

624.014

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Département de Génie Civil



INSTITUT DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

9, ch. des Délices

1006 Lausanne

VIADUC DU CHENE

ESSAIS DYNAMIQUES AVEC TRAINS DE CHANTIER

DANIEL GYGAX

MICHEL CRISINEL

Rapport

Pd 351 53

624.014

Pd 351

53

ICOM 053

Novembre 1978

ETHICS EPF-BC



00200000722349

TABLE DES MATIERES

- 1 DESCRIPTION DES ESSAIS
 - 1.1 Motivation des essais
 - 1.2 Points de mesures
 - 1.3 Appareils de mesures
 - 1.4 Charges et cas de charges
 - a) Essais statiques
 - b) Essais dynamiques
 - c) Essai de freinage
 - 1.5 Déroulement des essais
- 2 RESULTATS DES ESSAIS
 - 2.1 Essais statiques
 - 2.2 Essais dynamiques
 - a) Coefficient dynamique
 - b) Essai de freinage
- 3 CONCLUSIONS

ESSAIS DYNAMIQUES AVEC TRAINS DE CHANTIER AU VIADUC DU CHENE

1 DESCRIPTION DES ESSAIS

1.1 MOTIVATION DES ESSAIS

Dans le cadre des travaux de construction de l'autoroute Lausanne-Yverdon, il a été décidé d'installer une voie de chemin de fer pour le transport des matériaux de remblai par trains de chantier. La voie ferrée suit le tracé de l'autoroute et emprunte par conséquent plusieurs ouvrages d'art. Afin d'étudier le comportement de ces ouvrages sous la charge des trains, non prévue à l'origine, le Bureau de construction des autoroutes du canton de Vaud (BAR) a chargé l'Institut de la construction métallique (ICOM) d'effectuer des essais dynamiques sur le viaduc du Chêne à Chavornay.

Des essais statiques et dynamiques ayant déjà été effectués du 18 au 20 juillet dernier sur ce viaduc par notre institut (voir rapport ICOM à paraître), la pose des appareils de mesure était simplifiée. L'ouvrage avait été équipé dès sa construction de jauges de contraintes placées sur des barres d'armature dans le béton.

Ces jauges fonctionnent encore et il est possible de les utiliser pour nos essais. L'installation de capteurs inductifs de déplacement permet en plus d'obtenir des renseignements utiles sur le comportement des poutres maîtresses. Ils complètent heureusement les résultats fournis par les jauges de contraintes. Ces points de mesure suffisent donc à l'étude du comportement de cet ouvrage sous l'action du train de chantier.

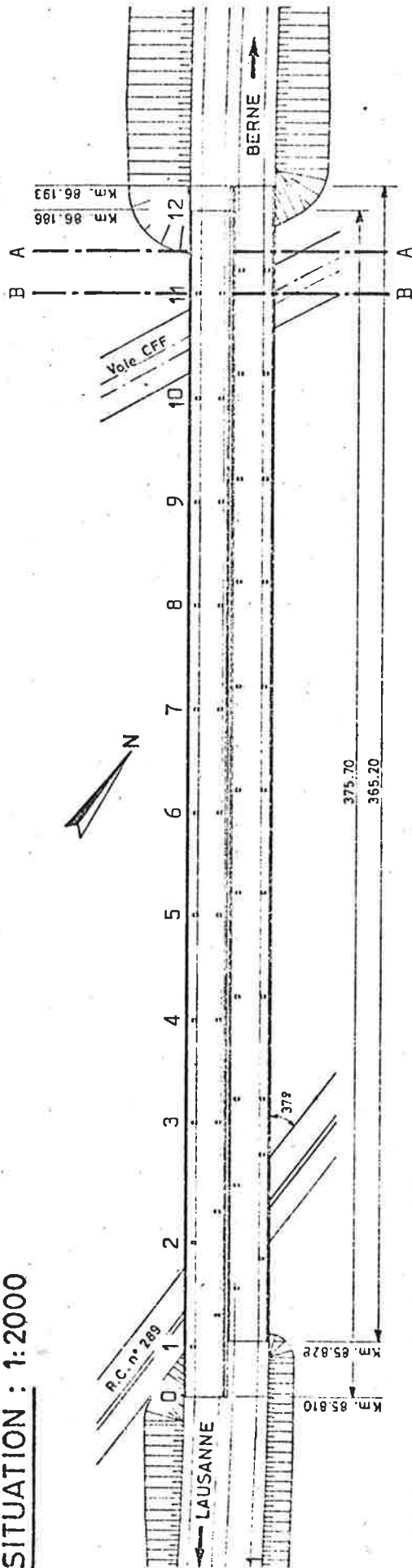
1.2 POINTS DE MESURES

Les mesures ont été effectuées dans deux sections différentes (FIGURES 1 et 2) :

- section A-A : milieu de la travée de rive (côté Yverdon),
- section B-B : appui no 11.

