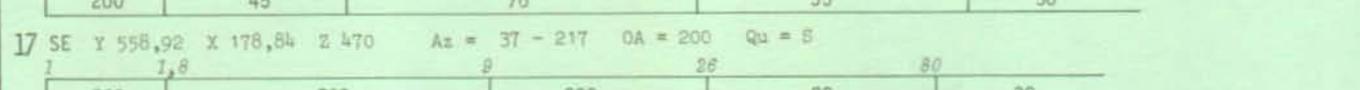
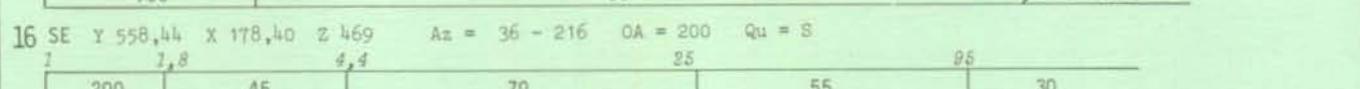
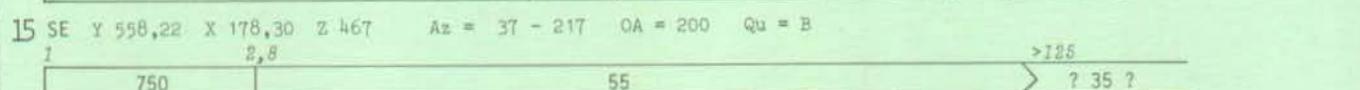
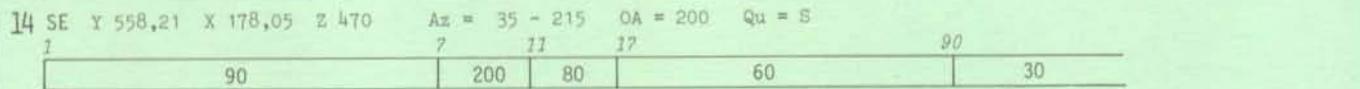
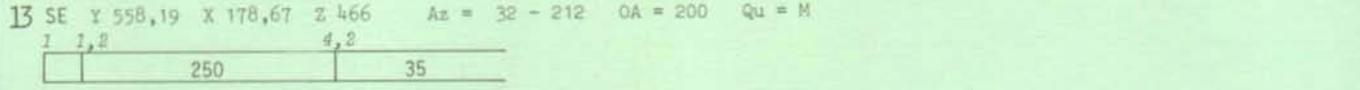
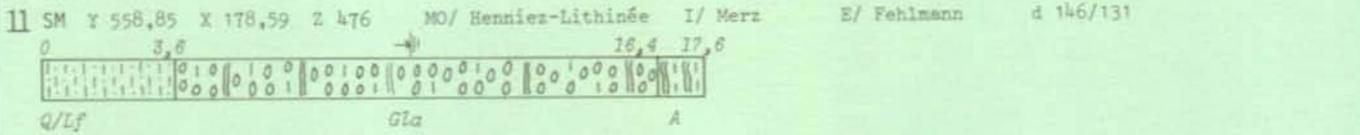
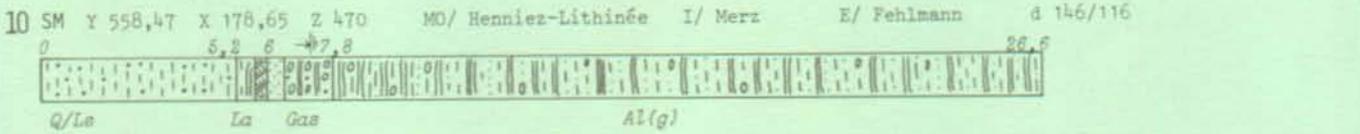
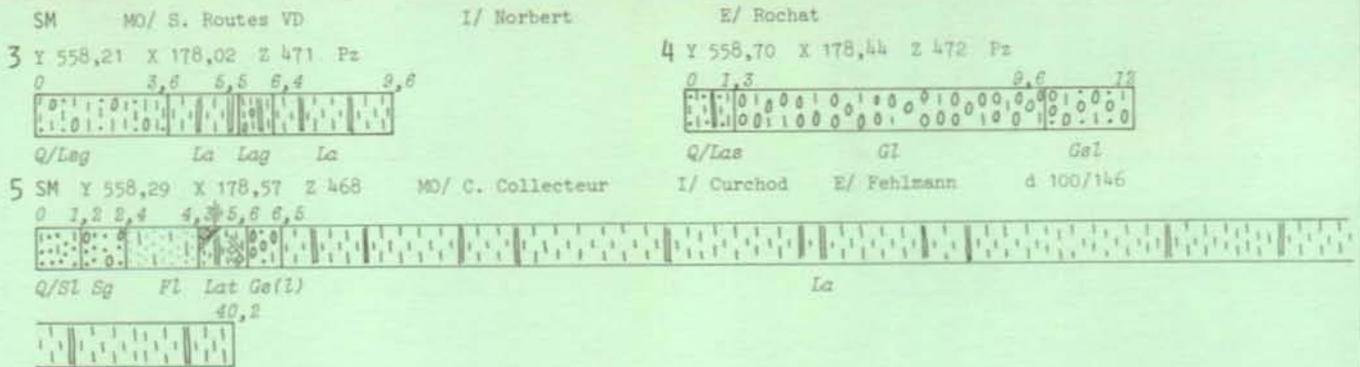
S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie QG Q gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE IV-VI B

KM²

SUITE 558 - 178



CARTE IV-VI B

KM²

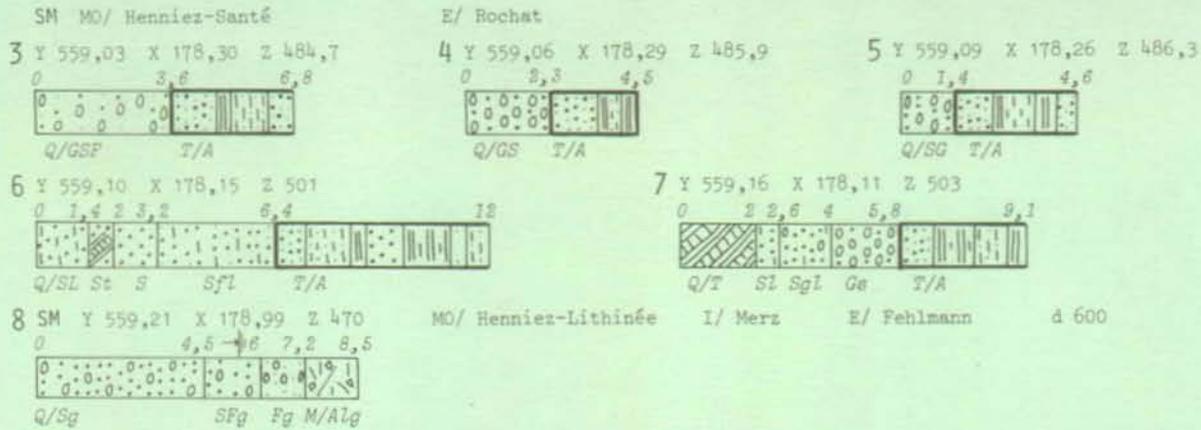
559 - 178

- 1 CG Y 559,02 X 178,17 Z 490 MO/ C. de Marnand Q 145
 COMPOS. EAU (28. 8.80) 1/9,5 2/-- 3/22,54/0,905/-- 6/-- 7/-- 8/3,5 9/-- 10/18 11/15,5 12/18,4 13/0 14/0
 Captage récent par galerie dans le fond du sillon graveleux. Débit très régulier. (Observations Badoux-Bersier).
- 2 CG Y 559,24 X 178,07 Z 500 MO/ Henniez-Santé Q 220
 Captage récent en galeries à deux bras : vers le SE, touche la molasse après 42 m; vers le SW, reste dans les
 graviers du sillon sur toute sa longueur (46 m). Eau industrielle. (Observations Badoux-Bersier).

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	□ G gravier	▨ L limon
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	E/ remblai	□ S sable g+m	▨ A argile
unités : SE Gm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		□ F sable fin	▨ T tourbe
				▨ + symb. = Q
				A. PARRIAUX 1977

numéro

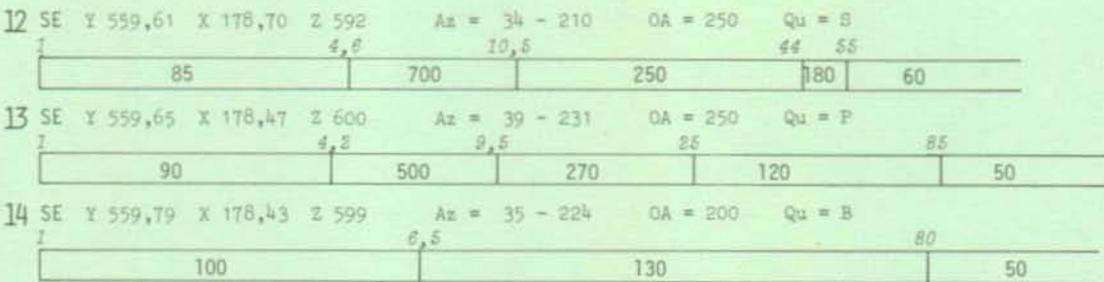
CARTE IV-VI B KM² SUITE 559 - 178



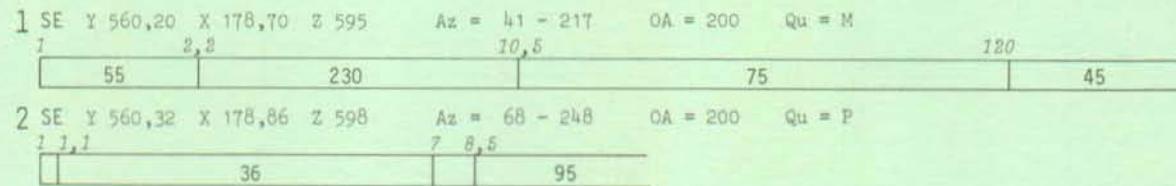
9 DOCUMENTATION RETIREE

10 DOCUMENTATION RETIREE

11 DOCUMENTATION RETIREE



CARTE VIB KM² 560 - 178

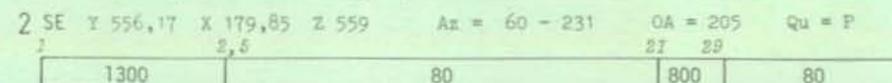


CARTE VB KM² 555 - 179

1 CT Y 555,95 X 179,43 Z 530 MO/ C. Granges Q 120
Captage à triple tranchée sur des dépôts limoneux. Résurgence de la nappe perchée des dépôts de remblayage de l'ancienne Lembe. Débit très régulier.

CARTE VB KM² 556 - 179

1 CT Y 556,10 X 179,40 Z 515 MO/ C. Granges Q 110
Tranchée dans la molasse fissurée de l'ancienne rive droite de la vallée glaciaire remblayée de la Lembe. Eau originnaire de la nappe quaternaire.

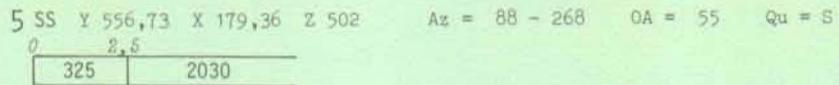
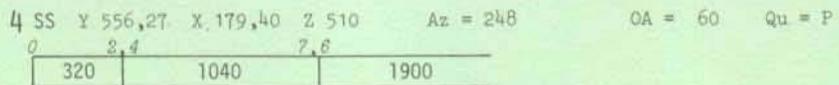
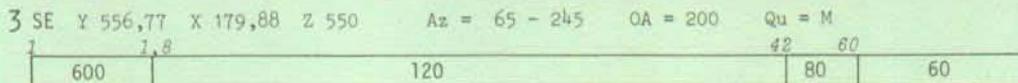


S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	L limon
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/ remblai	••• S sable g+m	A argile
unités : SE hm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		••• F sable fin	T tourbe

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 31

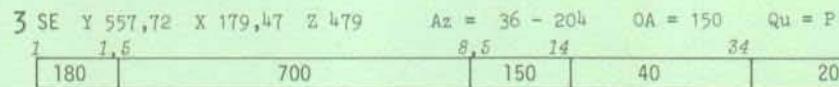
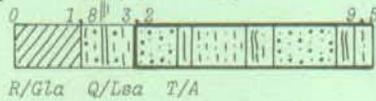
numéro CARTE VB KM² SUITE 556 - 179



CARTE V-VI B KM² 557 - 179

1 CR Y 557,59 X 179,23 Z 473 MO/ Catellani
Station de pompage à la Lembe d'eau industrielle pour traitement des graviers.

2 SM Y 557,29 X 179,24 Z 486 MO/ Moulins de G. I/ Schopfer-Karakas

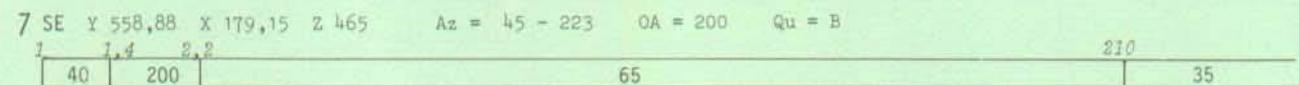
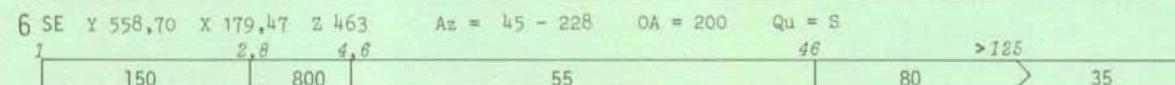
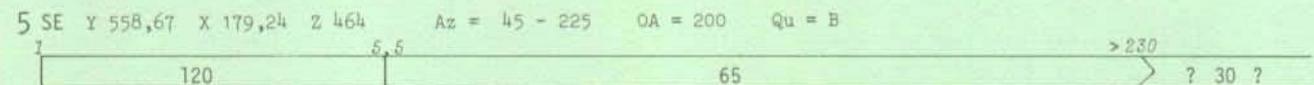
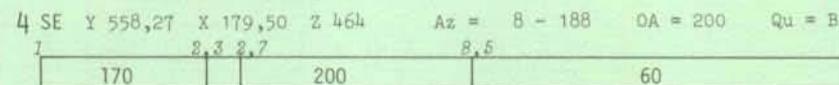
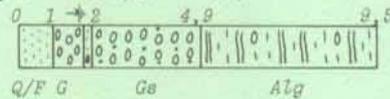


CARTE V-VI B KM² 558 - 179

1 P Y 558,33 X 179,40 Z 464 MO/ Catellani
Puits artisanal dans graviers aquifères, profond env. 4 m. (voir géol. 558-179-3). Débit stabilisé inconnu, probablement 100 à 300 l/mn. Utilisation ménagère et industrielle pour lavage de véhicules.

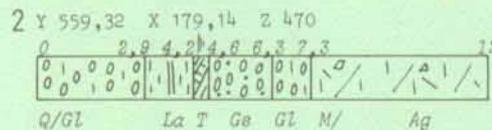
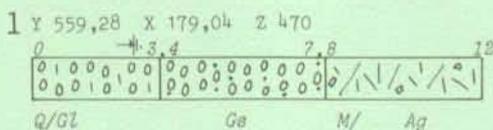
2 P Y 558,24 X 179,43 Z 464
Puits artisanal semblable au 558-179-1. Eau d'arrosage.

3 SM Y 558,33 X 179,46 Z 464 MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 146

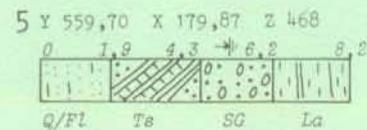
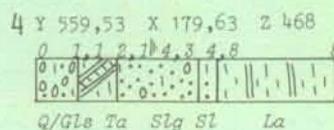
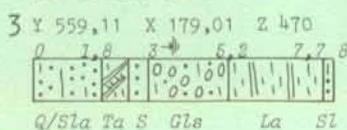


CARTE VI B KM² 559 - 179

SM MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 131/146



SM MO/ S. Routes VD I/ S. Routes VD E/ Diasonde d 100/85



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée 'Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
 unités : SE Gm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE VIB

KM²

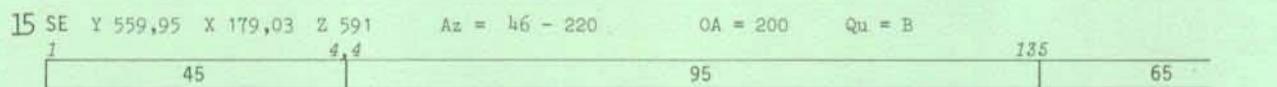
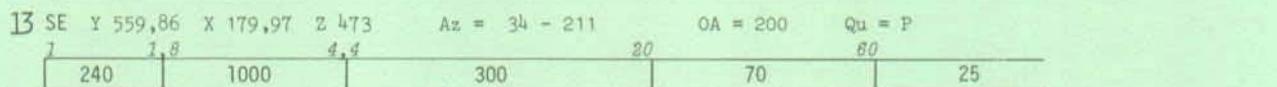
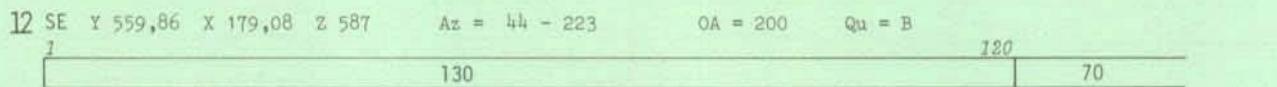
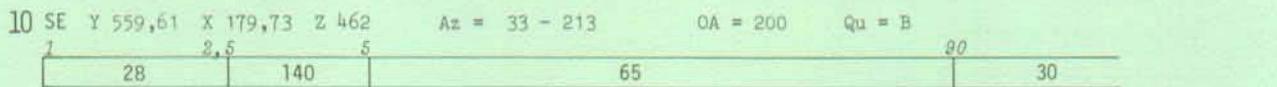
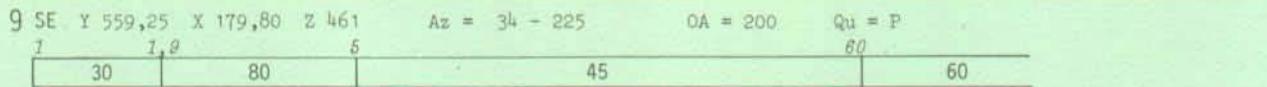
SUITE 559 - 179

6

DOCUMENTATION RETIREE

7

DOCUMENTATION RETIREE



CARTE VIB

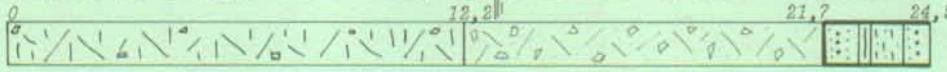
KM²

560 - 179

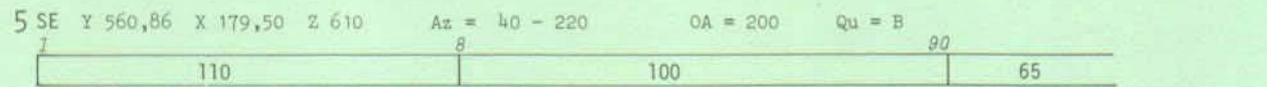
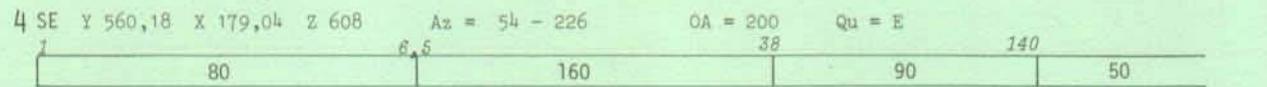
1 CG Y 560,14 X 179,87 Z 498 MO/ Estoppey Q 120
Galerie taillée dans les sables et graviers ± cimentés du sillon graveleux. Débit très régulier.

2 CG Y 560,19 X 179,82 Z 500 MO/ C. Trey Q 60
COMPOS. EAU (g. 5.72) 1/10 2/-- 3/34,24/0,805/-- 6/-- 7/-- 8/3,8 9/0 10/-- 11/13,812/-- 13/8 14/0
Galerie de ~ 50 m vers NNE entièrement dans les sables et graviers ± cimentés du sillon. Débit très régulier.

3 SM Y 560,42 X 179,70 Z 561 MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 146/101 Pz 17/24



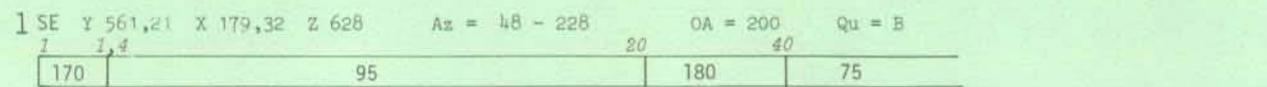
M/ Alg GF T/B



CARTE VIB

KM²

561 - 179



S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	S subalp.
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	••• S sable g+m	C chatt.
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		••• F sable fin	A aquit.
			≡≡≡ A argile	B burdig.
			≡≡≡ T tourbe	

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 33

numéro CARTE VI B KM² SUITE 561 - 179

2 SE Y 561,34 X 179,89 Z 626 Az = 39 - 219 OA = 200 Qu = B

1	5,5	9,5	80
110	380	135	80

3 SE Y 561,61 X 179,78 Z 656 Az = 31 - 211 OA = 200 Qu = B

1	2,3	10	65
80	170	90	

CARTE V-VI-VII B KM² 556 - 180

1 CT Y 556,68 X 180,37 Z 540 MO/ Hameau Brit E/ Cusanoud Q 160
Captage de sources sortant des sables. Réurgence de la nappe du plateau de Baussannes.

