

Communication 31

Analyse qualitative des systèmes complexes à l'aide de la méthode de Gomez & Probst

Application à un aménagement hydroélectrique à buts multiples (Partie I) et développement d'un logiciel pour l'assainissement des rivières et torrents alpins (Partie II)

Philippe Heller

- N° 6 1998 N. Beyer Portner
Erosion des bassins versants alpins suisse par ruissellement de surface
- N° 7 1998 G. De Cesare
Alluvionnement des retenues par courants de turbidité
- N° 8 1998 J. Dubois
Comportement hydraulique et modélisation des écoulements de surface
- N° 9 2000 J. Dubois, J.-L. Boillat
Routing System - Modélisation du routage de crues dans des systèmes hydrauliques à surface libre
- N° 10 2002 J. Dubois, M. Pirotton
Génération et transfert des crues extrêmes - Le logiciel Faitou
- N° 11 2002 A. Lavelli, G. De Cesare, J.-L. Boillat
Modélisation des courants de turbidité dans le bassin Nord du Lac de Lugano
- N° 12 2002 P. de Almeida Manso
Stability of linings by concrete elements for surface protection of overflow earthfill dams
- N° 13 2002 E. Bollaert
Transient water pressures in joints and formation of rock scour due to high-velocity jet impact
- N° 14 2003 D. S. Hersberger
Wall roughness effects on flow and scouring in curved channels with gravel bed
- N° 15 2003 Ch. Oehy
Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents
- N° 16 2004 J.-L. Boillat, P. de Souza
Hydraulic System - Modélisation des systèmes hydrauliques à écoulements transitoires en charge
- N° 17 2004 Cycle postgrade en aménagements hydrauliques
Collection des articles des travaux de diplôme postgrade
- N° 18 2004 S. Emami
Erosion protection downstream of diversion tunnels using concrete prisms - Design criteria based on a systematic physical model study
- N° 19 2004 Ph. Chèvre
Influence de la macro-rugosité d'un enrochement sur le charriage et l'érosion en courbe
- N° 20 2004 S. André
High velocity aerated flows on stepped chutes with macro-roughness elements

Préface

La force hydraulique comme énergie renouvelable joue un rôle primordial pour la production d'électricité en Suisse. Le développement futur de l'hydroélectricité par de nouveaux projets dépend avant tout de leur intégration dans le cadre du développement durable. Ces projets doivent répondre à la fois aux exigences socio-économiques, à la protection de l'environnement et à la protection contre les crues. Ceci n'est possible que dans le cadre des projets à buts multiples. La conception et la gestion d'aménagements à buts multiples forment un système complexe dont les nombreux paramètres, fortement interactifs, sont difficilement comparables. Dans le cadre du projet de recherche SYNERGIE, le Dr Philippe Heller a développé une nouvelle méthodologie pour l'analyse systémique de tels projets à buts multiples (Communication du Laboratoire de Constructions Hydrauliques N° 30).

L'analyse des systèmes complexes requiert tout d'abord une méthode globale. Cette première analyse, d'ordre qualitatif, doit être aussi large que possible dans le but d'inclure l'ensemble des acteurs touchés par le projet étudié. Le but recherché par l'analyse qualitative est la compréhension du fonctionnement du système complexe ainsi que la mise en évidence des facteurs-clés. La méthode appliquée passe par une modélisation cognitive du projet et de son environnement. Elle est basée sur un ensemble de facteurs physiques.

La présente communication est une synthèse approfondie de l'analyse qualitative des systèmes complexes selon la méthode de Gomez & Probst. Cette méthode a été appliquée et complétée dans le cadre du projet de recherche CTI Synergie.

La première partie de cette communication illustre la démarche par une analyse qualitative globale d'un aménagement hydroélectrique fluvial à buts multiples potentiellement situé sur le Rhône valaisan. Cette partie comprend une revue bibliographique des principales méthodes qualitatives, un descriptif de la méthode qualitative utilisée (méthode de Gomez et Probst) ainsi que les approfondissements apportés à la méthode. Les résultats sont précédés d'une analyse de sensibilité qui porte sur la méthode elle-même.

Dans la seconde partie de cette communication, une application particulière de la méthode est développée. Elle a pour but de définir les mesures optimales à apporter aux rivières et torrents alpins dans le cadre des concessions de purge et d'assainissement de rivières valaisannes. L'analyse des mesures proposées considère les aspects économiques, écologiques et sécuritaires. Ce travail a été réalisé sous forme de mandat additionnel à la recherche à la demande du Canton du Valais (Service des Forces Hydrauliques). Il a permis notamment le développement du logiciel PACEVs.

Prof. Dr Anton Schleiss

PARTIE I

Analyse qualitative d'un aménagement hydroélectrique fluvial à buts multiples

Table des matières

1. Introduction	13
1.1. Aménagements hydrauliques à buts multiples	13
1.2. Approche systémique	13
1.3. Objectif de la recherche.....	13
1.4. Le Rhône valaisan dans son état actuel	14
1.4.1. Hydraulique	14
1.4.2. Ecologie.....	14
1.4.3. Paysage	14
1.4.4. Energie	14
1.5. Concept d'aménagement à buts multiples proposé sur le Rhône valaisan.....	15
2. Etat des connaissances	17
2.1. Méthodes participatives	17
2.2. Méthodes dites d'experts.....	18
2.3. Simulation : La dynamique des systèmes	19
2.4. Méthodes mixtes.....	21
2.4.1. Logique floue	21
2.4.2. Méthodes multicritères	21
2.5. Méthode de Gomez et Probst.....	23
2.5.1. Général	23
2.5.2. Première étape : définition du contexte.....	23
2.5.3. Deuxième étape : définition du réseau d'influence.....	24
2.5.4. Troisième étape : élaboration de solutions.....	26
2.6. Développements apportés à la méthode de Gomez & Probst	26
3. Analyse qualitative d'un aménagement à buts multiples : Methode de Probst et Gomez	28
3.1. Objectifs pour le projet Synergie	28
3.2. Première étape : acteurs et facteurs.....	28
3.2.1. Enumération des acteurs	28
3.2.2. Orientation et perspective des acteurs.....	29
3.2.3. Définition des facteurs	29
3.3. Seconde étape, réseaux	30
3.3.1. Construction de deux réseaux simplifiés	30
3.3.2. Construction du réseau complet en six réseaux partiels.....	31
3.4. Analyse de sensibilité.....	31

3.4.1. Analyse de sensibilité sur l'intensité des influences	32
3.4.2. Analyse selon le calcul choisi (primaire, secondaire ou tertiaire)	33
3.4.3. Analyse selon le modèle choisi (variation des coefficients)	34
3.4.4. Résultats des analyses de sensibilité	37
3.5. Analyse des résultats	38
3.5.1. Résultats du graphe complet	38
3.5.2. Résultats du graphe « facteurs hydrauliques »	40
3.5.3. Résultats du graphe « facteurs énergétiques »	42
3.5.4. Résultats du graphe « facteurs financiers »	44
3.5.5. Résultats du graphe « facteurs socio-économiques »	45
3.5.6. Résultats du graphe « facteurs nappe phréatique »	46
3.5.7. Résultats du graphe « facteurs écologiques »	48
4. Conclusions	50
4.1. Résultats du graphe « variables de projet et de gestion »	50
4.1.1. Variables de gestion	50
4.1.2. Variables de projet	51
4.2. Résultats du graphe « variables objectif »	51
4.2.1. Indicateurs de type financier	52
4.2.2. Indicateurs d'un autre type	52
5. Perspectives	53
6. Remerciements	54
7. Références bibliographiques	55
8. Annexes	59
8.1. Orientation et perspective des acteurs, liste exhaustive	59
8.2. Résumé des acteurs et de leurs points de vue	63
8.3. Terminologie	67
8.4. Facteurs considérés pour établir le système	68
8.5. Attributs écologiques (tableau fourni par le GECOS EPFL)	84
8.6. Réseau d'influence des objectifs de la troisième correction du Rhône	85
8.7. Réseau d'influence barrage - 3 ^{ème} correction du Rhône	85
8.8. Réseau hydraulique	86
8.9. Réseau énergétique	87
8.10. Réseau financier	88
8.11. Réseau socio-économique	89
8.12. Réseau nappe phréatique	90
8.13. Réseau écologique (en collaboration avec le GECOS, EPFL)	91
8.14. Sensibilité sur la pondération des influences, 59 facteurs hydrauliques	92
8.15. Sensibilité sur la pondération des influences, facteurs déterminants	93
8.16. Sensibilité sur le type de calcul, 59 facteurs hydrauliques	94
8.17. Sensibilité sur le type de calcul, facteurs déterminants	95

8.18. Sensibilité du modèle 3, 59 facteurs hydrauliques.....	96
8.19. Sensibilité du modèle 3, facteurs déterminants.....	97
8.20. Sensibilité du modèle 4, 59 facteurs hydrauliques.....	98
8.21. Sensibilité du modèle 4, facteurs déterminants.....	99
8.22. Sensibilité du modèle 1, 59 facteurs hydrauliques.....	100
8.23. Sensibilité du modèle 1, facteurs déterminants.....	101
8.24. Graphe hydraulique, primaire.....	102
8.25. Graphe hydraulique, secondaire.....	103
8.26. Graphe hydraulique, tertiaire.....	104
8.27. Graphe énergie, primaire.....	105
8.28. Graphe énergie, secondaire.....	106
8.29. Graphe énergie, tertiaire.....	107
8.30. Graphe financier, primaire.....	108
8.31. Graphe financier, secondaire.....	109
8.32. Graphe financier, tertiaire.....	110
8.33. Graphe socio-économique, primaire.....	111
8.34. Graphe socio-économique, secondaire.....	112
8.35. Graphe socio-économique, tertiaire.....	113
8.36. Graphe nappe phréatique, primaire.....	114
8.37. Graphe nappe phréatique, secondaire.....	115
8.38. Graphe nappe phréatique, tertiaire.....	116
8.39. Graphe écologique, primaire.....	117
8.40. Graphe écologique, secondaire.....	118
8.41. Graphe écologique, tertiaire.....	119
8.42. Graphe total, primaire.....	120
8.43. Graphe total, secondaire.....	121
8.44. Graphe total, tertiaire.....	122
8.45. Graphe variables de projet et gestion, primaire.....	123
8.46. Graphe variables de projet et gestion, secondaire.....	124
8.47. Graphe variables de projet et gestion, tertiaire.....	125
8.48. Graphe variables objectif, primaire.....	126
8.49. Graphe variables objectif, secondaire.....	127
8.50. Graphe variables objectif, tertiaire.....	128

Liste des figures

Figure 1 : Schéma de l'aménagement ; (a) in situ (Bollaert & al., 2000) ; (b) conceptuel.....	16
Figure 2 : Les cinq étapes de la méthode Probst et Gomez.....	23
Figure 3 : Relations démographiques, illustration du signe de la relation entre les facteurs.....	25

Figure 4 : Calcul des influences active et réactive.....	25
Figure 5 : Matrice d'influence	25
Figure 6 : Définition des zones du graphe d'influence	26
Figure 7 : Représentation schématique des différents facteurs.....	29
Figure 8 : Variation des facteurs entre deux calculs d'influence (lettres latines et grecques)	32
Figure 9 : Modèle quali-quantitatif	53

Liste des graphes

Graphe 1 : Réseau d'influence des objectifs de la 3 ^{ième} correction du Rhône.....	30
Graphe 2 : Réseau d'influence barrage – 3 ^{ième} correction du Rhône	30
Graphe 3 : Résultats tertiaires du graphe complet.....	39
Graphe 4 : Résultats tertiaires du graphe hydraulique	41
Graphe 5 : Résultats tertiaires du graphe énergétique.....	43
Graphe 6 : Résultats tertiaires du graphe financier	44
Graphe 7 : Résultats tertiaires du graphe socio-économique	45
Graphe 8 : Résultats tertiaires du graphe nappe phréatique.....	47
Graphe 9 : Résultats tertiaires du graphe écologique.....	49
Graphe 10 : Résultats tertiaires partiels du graphe complet, variables de projet et de gestion .	50
Graphe 11 : Résultats tertiaires partiels du graphe complet, variables objectifs.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1 : Méthode d'identification des acteurs selon Luyet (2005)	17
Tableau 2 : Coefficient d'agrégation des influences	27
Tableau 3 : Réseaux partiels	31
Tableau 4 : Modèles de calcul utilisés pour l'analyse de sensibilité.....	31
Tableau 5 : Sensibilité sur l'intensité des relations (modèle 1 et 2)	32
Tableau 6 : Sensibilité sur l'intensité des relations des facteurs déterminants	33
Tableau 7 : Facteurs dont l'intensité des relations change la zone (modèle 1 et 2).....	33
Tableau 8 : Comparaison des résultats indirects(1 ^{ier} et 2 nd ordres) aux résultats directs	34
Tableau 9 : Comparaison, pour les facteurs déterminants, des résultats indirects(1 ^{ier} et 2 nd ordres) aux résultats directs.....	34
Tableau 10 : Choix des coefficients multiplicatifs.....	34
Tableau 11 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 3	34
Tableau 12 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 3, facteurs déterminants.....	35
Tableau 13 : Facteurs dont le calcul secondaire et tertiaire du modèle 3 change la zone	35
Tableau 14 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 4	36
Tableau 15 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 4, facteurs déterminants.....	36
Tableau 16 : Facteurs dont le calcul secondaire et tertiaire du modèle 3 change la zone	36
Tableau 17 : Ccalcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 1.....	36