Dans la section A-A, les jauges [11] et [12] permettent de déterminer les contraintes sur les armatures transversales inférieures et la jauge [14] sur l'armature transversale supérieure de la dalle. Les capteurs inductifs de déplacement [61] et [65] permettent de mesurer les flèches des deux poutres maîtresses. Les deux autres capteurs de déplacement ([63], [64]) mesurent les déformations verticales de la dalle, au milieu

SITUATION : 1:2000



COUPE EN LONG : 1:2000

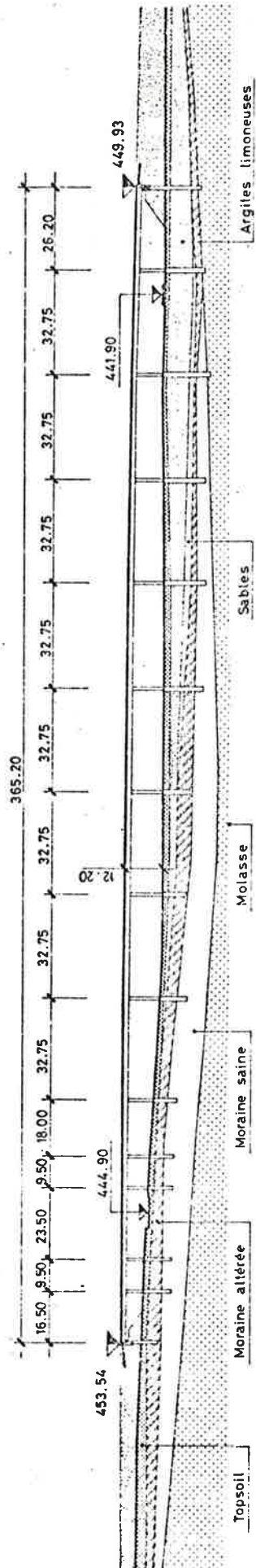
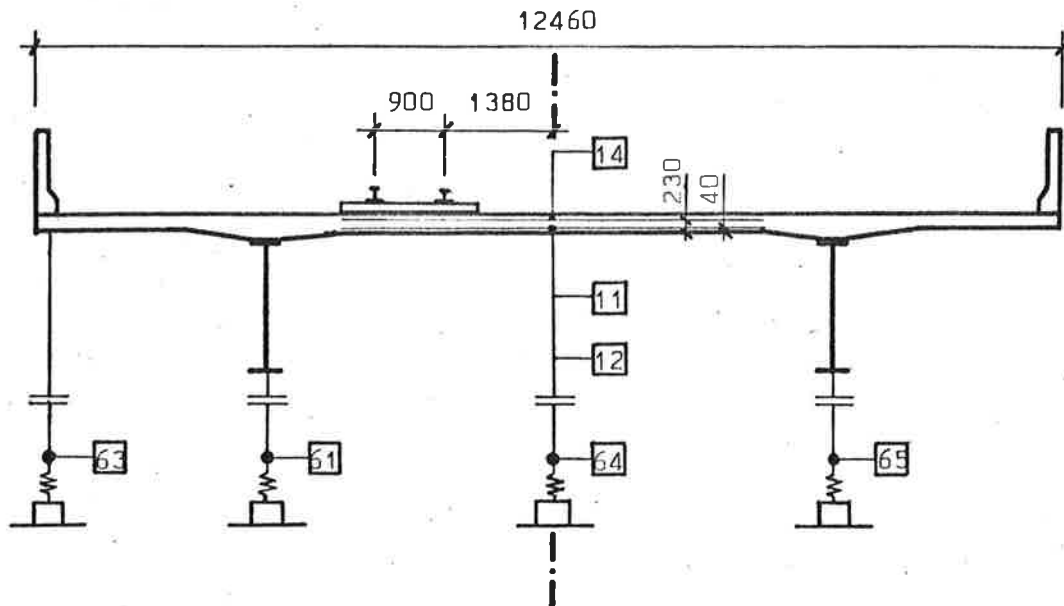
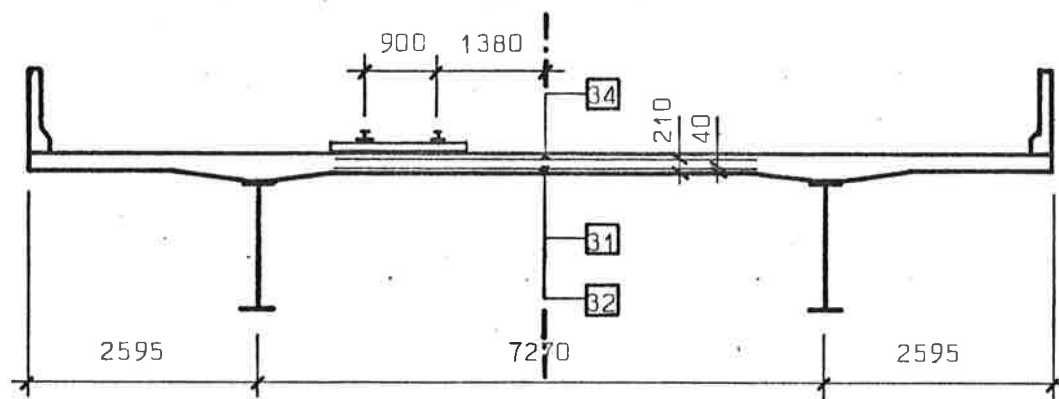


FIGURE 1

Plan d'ensemble du viaduc du Chêne à Chavornay.



a) Section A - A, milieu de la travée



b) Section B - B, sur appui

FIGURE 2

Disposition des jauges et des capteurs de déplacement.

de la section et au bord de la dalle côté Chavornay (Figure 2 a).

Dans la section B-B, trois jauges ([31], [32] sur l'armature transversale inférieure et [34] sur l'armature transversale supérieure) ont été prévues pour déterminer les contraintes sur appui (FIGURE 2 b).

Un contacteur posé sur le rail permet en outre de connaître à chaque instant la position du train lors des essais dynamiques.