2 CT Y 556,28 X 180,89 Z 580 MO/ C. Ménières Q 150
Captage probablement au contact gravier-molasse. Débit très régulier.

3 SE Y 556,27 X 180,46 Z 565 Az = 30 - 210 OA = 200 Qu = B

1	2,6	4,4	9,5	90
130	1300	90	65	30

4 SE Y 556,38 X 180,30 Z 559 Az = 41 - 221 OA = 200 Qu = S

1	1,3	48
120	280	40

5 SE Y 556,42 X 180,35 Z 559 Az = 40 - 220 OA = 200 Qu = S

1	4,6	55
400	270	35

6 SE Y 556,45 X 180,86 Z 563 Az = 33 - 213 OA = 200 Qu = B

1	3,6	9,5	32
100	200	110	50

7 SE Y 556,50 X 180,21 Z 559 Az = 46 - 226 OA = 200 Qu = P

1	2	9	11	46
760	400	40	150	40

8 SE Y 556,60 X 180,07 Z 559 Az = 55 - 235 OA = 200 Qu = B

1	7,5	12,5
800	40	80

9 SE Y 556,63 X 180,88 Z 559 Az = 35 - 210 OA = 200 Qu = B

1	2,9	16	80
60	105	70	30

CARTE V-VI B KM² 557 - 180

1 Y 557,55 X 180,39 Z 494 Déversement d'hydrocarbures (accident camion-citerne, mai 1973). Excavation 10 m x 15 m x 6 m. Quantité non récupérée voisine de 1 m³.

2 SE Y 557,17 X 180,43 Z 523 Az = 62 - 225 OA = 150 Qu = M

1	1,3	1,9	75
165	3000	50	20

3 SE Y 557,17 X 180,92 Z 519 Az = 42 - 212 OA = 200 Qu = B

1	4,8	7	60
1500	600	80	25

4 SE Y 557,22 X 180,61 Z 517 Az = 77 - 247 OA = 200 Qu = P

1	4,6	8	18	70
800	50	100	60	25

5 SE Y 557,29 X 180,38 Z 512 Az = 64 - 233 OA = 180 Qu = P

1	1,5	5	8	22
140	800	30	160	50

6 SE Y 557,37 X 180,83 Z 508 Az = 44 - 245 OA = 200 Qu = S

1	2,9	26	75
2000	120	55	25

7 SE Y 557,75 X 180,85 Z 492 Az = 65 - 245 OA = 200 Qu = P

1	1,8	8,5	85
130	37	150	25

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 34

numéro

CARTE V-VI B KM²

SUITE 557 - 180

8 SE Y 557,76 X 180,65 Z 488 Az = 66 - 246 OA = 200 Qu = P

1	6	19	20	80
90	300	30	70	35

9 SE Y 557,82 X 180,49 Z 485 Az = 66 - 246 OA = 200 Qu = S

1	2,5	30
55	70	30

10 SE Y 557,82 X 180,98 Z 490 Az = 66 - 246 OA = 250 Qu = B

1	4	6,5	38
25	2000	200	25

11 SE Y 557,83 X 180,78 Z 489 Az = 64 - 244 OA = 250 Qu = P

1	1,1	8,5	34	50
36	145	72	25	

12 SE Y 557,90 X 180,33 Z 486 Az = 66 - 246 OA = 200 Qu = P

1	2,3	15	25	55
75	340	38	75	30

13 SS Y 557,78 X 180,06 Z 487 Az = 64 OA = 100 Qu = S

0	3,7	32,7
410	1790	3000

14 SS Y 557,77 X 180,28 Z 490 Az = 64 OA = 100 Qu = S

0	4,1	21,5	> 33
340	810	1630	> 2500?

15 SS Y 557,75 X 180,52 Z 487 Az = 244 OA = 75 Qu = S

0	7,2	15,9
340	1230	3000

16 SS Y 557,87 X 180,71 Z 487 Az = 267 OA = 80 Qu = P

0	2	7,4	20,8
325	880	1670	2220

17 SS Y 557,87 X 180,95 Z 489 Az = 244 OA = 60 Qu = P

0	2,2	10,3
330	780	1920

CARTE VI B KM²

558 - 180

1 SE Y 558,10 X 180,14 Z 473 Az = 35 - 215 OA = 200 Qu = S

1	1,3	8,5	17	100
80	350	40	55	25

2 SE Y 558,39 X 180,63 Z 475 Az = 76 - 257 OA = 250 Qu = P

1	6	7	60
50	65	15	

3 SE Y 558,39 X 180,94 Z 482 Az = 81 - 250 OA = 255 Qu = S

1	11	35
28	60	15

4 SE Y 558,55 X 180,12 Z 462 Az = 35 - 215 OA = 200 Qu = S

1	1,6	8	16	110
60	200	45	65	20

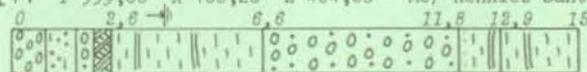
5 SE Y 558,75 X 180,00 Z 462 Az = 35 - 215 OA = 200 Qu = S

1	2	6,5	12	> 320
210	650	40	65	? 20 ?

CARTE VI B KM²

559 - 180

1 PV Y 559,86 X 180,20 Z 464,60 MO/ Henniez-Santé I/ Mornod E/ Swissb. a 850/650 Q 450



COMPOS. EAU (moyenne) 1/10,42/42 3/34,34/0,915/-- 6/-- 7/0,328/3,8 9/8,2 10/17,611/16,512/-- 13/900 14/0

P. métal. d'exploitation (1969) dans la nappe du cône du R. de Trey. Construit sur base puits d'essai à 10 m au S (Rochat). Nappe captive dans la zone du puits et à l'aval, sous un toit argilo-tourbeux. En amont, la nappe doit redevenir libre et sans tourbe (SE 559-179-13). Fond du puits sur versant E d'un petit chenal SN taillé dans les dépôts lacustres. Essai de pompage de 5j. Nappe stabilisée pour Q < 470. Dupuit NC : 5,2 H = 7 K = 3,8x10⁻⁴ T = 2x10⁻³. Eau réduite Fe Mn. Exploitation en réserve.

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom. : MAJ. gr. domin. / min. gr. second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr. vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	○ G gravier	⊞ L limon
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	● S sable g+m	⊞ A argile
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		○ F sable fin	⊞ T tourbe
				⊞ + symb. = Q
				A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE VIB KM² SUITE 559 - 180

2 P Y 559,83 X 180,37 Z 460,46 MO/ Henniez-Santé
Ancien puits artisanal à la base du cône du R. de Trey.

3 SM Y 559,79 X 180,12 Z 466 MO/ Henniez-Santé I/ Mornod E/ Swissb. d 850/400

0 2 2,5 4,8 6,5 8,3 8,7 14



Q/Gs Slg Lea At T G La

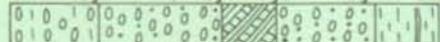
SM MO/ Henniez-Santé

I/ Rochat

E/ Rochat

4 Y 559,81 X 180,14 Z 465,78 Pz

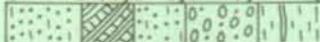
0 2,3 5,8 7,1 9,7 11,4



Q/Gl Ga T Ge La

5 Y 559,70 X 180,17 Z 463,10 Pz

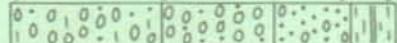
0 2 3,4 4,8 6,7 8,5



Q/Sl T Sl Ga La

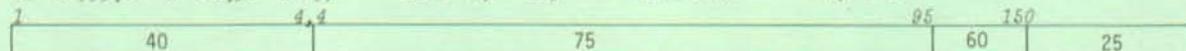
6 SM Y 559,78 X 180,03 Z 468 MO/ S.Routes VD I/ S.Routes VD E/ Diazonde d 115/100

0 4 7 9 10,2



Q Gal Ge Sg La

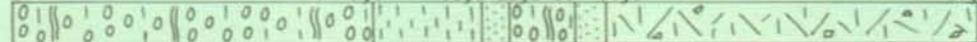
7 SE Y 559,84 X 180,98 Z 459 Az = 29 - 209 OA = 200 Qu = B



CARTE VIB KM² 560 - 180

1 SM Y 560,18 X 180,15 Z 496 MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Fehlmann d 101/146

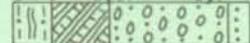
0 8,6 12,5 13,2 15 15,8 25,7



Q Gla L F Gla F M? Ag

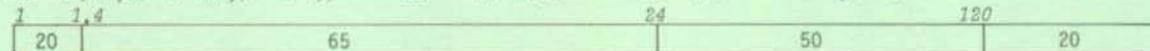
2 SM Y 560,19 X 180,64 Z 461 MO/ S.Routes VD I/ S.Routes VD E/ Diazonde d 145/100

0 1 2,5 5,7 6,2



Q/Lea T SG S

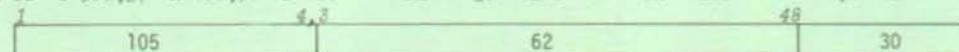
3 SE Y 560,02 X 180,71 Z 459 Az = 28 - 208 OA = 200 Qu = S



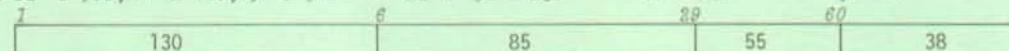
4 SE Y 560,18 X 180,41 Z 474 Az = 41 - 215 OA = 125 Qu = B



5 SE Y 560,37 X 180,58 Z 480 Az = 36 - 210 OA = 200 Qu = B



6 SE Y 560,44 X 180,45 Z 516 Az = 50 - 230 OA = 200 Qu = B



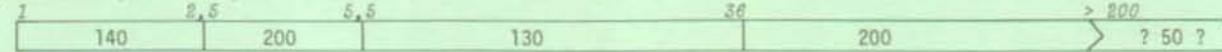
7 SE Y 560,56 X 180,40 Z 541 Az = 46 - 205 OA = 200 Qu = P



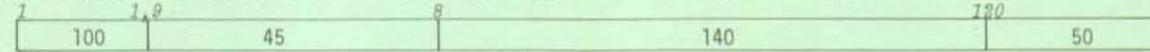
8 SE Y 560,62 X 180,92 Z 483 Az = 37 - 222 OA = 200 Qu = P



9 SE Y 560,64 X 180,24 Z 567 Az = 30 - 209 OA = 200 Qu = P



10 SE Y 560,73 X 180,10 Z 571 Az = 25 - 205 OA = 175 Qu = P



11 SE Y 560,99 X 180,92 Z 505 Az = 8 - 188 OA = 200 Qu = P



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Ωm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log P sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE VI B KM²

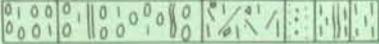
561 - 180

SM MO/ C.Trey

I/ Norbert

E/ SIF

1 Y 561,01 X 180,95 Z 503,86 Pz
0 1,5 5,3 7,5 10



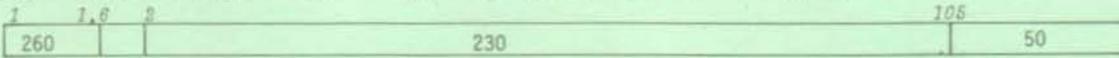
Q/Gl Gla M/Lag T/A

2 Y 561,07 X 180,63 Z 537



R/Gl Q/S L/S Fg M/ Gla

3 SE Y 561,06 X 180,64 Z 537 Az = 36 - 202 OA = 200 Qu = S



4 SE Y 561,24 X 180,53 Z 578 Az = 41 - 216 OA = 250 Qu = E

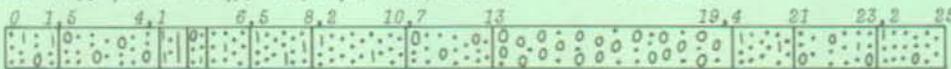


CARTE VII B KM²

556 - 181

1 SM Y 556,68 X 181,99 Z 584,87 MO/ BAR FR

I/ BAR FR

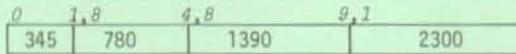


Q/Slg Sg Lea Sl S(l) Sg Ga S(l) Sg(l) S(lg)

2 SE Y 556,73 X 181,08 Z 548 Az = 56 - 230 OA = 255 Qu = P



3 SS Y 556,61 X 181,12 Z 563 Az = 48 OA = 55 Qu = B



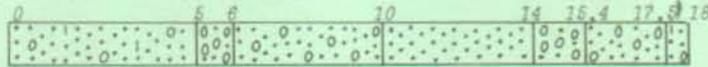
CARTE VI-VII B KM²

557 - 181

SM MO/ BAR FR

I/ BAR FR

1 Y 557,09 X 181,98 Z 559,59



Q/Sgl Ga Sg S Ga Sg S(lg)

2 Y 557,20 X 181,95 Z 558,25



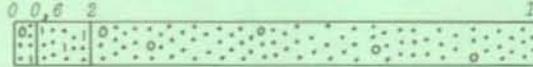
Q/Sgl Ga Sg S Ga Sg S(lg)

3 Y 557,06 X 181,87 Z 555,98



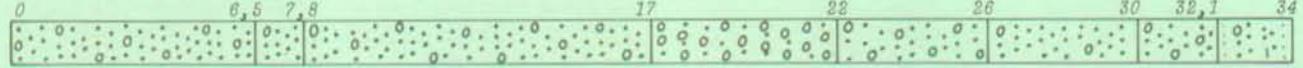
Q/Sgl Ga Sg S Ga Sg S(lg)

4 Y 557,58 X 181,71 Z 522,16



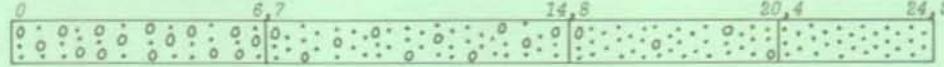
Q/Sgl Ga Sg S Ga Sg S(lg)

5 Y 557,57 X 181,85 Z 553,90



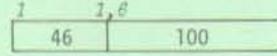
Q/Sgl Ga Sg S Ga Sg S(lg)

6 Y 557,69 X 181,80 Z 530

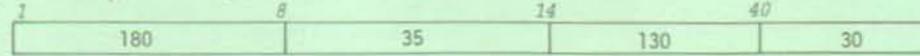


Q/Sgl Ga Sg S Ga Sg S(lg)

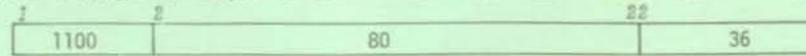
7 SE Y 557,84 X 181,09 Z 494 Az = 99 - 279 OA = 200 Qu = M



8 SE Y 557,85 X 181,35 Z 490 Az = 81 - 261 OA = 200 Qu = B



9 SE Y 557,98 X 181,91 Z 492 Az = 61 - 225 OA = 200 Qu = S



S sondage P puits C captage Symb.granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique FR = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
 unités : SE km; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE log P sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE IV-VI B KM² SUITE 557 - 181

10 SS Y 557,69 X 181,15 Z 494 Az = 262 OA = 70 Qu = B
 0 1,8 2,5 11,4
 360 1770 2250

CARTE VIB KM² 558 - 181

1 SE Y 558,34 X 181,65 Z 477 Az = 73 - 293 OA = 200 Qu = S
 1 3 100
 34 50 20

2 SE Y 558,37 X 181,06 Z 488 Az = 86 - 271 OA = 255 Qu = P
 1 1,6 9 110
 140 550 50 20

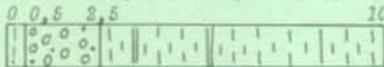
3 SE Y 558,42 X 181,28 Z 474 Az = 85 - 265 OA = 200 Qu = S
 1 4,6 65
 35 70 30

4 SE Y 558,72 X 181,09 Z 480 Az = 63 - 260 OA = 200 Qu = S
 1 4,6 100
 32 42 20

5 SS Y 558,24 X 181,07 Z 490 Az = 66 - 246 OA = 180 Qu = B
 0 6,1 34,4
 325 1640 1770

CARTE VIB KM² 559 - 181

1 SM Y 559,73 X 181,26 Z 459 MO/ Henniez-Lithinée I/ Merz E/ Cuarnoud



Q/ Ge La Situation et coupe géologique approximatives.

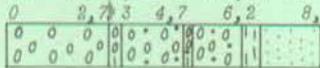
2 SE Y 559,18 X 181,68 Z 464 Az = 111 - 306 OA = 200 Qu = B
 1 2 2,5 38 95
 55 200 70 50 20

3 SE Y 559,43 X 181,13 Z 476 Az = 17 - 197 OA = 200 Qu = P
 1 12 110
 270 75 20

4 SE Y 559,50 X 181,06 Z 459 Az = 52 - 209 OA = 200 Qu = B
 1 2,3 110
 32 70 20

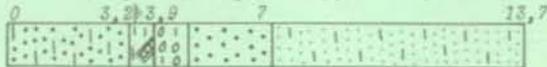
CARTE VIB KM² 560 - 181

1 PV Y 560,23 X 181,76 Z 457 MO/ Gerber E/ Fehlmann d 600 Pr 2/B Q 140



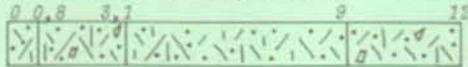
Q/ G Gl Ge S L F
 COMPOS. EAU (10.11.70) 1/11,72/0,493/35,84/0,955/— 6/— 7/0,068/1,9 9/0 10/0,9 11/13,712/5 13/500 14/0
 Ouvrage d'exploitation (1970) pour l'eau d'arrosage. Essai de pompage de 5 j avec débit de 200 l/mn ramené à 140 l/mn. Stabilisation du rabattement inconnue. Duit NL : avec H = 3,7, K = 4,8x10⁻⁴ T = 1,8x10⁻³. Puits implanté dans un méandre de l'ancienne Broye.

2 SM Y 560,20 X 181,52 Z 455 MO/ Gerber E/ Fehlmann d 600



Q/ S L Et Gl S Fl

3 SM Y 560,57 X 181,44 Z 481 MO/ Serv. Routes VD I/ Serv. Routes VD E/ Dissonde d 145/115



M/ Sga Sla Sga

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
 unités : SE Ωm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE VIB KM² SUITE 560 - 181

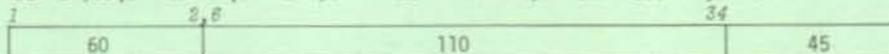
4 SM Y 560,97 X 181,05 Z 495 MO/ C. Trey I/ Norbert E/ SIF

0 1,5 4,5 8 8,5

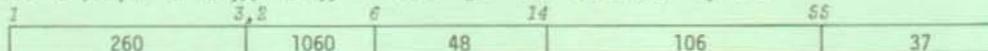


Q/La SI M/La T/A

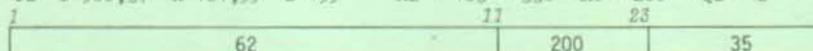
5 SE Y 560,04 X 181,84 Z 456 Az = 14 - 194 OA = 200 Qu = S



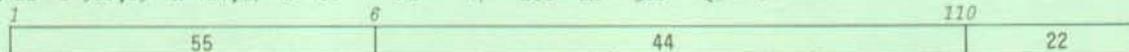
6 SE Y 560,14 X 181,55 Z 459 Az = 30 - 222 OA = 200 Qu = S



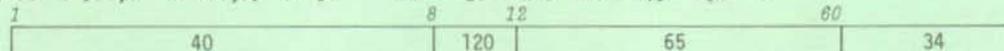
7 SE Y 560,37 X 181,59 Z 459 Az = 183 - 338 OA = 200 Qu = B



8 SE Y 560,65 X 181,27 Z 468 Az = 47 - 206 OA = 300 Qu = S



9 SE Y 560,84 X 181,05 Z 492 Az = 30 - 210 OA = 175 Qu = S



10 SE Y 560,86 X 181,48 Z 477 Az = 69 - 242 OA = 200 Qu = P



CARTE VIB KM² 561 - 181

1 PV Y 561,29 X 181,46 Z 491,38 MO/ C. Trey I/ Meuwly + Soutter E/ SIF d 200 Pf 3/T Q 40

0 4,2 4,7 7 9,8



Q/ Lg Ge Ga1 T/A

Mini-puits d'essai par forage de petit diamètre. Test de la nappe artésienne par siphonage avec rabattement d'environ 3 m (1 m sous le sol) pour un débit de 37 l/mn durant 2 mois. Etape préliminaire d'un captage - assainissement au moyen d'une ligne de puits verticaux dans la zone artésienne.

2 SM MO/ C. Trey I/ Norbert E/ SIF d 194/114 Pz

Y 561,46 X 181,25 Z 514

0 0,8 4 4,8 7,2 10 11,5 13,7 17 34,4



Q/ Sg St S L S L Sg Sg1

38,5 39



M/Lag T/A

3 Y 561,34 X 181,39 Z 498

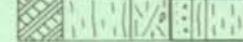
0 8,6 10,8 18,5 20,5 21



Q/ La Sg S M/Lag T/A

4 Y 561,17 X 181,31 Z 495

0 1,2 3 4 6



Q/T La M/T/A

5 Y 561,21 X 181,36 Z 493

0 2,5 3,5 5,5 6,5 9,5



Q/La A Slg M/T/A

6 Y 561,26 X 181,49 Z 488

0 1,2 10,8 11,5



Q/La M/Lag T/A

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	○ G gravier	L limon
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/ remblai	● S sable g+m	A argile
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		○ F sable fin	T tourbe
				+ symb. ≡ Q
				S subalp. C chatt. A aquit. B burdig.