Tableau 18 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 1, facteurs déterminants.....	37
Tableau 19 : Facteurs dont le calcul secondaire et tertiaire du modèle 3 change la zone	37
Tableau 20 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 1, ensemble des facteurs.....	38
Tableau 21 : Facteurs dont le calcul secondaire et tertiaire du modèle 1 change la zone pour l'ensemble des facteurs	38

PARTIE II

Logiciel PACEVs, outil d'analyse qualitative pour l'assainissement des rivières et torrents alpins

Table des matières

1. Contexte de l'étude.....	131
1.1. Mandat du Conseil d'Etat valaisan.....	131
1.2. Méthodologie appliquée dans le rapport provisoire de la CEVAP.....	131
1.3. Support méthodologique additionnel	131
1.4. Objectif de l'étude.....	131
2. Analyse qualitative : Méthode de Gomez et Probst.....	132
2.1. Général.....	132
2.2. Première étape : définition du contexte.....	132
2.3. Deuxième étape : définition du réseau d'influence	133
2.4. Troisième étape : élaboration de solutions.....	135
2.5. Amélioration proposée	135
2.5.1. Distinction des effets.....	135
2.5.2. Rayon d'action	136
3. Développement des réseaux.....	137
3.1. Réseau sécuritaire.....	137
3.2. Réseau socio-économique	138
3.3. Réseau environnemental	138
4. Analyse des réseaux.....	140
4.1. Analyse sécuritaire	140
4.2. Analyse socio-économique.....	141
4.3. Analyse environnementale	143
5. Explicatif de l'outil Excel – Le logiciel PACEVs	145
5.1. Feuille Explicatif	146
5.2. Feuille Données.....	147
5.3. Feuille Graphe.....	148
5.4. Feuille Mesures 1 (activité).....	149
5.5. Feuille Mesures 2 (impact)	150
5.6. Feuille Réactives pondérées	150

5.7. Feuille 100% pondérées et suivantes	150
6. Application à la Dranse de Bagnes.....	152
6.1. Les mesures	152
6.2. Les influences des mesures	152
6.3. Résultats agrégés des mesures (activité).....	152
6.4. Résultats désagrégés des mesures (impact).....	155
6.4.1. Résultat désagrégé pondéré des mesures (Figure 16)	155
6.4.2. Résultat désagrégé pondéré des mesures selon les facteurs réactifs (Figure 17).....	156
6.5. Conclusion de l'application à la Dranse de Bagnes.....	156
7. Conclusions et perspectives	158
8. Bibliographie.....	160
9. Logiciel PACEVs	161
10. Annexes	162
10.1. Réseau sécuritaire : facteur 101.....	162
10.2. Réseau sécuritaire : facteur 102.....	163
10.3. Réseau sécuritaire : facteur 103.....	164
10.4. Réseau sécuritaire : facteur 104.....	165
10.5. Réseau sécuritaire : facteur 105.....	166
10.6. Réseau sécuritaire : facteur 106.....	167
10.7. Réseau sécuritaire : facteur 107.....	168
10.8. Réseau sécuritaire : facteur 108.....	169
10.9. Réseau sécuritaire : facteur 109.....	170
10.10. Réseau sécuritaire : facteur 110.....	171
10.11. Réseau sécuritaire : facteur 111.....	172
10.12. Réseau sécuritaire : facteur 112.....	173
10.13. Réseau sécuritaire : facteur 113.....	174
10.14. Réseau sécuritaire : facteur 114.....	175
10.15. Réseau sécuritaire : facteur 115.....	176
10.16. Réseau socio-économique : facteur 201	177
10.17. Réseau socio-économique : facteur 202	178
10.18. Réseau socio-économique : facteur 203	179
10.19. Réseau socio-économique : facteur 204	180
10.20. Réseau socio-économique : facteur 205	181
10.21. Réseau socio-économique : facteur 206	182
10.22. Réseau socio-économique : facteur 207	183

10.23. Réseau socio-économique : facteur 208	184
10.24. Réseau socio-économique : facteur 209	185
10.25. Réseau socio-économique : facteur 210	186
10.26. Réseau socio-économique : facteur 211	187
10.27. Réseau socio-économique : facteur 212	188
10.28. Réseau socio-économique : facteur 213	189
10.29. Réseau socio-économique : facteur 214	190
10.30. Réseau socio-économique : facteur 215	191
10.31. Réseau socio-économique : facteur 216	192
10.32. Réseau écologique : six module de la BD - Eaux.....	193
10.33. Graphe d'influence des facteurs sécuritaires.....	194
10.34. Graphe d'influence des facteurs socio-économiques	195
10.35. Graphe d'influence des facteurs environnementaux	196

Liste des figures

Figure 1 : Les cinq étapes de la méthode de Probst et Gomez	132
Figure 2 : Relations démographiques, illustration du signe de la relation entre les facteurs... 134	134
Figure 3 : Calcul des influences active et réactive.....	134
Figure 4 : Matrice d'influence	134
Figure 5 : Définition des zones du graphe d'influence	135
Figure 6 : Réseau environnemental, articulation des modules	139
Figure 7 : Graphe d'influence des facteurs sécuritaires issu d'un calcul secondaire	140
Figure 8 : Graphe d'influence des facteurs socio-économiques issu d'un calcul secondaire ... 142	142
Figure 9 : Graphe d'influence des facteurs écologiques issu d'un calcul secondaire	143
Figure 10 : Illustration de la feuille Explicatif.....	147
Figure 11 : Illustration de la feuille Données	148
Figure 12 : Illustration de la feuille Graphe	149
Figure 13 : Illustration de la feuille Mesures 1	150
Figure 14 : Résultat secondaire agrégé des mesures par ordre croissant d'importance..... 154	154
Figure 15 : Résultat tertiaire agrégé des mesures par ordre croissant d'importance..... 154	154
Figure 16 : Résultat désagrégé pondéré des mesures (Mesures 2)	155
Figure 17 : Résultat désagrégé pondéré des mesures selon les facteurs les plus réactifs..... 156	156

Liste des tableaux

Tableau 1 : Numéro, nom, type, rayon d'action et définition des mesures	153
---	-----

PARTIE I

Analyse qualitative d'un aménagement hydroélectrique fluvial à buts multiples sur le Rhône valaisan

1. INTRODUCTION

1.1. Aménagements hydrauliques à buts multiples

Parallèlement à la sensibilité croissante aux problèmes écologiques, les changements climatiques montrent des **situations météorologiques extrêmes aggravées**. Ces changements nécessitent, pour des raisons sécuritaires, d'importants travaux sur les cours d'eaux. D'autre part, l'espace laissé aux réseaux hydrologiques a fortement diminué. Les populations se sont installées à proximité des rivières ce qui rend leurs **débordements** d'autant plus **inacceptables**.

Dans les pays développés l'implantation d'aménagements hydroélectriques est devenue difficile. Les milieux écologiques, sociaux ou politiques dénoncent souvent des projets très intéressants, mais analysés d'un point de vue technique et économique seulement. Pour répondre à cette problématique, de nombreuses méthodes participatives ont été développées. Elles incluent, dès les premières phases du projet, l'ensemble des partenaires potentiels. Ces méthodes ont pour but d'aboutir à un compromis raisonnable. Pour ce faire, elles favorisent des **projets à buts multiples**.

1.2. Approche systémique

Un projet à buts multiples consitue un **système complexe**. Son étude nécessite de considérer les perspectives d'acteurs aussi divers que agriculteurs, riverains et associations écologiques. Les paramètres du projet, tel que hydrogramme, nappe phréatique ou développement écologique, avec leurs interactions réciproques doivent ensuite être modélisés. Ces paramètres consituent les liens physiques entre les acteurs et le système lui-même.

La littérature mentionne plusieurs buts possibles liés à des aménagements fluviaux (Flug et al., 2000, Cai & al., 2004, Netto & al., 1996). Ce sont : l'**hydroélectricité**, la **protection contre les crues**, l'**irrigation** et la **navigation** pour les aspects hydrauliques, l'**écologie aquatique**, la réduction du **marnage** artificiel et la création de **biotopes** pour les aspects écologiques, la **pêche**, la création de **zones de loisirs** et l'**intégration paysagère** pour les aspects sociaux. La conception de tels ouvrages nécessite une approche systémique.

1.3. Objectif de la recherche

Un aménagement à buts multiples semble une solution intéressante pour résoudre certains problèmes liés au développement des activités humaines sur les rivières et en particulier ceux du Rhône en Valais. La vérification de cette hypothèse passe par une analyse approfondie. Malgré le nombre important d'aménagements existants, il n'existe pas d'**outil** capable de considérer, **dès la conception**, les aspects techniques, sociaux, économiques et environnementaux.

Cette recherche entend donc développer un outil de conception pour les aménagements hydroélectriques fluviaux à buts multiples. Elle vise à en **faciliter l'acceptation** par le développement de **synergies** entre les différents buts.

Afin de limiter le champ d'étude, ce travail se concentre sur les **aménagements fluviaux** uniquement. L'illustration de cette problématique est faite sur le **Rhône valaisan**. Une étude préalable de faisabilité a déjà été menée pour un tel aménagement (Bollaert & al., 2000).

1.4. Le Rhône valaisan dans son état actuel

1.4.1. Aspects hydrauliques

Le Rhône présente deux problèmes liés spécifiquement au débit.

Comme la **crue** d'automne 2000 l'a rappelé, le Rhône a un déficit de capacité. Deux types de mesures sont possibles. Les premières cherchent à augmenter la capacité du fleuve et se basent sur l'élargissement du lit. Les secondes cherchent à écrêter la crue et se basent sur le concept de rétention.

Le second problème lié au débit du Rhône est le **marnage artificiel** (ou éclusée). Pour répondre à la demande d'énergie de pointe et ainsi maximiser leurs bénéfices, les centrales hydroélectriques génèrent de grandes variations de débit. En conséquence, le débit du Rhône et son niveau varie quotidiennement sur plus de 1 m (équivalent à 100 m³/s en hiver). Le seul moyen de laminier ce marnage, sans modifier l'exploitation des centrales, est de créer une retenue aval. Ce bassin doit soutenir le débit d'étiage et stocker les pointes de débit.

1.4.2. Aspects écologiques

Le Rhône présente un déficit important au niveau écologique. Suite à sa seconde correction (milieu du XX^{ème} siècle), celui-ci a été presque **totalemment endigué** afin de majorer la capacité hydraulique. Pour des considérations hydrauliques et économiques, les digues du lit mineur sont rectilignes avec une pente constante. Le profil transversal des vitesses d'écoulement varie ainsi très peu. Le développement des différentes espèces nécessaires à la chaîne alimentaire s'en trouve perturbé. Le potentiel de vie aquatique est dès lors fortement diminué. Par ailleurs, la végétation riveraine du lit majeur n'existe pas. Elle est régulièrement élaguée pour des raisons de sécurité.

A cet effet négatif, le **marnage** ajoute une composante aggravante. La ligne d'eau varie trop brusquement pour permettre un développement harmonieux de la vie à l'écotone du fleuve.

Les **températures basses** du Rhône nuisent également à la vie aquatique ainsi qu'à la végétation riveraine, notamment en été (Meile & al., 2005). Cet abaissement thermique s'explique par le stockage de l'eau en haute altitude et par l'absence du réchauffement de l'eau dans le réseau hydrographique (lorsqu'elle transite dans les conduites forcées). La transformation de l'énergie potentielle en énergie électrique n'est qu'une explication marginale.