1.3 APPAREILS DE MESURES

Chaque jauge de contraintes ou capteur inductif de déplacement est relié à son propre amplificateur-pont de mesure.

Lors des essais statiques, les valeurs sont lues sur l'appareil et reportées. Lors des essais dynamiques, sept valeurs sont enregistrées sur bande magnétique. Parmi celles-ci, quatre valeurs (jauge de contraintes 11 (travée) et 31 (appui), capteur inductif 61 sur la poutre maîtresse, contacteur) sont enregistrées directement sur un oscillographe optique à rayon lumineux ultraviolet.

1.4 CHARGES ET CAS DE CHARGES

Deux charges différentes ont été utilisées pour les essais :

- charge I : train de chantier comprenant une locomotive à quatre essieux (15 t par essieu), un wagon-transformateur à quatre essieux (5 t par essieu) et six wagons à quatre essieux chargés (17 t par essieu),
- charge II : locomotive à trois essieux (11 t par essieu).

L'axe de la voie est distant de 1,83 m de l'axe du pont.

a) ESSAIS STATIQUES

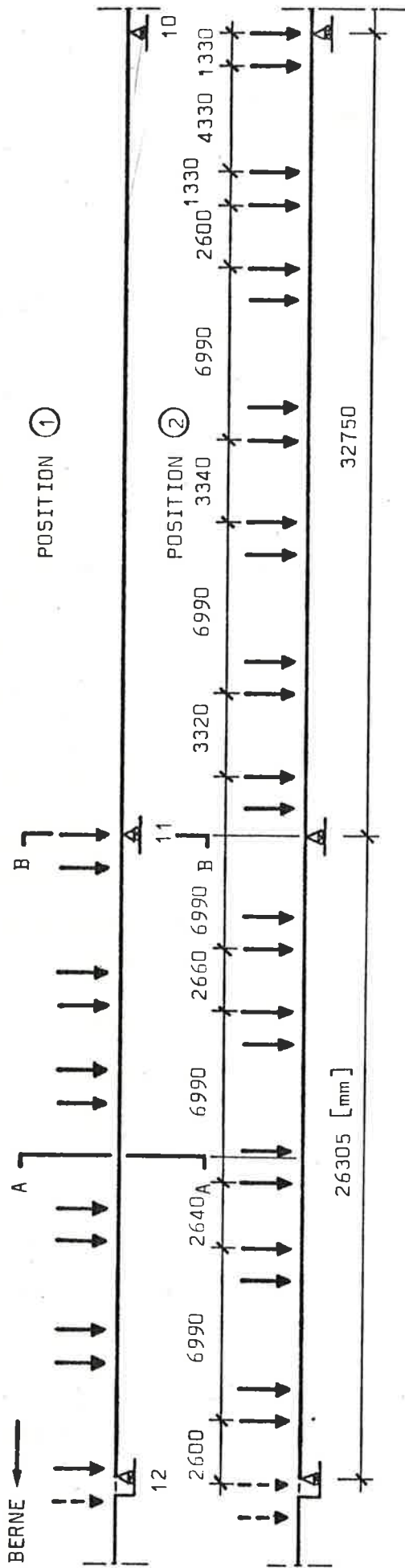
Les essais statiques mesurés avec six jauges de contraintes et quatre capteurs inductifs de déplacement donnent des valeurs de référence pour les essais dynamiques. Ils dirigent aussi le choix des valeurs mesurées dans les essais dynamiques.

Les capteurs placés sous les poutres maîtresses permettent également de déterminer la répartition transversale des charges, celle-ci n'étant pas forcément identique à la répartition valable pour les charges de trafic routier déterminée dans les essais précédents du 18 au 20 juillet 1978.

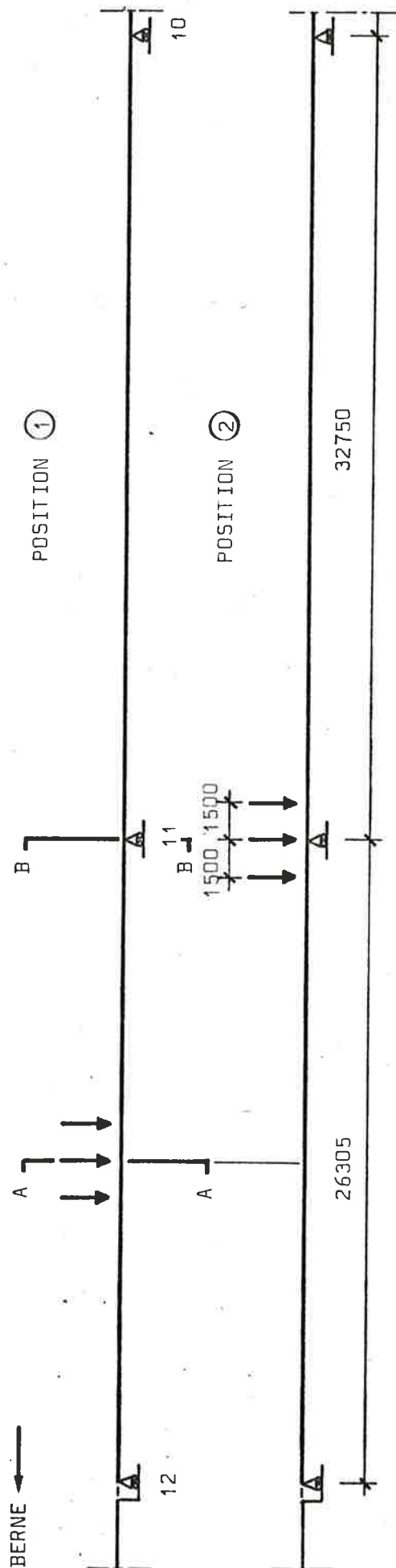
Deux positions furent choisies pour les essais statiques suivant le critère des contraintes maximales en travée et sur appui (FIGURE 3).