A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE VIB KM² SUITE 561 - 181

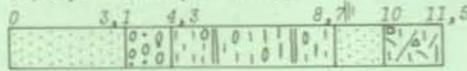
SM MO/ C.Trey

I/ Norbert

E/ SIF

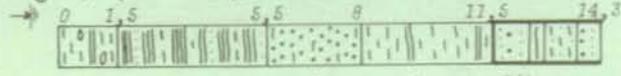
d 194/168

7 Y 561,21 X 181,06 Z 518



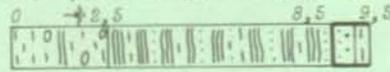
Q/F SG Lag F M/Lag

8 Y 561,41 X 181,50 Z 493,94

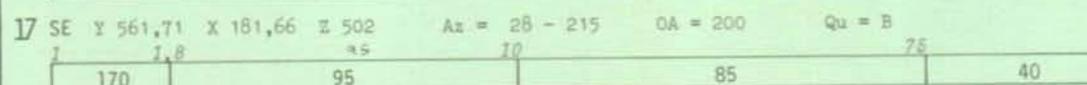
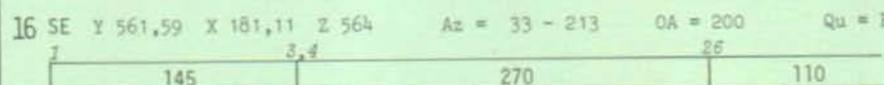
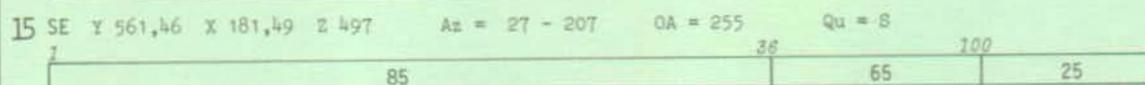
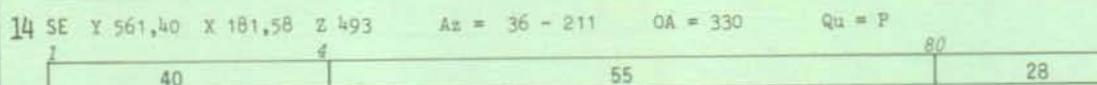
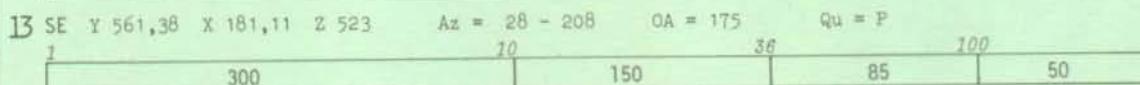
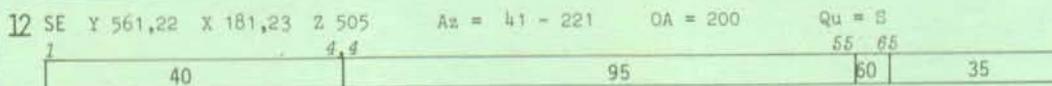
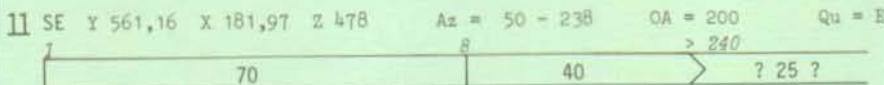
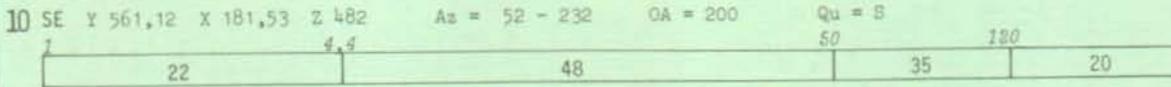


Q/Lag A Sl La T/A

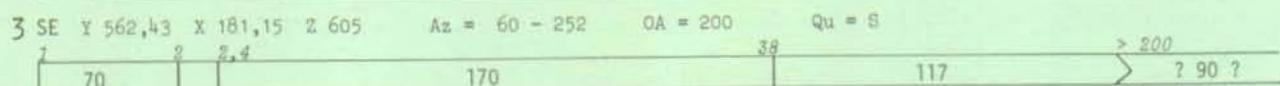
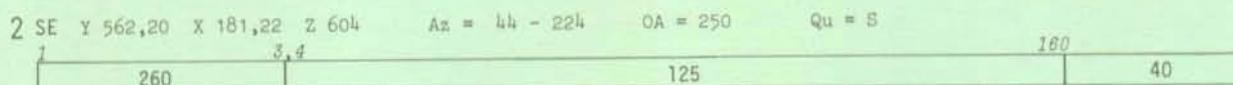
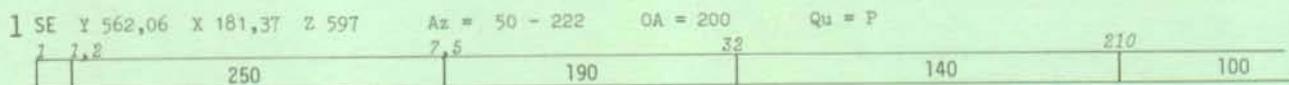
9 Y 561,47 X 181,56 Z 492,52 Pz



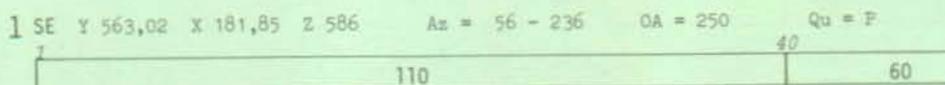
Q/Lag A T/A



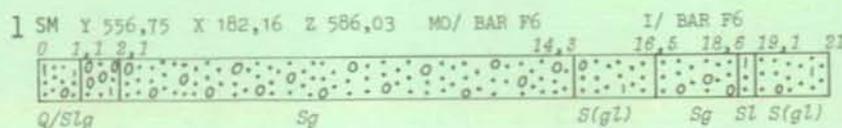
CARTE VIB KM² 562 - 181



CARTE VIB KM² 563 - 181



CARTE VIB KM² 556 - 182



S sondage P puits C captage Symb.granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A squit.
 unités : SE Ωm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE VII B KM²

557 - 182

1 CT Y 557,86 X 182,66 Z 528 MO/ C. Fétigny Q 60
Tranchées drainantes captant une des résurgences de la nappe perchée de Granges des Bois. Venues souterraines du Nord sortant des sables. Prof. env. 4 m. Tranchée inférieure influencée par le ruisseau. Existence d'une source importante non captée sur l'autre rive.

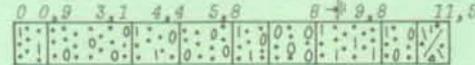
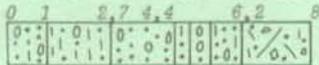
SM MO/ BAR FR

I/ BAR FR

2 Y 557,00 X 182,55 Z 579,75

3 Y 557,00 X 182,45 Z 578,03

4 Y 557,11 X 182,20 Z 560,39



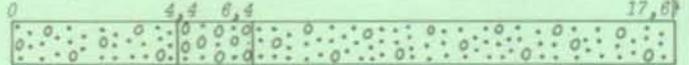
Q/ La(g) Sg Sl M/Slg

Q/ Sg GS Sl M/Slg

Q/ Ga SPL

5 Y 557,07 X 182,06 Z 565,39

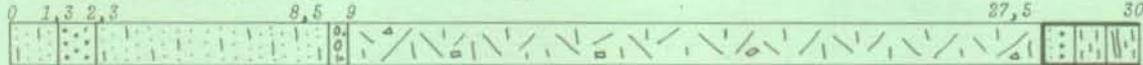
6 Y 557,14 X 182,06 Z 560,49



Q/ Sl Sg Fl M/Sl

Q/ Sg Ge Sg

7 SM Y 557,66 X 182,96 Z 538 MO/ C. Cugy



Q/Fl S Fl Gla M/ Lag T/A

Essai pompage 6 h dans le forage. Q = 10 l/mn. Très approximativement K = 2 x 10⁻⁵.

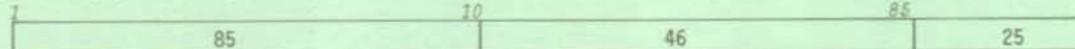
8 SE Y 557,18 X 182,57 Z 556 Az = 164 - 335 OA = 200 Qu = S



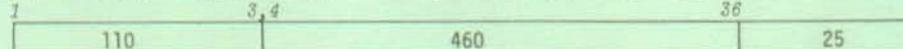
CARTE VI-VII B KM²

558 - 182

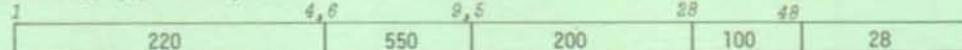
1 SE Y 558,20 X 182,07 Z 489 Az = 62 - 242 OA = 200 Qu = P



2 SE Y 558,48 X 182,69 Z 507 Az = 42 - 229 OA = 200 Qu = B



3 SE Y 558,79 X 182,43 Z 482 Az = 42 - 222 OA = 200 Qu = S



CARTE VIB KM²

559 - 182

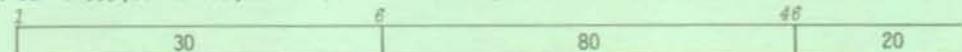
1 CT Y 559,26 X 182,66 Z 462 MO/ C. Fétigny Q 160
Captage de deux venues d'eau sur le flanc W de la combe. Débit très régulier (valeur imprécise). Partiellement utilisée comme eau d'appoint.

2 SM Y 559,66 X 182,75 Z 459 MO/ C. Fétigny
Ancien sondage à géologie inconnue. Tube piézométrique avec faible débit permanent. Nappe artésienne probablement dans les sables fins peu perméables.

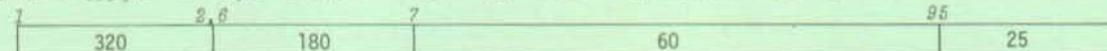
3 SE Y 559,39 X 182,65 Z 461 Az = 86 - 266 OA = 200 Qu = S



4 SE Y 559,08 X 182,28 Z 472 Az = 30 - 210 OA = 200 Qu = M



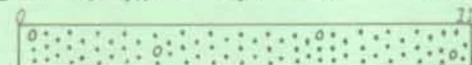
5 SE Y 559,64 X 182,28 Z 473 Az = 24 - 204 OA = 200 Qu = S



CARTE VIB KM²

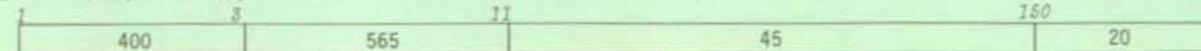
560 - 182

1 SM Y 560,79 X 182,44 Z 482 MO/ S.Routes VD I/ S.Routes VD E/ Diasonde d 145/130



Q/ S(g)

2 SE Y 560,01 X 182,24 Z 456 Az = 28 - 186 OA = 200 Qu = S



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe B burdig.

A. PARRIAUX 1977

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 41

numéro

CARTE

IV B

KM²

SUITE

560 - 182

3 SE Y 560,10 X 182,18 Z 455 Az = 26 - 188 OA = 200 Qu = S

1	1,7	7	48
60	200	60	30

4 SE Y 560,27 X 182,24 Z 455 Az = 26 - 217 OA = 200 Qu = P

1	25	48
110	45	30

5 SE Y 560,29 X 182,79 Z 455 Az = 28 - 208 OA = 200 Qu = S

1	2,7	12	42
45	120	50	25

6 SE Y 560,38 X 182,37 Z 455 Az = 30 - 210 OA = 200 Qu = S

1	1,1	5,5	19
75	120	34	

7 SE Y 560,41 X 182,71 Z 454 Az = 18 - 207 OA = 200 Qu = S

1	3	3,8	14	40
160	150	50	26	

8 SE Y 560,43 X 182,62 Z 455 Az = 27 - 201 OA = 200 Qu = B

1	2,8	12	27	42	
300	1700	280	45	73	30

9 SE Y 560,51 X 182,29 Z 456 Az = 30 - 210 OA = 175 Qu = S

1	7	11	> 210
60	200	45	> ? 25 ?

CARTE

VI B

KM²

563 - 182

1 CT Y 563,10 X 182,10 Z 4570 MO/ C.Payerne Q 350
 Groupe des captages de la Bretonnière. Ouvrages divers dans la molasse. Il pourrait s'agir de la résurgence d'une nappe quaternaire remplissant une dépression détectée par géophysique sous le Bois de la Cigogne. Cette discontinuité, d'allongement SW-NE, aurait une profondeur > 180 m avec un fond molassique à une cote < 440 m. Débit global moyen 350 l/mn.

CARTE

VII B

KM²

557 - 183

1 SE Y 557,22 X 183,16 Z 558 Az = 162 - 354 OA = 200 Qu = S

1	1,8	13	80
90	30	80	25

2 SE Y 557,34 X 183,67 Z 542 Az = 73 - 253 OA = 200 Qu = S

1	1,4	10	17	80
80	105	50	70	22

3 SE Y 557,71 X 183,34 Z 541 Az = 50 - 264 OA = 200 Qu = S

1	3,2	3,4	170
110	65	25	

4 SE Y 557,73 X 183,22 Z 537 Az = 50 - 264 OA = 200 Qu = S

1	6,5
230	70

5 SE Y 557,82 X 183,04 Z 536 Az = 2 - 173 OA = 200 Qu = M

1	1,2	2,7	6
2500	700	85	

CARTE

VII B

KM²

558 - 183

1 CT Y 558,18 X 183,53 Z 523 MO/ C.Cugy Q 200
 Captage par plusieurs tranchées. Matériel aquifère inconnu. Résurgence naturelle de la nappe quaternaire perchée de Grange-des-Bois. L'influence des nouveaux puits 558-183-2-3 serait négligeable.

2 PV Y 558,09 X 183,29 Z 530 MO/ C.Cugy I/ CSD Q 120



Q/ FL S Lf SL SF S G M/Lag
 COMPOS. EAU (29. 9.72) 1/8,5 2/-- 3/29,44/0,725/-- 6/-- 7/-- 8/4,1 9/0 10/55 11/24,812/-- 13/998 14/0
 Puits-sondage d'exploitation (1972) dans la nappe quaternaire perchée de Grange-des-Bois. Nappe semi-captive. Essai de pompage de 6j (pas de diagramme). Pour le calcul : Dupuit NL; avec H = 9,2, K = 5,6x10⁻⁵, T = 5,2x10⁻⁴.

S sondage	P puits	C captage	Symb.granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	▨ + symb.
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	••• S sable g+m	▨ A argile
unités : SE Ωm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		••• F sable fin	▨ T tourbe

A. PARRIAUX 1977

BROYE - HYDROGEOLOGIE

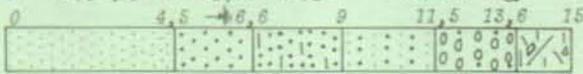
Registre p 42

numéro

CARTE VII B KM² SUITE 558 - 183

3 PV Y 558,09 X 183,24 Z 530 MO/ C. Cugy I/ CSD

Q 120



Q/ F S SL Fa Ga M/Lag

COMPOS. EAU : voir 558-183-2

Puits-sondage d'exploitation (1972) dans la nappe perchée de Granges-des-Bois. Exploitation couplée avec 558-183-2. Nappe semi-captive. Essai de pompage de 12 jours (pas de diagramme). Pour calcul : Dupuit NL, avec $H = 7,6$, $K = 8,5 \times 10^{-5}$, $T = 4,5 \times 10^{-4}$.

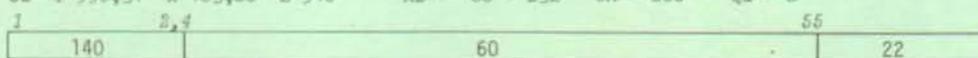
4 SE Y 558,03 X 183,39 Z 527 Az = 67 - 247 OA = 100 Qu = P



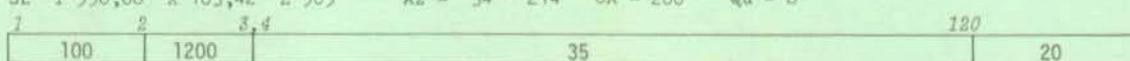
5 SE Y 558,13 X 183,33 Z 530 Az = 34 - 211 OA = 125 Qu = S



6 SE Y 558,31 X 183,86 Z 510 Az = 60 - 232 OA = 200 Qu = S



7 SE Y 558,66 X 183,42 Z 505 Az = 34 - 214 OA = 200 Qu = S

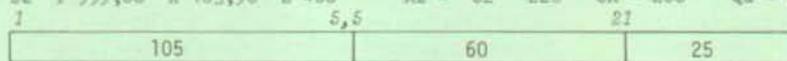


8 SS Y 558,05 X 183,87 Z 521 Az = 140 OA = 70 Qu = B

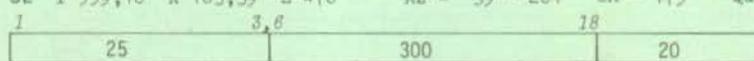


CARTE VI-VII B KM² 559 - 183

1 SE Y 559,08 X 183,98 Z 480 Az = 62 - 228 OA = 200 Qu = S



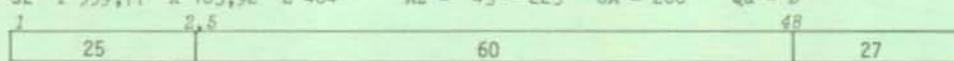
2 SE Y 559,10 X 183,39 Z 476 Az = 39 - 201 OA = 175 Qu = P



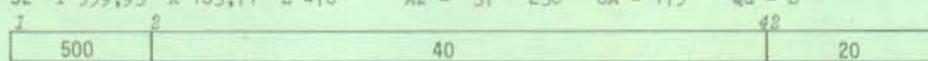
3 SE Y 559,72 X 183,26 Z 458 Az = 55 - 235 OA = 200 Qu = E



4 SE Y 559,77 X 183,92 Z 464 Az = 43 - 223 OA = 200 Qu = B

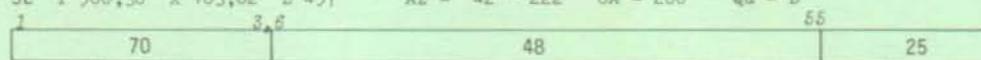


5 SE Y 559,93 X 183,71 Z 470 Az = 37 - 230 OA = 175 Qu = S



CARTE VI-VII B KM² 560 - 183

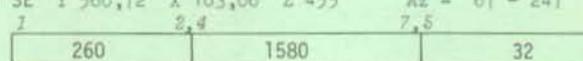
1 SE Y 560,30 X 183,82 Z 457 Az = 42 - 222 OA = 200 Qu = B



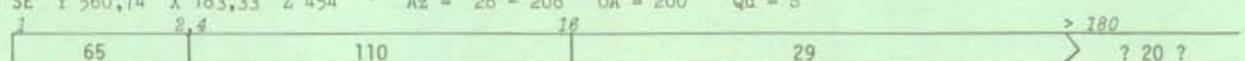
2 SE Y 560,54 X 183,27 Z 454 Az = 28 - 208 OA = 200 Qu = S



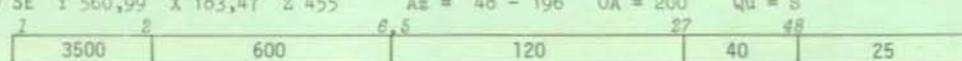
3 SE Y 560,72 X 183,06 Z 455 Az = 67 - 247 OA = 200 Qu = S



4 SE Y 560,74 X 183,33 Z 454 Az = 28 - 208 OA = 200 Qu = S



5 SE Y 560,99 X 183,47 Z 455 Az = 48 - 196 OA = 200 Qu = S



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile + symb. = Q A aquit.
 unités : SE cm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log P sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre P 43

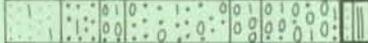
numéro

CARTE VIB KM²

561 - 183

1 SM Y 561,22 X 183,83 Z 452 MO/ L. Géologie EPFL I/ Parriaux E/ L. Géol. Pz 1/8

0 1,5 2,5 4 6 8,8 9 9,6



Q/F(L) G/L Sg(L) G(L) G/L T/A

Station limnigraphique du Labo. de Géologie EPFL. Observations depuis novembre 1974. Forte influence de la Broye sur la nappe.

2 SM Y 561,04 X 183,46 Z 453 MO/ L. Géologie EPFL I/ Parriaux E/ L. Géol. Pz 2/10

0 2 3,3 5,6 6 9,6

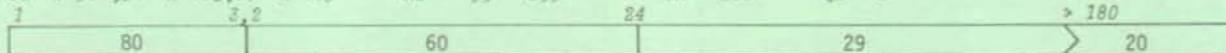


Q/S Sg Sg(L) Ag T/A

3 SE Y 561,16 X 183,75 Z 452 Az = 27 - 225 OA = 200 Qu = P



4 SE Y 561,54 X 183,87 Z 469 Az = 99 - 259 OA = 200 Qu = S



CARTE VIB KM²

562 - 183

1 SM Y 562,01 X 183,81 Z 488 MO/ Rapin transp. I/ Rochat E/ Rochat

0 2,3 5,1 10,4 12



R/Gs FL La M/Lag

CARTE VIB KM²

556 - 184

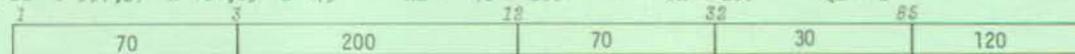
1 CT Y 556,59 X 184,09 Z 513 MO/ C. Bussy Q 70

Captage par 2 tranches dans la nappe des graviers fluvioglaciaires de "la Côte". Débit assez variable. Plusieurs venues d'eau non captées aux alentours.