1.4.3. Aspects paysagers

Pour les mêmes raisons, le **paysage** riverain du Rhône est fortement **appauvri**. La géométrie **rectiligne** renforce l'image d'un cours d'eau artificiel. L'absence de végétation naturelle, conjointement aux berges pentues, est certainement un critère prépondérant sur l'absence d'activité sociale autour du fleuve.

1.4.4. Aspects énergétiques

La consommation d'électricité ne cesse d'augmenter malgré la mise en place de programmes modérateurs. La construction de nouvelles centrales nucléaires est restée jusqu'à aujourd'hui difficilement réalisable pour des raisons politiques. La production d'énergie électrique par des centrales thermiques n'est pas souhaitable. Le **potentiel hydroélectrique du Rhône** demeure intéressant. Il s'agit d'une énergie renouvelable facilement exploitable.

1.5. Concept d'aménagement à buts multiples proposé sur le Rhône valaisan

Pour incarner les différents concepts élaborés dans ce projet de recherche, il est nécessaire de fixer certains ordres de grandeur. Les bornes ainsi fixées réduisent l'espace des solutions (Irniger, 2000, Bollaert & al., 2000).

L'élévation du plan d'eau est nécessaire pour créer un volume de rétention variable. La construction d'un ouvrage de contrôle du plan d'eau est la solution qui minimise la surface nécessaire. Le laminage du **marnage artificiel journalier nécessite un volume d'environ 0.7 moi de m³**. Ce volume correspond, pour une surface de retenue d'environ 1 km², à une variation du niveau d'eau de 0.7 mètre. **L'écrêtement de 200 m³/s d'une crue extrême nécessite un volume de 7 mio de m³** (référence crue septembre 1993 majorée de 35%). Ce volume est obtenu par un abaissement préventif de la retenue de 1 mètre, suivi d'une élévation de 2 mètres. Un volume additionnel d'épanchement de 5 mio de m³ est obtenu par une surface de 1 km² (latéral à la retenue) disposant d'une tranche inondable de 5 mètres.

Le Rhône charrie beaucoup de sédiments fins. Une accumulation directe sur le cours d'eau pose des problèmes de sédimentation. Le bassin de rétention est donc parallèle à la rivière. Une connexion avec le Rhône, à l'amont du bassin, permet de générer un courant minimum dans ce dernier. L'essentiel des variations de débit est effectué par une connexion aval.

L'élévation du plan d'eau crée une courbe de remous sur le cours d'eau amont. Avec une hauteur de **7 m** et une pente du lit de 0.1 %, la **courbe de remous** a une longueur maximale de **7 km**. Le tronçon de rivière amont influencé prend le nom de « rivière latérale ». Le tronçon de rivière amont non influencée prend le nom de « rivière amont ».

La différence de niveau des plans d'eau de part et d'autre du barrage permet une production d'énergie. Un **débit équipé de 200 m³/s** et une chute de 5-6 m génère une puissance installée de **10 MW** et produit environ **40 GWh/an**. Cette production représente un impôt annuel direct (impôt et redevance) d'un demi million de francs pour le canton du Valais.

L'accroissement de la charge hydraulique sur le fond de la retenue modifie les interactions avec la **nappe phréatique**. Globalement, la quantité d'eau infiltrée augmente et provoque une élévation du niveau de la nappe. Pour contenir cette élévation, des **contres-canaux** (canaux de drainage) bordent les digues latérales de la retenue et de la rivière latérale. L'eau des canaux est filtrée par les digues et s'écoule avec une vitesse faible. En conséquence, elle peut se réchauffer et créer un milieu écologique de type palustre à forte valeur ajoutée. L'infiltration est également réduite dans le temps par le colmatage très probable du fond de la retenue. Le fond de la retenue peut également être étanché dès le début par une couche constructive adéquate.

Les conséquences issues de l'interruption du continuum écologique sont limitées par une véritable **rivière de contournement du barrage**. Son **débit** est estimé à **5 m³/s**.

Parallèlement aux aspects hydrauliques, les abords du projet sont conçus pour favoriser un développement social. Il est prévu d'intégrer une **zone de loisirs** et de sports aux abords du plan d'eau. Une partie de la retenue et de ses rives sont également réservées pour le développement d'une **zone écologique**. A cet effet, la pente de la rive ainsi que sa sinuosité sont particulièrement étudiées.

Ainsi conçu, un aménagement hydraulique fluvial à buts multiples est représenté à la *Figure 1*.

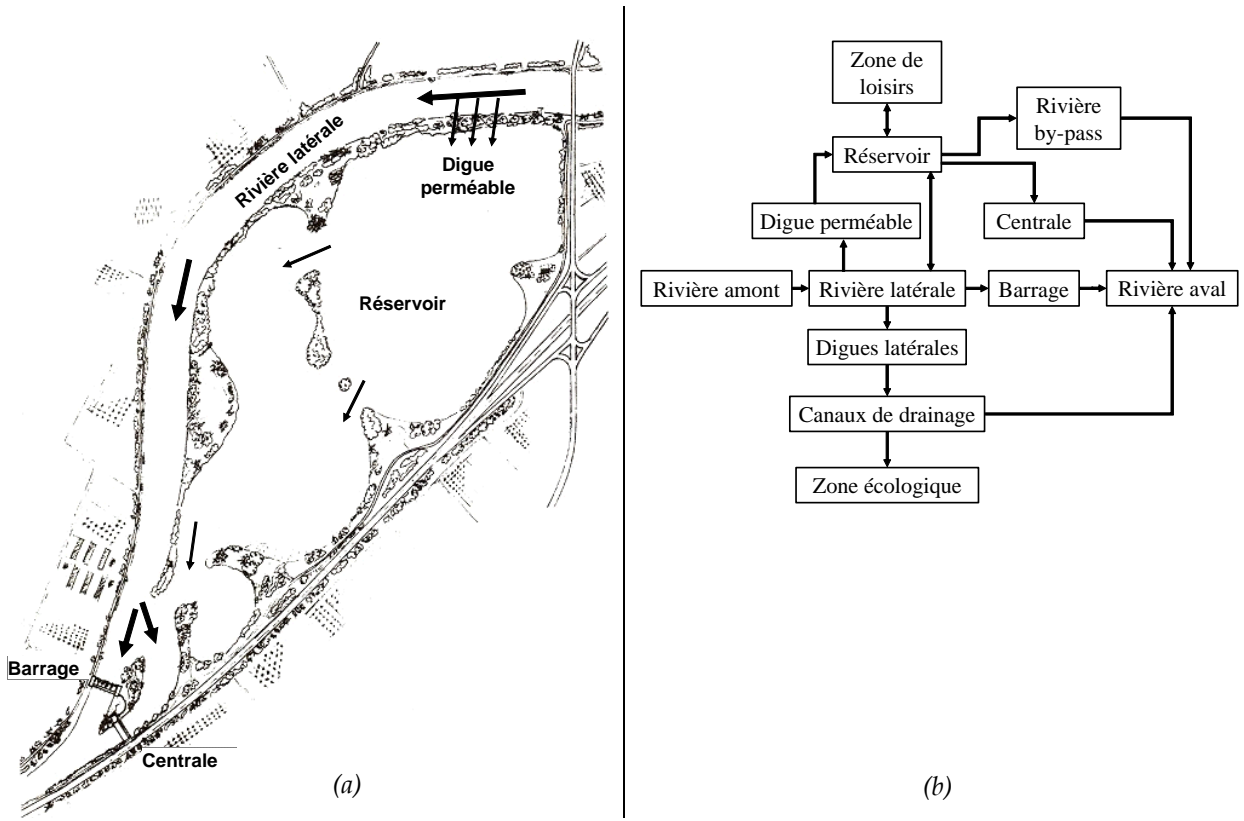


Figure 1 : Schéma de l'aménagement ; (a) *in situ* (Bollaert & al., 2000) ; (b) conceptuel

2. ETAT DES CONNAISSANCES

2.1. Méthodes participatives

Développée au **début du XX^{ème} siècle** aux USA pour les premiers projets à buts multiples, les méthodes participatives ont une base légale avec le texte de l'**agenda 21** défini lors de la conférence de Rio (ONU, 1992). La législation suisse considère déjà en partie ces nouvelles notions dans quelques lois (LAT, Leaux).

Les méthodes participatives en hydraulique sont définies comme des « assemblées de partenaires qui se réunissent périodiquement pour discuter ou négocier la gestion des rivières, des fleuves ou des bassins versants » (Leach & al., 2001). Ces méthodes sont composées de trois éléments : les **acteurs**, le **projet** et le **processus** qui lie les acteurs au projet (Luyet, 2005).

La réussite de la méthode participative passe par une **liste exhaustive des acteurs**. Mason et Mitroff (1981) ont défini une méthode basée sur sept critères pour les choisir. Banville & al. (1998) assure que cette méthode est la seule qui permette l'exhaustivité. Luyet (2005) propose le rajout d'un huitième critère pour atteindre plus facilement cette exhaustivité. Les huit critères proposés sont donnés au *Tableau 1*. Les acteurs obtenus par plusieurs critères marquent leur importance.

Critères	Caractéristiques
Impératif	Décideurs élus ou choisis
Position	Acteurs concernés par leur position
Réputation	Acteurs désignés par leur réputation
Participation sociale	Acteurs ayant un lien direct avec le projet
Leader d'opinion	Acteurs, hors d'une structure formelle, représentatifs d'une autorité morale
Démographique	Acteurs représentés par leur âge, sexe...
Organisation	Acteurs liés à la structure de gestion du projet
Conséquence	Acteurs subissant les conséquences du projet

Tableau 1 : Méthode d'identification des acteurs selon Luyet (2005)

Selon les méthodes, la population est considérée ou non comme un acteur. Dans cette méthode-ci, elle est différenciée et doit être abordée différemment.

Les méthodes participatives distinguent fréquemment **quatre niveaux de participations** (Kapoor, 2001). L'**information** est le niveau le plus bas. Elle cherche seulement à tenir tous les acteurs dans un niveau identique de connaissance du projet. La **consultation** permet aux acteurs concernés de donner leur avis, sans engagement pour les décideurs. La **concertation** permet au décideur de demander l'avis à certains acteurs. La concertation diffère de la consultation par sa cause (décideur qui demande un avis ou acteur qui le donne spontanément). La **codécision** est le niveau le plus élevé. C'est le seul qui est contraignant pour les décideurs.

Plusieurs méthodes proposent la **répartition des acteurs** selon les niveaux de participation (Banville & al., 1998, Maystre & al., 1994, Knoepfel & al., 2001). Celle de Daniels & al. (1996) offre l'avantage d'être simple d'emploi. Par une série de questions relatives aux acteurs vis-à-vis du projet, elle fixe le niveau de participation. La méthode se représente facilement par un réseau arborescent.

Les **facteurs de réussite** du processus, souvent relevés par la littérature, sont :

- des règles clairement fixées **dès le début** (Griffin, 1999)
- l'assurance des services d'un **modérateur neutre** pour les négociations (Leach & al., 2001, Duram & Brown., 1999)
- la préférences des **contacts directs** (Griffin, 1999, Duram & Brown, 1999)
- une participation à **tous les niveaux** de la procédure (Luyet, 2005)
- la prise en compte des **aspects financiers** (Griffin, 1999).

Buchecker & al. (2003) relèvent encore la difficulté d'intégrer les populations locales dans les processus participatifs. Ils proposent, pour une meilleure participation, de nouveaux outils de communication qui permettent d'échanger des idées sans risquer la mise à l'écart par la communauté.

2.2. Méthodes dites d'experts

Afin de pallier au manque d'objectivité possible des méthodes participatives, les méthodes dites d'experts ont été développées. Elles sont basées sur les mêmes principes que les méthodes participatives avec toutefois une population restreinte à des spécialistes. Ces méthodes admettent comme principe de base que *la probabilité de se tromper est plus faible lorsque le résultat émane de personnes expertes plutôt que de personnes non expertes* (Gordon, 1994).

Les décisions basées sur des personnes expertes sont originellement le résultat d'une discussion menée de manière informelle. Le but est de mettre en commun la connaissance de chacun des experts pour aboutir à un consensus sur le choix de la solution au problème posé (Gordon, 1994). Toutefois cette mise en commun peut induire des biais. La force de conviction de l'un des experts peut conduire à négliger les arguments d'un autre moins influent. Le mode de communication au sein du groupe peut également réduire l'efficacité de la méthode (Rowe & Wright, 1996). Ainsi toutes les interactions directes informelles au sein d'un groupe peuvent réduire la fiabilité du résultat obtenu. Le besoin d'une méthode formelle d'échange est rapidement apparu nécessaire.