Pour la charge I :

- position 1 : seule la travée de rive est chargée, le dernier essieu de train se trouvant sur l'appui no 11,
- position 2 : les deux travées extrêmes sont chargées, le dernier essieu du train se trouvant sur l'appui no 10.



a) Charge I : train de chantier formé de wagons à 4 essieux de 17 t chacun.



b) Charge II : locomotive à 3 essieux de 11 t chacun.

FIGURE 3

Position des charges pour les essais statiques.

Pour la charge II :

- position (1) : essieu médian sur la section A-A,
- position (2) : essieu médian sur la section B-B.

b) ESSAIS DYNAMIQUES

L'état de la voie ne permettant pas des vitesses élevées avec la charge I (distance de freinage réduite, vitesse de la locomotive limitée), il a été décidé de ne considérer qu'une seule vitesse (~ 20 km/h) pour le passage du train.

Les essais dynamiques à des vitesses différentes ont été effectués avec la charge II. Les vitesses choisies sont approximativement de 3,1 , 4,7 et 8,8 m/s ($v = 11, 17$ et 32 km/h).

c) ESSAIS DE FREINAGE

Afin d'étudier l'effet du freinage sur le pont, un essai de freinage du train de chantier avec réduction de la vitesse de 20 à 0 km/h sur la travée de rive a été enregistré.

1.5 DEROULEMENT DES ESSAIS

Les essais ont eu lieu le 21 octobre 1978. Toutes les contraintes en travée et sur appui ainsi que les flèches des deux poutres maîtresses et de la dalle en travée ont été relevées pour les essais statiques. Les essais statiques se sont déroulés de la façon suivante :

- mesure avec le train hors du pont,
- mesure avec le train dans la position (1),
- mesure avec le train hors du pont,
- mesure avec le train dans la position (2).

Cette séquence d'essais a été répétée pour les deux charges.

Lors des essais dynamiques, les différents passages des trains ont également été répétés pour chaque vitesse.

Seuls les quatre jauges et deux capteurs ont été enregistrés pour cette partie des essais.

2 RESULTATS DES ESSAIS

2.1 ESSAIS STATIQUES

Les contraintes sur les armatures transversales de la dalle mesurées pendant les essais sont données dans le TABLEAU 1. Les valeurs représentent la moyenne des deux mesures pour chaque cas de charge en N/mm^2 .

TABLEAU 1

Contraintes sur les armatures transversales [N/mm^2].

SECTION A-A (travée)	CHARGE I		CHARGE II	
	POSITION ①	POSITION ②	POSITION ①	POSITION ②
Armature supérieure	- 49	- 54	- 21	- 3
Armature inférieure	75	81	24	4

SECTION B-B (appui)	CHARGE I		CHARGE II	
	POSITION ①	POSITION ②	POSITION ①	POSITION ②
Armature supérieure	- 17	- 30	- 2	- 11
Armature inférieure	29	52	1,5	14

Les déformations verticales de la section mesurées en travée permettent d'estimer la répartition des charges sur les deux poutres maîtresses. Elles donnent également des renseignements sur le comportement de la dalle.

Les déformations en mm des poutres maîtresses et de la dalle sous les charges I et II sont données au TABLEAU 2.

La poutre Chavornay supporte environ 66 % de la surcharge totale si on fait l'hypothèse que les bordures ne participent pas à la flexion générale du pont.

TABLEAU 2

Déformations des poutres maîtresses et de la dalle [mm].

CHARGES	CHARGE I				CHARGE II				CAMION	
CAPTEURS	[61]	[63]	[64]	[65]	[61]	[63]	[64]	[65]	[61]	[65]
POSITION ①	13,2	3,0	18,7	6,8	4,4	1,2	7,2	2,1	2,85	1,35
POSITION ②	8,3	- 2,9	16,4	4,3	0,0	- 0,8	0,6	0,1	—	—

Dans le TABLEAU 2 ont également été reportées les flèches des poutres maîtresses en travée sous charge de camion obtenues lors des essais du 18 au 20 juillet 1978 pour une position transversale du camion identique à celle du train.

La comparaison avec les essais du 21 octobre donne les résultats suivants :

$$\text{rapport} : \frac{\text{charge I } \textcircled{1}}{\text{camion}} \approx 4,6 \div 5 ,$$

$$\text{rapport} : \frac{\text{charge II } \textcircled{1}}{\text{camion}} \approx 1,5 .$$

Ceci revient à estimer que les contraintes dans la poutre maîtresse dues au train de chantier sont de l'ordre de 4,6 à 5 fois $22,2 \text{ N/mm}^2 \approx 110 \text{ N/mm}^2$.

2.2 ESSAIS DYNAMIQUES

Sur les six valeurs enregistrées, seules trois ont été reproduites par l'oscillographe optique à rayon lumineux ultraviolet. Les mesures tracées correspondent aux grandeurs suivantes :

- flèche verticale de la poutre maîtresse côté Chavornay dans la section A-A (capteur [61]),
- contrainte dans l'armature transversale inférieure de la dalle dans la section A-A (jauge [11]),
- contrainte dans l'armature transversale inférieure de la dalle dans la section B-B (jauge [31]).