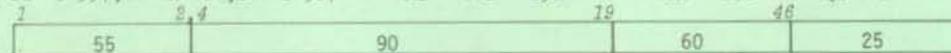
CARTE VII B KM²

557 - 184

1 SE Y 557,37 X 184,85 Z 479 Az = 70 - 268 OA = 200 Qu = S



2 SE Y 557,44 X 184,21 Z 507 Az = 112 - 292 OA = 200 Qu = S



CARTE VII B KM²

558 - 184

SM MO/ BAR FR I/ BAR FR

1 Y 558,93 X 184,94 Z 516,91

0 3,3 6 10 13,2 14 20,3



Q/Gs(L) Sg(L) Sg(L) Sg(L) SFL M/ Sg(L)

2 Y 558,99 X 184,90 Z 526,43

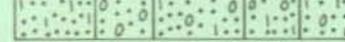
0 1,7 2,5 8,8



Q/Slg Gal M/ Slg

3 Y 558,55 X 184,65 Z 511,48

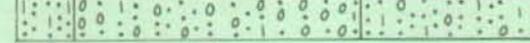
0 2,1 3,7 6,1 7,6 8



Q/SI Sg Slg Sg(L) Slg

4 Y 558,67 X 184,66 Z 514,55

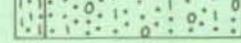
0 1,5 9,1 13,7



Q/SI GS(L) Slg

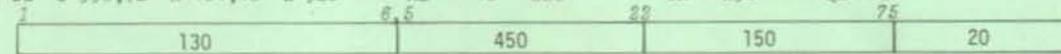
5 Y 558,65 X 184,44 Z 528,86

0 0,8 6

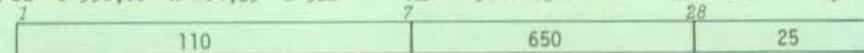


Q/Le Slg

7 SE Y 558,72 X 184,46 Z 526 Az = 46 - 226 OA = 250 Qu = B



8 SE Y 558,88 X 184,35 Z 522 Az = 58 - 238 OA = 200 Qu = E

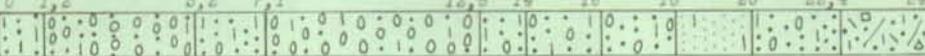


S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Gm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

 CARTE VII B KM²

559 - 184

1 SM Y 559,02 X 184,12 Z 523,53 MO/ BAR FR I/ BAR FR
 0 1,2 5,2 7,1 12,8 14 16 18 20 22,4 24,6

 Q/Sl Ga(L) Sl(g) GaL Slg Sgl Sg(L) F(L) Slg M²/Sg^L

2 SE Y 559,01 X 184,24 Z 519 Az = 43 - 223 OA = 200 Qu = S
 1 6,5 23 75

200	150	110	20
-----	-----	-----	----

3 SE Y 559,11 X 184,84 Z 508 Az = 38 - 232 OA = 250 Qu = S
 1 17 55

250	160	20	
-----	-----	----	--

4 SE Y 559,39 X 184,83 Z 494 Az = 49 - 229 OA = 200 Qu = S
 1 2,8 23 48

450	190	160	25
-----	-----	-----	----

5 SE Y 559,67 X 184,29 Z 472 Az = 44 - 222 OA = 200 Qu = S
 1 1,8 18 65

70	130	60	20
----	-----	----	----

6 SS Y 559,63 X 184,51 Z 476 Az = 208 OA = 60 Qu = B
 0 2,5

330	2200		
-----	------	--	--

7 SS Y 559,95 X 184,55 Z 468 Az = 217 OA = 55 Qu = B
 0 2,3 81,1

340	1470	2250	
-----	------	------	--

 CARTE VI-VII B KM²

560 - 184

1 SE Y 560,02 X 184,74 Z 465 Az = 33 - 213 OA = 200 Qu = S
 1 1,4 18 30

180	50	90	20
-----	----	----	----

2 SE Y 560,42 X 184,56 Z 457 Az = 33 - 247 OA = 200 Qu = P
 1 1,2 1,5 4,8 40

25	45	20	
----	----	----	--

3 SE Y 560,69 X 184,63 Z 450 Az = 19 - 199 OA = 200 Qu = E
 1 3,6 22 70

44	60	40	20
----	----	----	----

4 SE Y 560,86 X 184,57 Z 450 Az = 15 - 195 OA = 200 Qu = S
 1 3,8 15 55

50	150	60	25
----	-----	----	----

5 SE Y 560,98 X 184,51 Z 450 Az = 21 - 201 OA = 180 Qu = B
 1 1,5 5 8

90	2000	300	22
----	------	-----	----

6 SE Y 560,99 X 184,09 Z 452 Az = 112 - 292 OA = 200 Qu = S
 1 2,2 12 32

200	75	40	24
-----	----	----	----

7 SS Y 560,50 X 184,57 Z 453 Az = 35 OA = 90 Qu = B
 0 3 5,7 15,8

335	980	1430	1900
-----	-----	------	------

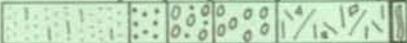
8 SS Y 560,72 X 184,55 Z 450 Az = 195 OA = 95 Qu = S
 0 3,2 19,3

350	1450	2800	
-----	------	------	--

 CARTE IV B KM²

561 - 184

1 PV Y 561,49 X 184,97 Z 450 MD/ C. Payerne I/ Fehlmann E/ Fehlmann d 1200/350
 0 3,4 4,4 5,8 7,3 10,4 10,8



Q/ Fl S Ga G N/ Ag T/A

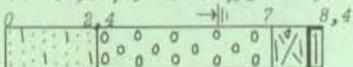
Puits d'essai abandonné. Eau déclarée insuffisante pour l'essai de pompage.

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr. vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	L limon
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	... S sable g+m	A argile
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE log		... F sable fin	T tourbe

A. PARRIAUX 1977

numéro CARTE VIB KM² SUITE 561 - 184

2 PV Y 561,45 X 184,93 Z 450 MO/ C. Payerne I/ Fehlmann E/ Fehlmann d 1200/350 Pf 5/7



Puits d'essai abandonné. Eau déclarée insuffisante pour essai de pompage.

3 PV Y 561,41 X 184,88 Z 450 MO/ C. Payerne I/ Fehlmann E/ Fehlmann d 1200/350 Pf 5/6



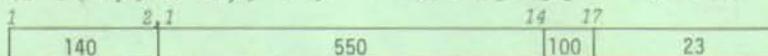
Puits d'essai abandonné. Eau déclarée insuffisante pour essai de pompage.

4 SM Y 561,31 X 184,82 Z 450 MO/ Eternit I/ de Cérenville E/ de Cér. d 160/100 Pf 4/9

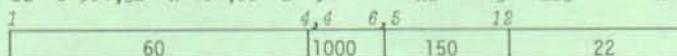


Q/ Lf SF(Lt) Ga(L) N/Log

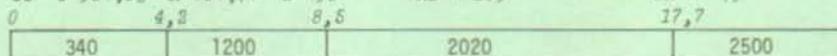
5 SE Y 561,05 X 184,19 Z 451 Az = 123 - 343 OA = 200 Qu = S



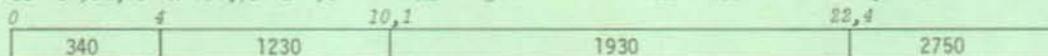
6 SE Y 561,32 X 184,60 Z 451 Az = 43 - 223 OA = 200 Qu = S



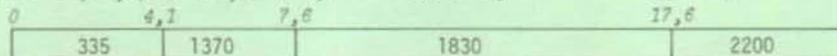
7 SS Y 561,03 X 184,74 Z 450 Az = 205 OA = 75 Qu = S



8 SS Y 561,18 X 184,70 Z 450 Az = 34 OA = 100 Qu = B



9 SS Y 561,27 X 184,68 Z 451 Az = 45 OA = 70 Qu = S



CARTE VIB KM² 562 - 184

1 Y 562,23 X 184,84 Z 490 Station pluviographique Payerne-aérologie (ISM)

CARTE VII B KM² 556 - 185

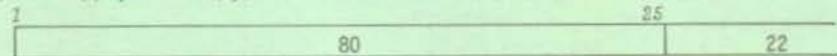
1 P Y 556,46 X 185,71 Z 474 Puits artisanal en tuyau-ciment. Eau ménagère d'une habitation. Eau suffisante même par sécheresse.

2 P Y 556,88 X 185,84 Z 470 MO/ CFF Puits artisanal en tuyau-ciment. Eau ménagère d'une habitation. Tari par grandes sécheresses.

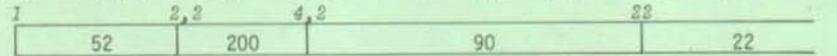
3 SE Y 556,02 X 185,44 Z 488 Az = 121 - 291 OA = 200 Qu = M



4 SE Y 556,42 X 185,71 Z 474 Az = 84 - 258 OA = 200 Qu = S

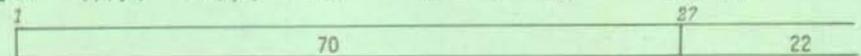


5 SE Y 556,69 X 185,57 Z 470 Az = 102 - 282 OA = 180 Qu = S

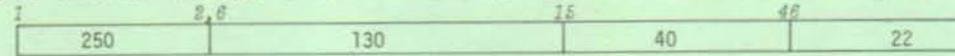


CARTE VII B KM² 557 - 185

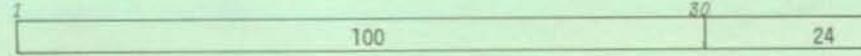
1 SE Y 557,25 X 185,65 Z 466 Az = 37 - 217 OA = 200 Qu = M



2 SE Y 557,31 X 185,97 Z 467 Az = 78 - 258 OA = 200 Qu = S



3 SE Y 557,65 X 185,38 Z 475 Az = 34 - 244 OA = 200 Qu = B



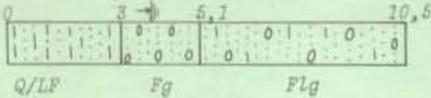
S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe B burdig.
A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE VII B KM²

558 - 185

1 SM Y 558,06 X 185,06 Z 471 MO/ U. Agricole I/ de Cérenville E/ de Cér. d 168



2 SE Y 558,25 X 185,59 Z 465 Az = 34 - 213 OA = 200 Qu = S
 1 75 60 30 20

3 SE Y 558,66 X 185,31 Z 475 Az = 53 - 228 OA = 200 Qu = S
 1 70 200 130 90 20

4 SS Y 558,12 X 185,66 Z 457 Az = 225 OA = 80 Qu = P
 0 340 2400

CARTE VII B KM²

559 - 185

SM MO/ BAR FR I/ BAR FR

1 Y 559,50 X 185,02 Z 486,17
 0 2,9 4 5,8 7,4 8,8 13,8
 Q/Lea Sla Sl(g) GeL Slg Slg

2 Y 559,54 X 185,05 Z 485,28
 0 4,3 5 7,4 8,6 10,8 12,6
 Q/Slg GeL Slg Sg(L) Sl Sgl

3 Y 559,53 X 185,10 Z 486,41
 0 2,7 5,5 7,5 8,2 13,2 14,8
 Q/Slg Sgl Slg Sgl Sla M/Slg

4 Y 559,46 X 185,04 Z 487,07
 0 3,1 3,7 8 11
 Q/ Sla Sgl Ge(L) M/Slg

5 Y 559,43 X 185,16 Z 481,77
 0 1,9 2,7 5 6,7 8 11,6
 Q/Sg(L) Sgl Slg M/ Slg

6 Y 559,32 X 185,18 Z 485,15
 0 1,9 5,6 13,4 14,9
 Q/Sl(g) Sg(L) Slag Slg

7 Y 559,36 X 185,14 Z 491,36
 0 1,4 3,4 7,3 8,8 13,8 15 17,4
 Q/Sgl Slg Sg(L) Ge Fla Sg(L) GeL

8 Y 559,40 X 185,11 Z 489,42
 0 1,3 3,4 9 10 17,8 21
 Q/Sgl Sla Sgl GeL Sgl M/GeL

9 Y 559,27 X 185,14 Z 495,55
 0 1 3,2 4,0 9,5 11,1 13 16,1
 Q/Sla Slg Sg(L) Slg Sgl Sg(L) M/ Sgl

10 Y 559,14 X 185,16 Z 514,74
 0 8,5 16,3 23
 Q/ Ge(L) SFLa M/ Slg

11 Y 559,10 X 185,22 Z 492,94
 0 3,7 7,7 8,4 10,3 12,3 14,8 21
 Q/ SG(L) S(L) Sl S(L) Sla M/ Sgl

12 Y 559,02 X 185,04 Z 511,28
 0 9,1 10,5 11,6 12,6 19,5
 Q/ SG(L) S(L) Sla M/ Sgl

13 Y 559,36 X 185,40 Z 483,84
 0 0,8 1,8 11,8 12,3 14,3 15,6 17,4 20
 Q/Sl Sl(g) Sg(L) Sla Sgl Sgl SG(L)

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	FV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	⊙ G gravier	⊙ L limon
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/ remblai	⊙ S sable g+m	⊙ A argile
unités : SE Om; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE log		⊙ F sable fin	⊙ T tourbe
				A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE VII B KM² SUITE 559 - 185

SM MO/ BAR FR	I/ BAR FR	
14 Y 590,62 X 185,43 Z 468,59	15 Y 599,48 X 185,35 Z 479,90	16 Y 599,42 X 185,51 Z 467,52
Q/S1(g) Slg M/ Sgl	Q/S1a Sl M/ Slg	Q/ Sg(L) Slg Sl GSl Slg M/ Sgl
17 SE Y 590,03 X 185,60 Z 455	Az = 157 - 337	OA = 200 Qu = S
18 SE Y 599,52 X 185,92 Z 446	Az = 22 - 202	OA = 200 Qu = S
19 SE Y 599,66 X 185,39 Z 470	Az = 57 - 237	OA = 200 Qu = S

CARTE VII-VIII B KM² 560 - 185

1 SE Y 560,16 X 185,20 Z 462	Az = 116 - 296	OA = 200 Qu = S
2 SE Y 560,68 X 185,93 Z 447	Az = 48 - 228	OA = 200 Qu = S
3 SE Y 560,79 X 185,11 Z 450	Az = 28 - 208	OA = 200 Qu = P

CARTE VI-VII-VIII B KM² 561 - 185

1 Y 561,77 X 185,55 Z ~ 450	Station pluviométrique Payerne-Ville (ISM). Observations depuis 1903.		
2 PV Y 561,52 X 185,24 Z 450	MO/ C. Payerne	E/ Schaub	d 1000 Pf 7/10 Q 1500
	R/Gls Q/La F Fg Ge Ge(L) M?/Alg?		
COMPOS. EAU (30. 9.65) 1/11,22/38 3/38,64/0,835/-- 6/-- 7/0,058/-- 9/0 10/-- 11/18,412/-- 13/-- 14/--			
Puits d'exploitation (Nestlé 1928) à crépine métallique. Nappe libre dans les alluvions de la Broye. Pas d'essai de pompage à disposition. Calculs hydrauliques approximatifs d'après indications des exploitants. Dupuit NL, avec H = 4 m, K = 1,1x10 ⁻² , T = 4,3x10 ⁻² . Captage objet d'une très grave pollution au mazout début 1971. Importants travaux d'assainissement pour rétablir l'exploitation au cours de 1973.			
3 PV Y 561,65 X 185,22 Z 450	MO/ C. Payerne	I/ Fehlmann	E/ Fehlmann d 400 Pf 5/11 Q 400
	R/ F Ge Gsl Ga T/A		
Puits d'essai métallique abandonné (1942). Nappe alluviale libre. Essai de pompage de 2 j. Dupuit NL, avec H = 5 m, K = 1,2x10 ⁻³ , T = 6,2x10 ⁻³ . Réalimentation naturelle voisine de 400 l/mn.			
4 PV Y 561,58 X 185,53 Z 450	MO/ C. Payerne	I/ Fehlmann	E/ Fehlmann d 350 Pf 6/9
	R/ Lg Q/Lag Gf Ge Gf T/A		
Puits d'essai métallique abandonné. Eau déclarée insuffisante pour l'essai de pompage.			
SM MO/ Lab. Cantonal	I/ L. Cantonal		
5 Y 561,35 X 185,08 Z 451	6 Y 561,57 X 185,29 Z 450		
Q/ La Sl Ge La	R/Lag La Sl Gsl		
7 Y 561,59 X 185,41 Z 450			
Q/ La Gsl Gla			

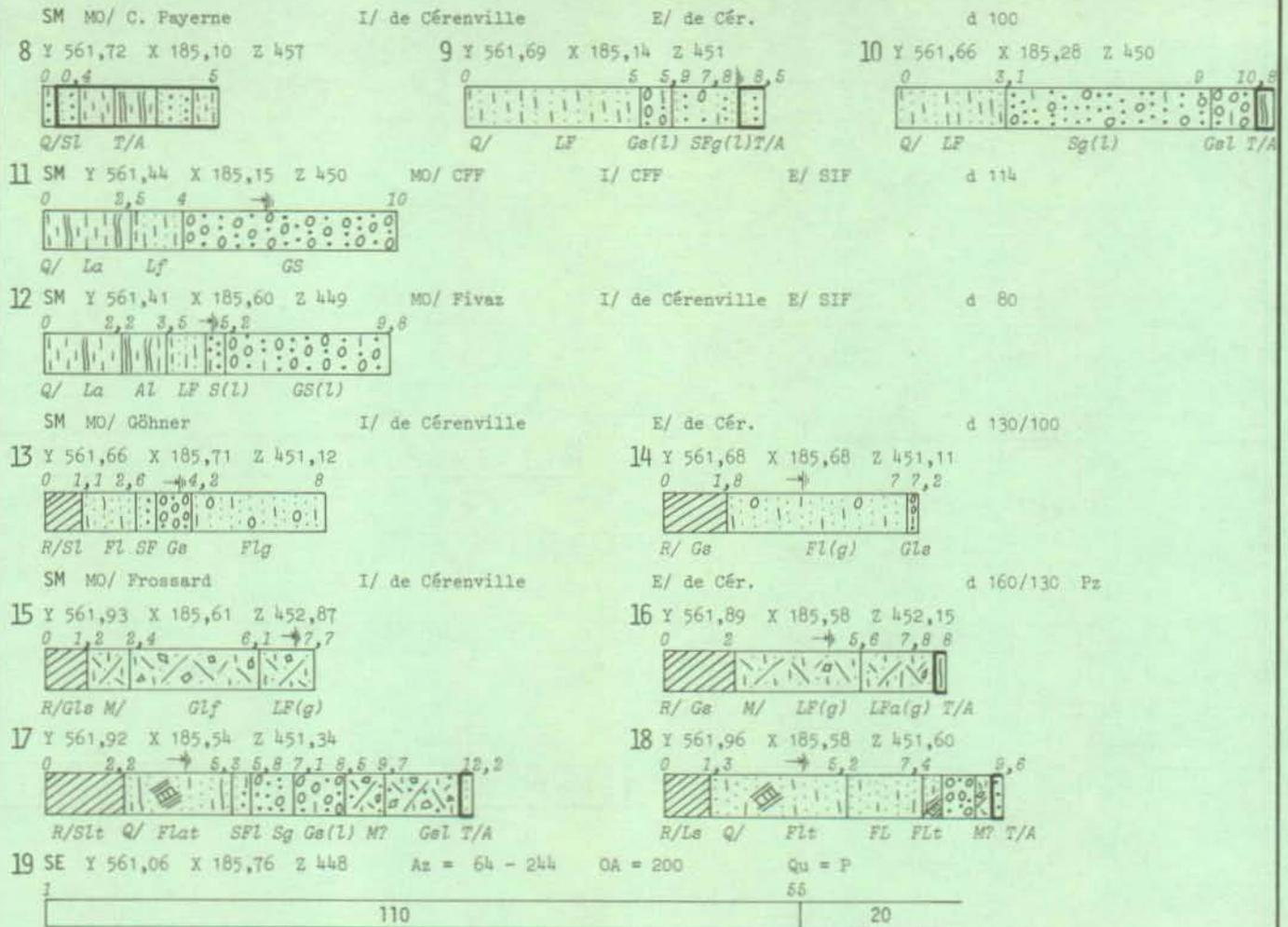
S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom. : MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	+ symb.
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	SS S sable g+m	C chatt.
unités : SE dm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		FF F sable fin	A aquit.
			LL L limon	B burdig.
			AA A argile	
			TT T tourbe	
				A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE VI-VII-VIII B

K M²

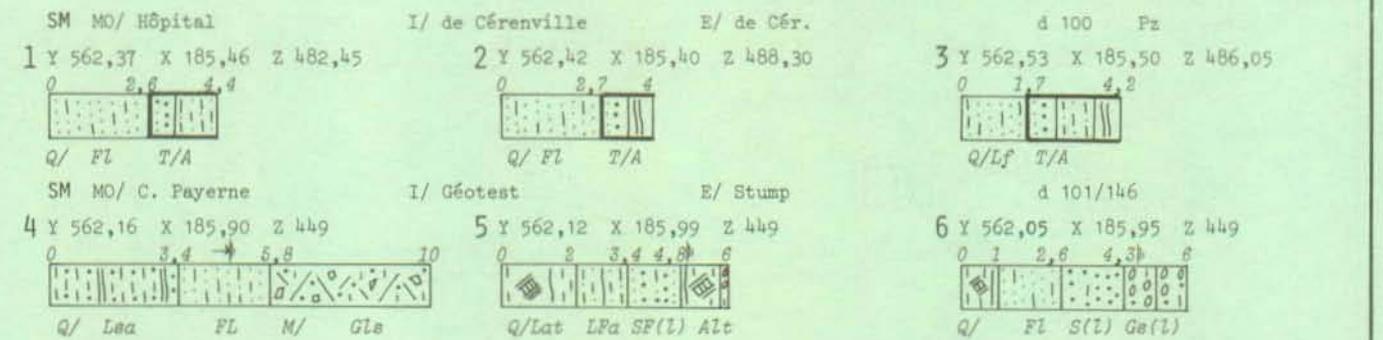
561 - 185



CARTE VIII B

K M²

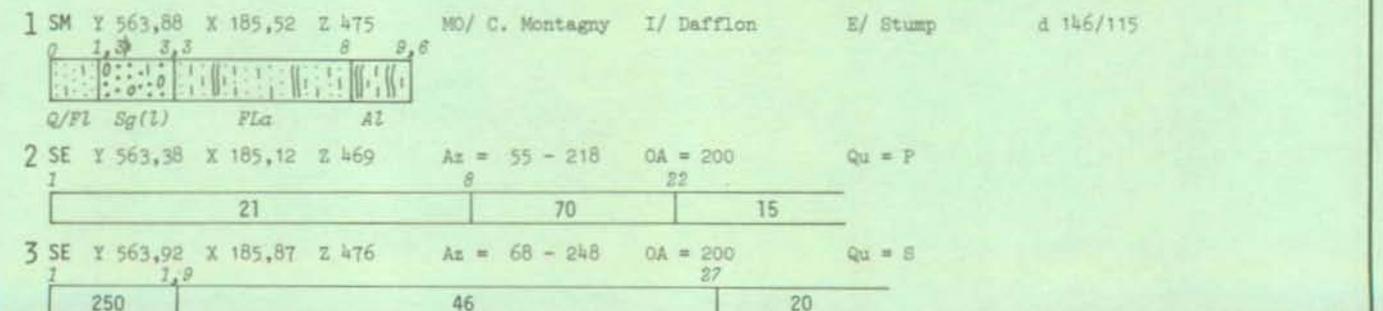
562 - 185



CARTE VIII B

K M²

563 - 185



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie OO G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
 unités : SE Om; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE VIII B KM²

564 - 185

1 PV Y 564,00 X 185,67 Z 475 MO/ C. Montagny I/ Dafflon E/ Stump d 1700 Pf 2/6 Q 270



Q/La Ga S FL La AL T/A

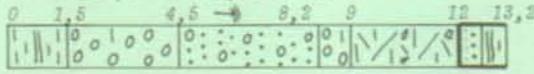
COMPOS. EAU (18. 9.72) 1/-- 2/-- 3/36,44/0,825/-- 6/-- 7/-- 8/3,209/7 10/40 11/27 12/-- 13/200 14/0

Puits d'exploitation (1971) en tuyaux-ciment. Nappe perchée du delta de l'Arbogne. Pas d'essai de pompage à disposition. Calculs hydrauliques sur données de l'ingénieur : Dupuit NL, avec H = 6 m, K = 2,5x10⁻⁴, T = 1,5x10⁻³. Implanté à la suite d'un puits provisoire ~ 70 m au SW qui demeure en réserve.