Pour répondre à cette faiblesse, de nombreuses méthodes ont été développées parmi lesquelles les groupes structurés (Steiner, 1972), la technique du groupe nominal (Delbecq & al., 1975) ainsi que la méthode Delphi (Gordon, 1994). Des méthodes combinées ont également été développées (Duggan & Thachenkary, 1994).

Ces méthodes sont toutes basées sur une structure de communication anonyme ainsi qu'une procédure itérative. Les étapes initiales permettent de générer des idées, des points de vue ou de mettre en lumière des aspects du problème considéré. Elles sont effectuées de manière individuelle (ou par groupes séparés). Les étapes finales mettent en commun la matière générée et conduisent à un consensus partagé. Un **groupe coordinateur** centralise tous les passages d'information entre les différents membres de l'étude et constitue ainsi un contrôle rétroactif.

Les méthodes d'experts ont été appliquées à de nombreux problèmes et très largement discutées. La seule méthode Delphi, sur la période de 1995 à 2004, a vu plus de 900 articles publiés dans la base de données *Science Direct*. Parmi eux, en relation avec les problèmes complexes de gestion hydraulique, l'article de Taylor & Ryder (2003) constitue un exemple récent.

Ces méthodes ne sont toutefois pas exemptes de faiblesses. Elles admettent notamment qu'un consensus issu d'experts est un chemin pour approcher la vérité (Landeta, 2006). De plus, il est difficile de tester la précision et la fiabilité des résultats obtenus (Martino, 1993). Enfin, le choix

des experts qui participent à l'étude, les manipulations du **groupe coordinateur** ainsi que le couvert de l'anonymat sont autant de possibilités de biais des résultats.

2.3. Simulation : La dynamique des systèmes

La compétitivité accrue et la réduction des moyens nécessitent l'excellence. Les projets d'envergure doivent ainsi proposer des **solutions innovantes**. L'innovation peut être définie comme « la génération, le développement et l'implémentation d'idées qui sont nouvelles et qui offrent des avantages pratiques ou commerciaux » (Park & al., 2004). Face à cette complexité nouvelle, la **dynamique des systèmes** s'est développée depuis les années 1950. Elle a l'avantage de « fournir une solution analytique pour des systèmes complexes et non-linéaires » (Park & al., 2004). Elle se définit comme une « méthode d'analyse des **systèmes complexes** réunissant une **analyse causale**, suivie d'une **transcription dynamique**, puis d'une **modélisation**, enfin d'une **simulation** sur ordinateur » (EuroDicauTom, 1982). La complexité est définie comme une forte interaction dynamique de nombreux facteurs au sein d'un même modèle (Gomez & Probst, 1995). La dynamique des systèmes admet comme paradigme une vision holistique et interconnectée (Maani & Maharaj, 2004). Ce concept se traduit pratiquement par « penser globalement pour agir localement » (Serman, 2002).

A ses débuts, la dynamique des systèmes s'est intéressée aux aspects quantitatifs. Dès les années 1980, par opposition au développement informatique des modèles de simulation, elle s'est orientée vers les modèles qualitatifs (Coyle, 2000). Ceux-ci ont l'avantage d'englober des notions beaucoup plus larges. D'autre part, ils évitent de compromettre la solution lorsque les incertitudes numériques des variables augmentent. Ils s'affranchissent ainsi de la distinction entre variables dures, quantifiables avec certitude, et variables douces, peu quantifiables ou incertaines (Coyle, 2000). Les modèles qui renoncent à la modélisation mathématique ont pris le nom de « pensée systémique » (Luna-Reyes & Andersen, 2003).

La pensée systémique requiert des **opérations mentales simultanées à sept niveaux différents** (Richmond, 1997). Lors de la résolution d'un problème, le concepteur doit penser dynamiquement, causalement, globalement, opérationnellement, rétrospectivement, quantitativement et scientifiquement. La **dynamique** prend en compte les aspects temporels. La **cause** permet de déterminer les explications possibles des comportements observés. La **vue globale** oblige la considération de tous les aspects importants du problème. L'**opérationnel** identifie les causes et détermine l'impact d'un facteur sur un autre. La **rétrospective** identifie les boucles de rétroaction. Ordonnées différemment (vues globale, rétrospective, opérationnelle, causale et dynamique), ces opérations représentent les aspects les plus compréhensifs d'un problème (vue globale) vers les aspects les plus détaillés (pensée dynamique) (Maani & Maharaj, 2004). Par leur degré d'abstraction, les aspects compréhensifs incluent implicitement les aspects détaillés.

La modélisation par la dynamique des systèmes se divise en **quatre étapes** principales (Luna-Reyes & Andersen, 2003). La **conceptualisation** comprend une description verbale du système, de ses limites et de ses effets rétroactifs. La **formulation** du modèle est une traduction du modèle conceptuel. Elle peut contenir des éléments qualitatifs exprimés dans une échelle de valeur arbitraire. La phase de **test** permet de vérifier la solidité du modèle. Les tests proposés sont l'adéquation entre le modèle et les connaissances du système réel ainsi que l'avis de personnes autorisées. Les tests doivent porter sur le comportement du modèle et sur son évaluation. Finalement l'**implémentation** du modèle doit permettre le transfert des connaissances aux utilisateurs. Ces quatre étapes sont nécessairement reliées dans un **processus itératif**.

Les modèles qualitatifs sont souvent représentés à l'aide de **diagramme d'influence**. Les flèches indiquent le sens causal de la relation. Un signe positif ou négatif indique si l'accroissement de la cause implique un accroissement de l'influence ou une réduction. Certains auteurs considèrent également la notion temporelle (Park & al., 2004). La

représentation en diagramme présente **cinq avantages**. Elle résume un problème très complexe sur une surface réduite de papier. Elle forme un rappel utile pour les discussions. Elle identifie les boucles de rétroaction. Elle permet d'inclure un environnement très large. Enfin elle est une base pour un modèle quantitatif (Coyle, 2000).

La **collecte des données qualitatives** compte sept techniques (Luna-Reyes & Andersen, 2003). Les **interviews**, personnelles ou par téléphone, permettent une interaction entre le chercheur et les acteurs. Elles peuvent être dirigées, semi-dirigées ou libres. Les interviews sont normalement anonymes. Les **discussions bilatérales** sont des interviews enregistrées qui font l'objet d'un échange de résumé. Ce dernier assure la bonne compréhension de l'information. Elles sont rarement anonymes. Les **discussions de groupe** comprennent huit à douze personnes. Elles sont ensuite synthétisées sur une base de données. Les **groupes Delphi** sont une extension des discussions qui divise le groupe en deux parties. La première moitié génère une liste de facteurs à considérer et la seconde moitié fixe les priorités parmi ceux-ci. L'**observation** consiste à collecter des informations à l'insu des personnes observées. Cette technique non intrusive pose des problèmes de ressource (durée d'observation) et d'éthique. L'**observation des participants** évite le problème éthique en découvrant l'observateur. Toutefois les résultats peuvent être sensiblement influencés. L'**approche expérimentale** offre de nombreuses formes. L'une d'elle consiste à demander un certain travail à des acteurs pour mesurer ensuite les modifications induites dans leur comportement ou leurs prises de décision.

Parallèlement à la collecte, l'**analyse des données qualitatives** comprend cinq techniques (Luna-Reyes & Andersen, 2003). L'**herméneutique**, dérivée de l'exégèse biblique, définit des règles de lecture pour différents degrés de compréhension. Elle analyse les textes récoltés au travers de cette grille d'interprétation. L'**analyse du discours** considère les extraits de texte qui se focalisent sur le problème traité. Elle cherche à en extraire la compréhension et le fonctionnement du système exprimés par les acteurs. La **théorie de base** consiste à identifier les thèmes ou les concepts exprimés dans le texte. La difficulté réside dans le lien entre les concepts identifiés et la globalisation du problème traité. Les **modèles de décision ethnographiques** cherchent à comprendre les motivations des décisions prises dans les circonstances données. Les résultats peuvent s'exprimer sous forme d'arbre de décision. Finalement l'**analyse de contenu** est une technique puissante pour identifier les modes de références et l'estimation des paramètres. Cette méthode déductive requiert un code d'analyse à appliquer. Les résultats se résument dans une matrice.

Malgré des techniques bien établies, la dynamique des systèmes contient des limites pratiques et théoriques. Les **limites pratiques** sont essentiellement liées à la mise en œuvre d'un tel modèle. La collecte des données, leurs analyses ainsi que les tests nécessitent un travail long et des ressources importantes. Les **limites théoriques** viennent de l'absence de théorie solidement établies et du peu de résultats concluants (Maani & Maharaj, 2004). D'autre part un nombre important de relations entre la pensée systémique et les processus cognitifs de base, comme la pensée, l'apprentissage et la prise de décision, font défaut (Doyle, 1997). Les « variables humaines » (par ex. satisfaction, motivation, comportement...) sont donc difficilement modélisables. Elles sont néanmoins centrales. Contrairement aux théories classiques de modélisation où le milieu est indépendant du choix des acteurs, la dynamique des systèmes admet que les choix des acteurs influencent le milieu (Atkinson, 2004). La modélisation du **facteur humain** prend ainsi toute son importance. La recherche s'oriente donc fortement vers les sciences humaines et sociales.

Indépendamment des limites mentionnées et des améliorations possibles, un modèle est toujours une restriction de la réalité. Il demeure néanmoins un **outil pour réfléchir** destiné à répondre à une problématique définie. Ainsi la « notion de **définition de la question** reste vitale » (Coyle, 2000).

2.4. Méthodes mixtes

Les méthodes qui associent les aspects qualitatifs aux aspects quantitatifs sont classées dans deux familles. La première famille regroupe les systèmes où les liens entre les variables sont peu connus ou peu quantifiables. C'est typiquement la logique floue. La seconde famille abandonne la modélisation du système et se concentre sur les objectifs multiples auxquels il faut répondre. Ce sont les méthodes multicritères.

2.4.1. Logique floue

La logique floue est développée par le professeur en informatique L.A. Zadeh en 1965 à l'université de Californie à Berkeley (Zadeh, 1965). Elle a pour but de chiffrer des grandeurs imprécises et de pouvoir ainsi transmettre en langage informatique les valeurs relatives au langage humain. La logique floue est basée sur deux notions: les règles d'inférence et les fonctions d'attribution. Les règles d'inférence permettent d'ordonner les notions floues entre elles et les fonctions d'attribution de chiffrer chaque état de chaque valeur floue. La technique de la logique floue permet ensuite d'agréger les règles et les fonctions d'attribution et de quantifier la réponse du système.

Formellement, la logique floue est constituée de trois étapes:

- définition des fonctions d'appartenance;
- définition des règles applicables;
- définition de la *défluzzification* pour obtenir une valeur figée unique (crisp). Cette valeur est souvent calculée comme un centre de masse.

Depuis son invention en 1965, la logique floue est utilisée très couramment dans de nombreux domaines. Rangarajan & al. (1999), Ohkubo & Dissanayake (1999) et Sanchez % al. (2005) l'appliquent à des problèmes de planification en ingénierie lorsque les objectifs sont imprécis et les informations essentiellement qualitatives. Chen & Mynett (2004) l'emploient pour prédire la poussée phytoplanctonique et Sasikumar & Mujumdar (1998) pour contrôler le taux de polluants admissibles dans une rivière. Dans le domaine de la gestion des réservoirs, la logique floue est également souvent employée. Russell & Campbell (1996) l'utilisent pour planifier les opérations d'un réservoir hydroélectrique avec des apports probabilistes et un prix énergétique fluctuant, Shrestha & al. (1996) et Fontane & al. (1997) l'emploient pour définir les règles d'opération d'un réservoir à buts multiples et Yin & al. (1999) s'en servent pour gérer un système composé de cinq lacs en série avec différents objectifs. Enfin, cette technique a également été combinée avec les réseaux de neurones Gabrys & Bargiela (1999) et développée pour appréhender des grandeurs non-linéaires (Arakawa & al., 2003).