Ces enregistrements représentent les "lignes d'influence" de la flèche et des contraintes ci-dessus (voir ANNEXE).

a) COEFFICIENT DYNAMIQUE

Le coefficient de majoration pour actions dynamiques est défini dans la FIGURE 4 et vaut :

$$\varphi = \frac{A}{\sigma_{md}} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{md}}{\sigma_{md}} ;$$

σ_{md} : effet maximal statique de la charge ; valeur prise entre zéro et le maximum d'une ligne moyenne passant approximativement par le milieu des vibrations,

σ_{max} : plus grande valeur positive instantanée mesurée à partir de zéro,

A : amplitude de la vibration au droit de σ_{max} .

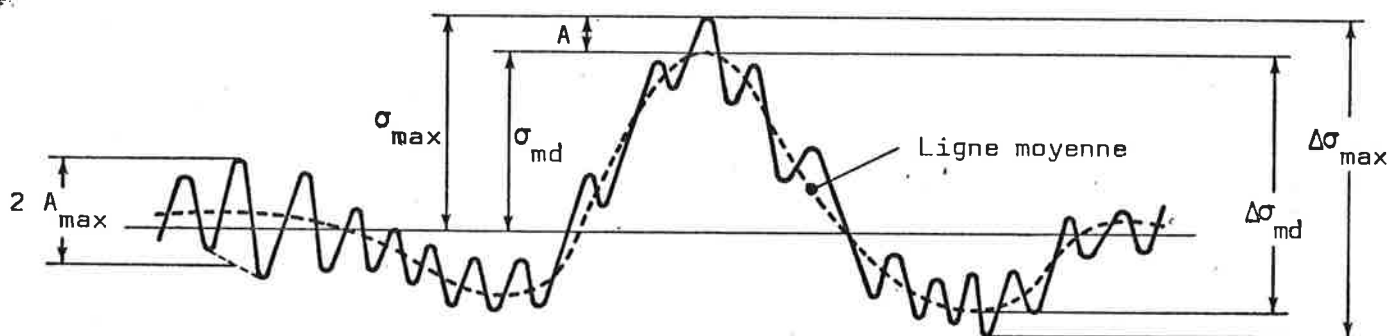


FIGURE 4

Définition des paramètres utilisés pour l'analyse des enregistrements.

Le coefficient dynamique donné par la norme SIA 160 vaut pour les ponts-rails :

$$\varphi_{SIA} = 7 \frac{100 + L}{10 + L} .$$

Pour le viaduc du Chêne, φ_{SIA} est de 22 % pour la poutre maîtresse avec une portée de 32 m et 43 % pour la dalle dans le sens transversal avec une distance de 7,27 m entre les poutres maîtresses.

Les coefficients dynamiques mesurés pour la charge I prennent les valeurs maximales suivantes à une vitesse d'environ 20 km/h :

- pour les poutres maîtresses : $\varphi_L = 5 \%$,
- pour la dalle dans le sens transversal : $\varphi_T = 12 \%$.

Nous donnons également pour comparaison les résultats de l'essai préliminaire du 20 juillet 1978 avec un camion roulant sur l'axe du pont à environ 20 km/h :

- poutres maîtresses : $\varphi_L = 13 \%$,
- dalle dans le sens transversal : $\varphi_T = 11 \%$.

L'essai dynamique avec la charge II s'est déroulé à des vitesses variant entre 3,1 et 8,8 m/s (11 et 32 km/h). La variation du coefficient dynamique mesuré en fonction de la vitesse est donnée dans la FIGURE 5.

b) ESSAI DE FREINAGE

Le passage du train à une vitesse d'environ 20 km/h avec freinage 5 m avant la culée n'a pas présenté de différence par rapport aux essais statiques en ce qui concerne les flèches en travée et les contraintes en travée et sur appui.