2 CT Y 564,97 X 185,57 Z 475 MO/ C. Montagny
Tentative de captage abandonnée. Tranchée dans graviers aquifères avec débit important. Influence de l'Arbogne possible.

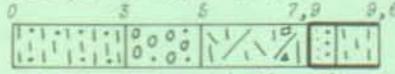
SM MO/ Huguenin

3 Y 564,82 X 185,23 Z 487



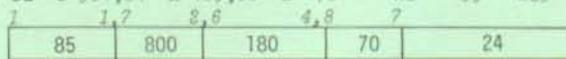
Q/La G(L) Sg GL M/ Alg T/A

4 Y 564,85 X 185,19 Z 490

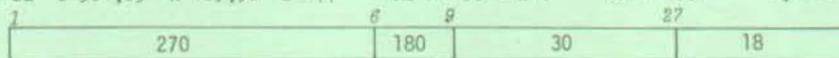


Q/La Ga M/ Alg T/A

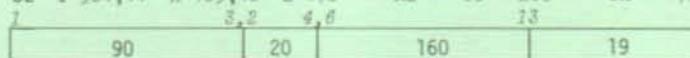
5 SE Y 564,01 X 185,68 Z 476 Az = 59 - 239 OA = 100 Qu = S



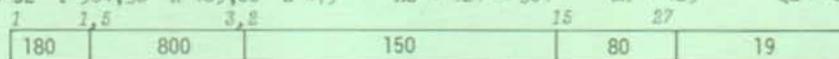
6 SE Y 564,09 X 185,56 Z 477 Az = 66 - 246 OA = 100 Qu = B



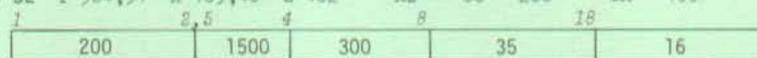
7 SE Y 564,14 X 185,46 Z 478 Az = 80 - 260 OA = 478 Qu = P



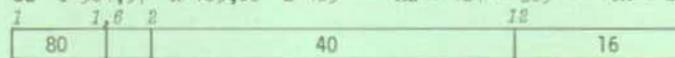
8 SE Y 564,38 X 185,60 Z 479 Az = 121 - 301 OA = 125 Qu = S



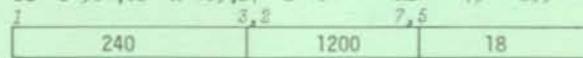
9 SE Y 564,51 X 185,40 Z 482 Az = 88 - 268 OA = 100 Qu = S



10 SE Y 564,57 X 185,86 Z 469 Az = 121 - 309 OA = 200 Qu = P



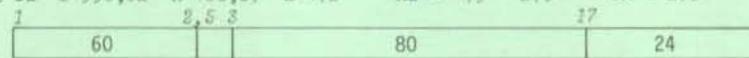
11 SE Y 564,62 X 185,27 Z 484 Az = 79 - 259 OA = 100 Qu = S



CARTE VII B KM²

556 - 186

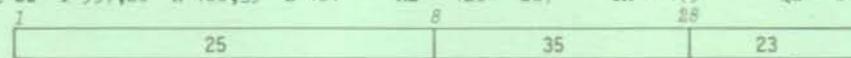
1 SE Y 556,62 X 186,07 Z 472 Az = 75 - 270 OA = 200 Qu = S



CARTE VII B KM²

557 - 186

1 SE Y 557,28 X 186,39 Z 461 Az = 126 - 287 OA = 175 Qu = S



2 SE Y 557,82 X 186,27 Z 454 Az = 23 - 203 OA = 200 Qu = S



CARTE VII B KM²

558 - 186

1 SM Y 558,91 X 186,90 Z 446



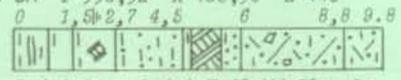
Q/SL Lat SL Sig M/ Lsg

2 SM Y 558,99 X 186,98 Z 446



Q/La Lat SL T SL Sig FL M/

3 SM Y 558,92 X 186,96 Z 446



La(t) Lat Le(t) T SL M/ Sig Ls

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	≡ S
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/ remblai	SS S sable g+m	≡ A
unités : SE Gm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		FF F sable fin	≡ Q
			LL L limon	≡ C
			AA A argile	≡ B
			TT T tourbe	
				A. PARRIAUX 1977

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 50

numéro CARTE VII B KM² SUITE 558 - 186

4 SE Y 558,31 X 186,07 Z 455 Az = 40 - 226 OA = 200 Qu = M
 1 80 22

CARTE VII B KM² 559 - 186

1 SE Y 559,07 X 186,45 Z 447 Az = 111 - 291 OA = 200 Qu = P
 1 150 25 90 18

CARTE VII-IX B KM² 560 - 186

1 SE Y 560,04 X 186,82 Z 446 Az = 35 - 115 OA = 200 Qu = B
 1 55 28 80 18

2 SE Y 560,23 X 186,07 Z 447 Az = 37 - 217 OA = 200 Qu = P
 1 60 75 22

3 SE Y 560,51 X 186,60 Z 447 Az = 36 - 116 OA = 200 Qu = P
 1 39 170 60 25

4 SE Y 560,83 X 186,27 Z 448 Az = 76 - 260 OA = 200 Qu = B
 1 110 25 120 65 18

CARTE VIII-IX B KM² 561 - 186

1 PV Y 561,61 X 186,87 Z 448 MO/ C. Payerne I/ Fehlmann E/ Fehlmann d 406/356 Pf 10/28 Q 1800
 1 2,8 3,1 8,2 2,8 10,5 12,7 13,5 23 28,8 29,5 30

Q/ F La Ge Las Fla Ga SFg G F(g) S(g) G F
 COMPOS. EAU (moy. 71) 1/10,82/2,1 3/47,64/0,855/-- 6/-- 7/0,038/5,8 9/54 10/7,2 11/22,812/45,413/-- 14/0
 Ancien puits d'essai métallique (1943). Essai de pompage de 5j, avec débit croissant de 300 à 1800 l/mn.
 Stabilisation rapide et bonne courbe de remontée, donc aquifère bien alimenté. Relation avec la Broye inconnue.
 Nappe localement captive. Extension du toit imperméable inconnue. Dupuit NC, avec e = 21,5, H = 23, K = 5,5x10⁻⁴
 T = 1,2x10⁻². Ouvrage remplacé en 1971 par un puits métallique de secours situé à quelques mètres (Pf 8-27,
 d = 700-500). Ce nouvel ouvrage n'exploite pas la nappe graveleuse inférieure. Eau très dure (analyse dans
 nouveau puits). Forte concentration de manganèse (0,5 mg/l).

2 SE Y 561,32 X 186,40 Z 448 Az = 75 - 255 OA = 200 Qu = P
 1 118 15 700 175 47

3 SE Y 561,45 X 186,99 Z 448 Az = 179 - 355 OA = 250 Qu = P
 1 250 200 110 50 20

4 SE Y 561,51 X 186,81 Z 448 Az = 14 - 177 OA = 200 Qu = P
 1 75 155 40

5 SE Y 561,75 X 186,86 Z 447 Az = 9 - 189 OA = 300 Qu = S
 1 40 85 15

6 SE Y 561,95 X 186,93 Z 447 Az = 21 - 196 OA = 325 Qu = S
 1 27 90 15

CARTE VIII B KM² 562 - 186

SM MO/ FVAV I/ de Cérenville E/ de Cér. d 100/70 Pz

1 Y 562,40 X 186,05 Z 451 2 Y 562,40 X 186,02 Z 451
 0 3,1 6,2 9,2 10 14,5 15 0 5,2 8,4 10

R/ La Q/ Fla M/ Flag Fg FLg T/A Q/ Fl(g) F M/ Flg

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Gm; SS m/s Prof. SM+SS 1/800. SE log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE VIII B

KM²

SUITE 562 - 186

3 SE	Y 562,26	X 186,76	Z 447	Az = 52 - 237	OA = 300	Qu = S
1				7		95
	35			100		17

4 SE	Y 562,39	X 186,50	Z 446	Az = 56 - 236	OA = 200	Qu = S
1				13		75
	20		180		95	17

5 SE	Y 562,81	X 186,63	Z 447	Az = 46 - 226	OA = 250	Qu = E
1				19		65
	22	550		275		65
					65	20

CARTE VIII B

KM²

563 - 186

1 SE	Y 563,00	X 186,90	Z 447	Az = 46 - 226	OA = 250	Qu = S
1				5	8	17
	120		750	375		70
						20

2 SE	Y 563,28	X 186,85	Z 449	Az = 69 - 257	OA = 175	Qu = B
1				6,6	23	65
	130		800	300		60
						20

CARTE VIII B

KM²

564 - 186

1 SE	Y 564,07	X 186,38	Z 460	Az = 126 - 306	OA = 100	Qu = E
1				4,8	9,5	19
	300		80		30	16

CARTE VII B

KM²

558 - 187

1 PV	Y 558,84	X 187,52	Z 445,93				d 200/175	Pr 8/15	Q 220	
0				3,6	4,7	8	12,8	14,5	18,7	20
	Q/Le	Lt	S(l)	SL	S(g)	Ge	M/	Gal	T/A	

COMPOS. EAU (6. 6.74) 1/11 2/< 5 3/49 4/0,805/16,06/0,147/11,88/20 9/1 10/<0,111/20 Mn/2,6
Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 9,8, H = 12,7, K = 1,3x10⁻⁴, T = 1,3x10⁻³. Eau réduite, fortement ferrugineuse et manganésifère.

2 PV	Y 558,87	X 187,37	Z 445,98				d 200/175	Pr 8/15	Q 300		
0				2,5	4,3	5,7	8,2	12,2	13,5	17,7	19
	Q/SL	Tf	S(lt)	SL	S(g)	Ge	SL	T/A			

COMPOS. EAU (6. 8.74) 1/11,22/46 3/47 4/0,895/15,26/0,147/10,68/18 9/1 10/<0,111/20 Mn/2,0
Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 9,2, H = 11,7, K = 1,4x10⁻⁴, T = 1,3x10⁻³. Eau réduite, fortement ferrugineuse et manganésifère.

3 SM	Y 558,74	X 187,53	Z 448						
0				2,6		11			
	M/	SLg	T/A						

4 SM	Y 558,88	X 187,59	Z 445						
0				1,8	3,8	8			
	Q/Le	SL	T/A						

5 SM	Y 558,88	X 187,40	Z 446											
0				3,9	4,9	6,1	8,3	10	12	12,8	14,3	15,8	20,9	24
	Q/SL	T	Lat	T	SLt	SL	SL(g)	M/SL(g)	Le	SL	Le	T/A		

6 SM	Y 558,90	X 187,32	Z 446						
0				1,6	2	4,1	5,2	8	15,2
	Q/lag	Tl	SL	SL(g)					

7 SE	Y 558,85	X 187,06	Z 449	Az = 58 - 202	OA = 200	Qu = S
1				1,4	36	
	103			50		23

S sondage P puits C captage Symb. granu. : MAJ. gr. domin. / min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie L limon + symb. C chatt.
 SS - aismique = niv. hydrost. B/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Om; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE VII-IX B K M 2

559 - 187

1 PV Y 559,25 X 187,18 Z 446,05

d 200/175 Pf 5/9 Q 220



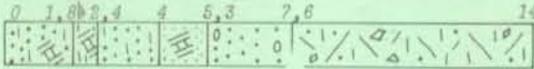
Q/F S(l) La T Ft F Sg M/ Lsg

COMPOS. EAU (14. 5.74) 1/9,452/5 3/48 4/0,965/17,86/0,067/9,4 8/14 9/20 10/1,1 11/30 Mn/1,7

Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 3,9 H = 7,7 K = 1,6x10⁻⁴ T = 6,2x10⁻⁴ . Eau réduite fortement ferrugineuse et manganésifère.

2 PV Y 559,29 X 187,20 Z 446,08

d 200/175 Pf 4/8 Q 180



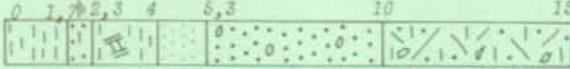
Q/SL(t) S(l) Ft S(g) M/ Lsg

COMPOS. EAU (14. 5.74) 1/9,302/7 3/47 4/0,015/16,86/0,077/7,8 8/13 9/30 10/0,6 11/23 Mn/1,6

Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 4,3 H = 5,6 K = 2,3x10⁻⁴ T = 9,9x10⁻⁴ . Eau réduite fortement ferrugineuse et manganésifère.

3 PV Y 559,39 X 187,13 Z 445,26

d 200/175 Pf 5/10 Q 300



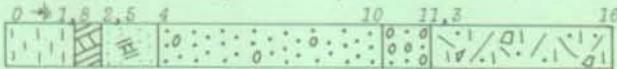
Q/L S(l) Lt F S(g) M/ Lsg

COMPOS. EAU (6. 6.74) 1/10,42/5 3/42 4/0,955/15,26/0,067/7,6 8/14 9/20 10/0,4 11/16 Mn/1,8

Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 6 H = 8,3 K = 3x10⁻⁴ T = 1,8x10⁻³ . Eau réduite, fortement ferrugineuse et manganésifère.

4 PV Y 559,45 X 187,04 Z 444,86

d 200/175 Pf 4/11 Q 300



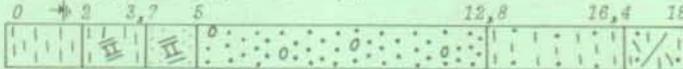
Q/L TL Ft S(g) Ga M/ Lsg

COMPOS. EAU (14. 5.74) 1/10,12/5 3/39 4/0,955/12,86/0,137/7,3 8/14 9/6 10/0,111/14 Mn/1,5

Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 8,8 H = 10,3 K = 3,5x10⁻⁴ T = 3,1x10⁻³ . Eau réduite, fortement ferrugineuse et manganésifère.

5 PV Y 559,97 X 187,82 Z 444,27

d 200/175 Pf 5/12 Q 320



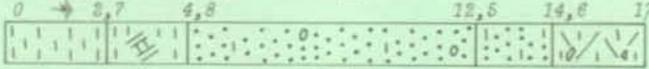
Q/L Lt Ft S(g) La M/Lsg

COMPOS. EAU (14. 5.74) 1/10,52/5 3/45 4/0,965/16,06/0,067/8,8 8/17 9/100 10/0,3 11/21 Mn/1,3

Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 7,8 H = 11,3 K = 4x10⁻⁴ T = 3,1x10⁻³ . Eau réduite, fortement ferrugineuse et manganésifère.

6 PV Y 559,97 X 187,88 Z 444,29

d 200/175 Pf 5/12 Q 300



Q/L Lt S(lg) Sl M/Lg

COMPOS. EAU (6. 6.74) 1/10,82/5 3/44 4/0,965/13,26/0,207/7,8 8/18 9/20 10/0,3 11/14 Mn/1,3

Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 7,7 H = 10,9 K = 6,10⁻⁴ T = 4,6x10⁻³ . Eau réduite, fortement ferrugineuse et manganésifère.

7 SM Y 559,21 X 187,21 Z 446,90

8 SM Y 559,24 X 187,23 Z 446,70

0 1,4 2,8 4,5 6,8 7,5

0 2,8 3,7 5,2 8,8 15,1



Q/La S La(t) SL(t)M/SLg

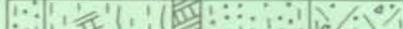
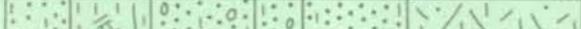
Q/SL(g) La Lat S(lg) M/ SLg

9 SM Y 559,21 X 187,01 Z 445,80

10 SM Y 559,07 X 187,05 Z 446,20

0 1,7 3,8 6,6 7,9 10,7 16,3

0 1 4,4 5,1 8 10,6

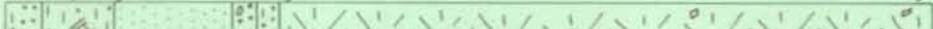


Q/SL Lat Sgl SLg S(l) M/ Le

Q/SL Lat T Sl M/ SLg

11 SM Y 559,14 X 187,11 Z 445,85

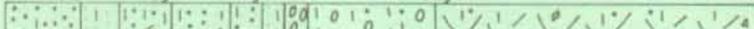
0 1 3,3 6 7,3 24,6



Q/SL Lat F Sgl SLg M/ Lg

12 SM Y 559,14 X 187,15 Z 446,10

0 3 4,4 6,6 8 11,4 20

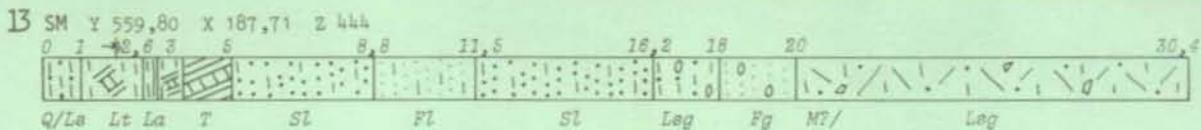


Q/ S(l) Fl La(t) SL SLg Gl Lsg M/ Lsg

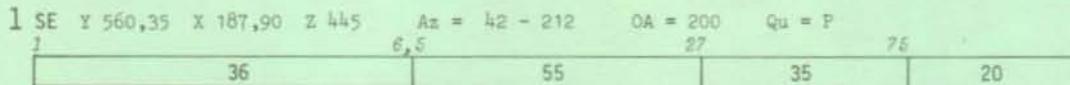
S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CO - galerie	G gravier	L limon
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	S sable gtm	A argile
unités : SE Gm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE log		F sable fin	T tourbe
				A. PARRIAUX 1977