Dans son analyse des méthodes d'aide à la décision, Nikolopoulos (1997) classe la méthode floue dans la famille des systèmes experts qui possèdent une capacité à traiter des incertitudes. Face à la logique monotonique ou booléenne, il oppose l'approche statistique ou bayésienne. La logique floue est une dérivée de cette approche. Elle est notamment utile lorsque les informations numériques sont insuffisantes pour appliquer les théories statistiques ou lorsque les informations sont de type purement qualitatif. Vester (2001) utilise cette capacité pour élaborer son approche biocybernétique.

2.4.2. Méthodes multicritères

Les méthodes multicritères négligent l'aspect modélisation du système et se concentrent sur les objectifs pour aboutir à la solution optimale. Les méthodes les plus avancées conduisent à un choix de plusieurs solutions.

Ces méthodes sont toutes basées sur quatre étapes, potentiellement cycliques (Mena, 2000). Ces étapes sont:

- dresser la liste des actions ou solutions potentielles;
- dresser la liste des critères à considérer;
- établir le tableau des performances;
- agréger les performances.

Les trois premières étapes n'offrent que de très faibles variations selon les méthodes choisies. Elles représentent le côté objectif de la méthode et sont ainsi peu sujettes à discussion. Le seul aspect subjectif réside dans le choix ou l'omission possible de critères.

L'essentiel des différences parmi les méthodes multicritères porte sur la quatrième étape. Cette étape comporte un aspect essentiellement subjectif. Schärli (1985) justifie la diversité des méthodes existantes par l'incapacité d'agréger les performances sans introduire un biais entre les performances. L'introduction de ce biais donne naissance à trois familles de fonction d'agrégation.

- Les méthodes d'agrégation complète cherchent à réduire l'ensemble des critères à un seul résultat. Pour ce faire, elles pondèrent chaque critère et effectuent ensuite une opération mathématique d'agrégation. La technique la plus connue est la moyenne pondérée de notes. L'intérêt de ces méthodes réside dans leur facilité de mise en oeuvre et dans leur utilisation universelle. Il leur est cependant reproché d'être trop réductrices, d'être sensibles à une pondération essentiellement subjective et de n'offrir qu'une seule solution finale (absence de choix final).
- Les méthodes d'agrégation partielle tentent de pallier à ces défauts à l'aide d'une approche basée sur le surclassement. Elles comparent toutes les actions deux à deux à l'aide de matrice de concordance et/ou de discordance et éliminent les moins bonnes solutions. Les méthodes les plus connues sont probablement *Electre* (Roy, 1968) et *Prométhée* (Brans & Vincke, 1985). De nombreuses variantes ont été développées à partir de ces deux méthodes (veto franc, veto progressif, pseudo-critère, seuil, indice).
- Les méthodes d'agrégation précédentes supposent cependant que le nombre de solutions comparées soit d'un ordre de grandeur raisonnable. Lorsque les paramètres sont des variables continues, ce nombre tend vers l'infini. Les matrices de comparaison deviennent alors impossible à gérer. Les méthodes d'agrégation locale permettent ainsi, à partir d'une solution initiale choisie, d'évoluer de manière itérative vers des solutions meilleures. Le tableau des performances dans le domaine des valeurs discrètes est remplacé par l'évaluation des fonctions continues. La manière d'agréger les résultats issus des fonctions continues pour générer les nouvelles solutions sont très nombreuses (Steuer, 1986). Elles sont cependant toutes basées sur la notion de distance entre les solutions optimales des différents critères.

Dans le domaine hydraulique, les méthodes multicritères sont abondamment utilisées, soit pour la gestion de réservoirs (Lund & Ferreira, 1996, Flug & al., 2000), soit pour la planification d'un réservoir (Netto & al., 1996), ou encore pour la gestion d'un réseau d'eau potable (Abrishamchi & al., 2005). Mahmoud & Garcia (2000) comparent diverses méthodes pour choisir la meilleure alternative à la migration piscicole sur la rivière Sacramento (barrage *Red Bluff*, Californie, USA).

Les méthodes multicritères sont également utilisées avec d'autres techniques. Liu & al. (1998) et Cai & al. (2004) l'intègrent à la logique floue, Hyde & al. (2004) utilisent la méthode de *Monte Carlo* pour générer les poids, Hill & al. (2005) l'associent à un système d'information géographique pour les problèmes d'optimisation spatiale et Schlüter & al. (2005) la complètent

par un modèle de programmation linéaire pour l'allocation des ressources hydriques en vue d'une amélioration écologique.

2.5. Méthode de Gomez et Probst

2.5.1. Général

Sur le conseil de Coyle (2000) qui propose une *approche prudente* pour des *modèles difficiles*, l'analyse qualitative du problème décrit en introduction constitue la première partie d'une méthode de résolution plus générale.

Les trois étapes préconisées par Coyle (2000) pour toute analyse sont:

- décrire le système étudié à l'aide d'un diagramme d'influence;
- vérifier l'adéquation entre le modèle développé et le problème traité;
- si nécessaire, établir un modèle quantitatif.

La méthode de Gomez & Probst est utilisée pour réaliser les deux premières étapes. Elle donne une vision globale de l'environnement pour permettre les décisions les plus judicieuses. Elle s'adresse principalement aux problèmes économiques. Indépendamment, cette méthode peut cependant être appliquée à tous les problèmes complexes. Elle tire son nom de deux professeurs de socio-économies, les professeurs Gilbert Probst de l'université de Genève et Peter Gomez de l'université de Saint-Gall (Gomez & Probst, 1995) qui l'ont développée. Le professeur Anton Schleiss de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne l'a appliquée aux problèmes hydrauliques (Schleiss, 2001).

Pratiquement, cette méthode systématise toutes les relations, internes ou externes, du projet. Elle met en évidence les interactions directes ou indirectes, positives ou négatives. Les deux maître mots sont « **approche intégrée** » et « **réflexion en réseau** ».

La méthode distingue cinq étapes résumées à la *Figure 2*.

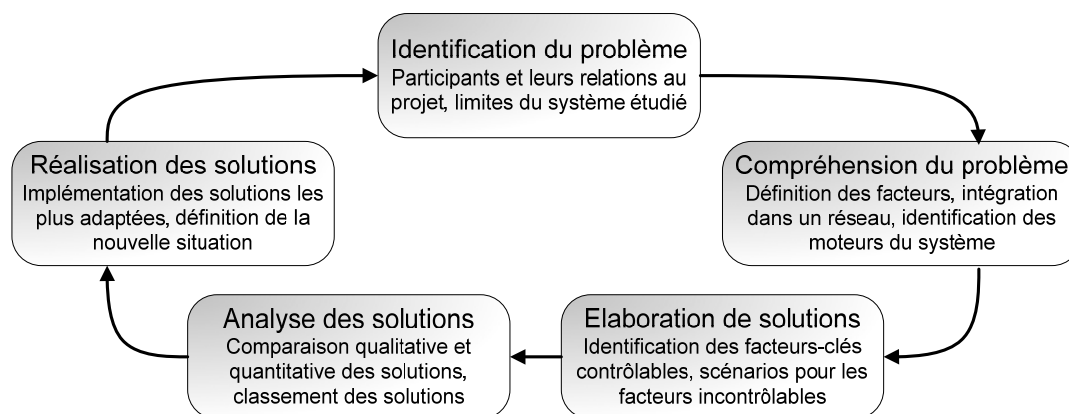


Figure 2 : Les cinq étapes de la méthode Probst et Gomez

Il s'agit d' « **identifier le problème** » en le regardant sous différents angles, pour pouvoir « **comprendre les relations** » qui existent entre les différents partenaires ou agents du problème. Cette analyse doit permettre, par la mise en évidence des facteurs-clés, d' « **élaborer des solutions** » qu'il faut « **analyser** » par le biais d'indicateurs afin de pouvoir prendre les mesures nécessaires pour « **réaliser la solution** » la plus prometteuse. La réalisation génère une nouvelle situation qui engendre de nouveaux problèmes. Le schéma est cyclique.

2.5.2. Première étape : définition du contexte

La première étape consiste à donner au problème ses frontières ainsi que ses différents points de vue. Elle pose le **contexte général** en trois étapes.

A) Etablissement de la **liste des acteurs**. Les acteurs sont toutes les personnes, morales ou physiques, en relation avec le projet. Cette liste est dressée hiérarchiquement (catégories, classes puis acteurs précis). Comme exemple, la catégorie « politique » conduit à la classe « politique fédéral » et atteint finalement les différents départements et offices fédéraux concernés. Cette énumération se fait parallèlement par proximité géographique.

B) Définition de la **perspective de chaque acteur**. Elle montre comment l'acteur perçoit le projet. Elle est donnée par la réponse aux questions « Tel projet est un système visant à ... » ou encore « Pour tel acteur, un tel aménagement doit favoriser cet aspect..., ne pas nuire à cet autre.. ». Le bon sens suffit souvent. Au besoin, des experts sont interrogés.

C) Etablissement de la **liste des facteurs**. La compréhension du système au travers des acteurs, permet d'établir la liste des facteurs. Un facteur est un élément qui agit sur le système. Il peut être externe ou interne au système.

2.5.3. Deuxième étape : définition du réseau d'influence

La seconde étape de la méthode est le point central du travail. Elle définit le **fonctionnement du système** étudié. Elle comprend deux parties.

A) La **construction du réseau** relie tous les facteurs définis à la première étape. Elle met en évidence les relations réciproques. De nombreux facteurs s'ajoutent lors de cette construction.

Les relations sont caractérisées qualitativement par **trois aspects** :

- selon que l'effet est renforçant ou atténuant (+ / -)
- selon une intensité d'influence (1,2,3,...)
- selon une perspective temporelle (court, moyen, long terme, ...).

Le réseau complet constitue le graphe d'influences réciproques des facteurs. Une relation représente la dérivée partielle f de la fonction F qui relie un facteur à un autre. Si le facteur A dépend des facteurs B , C et D , alors la relation f de B vers A peut s'exprimer comme

$$f = \frac{\partial F(B, C, D)}{\partial B}$$

Souvent la fonction F n'est pas connue explicitement. Une approximation qualitative de ses dérivées partielles permet de l'approcher. D'un modèle explicite basé sur des relations quantitatives, on passe à un modèle qualitatif d'influences relatives.

L'**effet renforçant ou atténuant** est symbolisé par un signe « + » ou « - ». Il indique l'effet de la cause sur la conséquence. Il est le signe de la dérivée partielle. Dans l'exemple de la *Figure 3*, la croissance ou la décroissance de la population ne change pas le signe des relations.

L'effet renforçant ou atténuant ne permet pas de distinguer l'opérateur mathématique qui intervient dans la dérivée. Il modélise des fonctions linéaires uniquement.

L'**intensité de la relation** caractérise le degré d'influence d'un facteur sur un autre. Elle est mathématiquement la valeur de la dérivée. Selon les auteurs, trois degrés d'influence sont suffisants. Ils ne permettent que la représentation de fonctions simples. Les changements de pente, les paliers, les influences réversibles ou les sauts ne peuvent pas être considérés.

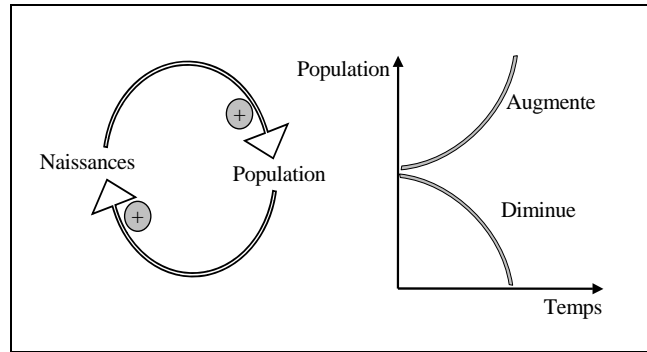


Figure 3 : Relations démographiques, illustration du signe de la relation entre les facteurs

L'**effet temporel** donne une indication sur le temps nécessaire à une variation pour se propager sur les facteurs suivants. Elle est un retard pour la propagation des effets.

B) Le réseau est résumé sur une **matrice d'influence**. Elle définit le **graphe d'influence**. Celui-ci sépare les facteurs actifs des facteurs réactifs. L'activité d'un facteur est schématisée sur le réseau par une relation sortante, la réactivité par une relation entrante. L'intensité de la relation est prise en compte comme pondération de l'action. La Figure 4 illustre ce calcul.