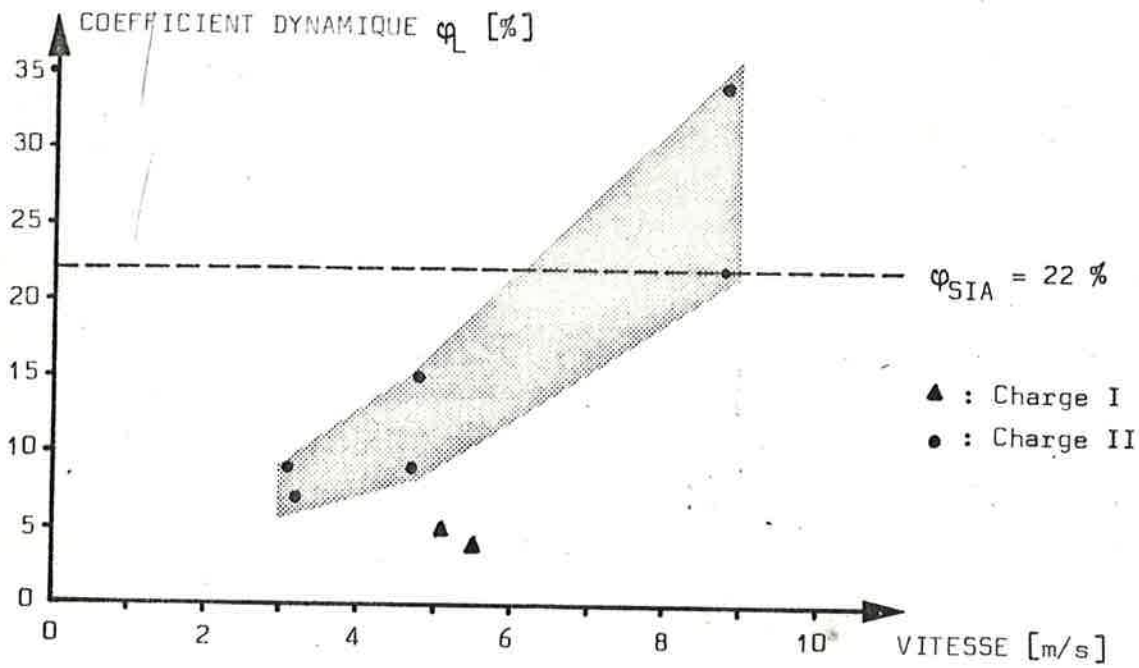
3 CONCLUSIONS

Ce rapport contient les mesures statiques et dynamiques effectuées sur le viaduc du Chêne sous la charge de trains de chantier. Des jauges de contraintes étaient placées sur l'armature transversale de la dalle en travée et sur appui des poutres et des capteurs inductifs mesuraient les flèches des poutres maîtresses en travée.

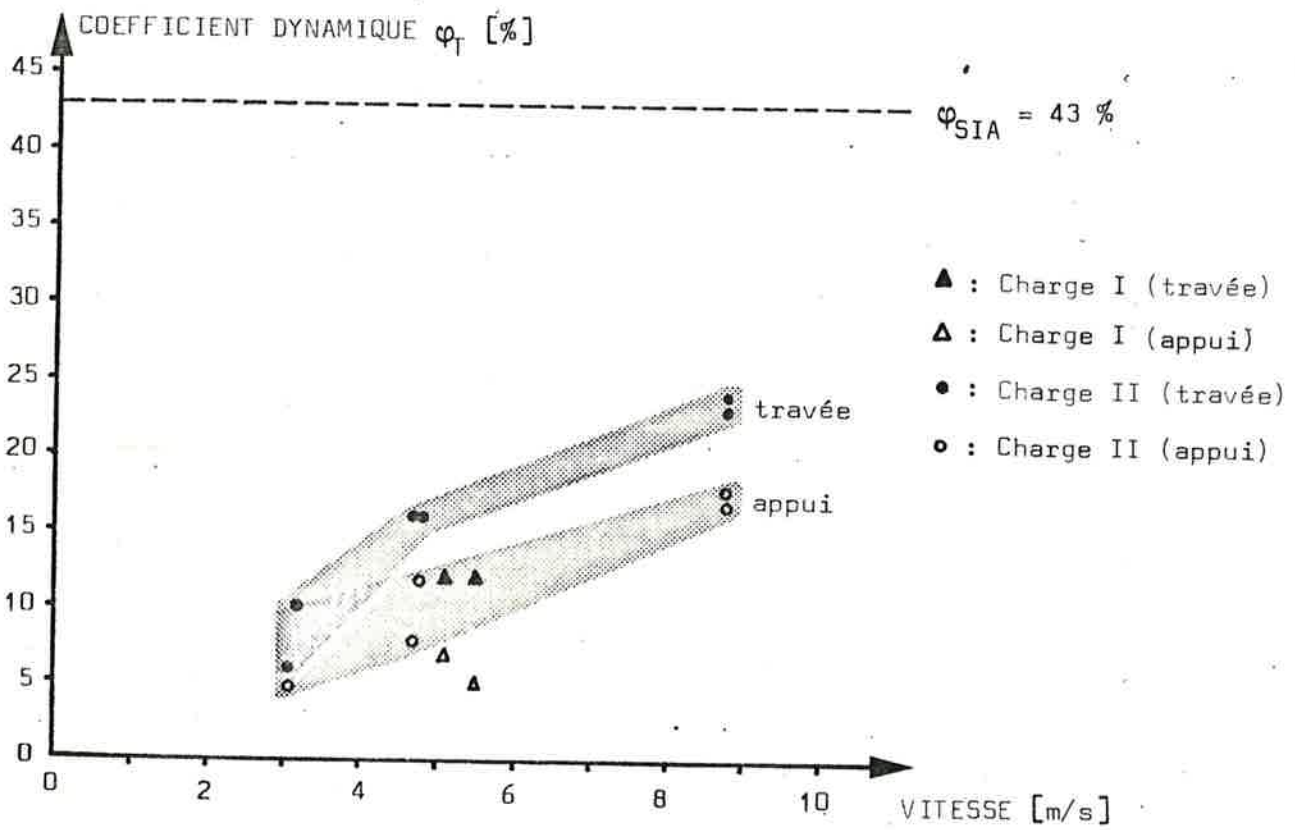
Les mesures ont donné les résultats suivants :

- 1.- Les flèches des poutres maîtresses au milieu de la travée sous la charge du train complet sont 4 à 5 fois supérieures aux flèches produites par un camion de 25 t. Les flèches sous la charge d'une locomotive à trois essieux de 11 t sont 1,5 fois supérieures aux flèches produites par le même camion de 25 t.
- 2.- Le coefficient de majoration pour actions dynamiques mesuré au passage du train complet à environ 20 km/h ne dépasse pas 5 % pour les poutres maîtresses et 12 % pour l'armature transversale de la dalle.
- 3.- Le coefficient de majoration pour actions dynamiques pour le passage de la locomotive à trois essieux a été déterminé en fonction de la vitesse. Le coefficient dynamique mesuré pour la poutre maîtresse est supérieur au coefficient longitudinal fixé par la norme SIA 160 (22 %) à partir de 22 km/h. Pour la vitesse de 32 km/h, il a été mesuré à 34 %.