numéro

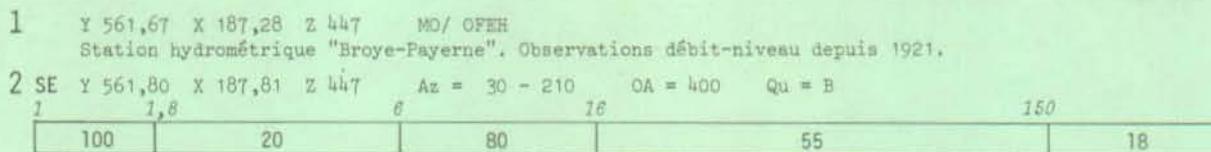
CARTE VII-IX B KM² SUITE 559 - 187



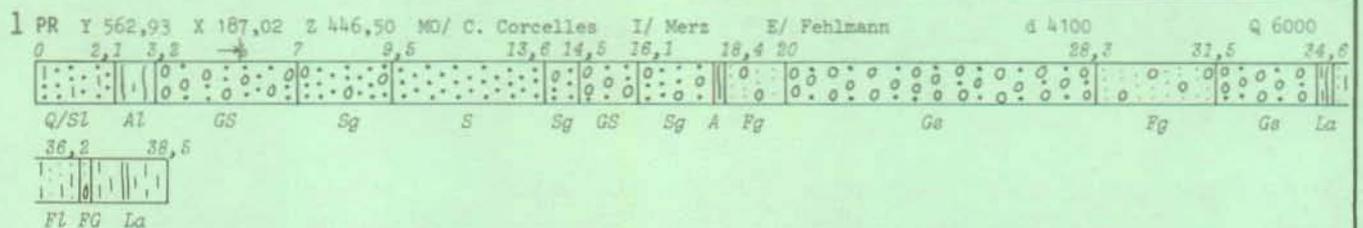
CARTE IX B KM² 560 - 187



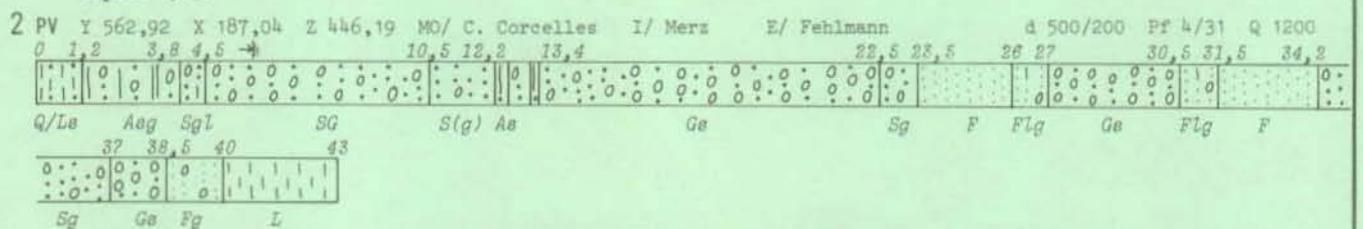
CARTE IX B KM² 561 - 187



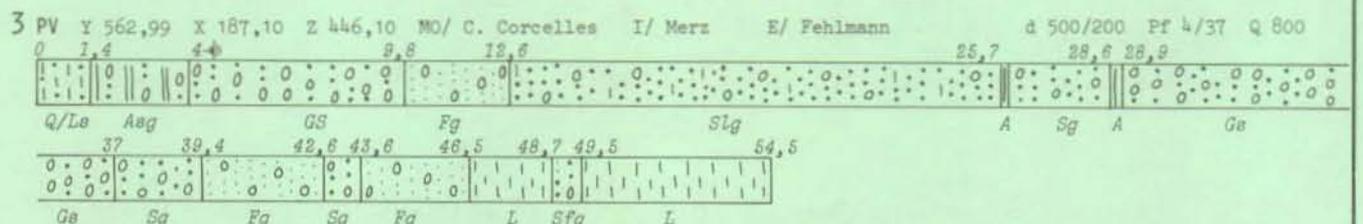
CARTE VIII-IX B KM² 562 - 187



Et I 2 437 Nd 3 Ld 26 Et II 2 431 Nd 3 Ld 78 Et III 2 418 Nd 4 Ld 134 Et IV 2 412 Nd 2 Ld 30
 COMPOS. EAU (15. 6.87) 1/10,52/76 3/45,74/0,805/- 6/- 7/0,028/3,4 9/0 10/28,111/25,712/34,213/3 14/0
 Ouvrage d'exploitation de grande capacité (1964) dans la nappe complexe du cône de l'Arbogne. Nappe graveleuse compartimentée dans des sables moins perméables. Horizons graveleux subhorizontaux certainement communicants au-delà du puits. Niveaux profonds semi-captifs. Traitement de l'ensemble comme une seule nappe libre pour le calcul. Essai de pompage de 30 j drains après drains puis global. Rendement nettement supérieur des étages II, III, IV sur l'étage I. Calcul de K par formule approchée : avec H = 29 m r = 15 K = 1x10⁻³ T 2,9x10⁻². Débits supérieurs à 4500 sans test de stabilisation du rabattement. Enregistrement limnigraphique dans le puits depuis 1965.



Puits d'essai métallique abandonné. Deux essais de pompage de 5 j. Perméabilité variable selon les essais. Dupuit NL : avec H = 25 Kmoyen = 1,5x10⁻³ T = 3,8x10⁻². Influence très rapide sur 562-187-3.



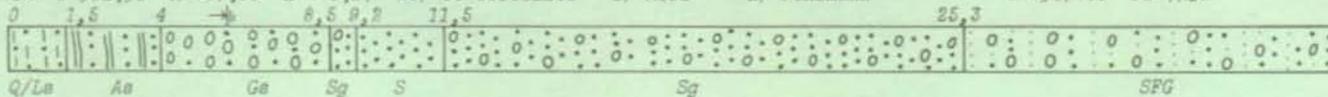
Puits d'essai métallique abandonné. Nappe constituée de deux parties graveleuses séparées par des terrains peu perméables. Ensemble assimilé pour le calcul à une seule nappe libre. Dupuit NL : avec H = 39 K équival. = 3,3x10⁻⁴ T = 1,3x10⁻². Influence très rapide sur 562-187-2.

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom. : MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	L limon
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	.. S sable g+m	A argile
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		.. F sable fin	T tourbe

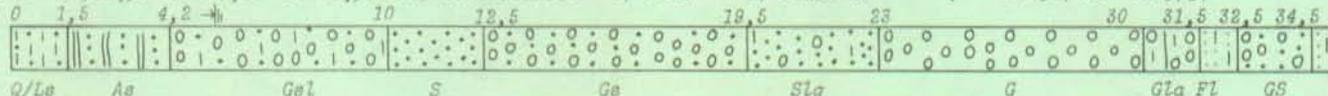
numéro

CARTE VIII-IX B KM² SUITE 562 - 187

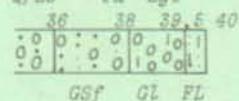
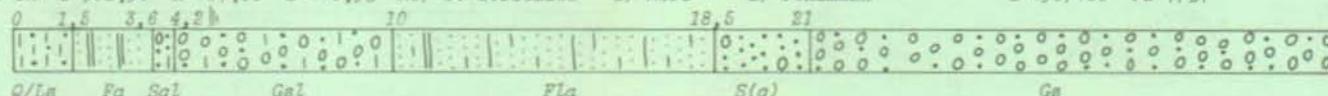
4 SM Y 562,90 X 187,06 Z 446,27 MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 190/160 Pz 7/32



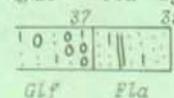
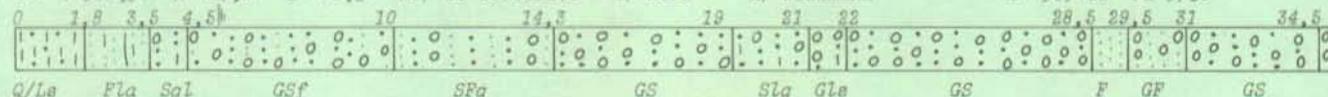
5 SM Y 562,91 X 187,00 Z 446,50 MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 190/160 Pz 5/37



6 SM Y 562,96 X 187,00 Z 446,53 MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 190/160 Pz 7/37



7 SM Y 562,96 X 187,04 Z 446,34 MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 190/160 Pz 5/36



8 SE Y 562,58 X 187,53 Z 444 Az = 58 - 225 OA = 200 Qu = B
 30 100 75 > 180 ? 20 ?

9 SE Y 562,73 X 187,13 Z 446 Az = 37 - 217 OA = 325 Qu = S
 26 158 73 130 18

10 SE Y 562,91 X 187,05 Z 447 Az = 46 - 226 OA = 300 Qu = P
 35 200 150 70 95 20

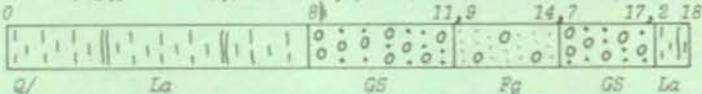
CARTE VIII B KM² 563 - 187

1 PV Y 563,52 X 187,52 Z 447,29 MO/ Morandi d 1500 Pf 6/9 Q 100



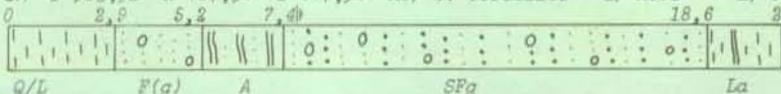
Ouvrage de faible capacité en ciment perforé. Pompage intermittent.

2 PV Y 563,98 X 187,52 Z 448,09 MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 600/400 Pf 8/18 Q 400



Puits d'essai métallique abandonné. Nappe du cône de l'Arbogne, isolée hydrauliquement de la rivière par une importante couche imperméable. Essai de pompage de 6 j. Dupuit NL : avec H = 10 K = 3x10⁻⁴ T = 3x10⁻³.

3 SM Y 563,92 X 187,54 Z 447,94 MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 400/200 Pz 8/18



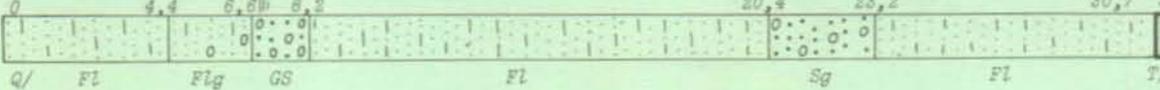
S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	⊙ G gravier	L limon
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/ remblai	⋯ S sable g+m	A argile
unités : SE Ωm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		⋯ P sable fin	T tourbe
				A. PARRIAUX 1977

numéro

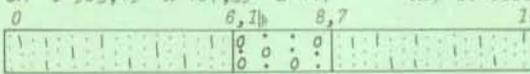
CARTE VIII B KM²

SUITE 563 - 187

4 SM Y 563,44 X 187,44 Z 447 MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 400/160 Pr 5/9



5 SM Y 563,45 X 187,39 Z 447 MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 400/200



6 SE Y 563,10 X 187,43 Z 445 Az = 46 - 222 OA = 300 Qu = B

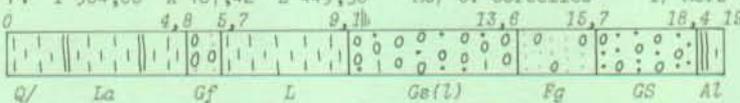
1	40	100	70	120	20
---	----	-----	----	-----	----

CARTE VIII B KM²

564 - 187

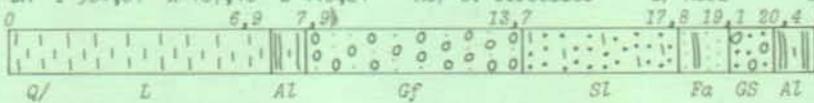
1 P Y 564,56 X 187,74 Z 448 MO/ J. Rapin
Ouvrage artisanal de 6 m de profondeur.

2 PV Y 564,06 X 187,42 Z 449,38 MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 600/400 Pr 9/17 Q 500



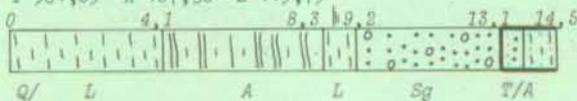
Puits d'essai métallique abandonné. Nappe du cône de l'Arbogne, isolée hydrauliquement de la rivière par une importante couche imperméable. Essai de pompage de 5 j. Dupuit NL : avec H = 9,2 K = 3x10⁻⁴ T = 2,9x10⁻³.

3 SM Y 564,01 X 187,46 Z 448,21 MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 600/400 Pr 7/12



SM MO/ C. Corcelles I/ Merz E/ Fehlmann d 400/200

4 Y 564,09 X 187,38 Z 449,79



5 Y 564,31 X 187,96 Z 445



6 SE Y 564,03 X 187,59 Z 447 Az = 48 - 232 OA = 250 Qu = S

1	260	75	46	70	35	20
---	-----	----	----	----	----	----

7 SE Y 564,35 X 187,60 Z 449 Az = 46 - 226 OA = 200 Qu = S

1	110	40	85	26	40	60	20
---	-----	----	----	----	----	----	----

8 SE Y 564,62 X 187,18 Z 466 Az = 46 - 223 OA = 300 Qu = P

1	50	26	70	18
---	----	----	----	----

CARTE IX B KM²

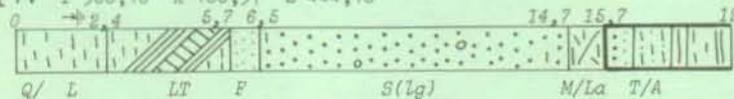
559 - 188

1 P Y 559,30 X 188,15 Z 548
Groupe de puits artisanaux de Morens. Fond des ouvrages dans la molasse.

CARTE IX B KM²

560 - 188

1 PV Y 560,10 X 188,57 Z 444,18 d 200/175 Pr 7/14 Q 180



COMPOS. EAU (1.10,74) 1/9,452/49 3/48 4/0,915/14,86/0,157/1,0 8/3 9/<1 10/1,7 11/25 Mn/0,56
Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 9 H = 13 K = 7x10⁻⁵ T = 6,3x10⁻⁴. Eau du bord de la nappe alluviale ferrugineuse mais fortement influencée par les écoulements souterrains mieux oxygénés du versant. Chimiquement, encore peu réduite avec des teneurs relativement faibles en Fe et Mn. (voir progression de la réduction dans 560-188-2).

S sondage	F puits	C captage	Symb. granulom. : MAJ. gr. domin. / min. gr. second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr. vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	S subalp.
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	○ G gravier	□ M/ moraine
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	● S sable g+m	▨ + symb.
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE log		○ F sable fin	▩ A argile
			▨ T tourbe	▩ A aquit.
				▩ B burdig.

numéro

CARTE IXB K M² SUITE 560 - 188

2 PV Y 560,17 X 188,50 Z 444,63

d 200/175 Pf 5/12 Q 220



Q/ L Sl Sg Sg S(lg) Sl M/Lg T/A

COMPOS. EAU (28.10.74) 1/10,02/<5 3/49 4/0,825/16,46/0,127/5,2 8/8 9/<1 10/<0,11/30 Mn/1,3

Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 8,3 H = 9,5 K = 1,4x10⁻⁴ T = 1,2x10⁻³. Eau réduite fortement ferrugineuse et manganésifère.

3 PV Y 560,94 X 188,06 Z 444,89

d 200/175 Pf 6/18 Q 250



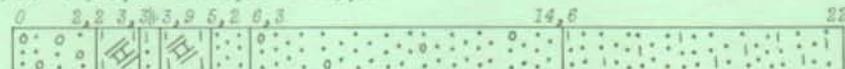
Q/ L Lt Lt Sg Sl Gs S(g) Sl

COMPOS. EAU (14. 5.74) 1/11,12/70 3/45 4/0,895/16,06/0,087/1,8 8/3 9/110 10/0,6 11/35 Mn/0,79

Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 12,6 H = 14,9 K = 3x10⁻⁴ T = 3,8x10⁻³. Eau ferrugineuse et manganésifère à caractère réduit sauf teneur en O₂ (valeur douteuse).

4 PV Y 560,88 X 188,06 Z 445,06

d 200/175 Pf 7/16 Q 300

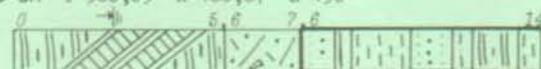


Q/ Sg Lt S(l) S S(g) Sl

COMPOS. EAU (8. 6.74) 1/10,32/<5 3/45 4/0,845/15,26/0,117/0,7 8/5 9/50 10/1,2 11/33 Mn/0,48

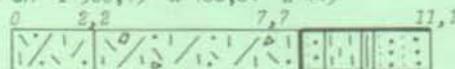
Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 10,1 H = 11,8 K = 4,6x10⁻⁴ T = 4,6x10⁻³. Eau réduite fortement ferrugineuse et manganésifère.

5 SM Y 560,05 X 188,67 Z 450



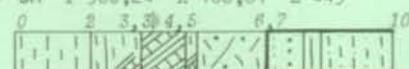
Q/ Alt M/S(g) T/A

6 SM Y 560,15 X 188,64 Z 449



M/Sl Leg T/A

7 SM Y 560,24 X 188,61 Z 445



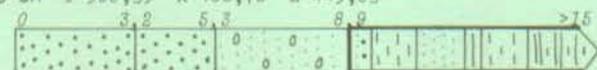
Q/ L La(t) T Lt M/Sl T/A

8 SM Y 560,09 X 188,72 Z 454,94



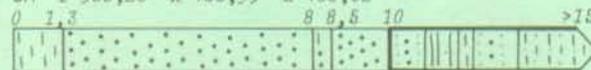
Q/Sl F Sl S Laa SLa T/A

9 SM Y 560,35 X 188,70 Z 445,03



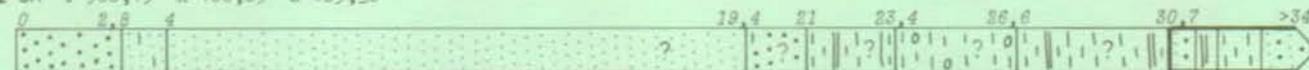
Q/ S S Fg T/A

10 SM Y 560,26 X 188,95 Z 460,82



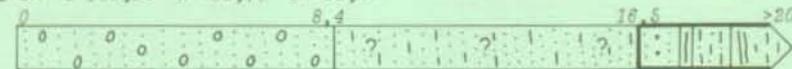
Q/L S Sl S T/A

11 SM Y 560,15 X 188,85 Z 469,38



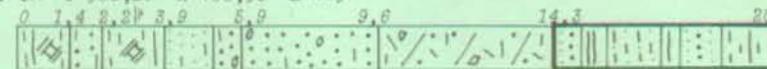
Q/ S Fl F Sl? La? Lg? La? T/A

12 SM Y 560,26 X 188,76 Z 460,41



Q/ Fg Fl? T/A

13 SM Y 560,26 X 188,50 Z 445



Q/Lat Lat Fl Slg Sgl M/ Slg T/A

14 SM Y 560,89 X 188,00 Z 445



Q/La Sl Le Lat Sl Gel Sg(l) Sl Sla Fla



Fla F(l)

15 SM Y 560,95 X 188,15 Z 445



Q/Lat Sl Lat Sl Sg(l)

S sondage	P puits	C captage	Symb.granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	+ symb. C chatt.
SS - sismique	= niv. hydrost.	R/ remblai	OO S sable gtm	= Q A aquit.
unités : SE hm; SS m/s	Prof. SM/SS 1/200. SE Log		OO F sable fin	B burdig.
			OO L limon	
			OO A argile	
			OO T tourbe	

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 57

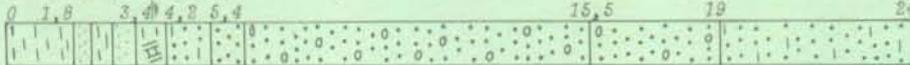
numéro

CARTE IX B KM²

561 - 188

1 PV Y 561,22 X 188,51 Z 443,86

d 200/175 Pr 6/19 Q 300



Q/L F L F Lt SL S Sg S(g) SL

COMPOS. EAU (14.5.74) 1/10,62/<5 3/46 4/0,985/14,06/0,177/5,8 8/5 9/100 10/0,1 11/14 Mn/0,56
Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 13,6 H = 15,7 K = 3x10⁻⁴ T = 4,1x10⁻³. Eau réduite fortement ferrugineuse et manganésifère.

2 PV Y 561,16 X 188,53 Z 444,01

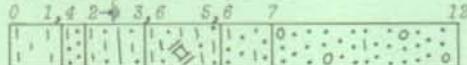
d 200/175 Pr 7/16 Q 300



Q/L F L SL Ft S(lg) SL

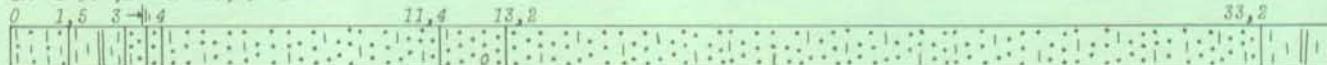
COMPOS. EAU (15.10.74) 1/11,02/<5 3/53 4/0,835/14,46/0,297/8,2 8/9 9/2 10/<0,111/14 Mn/0,72
Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 9,3 H = 13,1 K = 4,5x10⁻⁴ T = 4,2x10⁻³. Eau réduite fortement ferrugineuse et manganésifère.

3 SM Y 561,15 X 188,42 Z 444

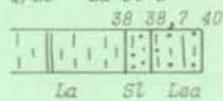


Q/L SL Lea Let SL Sg(l)

4 SM Y 561,24 X 188,45 Z 444

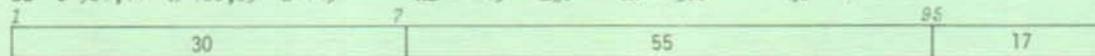


Q/Le La SL S SL S(lg) SL La



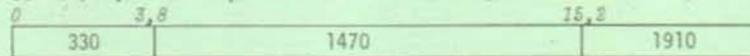
5 SE Y 561,14 X 188,09 Z 445

Az = 45 - 236 OA = 300 Qu = S



6 SS Y 561,64 X 188,61 Z 444

Az = 38 OA = 90 Qu = B



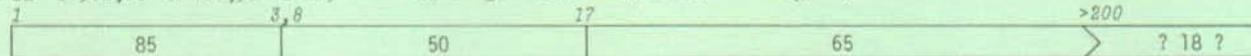
CARTE VIII-IX B

KM²

562 - 188

1 SE Y 562,60 X 188,52 Z 445

Az = 36 - 216 OA = 200 Qu = S



CARTE VIII-IX B

KM²

563 - 188

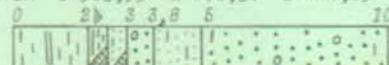
1 P Y 563,00 X 188,47 Z 443

MO/ Morandi d 1200

Puits artisanal en tuyau-ciment. Eau industrielle ferrugineuse. Abandonné en 1971.