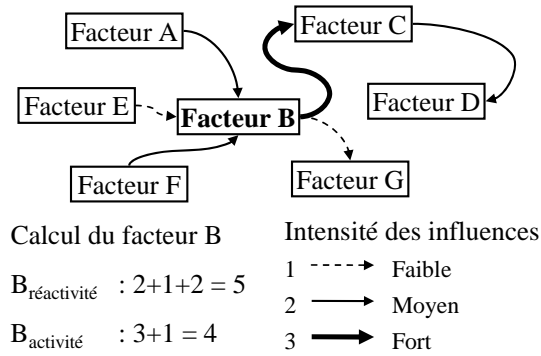


Figure 4 : Calcul des influences active et réactive

La somme active et réactive de chaque facteur génère la matrice d'influence (Figure 5).

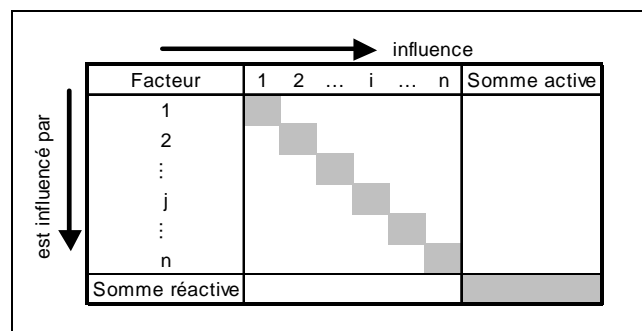


Figure 5 : Matrice d'influence

Le graphe d'influence est une représentation de la matrice d'influence (Figure 6). Ce graphe distingue quatre zones. Les **facteurs inertes**, activité et réactivité faibles, représentent les éléments secondaires sans fortes interactions avec le projet. Les **facteurs réactifs**, activité faible et réactivité forte, représentent les conséquences des décisions prises au sein du projet. Ce sont d'excellents indicateurs. Les **facteurs actifs**, activité forte et réactivité faible, sont les leviers du projet. Une variation à leur niveau permet de changer le projet. Ils jouent le rôle de directeur du projet. Enfin les **facteurs critiques**, activité et réactivité fortes, doivent être traités avec prudence. Ils peuvent servir de levier mais sont susceptibles de provoquer des réactions en chaîne.

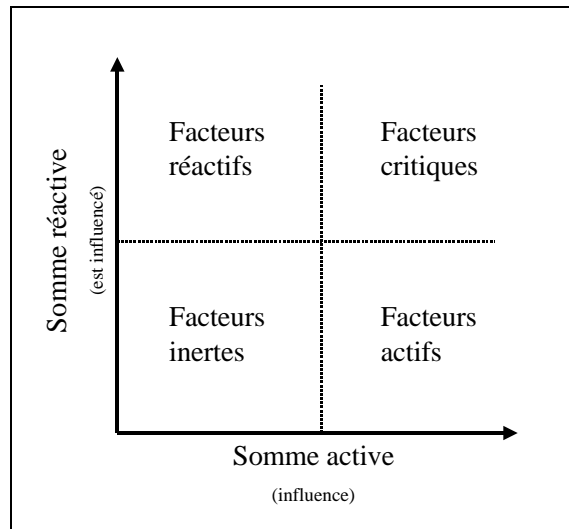


Figure 6 : Définition des zones du graphe d'influence

Pour faciliter la lecture, le graphe est normé horizontalement sur l'élément le plus actif et verticalement sur l'élément le plus réactif. La frontière des différentes zones se situe à la valeur de 50%. Le caractère partiellement subjectif de cette séparation nécessite une certaine souplesse. Une bande de la largeur indéterminée fait office de zone incertaine.

2.5.4. Troisième étape : élaboration de solutions

La troisième étape consiste à **élaborer des solutions**. Il faut repérer les éléments non dirigeables. Dans la mesure où ils influencent d'autres facteurs, il convient de ne pas les négliger. L'établissement des scénarios vraisemblables à leur égard permet d'étudier l'impact de leurs variations sur les facteurs réactifs. Ces facteurs non dirigeables représentent les contraintes du problème à résoudre.

Les facteurs qui servent d'indicateur forment une base objective pour l'analyse des différentes solutions générées. Ils sont choisis parmi les facteurs réactifs.

Enfin, il faut distinguer les solutions qui s'inscrivent dans un processus stabilisant de celles qui sont déstabilisantes. Pour des raisons de stabilité du système, on ne retient que les solutions stabilisantes.

2.6. Développements apportés à la méthode de Gomez & Probst

Une relation entre deux éléments possède toujours deux directions. Elle est causale dans un sens et finale dans l'autre. L'influence physique d'un élément correspond à l'influence logique de l'autre. A titre d'exemple, la hauteur du barrage génère physiquement le volume d'accumulation. Mais c'est le besoin d'un volume d'accumulation qui justifie la hauteur du barrage. Face à la pluralité des logiques possibles, l'approche physique est unique. C'est pourquoi elle est choisie.

Pour respecter les transformations physiques, les modèles basés sur cette approche induisent un grand nombre de facteurs. Il en résulte que les facteurs-clés sont séparés les uns des autres par des facteurs d'intérêt secondaire. Dès lors, la considération des influences directes seules devient insuffisante. La prise en compte des influences indirectes nécessite un nouveau mode de calcul. Basé sur l'exemple de la Figure 4, l'activité du facteur A sur les facteurs B, C et D est calculée selon l'équation 1.

$$Activité_{AD} = \alpha \cdot I_{AB} + \beta \cdot I_{AB} \cdot I_{BC} + \gamma \cdot I_{AB} \cdot I_{BC} \cdot I_{CD} \quad \text{Eq.1}$$

où I_{AB} représente l'intensité entre les facteurs A et B, I_{BC} l'intensité entre les facteur B et C et I_{CD} l'intensité entre C et D. Les influences indirectes sont calculées comme le produit des intensités (I_{AB} , I_{BC} , I_{CD}). L'agrégation est effectuée par sommation des influences directes et indirectes pondérées par un coefficient (α , β , γ). La valeur de ces coefficients est donnée au Tableau 2.

	Direct A⇒B α	Indirect 1 ^{er} ordre A⇒B⇒C β	Indirect 2 nd ordre A⇒B⇒C⇒D γ
Calcul primaire	4/1	-	-
Calcul secondaire	4/1	2/3	-
Calcul tertiaire	4/1	2/3	1/9

Tableau 2 : Coefficient d'agrégation des influences

Ces valeurs sont générées à partir de deux idées. Le numérateur donne une importance décroissante à l'intensité selon la distance qui sépare les facteurs (valeur de 4, 2 et 1). Le dénominateur cherche à rendre la somme adimensionnelle. Il divise ainsi le numérateur par le produit maximal des intensités indirectes. Comme l'intensité maximale a un poids de 3, il divise les intensité indirectes par 3 ou par 9 (intensités indirectes de premier et de second ordre respectivement).

Le modèle primaire de calcul est basé sur les influences directes seulement. Le modèle secondaire ajoute les influences indirectes du premier ordre. Le modèle tertiaire considère, en plus, les influences indirectes du second ordre.

3. ANALYSE QUALITATIVE D'UN AMENAGEMENT A BUTS MULTIPLES : METHODE DE PROBST ET GOMEZ

3.1. Objectifs pour le projet Synergie

Un aménagement à buts multiples est un problème complexe. Il comprend de nombreux acteurs dont les principales catégories sont « politique », « économique », « social », « écologique » et « médiatique ». Ces acteurs mettent en jeu de nombreux facteurs fortement interconnectés entre eux. Ces derniers forment un système hautement dynamique. L'étude du système global est donc nécessaire. La méthode économique développée par les professeurs Probst et Gomez est reprise pour cette étude qualitative.

L'objectif de cette étude qualitative est une meilleure **compréhension des mécanismes** du système complexe formé par un aménagement hydraulique fluvial à buts multiples. Il s'agit de **mettre en évidence les facteurs-clés**. A ce stade d'analyse, la modélisation quantitative n'est pas recherchée.

3.2. Première étape : acteurs et facteurs

3.2.1. Enumération des acteurs

La logique retenue pour l'énumération des acteurs est celle des **classes d'activités**.

Les trois premières classes recensent les **acteurs politiques**. Ils sont répartis en politique fédérale, cantonale et communale. Chaque département retenu correspond à un niveau et les offices aux acteurs. Le passage en revue systématique de tous les offices fédéraux et cantonaux a permis de n'oublier aucun des décideurs politiques de ces deux classes. Pour la classe communale, la commune n'est représentée que par un seul acteur. Elle est la personne morale représentative de l'ensemble de concitoyens qu'elle administre. Une partie de l'information sur l'administration fédérale et cantonale (Valais) est tirée de différents sites Internet (site confédéral et site valaisan).

La quatrième classe énumère les **acteurs économiques**. Ils se répartissent sur huit niveaux : agriculture, construction, producteurs d'hydroélectricité, artisanat, finance, tourisme, immobilier et navigation. Cette énumération suit la logique des secteurs primaire, secondaire et tertiaire de l'économie.

La cinquième classe considère les **acteurs sociaux** du projet. Ils sont divisés en quatre niveaux : riverains du projet, contribuables, demandeurs d'emploi et consommateurs de loisirs. La même personne physique peut ainsi être vue sous différents angles. Ces quatre niveaux permettent d'être exhaustif pour considérer la population en relation avec un aménagement à buts multiples. Selon la classification de Luyet (2005), ils reprennent les critères de « participation sociale » (contribuables, demandeurs d'emploi et consommateurs de loisirs) et de « conséquence » (riverains du projet). Ils contiennent encore implicitement le critère « démographique » (tous les niveaux).

La sixième classe recense les **acteurs liés à l'écologie**. Elle distingue les associations avec droit des associations sans droit de recours au niveau fédéral. Devant la diversité des associations à la poursuite de buts similaires, une logique thématique est également mise en œuvre.

La septième classe, d'une importance moindre, regroupe les **instituts de recherche**.

La dernière classe recense les **médias** (radio, télévision, journaux et Internet).

3.2.2. Orientation et perspective des acteurs

L'annexe 8.1 définit pour chaque acteur ses « **Centres d'intérêt** ». Une « **Perspective** » précise chacun de ces intérêts. Celle-ci est établie en répondant à la question : « Un Aménagement Hydraulique Fluvial A BUts Multiples (acronyme : Un AHFABUM) est un système visant à ... ». L'annexe 8.2 synthétise l'ensemble des acteurs avec leurs intérêts respectifs.

3.2.3. Définition des facteurs

Les facteurs, donnés à l'annexe 8.4, sont répartis en six thèmes. Le premier thème contient les **facteurs hydrauliques** et le second les **facteurs énergétiques**. Ensemble, ils comptabilisent 83 facteurs. Le troisième thème contient les **facteurs financiers** et le quatrième les **facteurs socio-économiques et paysagers**. Ces deux thèmes ont 42 facteurs. Le cinquième thème recense les facteurs de la **nappe phréatique** et le dernier ceux de l'**écologie** (chacun 14 facteurs). Les cinq premiers thèmes font une approche globale de l'aménagement. L'analyse des aspects écologiques est basée sur un schéma d'influence unique. Il est appliqué à chaque module de l'aménagement (rivière amont, rivière latérale, retenue, rivière aval, contre-canaux, zone écologique terrestre). Chacun des **facteurs écologiques** peut comprendre plusieurs « sous facteurs » directement mesurables, nommés « attributs ». L'annexe 8.5 donne ces attributs.

Les facteurs forment trois groupes : les facteurs externes, les facteurs de choix et les facteurs internes. Les premiers représentent les éléments extérieurs sur lesquels il n'est pas possible d'agir. Ce sont des « **contraintes** » ou « **données externes** » selon qu'ils sont constants ou variables. Ainsi l'accélération terrestre est une contrainte tandis que la température de l'air est une variable externe. Le second groupe recense les éléments sur lesquels les décideurs agissent directement. Ils sont dénommés « **variable de projet** » ou « **variable de gestion** ». Ces variables constituent le vecteur solution recherché. Les variables de projet fixent la conception tandis que les variables de gestion en fixent la gestion. Ainsi la hauteur du barrage est une variable de projet et la gestion de la retenue est une variable de gestion. Enfin, les facteurs internes sont répartis en deux sous-groupes : les **variables de flux** et les **variables d'état**. Les premières quantifient les grandeurs transitoires du système et les secondes en indiquent, à tout instant, l'état. Une combinaison de fonction de ces variables internes forme la « **fonction objectif** ». La solution recherchée est, selon la fonction objectif, le vecteur optimal. La *Figure 7* schématise ces groupes. L'annexe 8.3 en donne une définition.