Le coefficient dynamique mesuré pour l'armature transversale est inférieur au coefficient transversal prescrit par la norme SIA 160 (43 %). Il ne dépasse pas 25 % à la vitesse de 32 km/h.



a) Valeurs du coefficient dynamique pour les poutres maîtresses.



b) Valeurs du coefficient dynamique pour l'armature transversale de la dalle.

FIGURE 5

Valeurs du coefficient dynamique.

4.- Un essai de freinage a montré que les déformations et contraintes mesurées ne dépassent pas les valeurs statiques. Cet essai n'a pas présenté d'effet dynamique particulier.

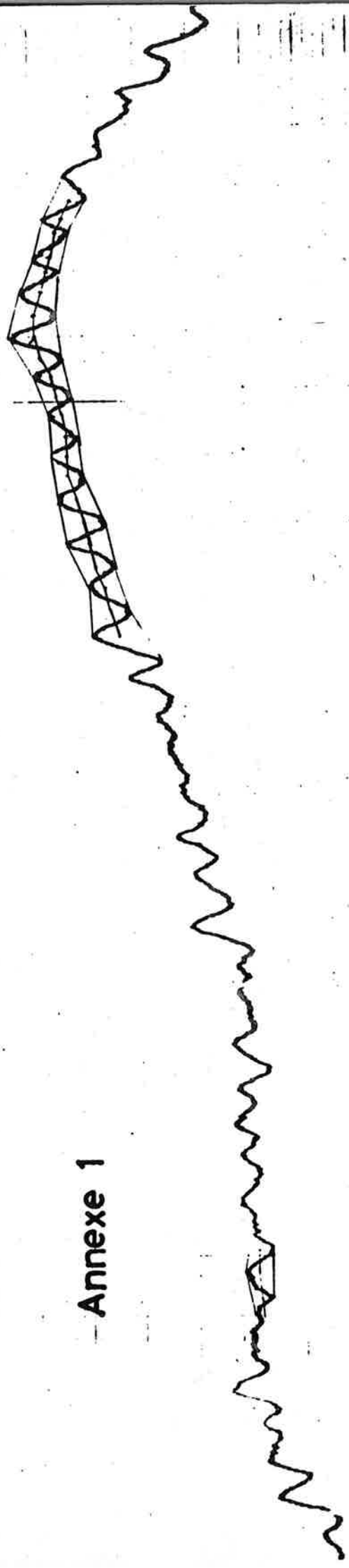
REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. Jean-Paul LEBET, ingénieur, responsable d'une étude globale sur le comportement du viaduc du Chêne effectuée dans le cadre d'un travail de doctorat, MM. Manfred A. HIRT, Dr ès sciences et Markus GOTTIER, ingénieur, responsables d'une étude du comportement dynamique des ponts mixtes, de leurs conseils et participation lors de la préparation et l'exécution des essais.