2 SM Y 563,99 X 188,36 Z 441,05

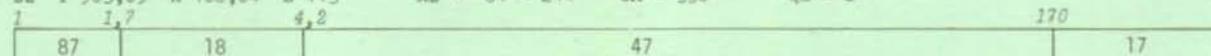
MO/ C. Corcelles I/ de Cérenville E/ de Cér. d 100/75



Q/La Lat S(g) FL S(lg)

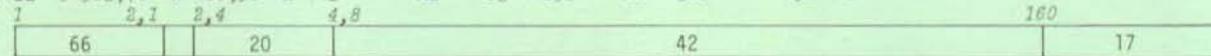
3 SE Y 563,65 X 188,04 Z 443

Az = 64 - 244 OA = 330 Qu = S



4 SE Y 563,76 X 188,98 Z 443

Az = 63 - 250 OA = 300 Qu = B



CARTE VIII B

KM²

564 - 188

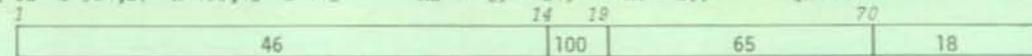
1 SE Y 564,08 X 188,65 Z 442

Az = 66 - 246 OA = 400 Qu = S



2 SE Y 564,27 X 188,13 Z 443

Az = 35 - 215 OA = 255 Qu = B



S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	OO G gravier	+ symb.
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/ remblai	SS S sable g+m	AAA A argile
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		FF F sable fin	TT T tourbe
				AAA A aquit.
				B burdig.

A. PARRIAUX 1977

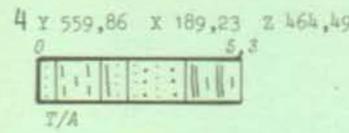
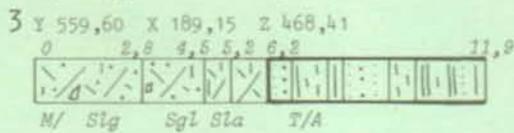
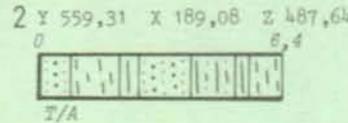
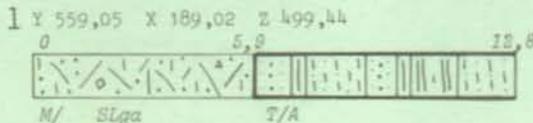
numéro

CARTE IXB KM²

559 - 189

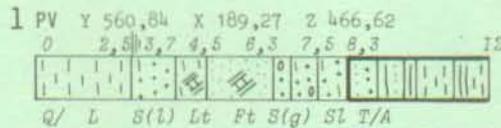
SM MO/ BAR FR

I/ BAR FR



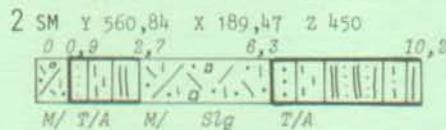
CARTE IXB KM²

560 - 189

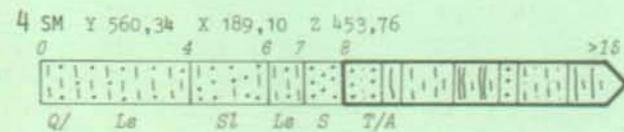
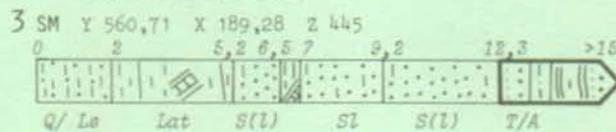


d 200/175 Pr 7/8 Q 60

COMPOS. EAU (6.6.74) 1/11,02/22 3/39 4/0,885/13,26/0,117/0,2 8/4 9/200 10/13,911/21 Mn/0,1
Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 3,6 H = 6 K = 6,3x10⁻⁵ T = 2,3x10⁻⁴. Eau légèrement réduite et ferrugineuse.

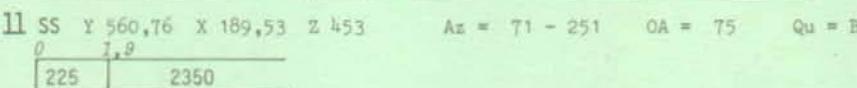
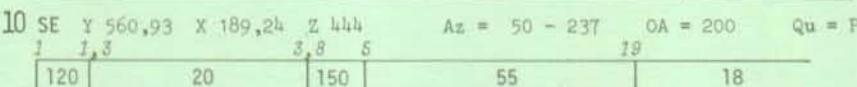
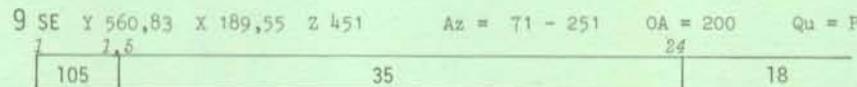
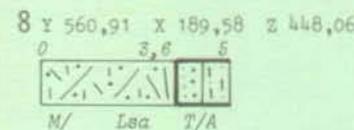
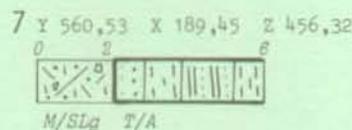
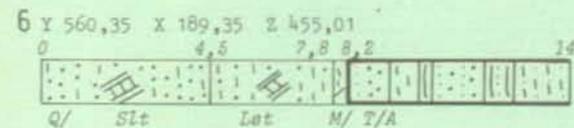
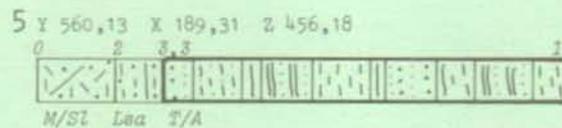


Forage traversant un glissement molassique par-dessus la moraine. Mouvement très ancien, antérieur à la dernière glaciation.



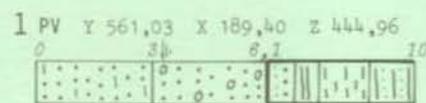
SM MO/ BAR FR

I/ BAR FR



CARTE IXB KM²

561 - 189



d 200/175 Pr 3/7 Q 220

COMPOS. EAU (14.5.74) 1/9,5 2/40 3/37 4/0,885/12,86/0,097/0,048/1 9/10 10/6,7 11/24 Mn/0,05
Nappe libre pouvant devenir captive par hautes eaux. Dupuit NL : avec H = 2,9 K = 1,1x10⁻³ T = 3,2x10⁻³.
Eau moyennement oxygénée, très faiblement ferrugineuse (NL avec peu de contact avec les tourbes).

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ, gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	□ G gravier	□ L limon
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/ remblai	□ S sable g+m	□ A argile
unités : SE Ωm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200, SE Log		□ F sable fin	□ T tourbe
			□ + symb. = Q	□ C chatt.
				□ A aquit.
				□ B burdig.

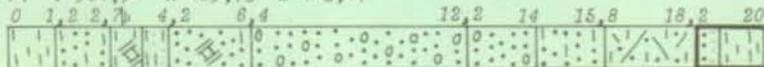
A. PARRIAUX 1977

numéro

CARTE IX B KM² SUITE 561 - 189

2 PV Y 561,54 X 189,73 Z 443,17

d 200/175 Pr 6/14 Q 220

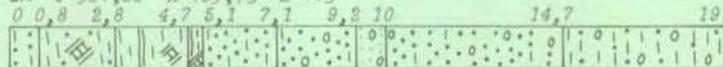


Q/L Sl Lt Lf St(l) Sg S(g) Sl M/ Le T/A

COMPOS. EAU (14. 8.74) 1/10, 12/12 3/36 4/0, 925/12, 06/0, 127/3, 4 8/4 9/1 10/<0, 111/24 Mn/0, 61

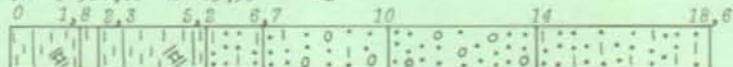
Nappe captive. Essai de pompage court. Dupuit NC : avec e = 9,8 H = 11,5 K = 3,8x10⁻⁴ T = 3,7x10⁻³. Eau réduite, fortement ferrugineuse et manganésifère.

3 SM Y 561,60 X 189,73 Z 443



Q/ Lat La(t) Sl Slg Fg Sgl Leg

4 SM Y 561,80 X 189,95 Z 443



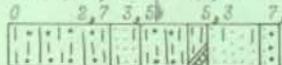
Q/La(t) La(t) Sl Slg Sg Sl

5 SM Y 561,28 X 189,46 Z 445



Q/Las Fl Spl

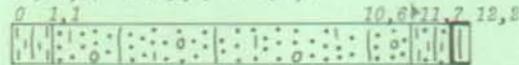
6 SM Y 561,17 X 189,40 Z 445



Q/Las Fl Las F(l) SF

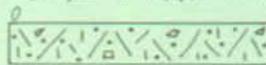
SM MO/ BAR VD I/ Legep

7 Y 561,07 X 189,65 Z 450,6



M/Las Slag Lsa T/A

8 Y 561,22 X 189,70 Z 447

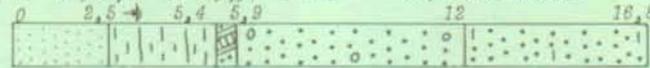


M/ Slg

CARTE IX B KM² 562 - 189

1 PV Y 562,16 X 189,97 Z 442 MO/ C. Grandcour I/ Glapey

d 160 Pr 8/16 Q 270

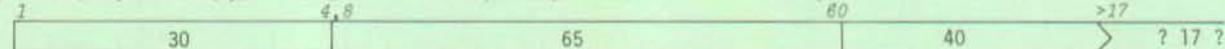


Q/ F La TS S(g) S(l)

Ancien ouvrage d'exploitation (1931) métallique dans nappe captive en contact avec des tourbes. Peu d'indications sur les essais de pompage. Approximativement, Dupuit NC avec e = 11,4 H = 13,5 K = 1,6x10⁻⁴ T = 1,8x10⁻³. Eau réduite ferrugineuse traitée par oxygénation pour eau potable. Actuellement abandonné à la suite d'un fort ensablement.

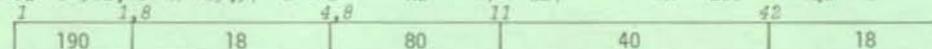
2 SE Y 562,07 X 189,34 Z 443

Az = 29 - 209 OA = 200 Qu = B



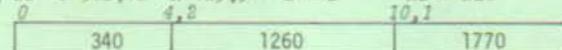
3 SE Y 562,16 X 189,97 Z 442

Az = 47 - 227 OA = 200 Qu = S



4 SS Y 562,18 X 189,94 Z 442

Az = 228 OA = 60 Qu = B



CARTE IX B KM² 563 - 189

1 SE Y 563,52 X 189,84 Z 443

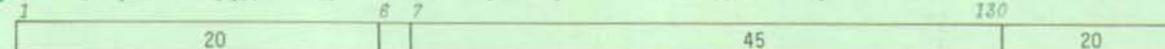
Az = 56 - 240 OA = 500 Qu = B



CARTE VIII-IX B KM² 564 - 189

1 SE Y 564,24 X 189,77 Z 439

Az = 65 - 245 OA = 330 Qu = S



S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ, gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	⊙ G gravier	⊙ + symb. C chatt.
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/ remblai	⊙ S sable g+m	⊙ A argile
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		⊙ F sable fin	⊙ A aquit.
			⊙ T tourbe	B burdig.

BROYE - HYDROGEOLOGIE

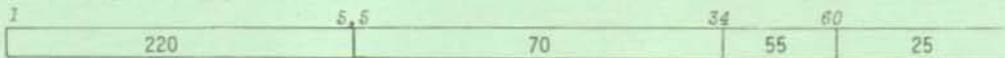
Registre P 60

numéro

CARTE VIII B KM²

566 - 189

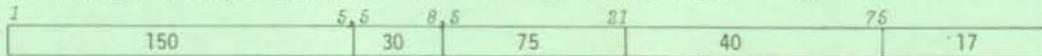
1 SE Y 566,11 X 189,89 Z 442 Az = 66 - 235 OA = 200 Qu = P



CARTE VIII-XB KM²

567 - 189

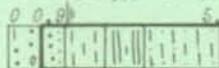
1 SE Y 567,39 X 189,84 Z 465 Az = 42 - 218 OA = 255 Qu = B



CARTE IXB KM²

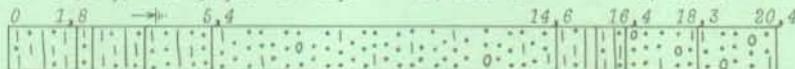
561 - 190

1 SM Y 561,59 X 190,10 Z 445 MO/ BAR VD I/ LESEP



Q/ T/A

2 SM Y 561,74 X 190,00 Z 442,2 MO/ BAR VD I/ LESEP d 146/116



Q/Las S(l) Sla S(g) Las Sla Sgl Slg

3 SE Y 561,58 X 190,09 Z 444 Az = 45 - 225 OA = 250 Qu = P



CARTE IXB KM²

562 - 190

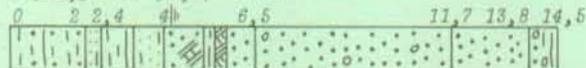
SM MO/ BAR VD I/ LESEP

1 Y 562,17 X 190,67 Z 445



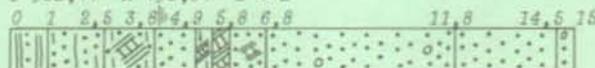
Q/La T/A

2 Y 562,32 X 190,27 Z 442



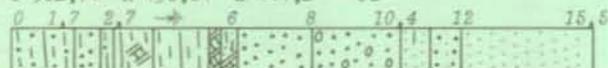
Q/Las Fl La St T S S(g) S SGLa

3 Y 562,41 X 190,01 Z 442



Q/La Sla LST S T S(t) S(g) S S(g)

4 Y 562,74 X 190,61 Z 441,2 Pz



Q/La SL Lat La T S Sg F(l) F

CARTE IXB KM²

563 - 190

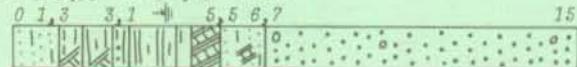
SM MO/ BAR VD I/ LESEP

1 Y 563,35 X 190,91 Z 440



Q/ FL S Las Lat S S(g) S F

2 Y 563,55 X 190,47 Z 441

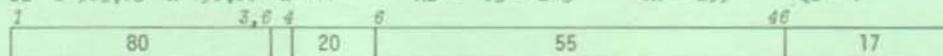


Q/FL Al(t) Al T Flt S(g)

3 SE Y 563,43 X 190,93 Z 440 Az = 65 - 245 OA = 200 Qu = S



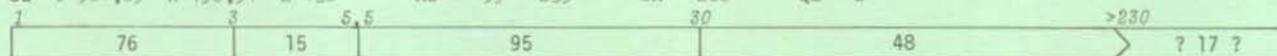
4 SE Y 563,63 X 190,60 Z 441 Az = 63 - 243 OA = 255 Qu = P



CARTE IXB KM²

564 - 190

1 SE Y 564,69 X 190,51 Z 438 Az = 59 - 239 OA = 200 Qu = B



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile + symb. A aquit.
 unités : SE Om; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe = Q B burdig.

A. PARRIAUX 1977

numéro CARTE VIII-IX B KM² 565 - 190

1 SE Y 565,31 X 190,89 Z 439	Az = 43 - 223	OA = 200	Qu = S								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">1</td> <td style="width: 25%;">4</td> <td style="width: 25%;">5</td> <td style="width: 25%;">7</td> </tr> <tr> <td>55</td> <td>20</td> <td>180</td> <td>75</td> </tr> </table>	1	4	5	7	55	20	180	75	27	>200	? 17 ?
1	4	5	7								
55	20	180	75								

2 SE Y 565,70 X 190,50 Z 438	Az = 30 - 222	OA = 200	Qu = S								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">1</td> <td style="width: 25%;">2,2</td> <td style="width: 25%;">6,5</td> <td style="width: 25%;">16</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>17</td> <td>120</td> <td>54</td> </tr> </table>	1	2,2	6,5	16	40	17	120	54	27	>200	? 17 ?
1	2,2	6,5	16								
40	17	120	54								

3 SE Y 565,89 X 190,16 Z 440	Az = 53 - 233	OA = 200	Qu = S								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">1</td> <td style="width: 25%;">2</td> <td style="width: 25%;">5</td> <td style="width: 25%;">16</td> </tr> <tr> <td>55</td> <td>20</td> <td>95</td> <td>46</td> </tr> </table>	1	2	5	16	55	20	95	46	27	>240	? 17 ?
1	2	5	16								
55	20	95	46								

CARTE VIII-X B KM² 566 - 190

1 SE Y 566,72 X 190,23 Z 440	Az = 38 - 218	OA = 200	Qu = P								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">1</td> <td style="width: 25%;">1,3</td> <td style="width: 25%;">26</td> <td style="width: 25%;">17</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>75</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	1	1,3	26	17	300	75					
1	1,3	26	17								
300	75										

CARTE IXB KM² 563 - 191

<p>SM MO/ BARUP I/ LEGEF</p> <p>1 Y 563,12 X 191,41 Z 440</p> <p>0 1,3 3,5 5 8,8 10 10,2</p> <p>Q/ AL SL S(g) La T/A</p>	<p>2 Y 563,22 X 191,20 Z 440</p> <p>0 4,7 6 10,4 11,8 15,1</p> <p>Q/ AL S S(g) SL FL</p>
<p>3 Y 563,79 X 191,15 Z 438,7</p> <p>0 1,8 4 4,7 7,6 9,7 12 15,3</p> <p>Q/La Las SPL Sg SF SF(g) SF(L)</p>	

CARTE IXB KM² 564 - 191

1 PV Y 564,42 X 191,11 Z 439,7	MO/ C. Missy	I/ Glapey	d 1500 Pf 7/12 Q 80								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">0</td> <td style="width: 25%;">1</td> <td style="width: 25%;">1,7</td> <td style="width: 25%;">4,5 4,9 6,4 12,2</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	0	1	1,7	4,5 4,9 6,4 12,2							
0	1	1,7	4,5 4,9 6,4 12,2								

Ancien ouvrage d'exploitation (1930) à crépine métallique. Abandonné en 1968. Nappe captive en contact avec les tourbes. Pas de donnée précise d'essai de pompage. Sur la base d'indications : Dupuit NC avec e = 5,8 H = 9,2 K = 1,7x10⁻⁴ T = 1x10⁻³. Eau réduite, ferrugineuse et manganésifère rendue potable par oxygénation.

2 CR Y 564,79 X 191,83 Z 438	MO/ Roulet A.	I/ LEGEF	Prise d'eau d'irrigation sur la Petite-Glâne.
------------------------------	---------------	----------	---

<p>SM MO/ BAR VD I/ LEGEF</p> <p>3 Y 564,09 X 191,68 Z 439</p> <p>0 1,9 3,4 10,7 11,9 14,8</p> <p>Q/Alt Fl Ft S(g) Las Fl</p>	<p>4 Y 564,36 X 191,40 Z 438,4 Pz</p> <p>0 2 2,4 4,9 15</p> <p>Q/ Las F Lat T Fst SF(lg)</p>
<p>5 Y 564,39 X 191,19 Z 438</p> <p>0 2,9 4,5 8,1 15</p> <p>Q/ Laf At T S La F</p>	<p>6 Y 564,81 X 191,80 Z 438</p> <p>0 3,5 5,3 8,7 9,3 10,6 14,6</p> <p>Q/ AL S(t) T S(t) Sg F La SL(g)</p>
<p>7 Y 564,90 X 191,58 Z 438</p> <p>0 4 4,7 8,4 10 14,8</p> <p>Q/ S Slt S(l) S F</p>	

8 SE Y 564,08 X 191,68 Z 439	Az = 63 - 243	OA = 200	Qu = S								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">1</td> <td style="width: 25%;">5,5</td> <td style="width: 25%;">11</td> <td style="width: 25%;">42</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>80</td> <td>46</td> <td>20</td> </tr> </table>	1	5,5	11	42	20	80	46	20			
1	5,5	11	42								
20	80	46	20								

9 SE Y 564,39 X 191,05 Z 438	Az = 62 - 218	OA = 200	Qu = B								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">1</td> <td style="width: 25%;">1,5</td> <td style="width: 25%;">4</td> <td style="width: 25%;">7,5</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>15</td> <td>50</td> <td>20</td> </tr> </table>	1	1,5	4	7,5	150	15	50	20			
1	1,5	4	7,5								
150	15	50	20								

S sondage	P puits	C captage	Symb. granulom.: MAJ, gr.domin./min. gr.second.
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	G gravier
SS - sismique	FR = niv. hydrost.	R/ remblai	S sable g+m
unités : SE Qm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		L limon
			A argile
			T tourbe
			M/ moraine
			+ symb.
			S subalp.
			A aquit.
			B burdig.