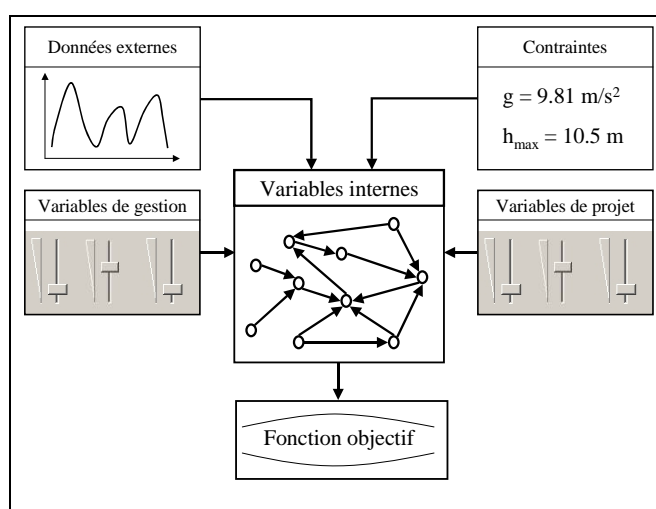


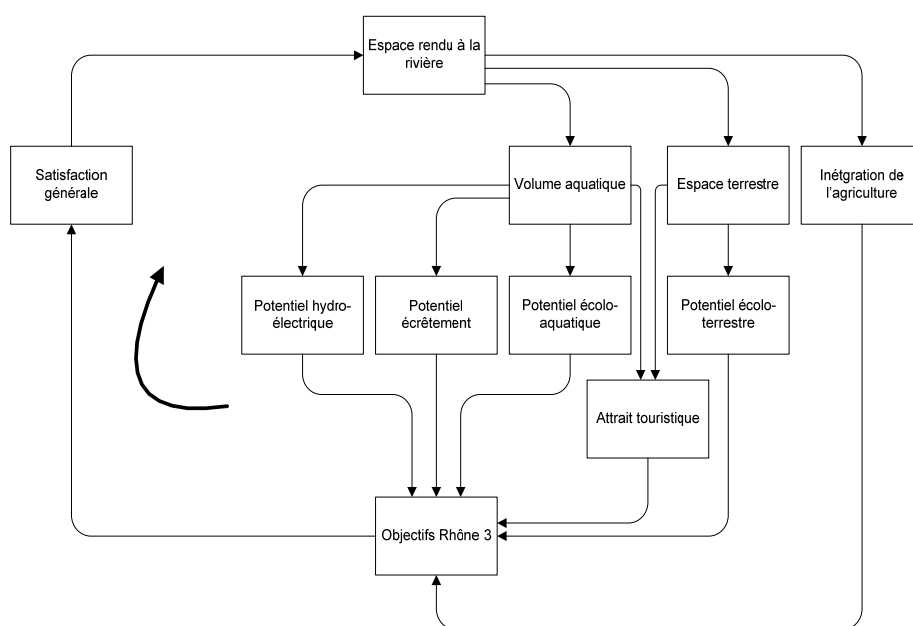
Figure 7 : Représentation schématique des différents facteurs

3.3. Seconde étape, réseaux

Dans cette étude, les effets temporels des relations ne sont pas considérés.

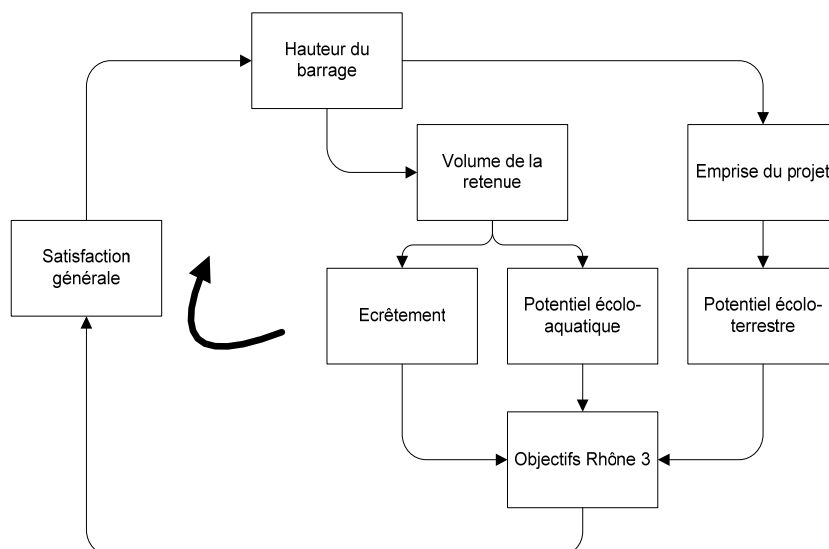
3.3.1. Construction de deux réseaux simplifiés

Pour renforcer la compréhension du milieu, un **réseau d'influence simplifié de la troisième correction du Rhône** est construit. Ce réseau relie les objectifs de la troisième correction. Ces objectifs sont repris des documents officiels valaisans (*Rapport de synthèse, 2000*). Le principe de la troisième correction est de donner plus d'espace à la rivière. Cet espace doit permettre le retour à un état renaturé. Cet espace, en grande partie agricole, est prévu pour élargir le lit mouillé et agrandir les berges. Pour satisfaire les objectifs de renaturation, l'agriculture est directement intégrée dans le processus de décision. Le projet espère avoir un impact sur l'économie touristique. Le résultat est présenté sur le *Grappe 1*. Il est donné en taille normale à l'annexe 8.6.



Grappe 1 : Réseau d'influence des objectifs de la 3^{ème} correction du Rhône

Un réseau similaire est ensuite établi avec, au centre du réseau, un barrage sur le cours d'eau. Le résultat est présenté sur le *Grappe 2*. Il est donné en taille normale à l'annexe 8.7.



Grappe 2 : Réseau d'influence barrage - 3^{ème} correction du Rhône

3.3.2. Construction du réseau complet en six réseaux partiels

Le réseau complet est élaboré à partir des deux schémas simplifiés. Il considère également une étude préliminaire mandatée par le canton du Valais (Rapport n° 4'371, 1999). Sa grande complexité et son nombre de facteurs nécessitent de le subdiviser en **six réseaux partiels**. Cette répartition reprend les **six thèmes définis pour les facteurs**. Une couleur est attribuée à chaque thème. Chaque réseau partiel comprend l'ensemble des facteurs du thème considéré. La connexion entre les réseaux est assurée en considérant les influences directes des autres thèmes. Les graphes des six réseaux partiels sont donnés dans les annexes 8.8 à 8.13. Le Tableau 3 résume les informations relatives aux réseaux partiels.

Thème du réseau partiel	Couleur attribuée	Nombre de facteurs
Hydraulique	bleue	59
Energétique	jaune	24
Financier	grise	12
Socio-économique	blanche	30
Nappe phréatique	rouge	14
Ecologie	verte	14

Tableau 3 : Réseaux partiels

3.4. Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité se base sur les **59 facteurs hydrauliques**. Ainsi, les différences entre les différents calculs ne sont pas masquées de trop nombreux facteurs. Par ailleurs, ces facteurs sont répartis sur les quatre zones du graphe (active, critique, réactive et inerte). Une dernière analyse est faite sur l'ensemble des facteurs.

Pour chaque facteur, les résultats bruts indiquent, par rapport au graphe de référence, les **variations de pourcentages** ainsi que les **permutations de rang**. La permutation est repérée par rapport au rang des facteurs inférieurs pour ceux compris entre 0 et 50% et par rapport au rang des facteurs supérieurs pour ceux compris entre 50% et 100%. La variation de pourcentage est calculée par différence sur les axes x et y.

Les différents modèles utilisés dans cette analyse sont présentés dans le Tableau 4.

	Intensité	Coefficient multiplicatif α	Coefficient multiplicatif β	Coefficient multiplicatif γ
Modèle 1	expert	4/1	2/3	1/9
Modèle 2	uniforme	4/1	2/3	1/9
Modèle 3	expert	1	1	1
Modèle 4	expert	3	2	1

Tableau 4 : Modèles de calcul utilisés pour l'analyse de sensibilité

Les résultats de l'analyse de sensibilité comparent, pour l'ensemble des 59 facteurs hydrauliques, les déplacements moyens et extrêmes selon les deux axes indépendamment (activité axe X ou réactivité axe Y). Ces déplacements sont exprimés en pourcentage de variation (ΔX par rapport à 100%_x et ΔY par rapport à 100%_y). Les résultats considèrent également les permutations moyennes et extrêmes des facteurs entre eux (les facteurs A et C de la figure... permutent leur rang sur l'axe de la réactivité: C est le moins réactif alors que c'est α qui le devient). Finalement, cette étude analyse la capacité des facteurs à rester dans la même zone (le facteur B passe la zone réactive à la critique alors que A et C restent chacun dans leur zone d'origine), indépendamment du modèle et des intensités choisies.

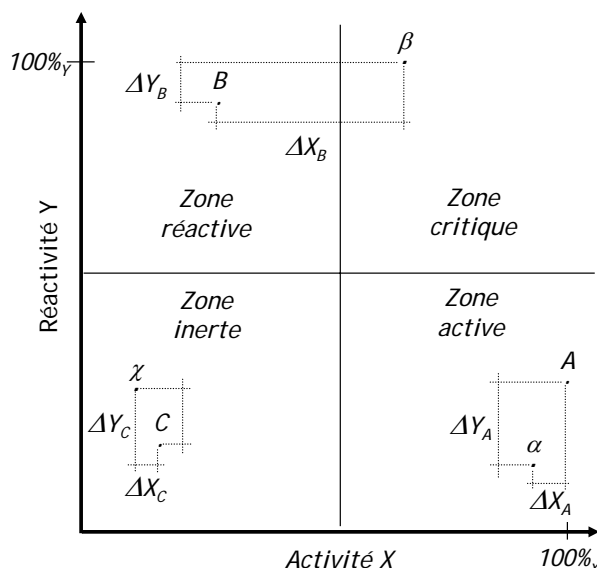


Figure 8 : Variation des facteurs entre deux calculs d'influence (lettres latines et grecques)

Les résultats sont présentés dans des tableaux synthétiques. Les calculs primaire, secondaire et tertiaire sont placés dans les trois colonnes. Les deux premières lignes donnent les variations et les permutations moyennes. Les deux lignes suivantes indiquent les valeurs maximales (cf. Tableau 5).

3.4.1. Analyse de sensibilité sur l'intensité des influences

Avec les **mêmes coefficients** multiplicatifs, les **graphes pondérés** (modèle 1) sont comparés aux **graphes non pondérés** (modèle 2). Le Tableau 5 résume les différences. L'annexe 8.14 donne les variations de chaque facteur.

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	4%	5%	7%	6%	7%	6%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	1.30	1.50	3.10	2.50	3.50	3.00
Max	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	19%	23%	29%	27%	27%	27%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	7	15	14	20	15	19

Tableau 5 : Sensibilité sur l'intensité des relations (modèle 1 et 2)

Calculs et axes confondus, les **variations moyennes sont inférieures à 8%** et les **permutations moyennes à 3.5 places**. La variation maximale vaut 29% et la permutation maximale 20 places. Comparées aux 59 facteurs, les permutations moyennes représentent une valeur inférieure à 6%.

Le calcul secondaire attribue la permutation maximale (20 positions en y) au facteur 101 (bathymétrie). Elle correspond à une variation de 27 % (21 % à 48 %). Le facteur reste dans la zone inerte. La différence maximale de 29 % (100 % à 71 %) en x pour le facteur 148 (caractéristiques inhérentes du site) ne provoque qu'une permutation de 2 positions.

Le calcul tertiaire affiche deux variations de 27% (en x et y) pour les facteurs 148 (caractéristiques inhérentes du site) et 101 (bathymétrie). Dans les deux cas, la zone (active et inerte) reste identique. Elles correspondent à une permutation respective de 1 et 19 places.

Une analyse similaire est effectuée sur les facteurs déterminants (24 facteurs hydrauliques non inertes, choisis sur le graphe primaire, cf. annexe 8.15). Les résultats, donnés au Tableau 6, sont

comparables au Tableau 5. Les permutations sont plus faibles. Les variations moyennes, légèrement plus élevées, contiennent dans plusieurs cas les maximaux.