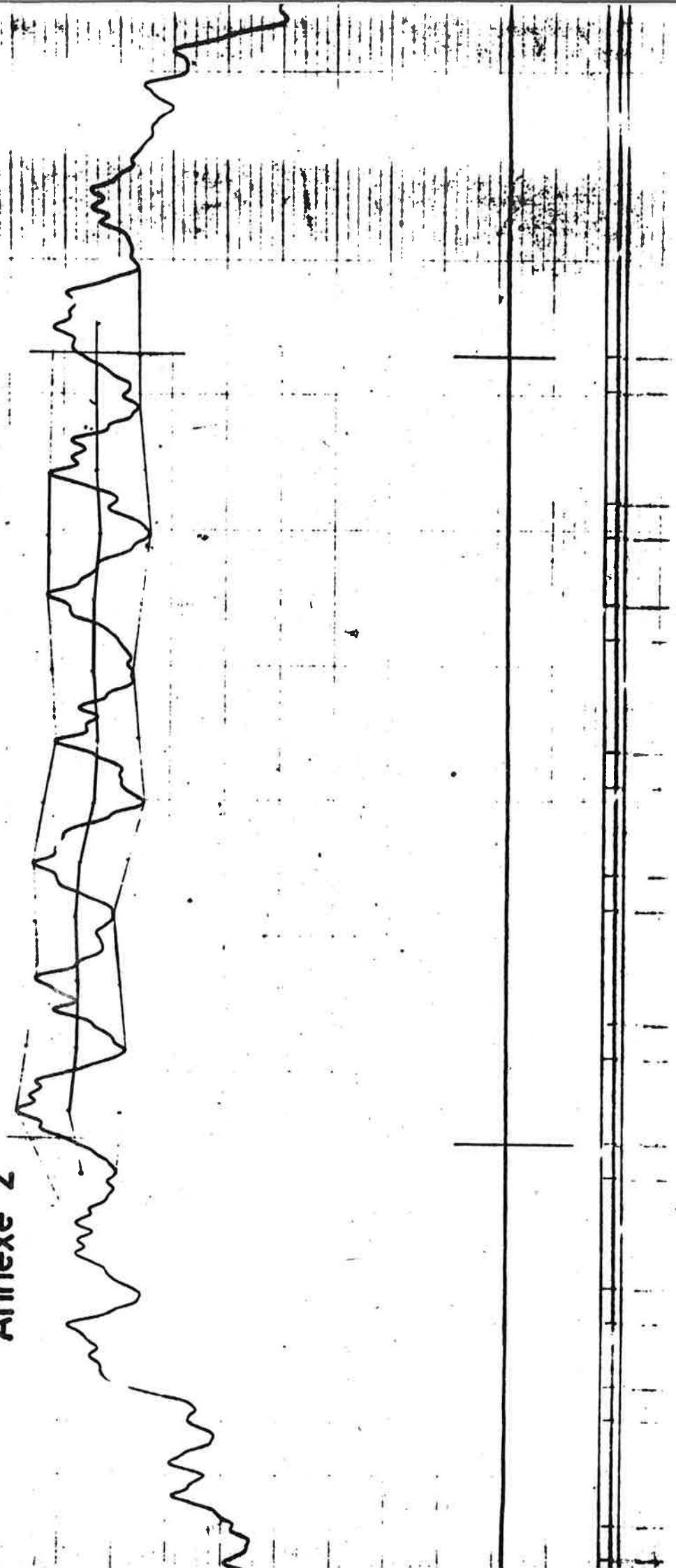
ANNEXES

1. Trace du capteur inductif [61] au passage de la charge I à la vitesse de 18 km/h.
2. Trace de la jauge [11] au passage de la charge I à la vitesse de 20 km/h.
3. Trace du capteur inductif [61] au passage de la charge II à la vitesse de 32 km/h.
4. Trace de la jauge [11] au passage de la charge II à la vitesse de 32 km/h.

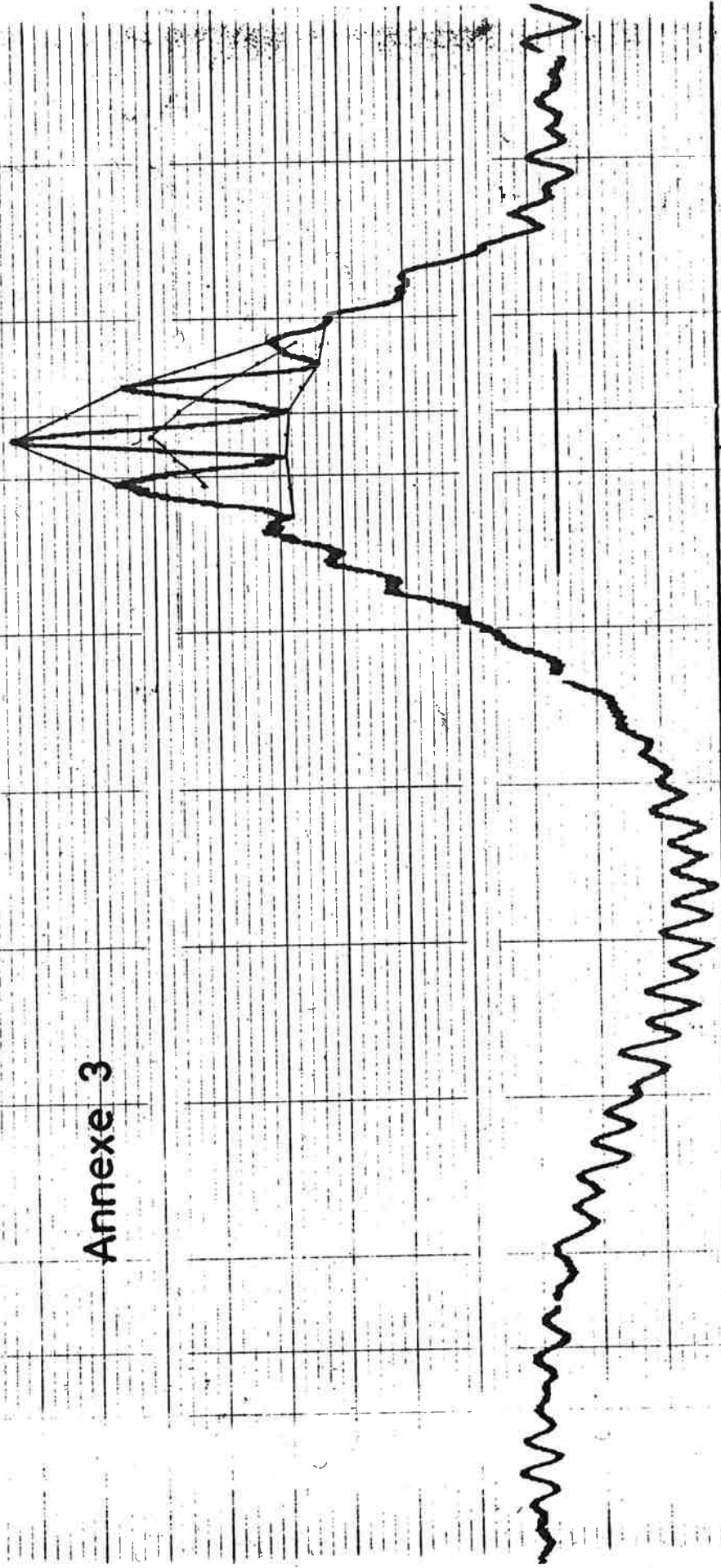
Annexe 1



Annexe 2



Annexe 3



Annexe 4