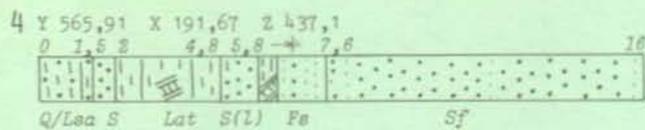
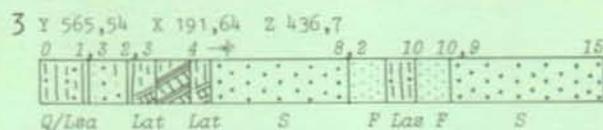
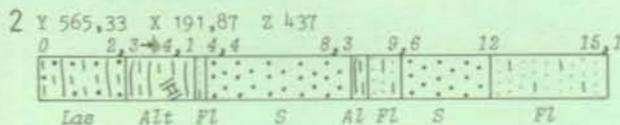
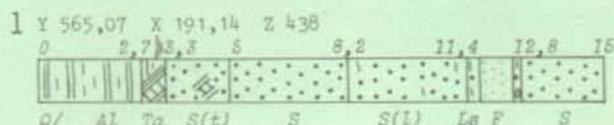
numéro

CARTE IX-XI B

KM²

565 - 191

SM MO/ BAR VD I/ LESEP



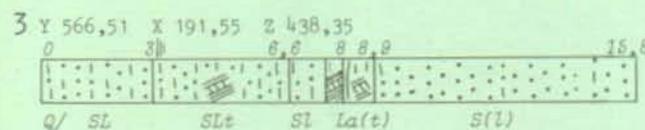
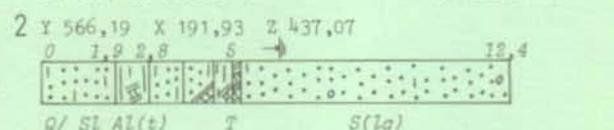
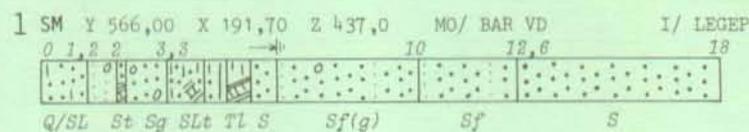
5 SE Y 565,62 X 191,87 Z 436 Az = 44 - 230 OA = 400 Qu = E

1	2	5	12	150
50	20	60	44	16

CARTE X-XI B

KM²

566 - 191



4 SE Y 566,00 X 191,69 Z 437 Az = 57 - 223 OA = 400 Qu = P

1	1.6	3.2	6	70	180
190	2000	15	55	38	19

5 SE Y 566,37 X 191,14 Z 439 Az = 34 - 214 OA = 330 Qu = B

1	5.5	11	130
25	55	42	20

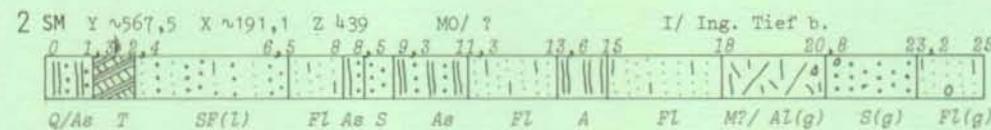
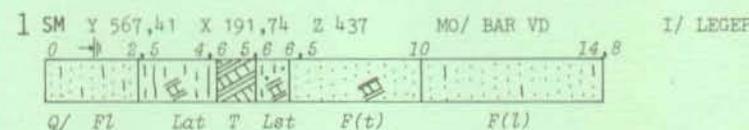
6 SE Y 566,91 X 191,12 Z 438 Az = 43 - 223 OA = 255 Qu = B

1	4.8	8	200
20	80	33	18

CARTE XB

KM²

567 - 191



3 SE Y 567,66 X 191,74 Z 437 Az = 40 - 224 OA = 250 Qu = P

1	1.3	4.8	8	28	180
115	20	60	38	32	17

4 SE Y 567,81 X 191,54 Z 437 Az = 49 - 229 OA = 200 Qu = B

1	4.4	12	110
20	65	32	18

CARTE XB

KM²

568 - 191

1 SE Y 568,72 X 191,77 Z 442 Az = 67 - 247 OA = 150 Qu = S

1	4.4	12	17	55
465	280	28	74	18

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
 unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 63

numéro

CARTE XI B KM²

565 - 192

1 SE Y 565,31 X 192,20 Z 436	Az = 49 - 229	OA = 200	Qu = B
1,1,2	4,4	0,5	46
45	20	80	50
			18

CARTE X-XI B KM²

566 - 192

1 Y 566,50 X 192,23 Z 435	MO/ BAR VD	I/ Klaus	E/ Stump	d 200/170				
Station pluviographique.								
2 SM Y 566,11 X 192,90 Z 435	MO/ Ciba-Geigy	I/ Klaus	E/ Stump	d 200/170				
0,0,9	2,9	4,2	14,6	20,2	22,2	24,7	36	
Q/ SL	La	Ta	SF	F	F(L)	Lf	F	Laf
3 SE Y 566,60 X 192,50 Z 436	Az = 44 - 230	OA = 300	Qu = S					
1	1,7	6,5	17	170				
700	25	80	33	18				
4 SE Y 566,93 X 192,19 Z 436	Az = 43 - 223	OA = 300	Qu = B					
1	2,8	25	140					
28	60	35	17					

CARTE X-XI B KM²

567 - 192

SM MO/ BAR VD	I/ LESEP
1 Y 567,35 X 192,03 Z 436	2 Y 567,74 X 192,27 Z 437
0	0
2,4	1,9
3,6	3
5,6	4,2
7	7
10,7	10,8
11,2	11,5
15	13,5
15	15,2
Q/ FA	Q/SA
Lat	At
T	T
S(L)	S(t)
S	S
Laf	FLa
S(L)	S
	F(L)
3 Y 567,79 X 192,08 Z 437	
0	
1,5	
3,2	
3,5	
5,2	
10	
13,9	
14	
15	
Q/As	
Lfa	
At	
T	
S(t)	
S(L)	
Ls	
F(L)	

CARTE XB KM²

568 - 192

1 PV Y 568,95 X 192,21 Z 440	MO/ Schaltegger	I/ Raemy	d 125	Pf 4/6	Q 200			
Puits d'exploitation (1972) en tuyaux-ciment pour eau arrosage. Captage dans un aquifère de sable moyen. Essai de pompage rudimentaire. Ordre de grandeur de K : Dupuit NL avec H = 5,5 K = 1,2x10 ⁻⁴ T = 6,6x10 ⁻⁴ . Très faible teneur en fer (0,1 mg/l). Pas de manganèse.								
SM MO/ BAR VD	I/ LESEP							
2 Y 568,60 X 192,43 Z 437,4								
0	1,3	14	18	20,1				
Q/ T	SF(g)	S(g)	F(g)					
3 Y 568,34 X 192,73 Z 435								
0	1,2	3,5	6,4	7	8,9	8,4	15,1	
Q/T	S(t)	S	S(Lg)	S	SL	S		
4 Y 568,54 X 192,04 Z 439								
0	1,4	3,2	5,8	7,1	8,6	10,3	13,5	15,1
Q/FL	S	S(g)	S	Ga	S(g)	Ga	S	Ga
5 SE Y 568,40 X 192,28 Z 438	Az = 29 - 209	OA = 300	Qu = B					
1	4	110						
45	55	18						
6 SE Y 568,55 X 192,03 Z 439	Az = 61 - 229	OA = 250	Qu = P					
1	2	3,8	11	65				
100	250	140	65	18				
7 SE Y 568,83 X 192,90 Z 434	Az = 34 - 214	OA = 300	Qu = S					
1	3	4,6	32	220				
80	20	55	30	18				

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique $\bar{=}$ niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
 unités : SE $\bar{=}$ m; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe B burdig.

A. PARRIAUX 1977

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre p 64

numéro

CARTE XB KM²

569 - 192

SM MO/ C. Avenches

I/ de Cérenville

E/ de Cér.

d 100 Pz

1 Y 569,32 X 192,06 Z 449,55

2 Y 569,32 X 192,17 Z 446,40



Q/ SF SF(g) SF(lg) M/

Q/SF(L) SF(lg) M/ Slg

3 SM Y 569,65 X 192,72 Z 437

MO/ BAR VD

I/ LESEP

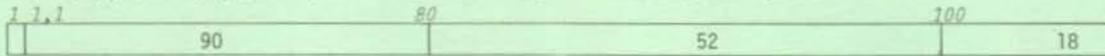


Q/ S S(L) S(lg)

4 SE Y 569,27 X 192,43 Z 438

Az = 46 - 231

OA = 200 Qu = S



CARTE XB KM²

571 - 192

1 SM Y 571,33 X 192,24 Z 518

MO/ EEP

I/ Pugin-Briel



M/ Slag T/A

CARTE XI B KM²

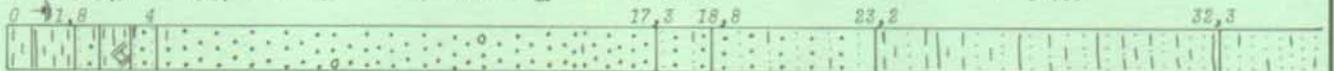
565 - 193

1 SM Y 565,96 X 193,04 Z 435

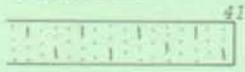
MO/ Ciba-Geigy

I/ Klaus

d 194/95



Q/La SFL Lat S(lg) SF(L) SFL LFa FL



FL

CARTE XI B KM²

566 - 193

1 SE Y 566,31 X 193,24 Z 435

Az = 38 - 218

OA = 255 Qu = B



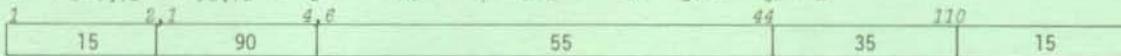
CARTE X-XI B KM²

567 - 193

1 SE Y 567,73 X 193,73 Z 434

Az = 17 - 202

OA = 300 Qu = B



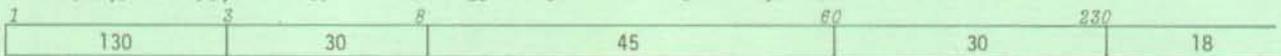
CARTE X-XI B KM²

568 - 193

1 SE Y 568,31 X 193,48 Z 435

Az = 33 - 213

OA = 300 Qu = S



CARTE X B KM²

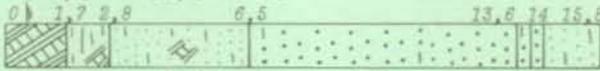
569 - 193

SM MO/ BAR VD

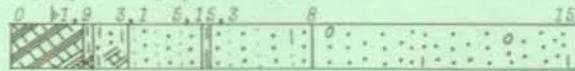
I/ LESEP

1 Y 569,39 X 193,49 Z 433

2 Y 569,73 X 193,39 Z 433



Q/T Lat FL(t) S(L) Sl S FL



Q/ T Sl+ SF La SF(L) S(lg)

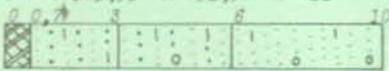
3 SM Y 569,99 X 193,92 Z 433

MO/ C. Avenches

I/ de Cérenville

E/ de Cér.

d 100 Pz

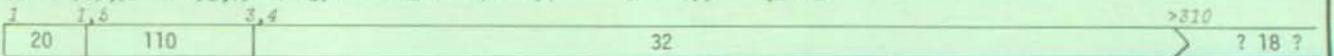


Q/ SF(lg) SFL(g) F(lg)

4 SE Y 569,92 X 193,79 Z 435

Az = 17 - 197

OA = 255 Qu = B



S sondage P puits C ceptage Symb. granulom.: MAJ, gr.domin./min. gr.second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr.vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai A argile = Q A aquit.
 unités : SE Qm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.

numéro

CARTE X B KM²

570 - 193

1 PV Y 570,98 X 193,80 Z 436,74 MO/ C. Avenches I/ Fehlmann E/ Fehlmann d 400/350 Pf 4/9 Q 240



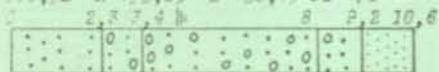
Q/La Sg Al S(g) L LS(g)

CONCOS. EAU (19. 5.80) 1/10 2/42 3/38 4/0,895/— 6/— 7/0,3 8/4,2 9/0 10/15,211/22,512/26 13/— 14/—
 Puits d'essai métallique abandonné dans la nappe libre du cône du Chandon. Nappe à écoulement naturel vers ENE avec $i = 4,5\%$. Essai de pompage de 8 j. Dupuit ML avec $H = 4$ $K = 5,5 \times 10^{-4}$ $T = 2,2 \times 10^{-3}$. Eau assez bien oxygénée mais légèrement ferrugineuse.

SM MO/ C. Avenches I/ Fehlmann

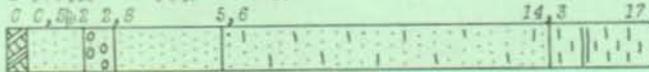
E/ Fehlmann

2 Y 570,92 X 193,65 Z 436,19 Pz 4/8



Q/Sf Sg SG S(g) F

3 Y 570,39 X 193,94 Z 433



Q/ F Gf F FL La

SM MO/ BAR VD I/ LEGEP

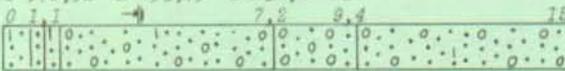
d 150

4 Y 570,21 X 193,68 Z 433,1 Pz



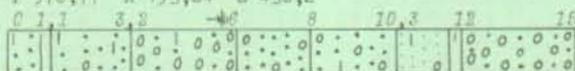
Q/ Ga(L) Sg S(g) Sg SF(L) S(g) SF(g)

5 Y 570,52 X 193,79 Z 434,6 Pz



Q/ Sg(L) SG Sg(L)

6 Y 570,77 X 193,84 Z 436,2

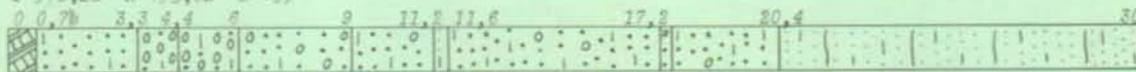


Q/ SLg Ga(L) Sg Sg(L) F(Lg) Ga

SM MO/ Cant. VD I/ Geotest

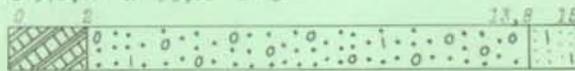
E/ Stump

7 Y 570,28 X 193,62 Z 435



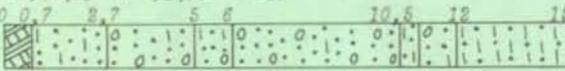
Q/ S(L) Ga(L) Ga(L) Sg(L) SL(g) FL SL(g) Sg SL(g) FLa

8 Y 570,18 X 193,60 Z 434



Q/T Sg(L) FL

9 Y 570,29 X 193,52 Z 435

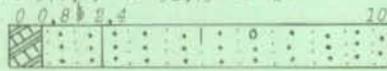


Q/ SL Sg(L) SL(g) Sg(L) SL Sg(L) SL

SM MO/ C. Avenches I/ de Cérenville

E/ de Cér.

10 Y 570,05 X 193,79 Z 434



Q/T SF SF(Lg)

11 Y 570,01 X 193,85 Z 434



Q/ SF(Lg) SL(g) SF(Lg)

12 SE Y 570,41 X 193,87 Z 434 Az = 152 - 332

OA = 300 Qu = B



CARTE X B KM

571 - 193

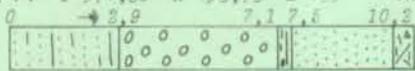
1 CR Y 571,16 X 193,83 Z 439

Pompage au Chandon d'eau industrielle pour la gravière.

2 PV Y 571,30 X 193,73 Z 439

MO/ C. Avenches I/ Fehlmann E/ Fehlmann

d 400 Pf 3/7 Q <50



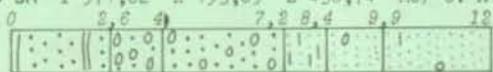
Q/FLa G Lag F M/

Puits d'essai métallique abandonné. Nappe perméable mais probablement confinée. Puits asséché en 1h avec 50 l/mn. Perméabilité de la zone : env. 5×10^{-5}

3 SM Y 571,02 X 193,85 Z 436,74 MO/ C. Avenches

I/ Fehlmann E/ Fehlmann

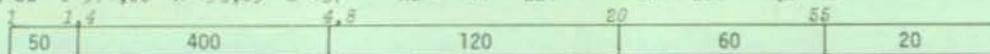
d 350 Pz 3/8



Q/ Sa GS Sg FL F(g) F(Lg)

4 SE Y 571,00 X 193,85 Z 437 Az = 41 - 221

OA = 200 Qu = S



S sondage	P puits	C captage	Symb. granulon.: MAJ. gr.domin./min. gr.second.	T/ molasse
SM - mécanique	PV - filtr.vert.	CT - tranchée	Q/ quaternaire meuble	M/ moraine
SE - électrique	PR - rayonnant	CG - galerie	⊙ G gravier	⊞ L limon
SS - sismique	≡ niv. hydrost.	R/ remblai	⊙ S sable g+m	⊞ A argile
unités : SE Sm; SS m/s	Prof. SM+SS 1/200. SE Log		⊙ F sable fin	⊞ T tourbe
				⊞ + symb. = Q
				A. PARRIAUX 1977

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre P 66

numéro CARTE XB KM² SUITE 571 - 193

5 SE Y 571,34 X 193,72 Z 439 Az = 89 - 269 OA = 200 Qu = S

1 1,2 4,6 16 55

48	96	60	16
----	----	----	----

CARTE XIB KM² 566 - 194

1 SE Y 566,24 X 194,58 Z 435 Az = 49 - 229 OA = 200 Qu = E

1 3,8 30

15	45	15
----	----	----

CARTE XIB KM² 568 - 194

1 SE Y 568,78 X 194,79 Z 432 Az = 37 - 217 OA = 200 Qu = B

1 2,5 36 140

50	41	34	17
----	----	----	----

CARTE X-XIB KM² 569 - 194

1 SE Y 569,57 X 194,35 Z 433 Az = 46 - 226 OA = 200 Qu = B

1 3,4 55 <170 > ? 17 ?

34	60	30	?
----	----	----	---

CARTE XB KM² 570 - 194

1 SM Y 570,19 X 194,03 Z 434 MO/ BAR VD I/ LEGEP

0 0,7 1,8 3 12,4 14,1 15

Q/T SLt S(g) SG S SG S

2 SE Y 570,46 X 194,14 Z 435 Az = 2 - 166 OA = 330 Qu = P

1 1,6 7 32 130

60	90	60	45
			17

3 SE Y 570,89 X 194,35 Z 435 Az = 158 - 348 OA = 255 Qu = B

1 2,1 4 22 85

25	210	95	40
			20

4 SE Y 570,99 X 194,79 Z 432 Az = 94 - 282 OA = 150 Qu = P

1 1,5 4 13 120

480	18	100	42
			18

CARTE XB KM² 571 - 194

1 Y 571,59 X 194,00 Z 460
Infiltration d'hydro-carbure en faible quantité par un ancien dépôt pour automobiles usagées.

2 SM Y 571,64 X 194,04 Z 479,66 MO/ BAR VD I/ LEGEP E/ Fortini d 145 - 101

0 1,7 4 6,8 8,9 13,3 14,2 18,5 25,7 31

Q/SL(g) M?/ Fla LaS SLa Sgl SL(g) Sg(l) SFL(g) Gal SL(g) Le SL(g) SLa

36,3

3 SM Y 571,92 X 194,15 Z 481,4 MO/ BAR VD I/ LEGEP E/ Fortini d 146 - 116

0 1,8 6,7 8,3 12,1 14,6 19,1 20,1

Q/Le(g) M?/ SL(ga) Sgl Lea(g) Sgl Le(g) Sgl

4 SE Y 571,15 X 194,37 Z 435 Az = 51 - 231 OA = 200 Qu = P

1 2,8 9 44

60	98	44	19
----	----	----	----

5 SE Y 571,67 X 194,35 Z 435 Az = 43 - 223 OA = 180 Qu = E

1 120

42			18
----	--	--	----

6 SE Y 571,79 X 194,96 Z 432 Az = 35 - 243 OA = 125 Qu = P

1 1,3 17 24

36	50	40	15
----	----	----	----

S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ, gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon S sable g+m A argile + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai F sable fin T tourbe A aquit. B burdig.
 unités : SE Gm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200, SE Log A. PARRIAUX 1977

BROYE - HYDROGEOLOGIE

Registre P 67

numéro

CARTE XB KM²

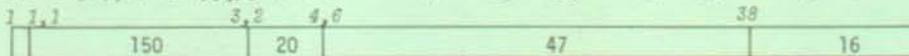
572 - 194

1 PV Y 572,08 X 194,75 Z 440 MO/ C. Paoug d 500 Pf x - 10 Q ~30
Puits d'exploitation ancien dans des sables fins. Aucune indication géologique et hydraulique précise.

CARTE XI B KM²

567 - 195

1 SE Y 567,18 X 195,93 Z 466 Az = 59 - 239 OA = 200 Qu = P



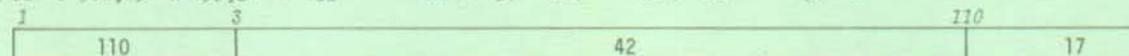
2 SE Y 567,45 X 195,08 Z 433 Az = 54 - 234 OA = 300 Qu = S



CARTE XI B KM²

568 - 195

1 SE Y 568,45 X 195,31 Z 433 Az = 37 - 217 OA = 200 Qu = P



CARTE X-XI B KM²

570 - 195

SM MO/ Port Av.

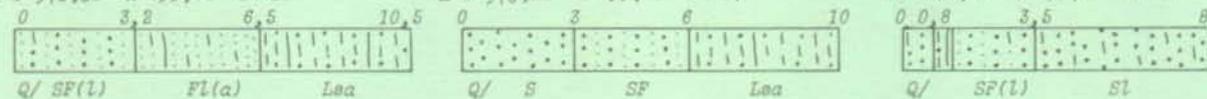
I/ Schopfer + Karakas

d 145/100

1 Y 570,32 X 195,16 Z 428

2 Y 570,20 X 195,20 Z 427

3 Y 570,16 X 195,11 Z 428



CARTE XI B KM²

568 - 196

1 SE Y 568,68 X 196,53 Z 432 Az = 48 - 228 OA = 200 Qu = E



S sondage P puits C captage Symb. granulom.: MAJ. gr. domin./min. gr. second. T/ molasse
 SM - mécanique PV - filtr. vert. CT - tranchée Q/ quaternaire meuble M/ moraine S subalp.
 SE - électrique PR - rayonnant CG - galerie G gravier L limon + symb. C chatt.
 SS - sismique = niv. hydrost. R/ remblai S sable g+m A argile = Q A aquit.
 unités : SE Gm; SS m/s Prof. SM+SS 1/200. SE Log F sable fin T tourbe A. PARRIAUX 1977 B burdig.