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	5%	6%	10%	7%	11%	6%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	1.3	1.1	3.0	2.1	4.0	2.8
Max	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	19%	13%	29%	17%	27%	18%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	7	5	7	6	10	8

Tableau 6 : Sensibilité sur l'intensité des relations des facteurs déterminants

La comparaison deux à deux des résultats primaire, secondaire et tertiaire confirme la stabilité des facteurs. Le Tableau 7 indique les facteurs qui changent de zone avec leur variation.

Nb facteurs 1		Nb facteurs 9		Nb facteurs 7	
n°	Δ	n°	Δ	n°	Δ
126	8%	111	5%	106	15%
		115	23%	115	23%
		126	23%	126	23%
		132	14%	134	13%
		134	14%	146	16%
		141	10%	152	10%
		142	14%	158	18%
		146	14%		
		152	12%		

Tableau 7 : Facteurs dont l'intensité des relations change la zone (modèle 1 et 2)

La variation moyenne de ces facteurs vaut 8%, 14% et 17% selon les calculs. La valeur maximale se situe à 23%.

3.4.2. Analyse selon le calcul choisi (primaire, secondaire ou tertiaire)

Cette analyse compare les **calculs d'influences indirectes** (1^{ier} et 2nd ordres) au **calcul des influences directes**. Elle se base sur les **mêmes intensités** des influences. Les Tableau 8 et Tableau 9 résument ces résultats pour les 59 facteurs et pour les facteurs déterminants. Les annexes 8.16 et 8.17 donnent les variations de chaque facteur.

Excepté 9 facteurs dont la variation est excessive (12 calculs d'influence dont la variation dépasse 45% sur 236 calculs d'influence), les **variations moyennes ne dépassent pas 22%**. La **permutation moyenne atteint 8.5 rangs** (14% sur 59 facteurs). Les facteurs déterminants (mêmes facteurs qu'au paragraphe 3.3.1) offrent des résultats similaires.

Dans 10 des 12 calculs, la forte diminution (réduction d'environ 50%) en x ou y est due à une position initiale dans les boucles d'influences. Dans les 2 autres cas, la forte augmentation est due à une position finale. La variation moyenne en y, recalculée sans ces facteurs, vaut 15% au lieu de 18% pour le calcul du 1^{ier}ordre. Elle vaut 18% au lieu de 22% pour le calcul du 2ndordre.

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	9%	18%	12%	22%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0.0	5.6	7.6	8.5	7.9
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	25%	67%	57%	67%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0	23	37	27	29

Tableau 8 : Comparaison des résultats indirects(1^{ier} et 2nd ordres) aux résultats directs

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	9%	21%	13%	29%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0.0	4.3	7.3	6.8	8.0
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	25%	67%	57%	67%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0	14	37	20	28

Tableau 9 : Comparaison, pour les facteurs déterminants, des résultats indirects(1^{ier} et 2nd ordres) aux résultats directs

3.4.3. Analyse selon le modèle choisi (variation des coefficients)

Cette analyse considère **trois modèles** avec la **même intensité** des influences. L'analyse porte sur le **choix des coefficients** multiplicatifs. Les trois modèles se présentent comme suit :

	Coefficient multiplicatif a	Coefficient multiplicatif b	Coefficient multiplicatif c
Modèle 3	1	1	1
Modèle 4	3	2	1
Modèle 1	4/1	2/3	1/9

Tableau 10 : Choix des coefficients multiplicatifs

Le modèle 3 est neutre. Le modèle 4 est linéaire. Le modèle 1 est construit sur deux idées : un numérateur linéaire et un dénominateur qui adimensionnalise les coefficients. Le dénominateur correspond au produit additionnel maximum des influences. Les résultats secondaires et tertiaires sont comparés aux résultats primaires des modèles respectifs.

Le Tableau 11 résume les différences obtenues pour le **modèle 3**. Le Tableau 12 se concentre sur les facteurs déterminants. Les annexes 8.18 et 8.19 donnent les variations pour chaque facteur.

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	8%	15%	11%	20%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0.0	0.0	4.9	6.1	7.7	7.3
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	22%	53%	50%	64%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0	22	26	27	27

Tableau 11 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 3

Les deux premières colonnes ne donnent pas de résultat significatif (comparaison des résultats primaires avec eux-mêmes). Les deux autres colonnes montrent une **variation moyenne**

maximale de 20 % avec une permutation moyenne maximale inférieure à 8 rangs (permutation relative d'environ 13%).

Les facteurs déterminants ont des variations un peu plus élevées (+3%) et des permutations légèrement plus faibles (-2%). Les variations maximales de 50% et 64% correspondent à des permutations de respectivement 5 et 27 rangs pour les facteurs 148 (caractéristiques inhérentes du site) et 161 (volume total disponible). La permutation de 27 rangs pour le calcul tertiaire s'explique par la traversée de la zone inerte densément peuplée. La variation de 64% sur l'axe x s'explique par une position relativement initiale du facteur 161 dans la boucle complexe.

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	8%	18%	12%	25%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0.0	0.0	3.7	5.8	5.8	6.6
Max	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	21%	53%	50%	64%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0	12	26	20	27

Tableau 12 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 3, facteurs déterminants

Le changement de zone (cf Tableau 13) est assez élevé pour le calcul tertiaire (15 facteurs). La variation moyenne de ces facteurs ne dépasse pas 32%. 11 sont des facteurs déterminants.

Nb facteurs		Nb facteurs		Nb facteurs	
0		7		15	
n°	Δ	n°	Δ	n°	Δ
		106	23%	108	24%
		108	44%	113	30%
		131	29%	115	21%
		132	43%	118	17%
		152	16%	126	13%
		154	39%	131	52%
		161	53%	134	59%
				144	20%
				146	18%
				149	27%
				151	27%
				154	61%
				155	27%
				159	20%
				161	64%

Tableau 13 : Facteurs dont le calcul secondaire et tertiaire du modèle 3 change la zone

Les résultats du **modèle 4** sont donnés au Tableau 14 et au Tableau 15 pour les facteurs déterminants. Ce modèle a des variations et des **permutations moyennes faiblement inférieures au modèle 3** (réduction de 7% et de 9%). La même remarque vaut pour les variations maximales. Les annexes 8.20 et 8.21 donnent les variations pour chaque facteur.

Comparé au modèle 3, les changements de zone sont identiques pour le calcul secondaire, plus faible pour le calcul tertiaire (15 contre 11 facteurs). Pour les calculs secondaire et tertiaire, les variations moyennes se situent à 32% et à 26%. Elles sont réduites de 8% et de 18%.

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	7%	14%	11%	18%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0.0	0.0	4.1	5.5	7.3	6.9
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	21%	47%	44%	60%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0	21	23	27	26

Tableau 14 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 4

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	7%	17%	11%	22%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0.0	0.0	3.1	4.8	5.3	6.5
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	19%	47%	44%	60%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0	11	22	16	26

Tableau 15 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 4, facteurs déterminants

Le changement de zone (cf Tableau 16) est assez élevé pour le calcul tertiaire (11 facteurs) et la variation moyenne reste à 32%. 4 et 9 sont des facteurs déterminants pour les calculs secondaire et tertiaire.

Nb facteurs		Nb facteurs		Nb facteurs	
0		7		11	
n°	Δ	n°	Δ	n°	Δ
		106	22%	108	27%
		108	42%	113	26%
		131	25%	115	19%
		132	41%	118	14%
		152	15%	126	11%
		154	34%	131	47%
		161	47%	134	53%
				144	16%
				146	15%
				154	55%
				161	60%

Tableau 16 : Facteurs dont le calcul secondaire et tertiaire du modèle 3 change la zone

Les résultats du **modèle 1** sont donnés au Tableau 17 et au Tableau 18 pour les facteurs déterminants. Les annexes 8.22 et 8.23 donnent les variations pour chaque facteur.

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	5%	9%	7%	10%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0.0	0.0	2.9	3.0	4.9	4.5
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	19%	34%	23%	36%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0	16	14	24	17

Tableau 17 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 1

Les résultats secondaires et tertiaires ont une **variation moyenne maximale de 10 %** avec une **permutation moyenne inférieure à 5 rangs** (permutation relative de 9%).

Les facteurs déterminants ont des résultats similaires avec des variations légèrement plus élevées (+ 2%) et des permutations un peu plus faibles (- 4%). Les variations maximales de 34% et 36% correspondent à des changements de 6 et 8 rangs pour le facteur 123. La permutation de 8 rangs résulte du passage de 8 facteurs alignés sur la même valeur.

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	5%	13%	7%	12%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0.0	0.0	2.3	2.8	3.5	4.0
Max	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	19%	34%	21%	36%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0	8	13	14	17

Tableau 18 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 1, facteurs déterminants

Les permutations maximales de 14 et 17 rangs pour les calculs secondaire et tertiaires correspondent à des variations de 7 % et 31 % pour les facteurs 140 (rivière by pass) et 161 (volume total disponible). Comparé au modèle 3, le modèle 1 réduit les variations de 41% et les permutations de 42%.

Avec les calculs secondaire et tertiaire, 6 et 5 facteurs changent de zone. Les variations moyennes valent 21% et 23% avec un maximum à 33%. Comparé au modèle 3, ce nombre de facteurs est réduit de 15% et 66%. Seul 10% du nombre total de facteurs change de zone.

Nb facteurs 0		Nb facteurs 6		Nb facteurs 5	
n°	Δ	n°	Δ	n°	Δ
		106	20%	108	29%
		108	33%	131	20%
		111	11%	152	12%
		132	31%	154	25%
		152	13%	161	31%
		161	17%		

Tableau 19 : Facteurs dont le calcul secondaire et tertiaire du modèle 3 change la zone

3.4.4. Résultats des analyses de sensibilité

La forte concentration de facteurs dans la zone inerte provoque une permutation importante de rang sans grande variation de pourcentage. Dans les zones extrêmes du graphe, des fortes variations n'impliquent qu'une faible permutation. La permutation est ainsi un bon indicateur de stabilité pour les hauts pourcentages. Ailleurs la variation du pourcentage est préférée.

La variation moyenne des facteurs montre que la frontière entre les zones, posée à 50% doit être ainsi plus judicieusement constitué d'une bande de $\pm 10\%$ autour de la médiane.

Selon la première analyse, **l'intensité des influences a peu d'influence sur les résultats**. La seconde analyse fixe la borne maximale de la variation moyenne à 25% pour un changement de rang de 15% (8.5 places). La troisième analyse montre que **la stabilité des résultats peut être sensiblement augmentée par des coefficients multiplicatifs adéquats**.

La dernière analyse considère les 153 facteurs. Les résultats sont présentés au Tableau 20. Les variations sont réduites à une valeur moyenne maximale de 7%. Les permutations, compte tenu des 153 facteurs, conduisent au même pourcentage. La variation maximale de 48%

correspond à une permutation de deux rangs pour le facteur 305 (coût total sans centrale passage de 97% à 49%).

	Primaire		Secondaire		Tertiaire	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Moyen	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	4%	5%	6%	7%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0.0	0.0	6.1	7.1	8.7	9.9
Max	Variation du taux (activité ou réactivité)					
	0%	0%	19%	27%	23%	48%
Max	Permutation (activité ou réactivité)					
	0	0	44	38	67	52

Tableau 20 : Calcul primaire, secondaire et tertiaire du modèle 1, ensemble des facteurs

Les permutations de 67 et 52 rangs pour le calcul tertiaire correspondent à une variation de 11% pour les facteurs 102 (continuum longitudinal) et 402 (influence des associations de pêcheurs). Selon les calculs secondaire et tertiaire, seul 3 facteurs changent de zone (cf. Tableau 21).

L'activité du facteur 152 (vitesse min eau dans la retenue) passe de 38% pour le calcul primaire à 51% et 50% pour les calculs secondaire et tertiaire. Le facteur 601 (algues) oscille de 4% autour de la médiane. Le facteur 305 (coût total sans centrale) franchit de 1% la barre de 50%.

Nb facteurs		Nb facteurs		Nb facteurs	
0		2		2	
n°	Δ	n°	Δ	n°	Δ
		152	13%	152	12%
		601	8%	305	48%

Tableau 21 : Facteurs dont le calcul secondaire et tertiaire du modèle 1 change la zone pour l'ensemble des facteurs

Les quatre études de sensibilité montrent les limites de cette méthode qualitative. **A condition de relaxer la définition des zones, de considérer conjointement la position des facteurs et leur rang et de choisir des coefficients multiplicatifs raisonnables, la méthode proposée offre un outil d'analyse qualitative fiable.**

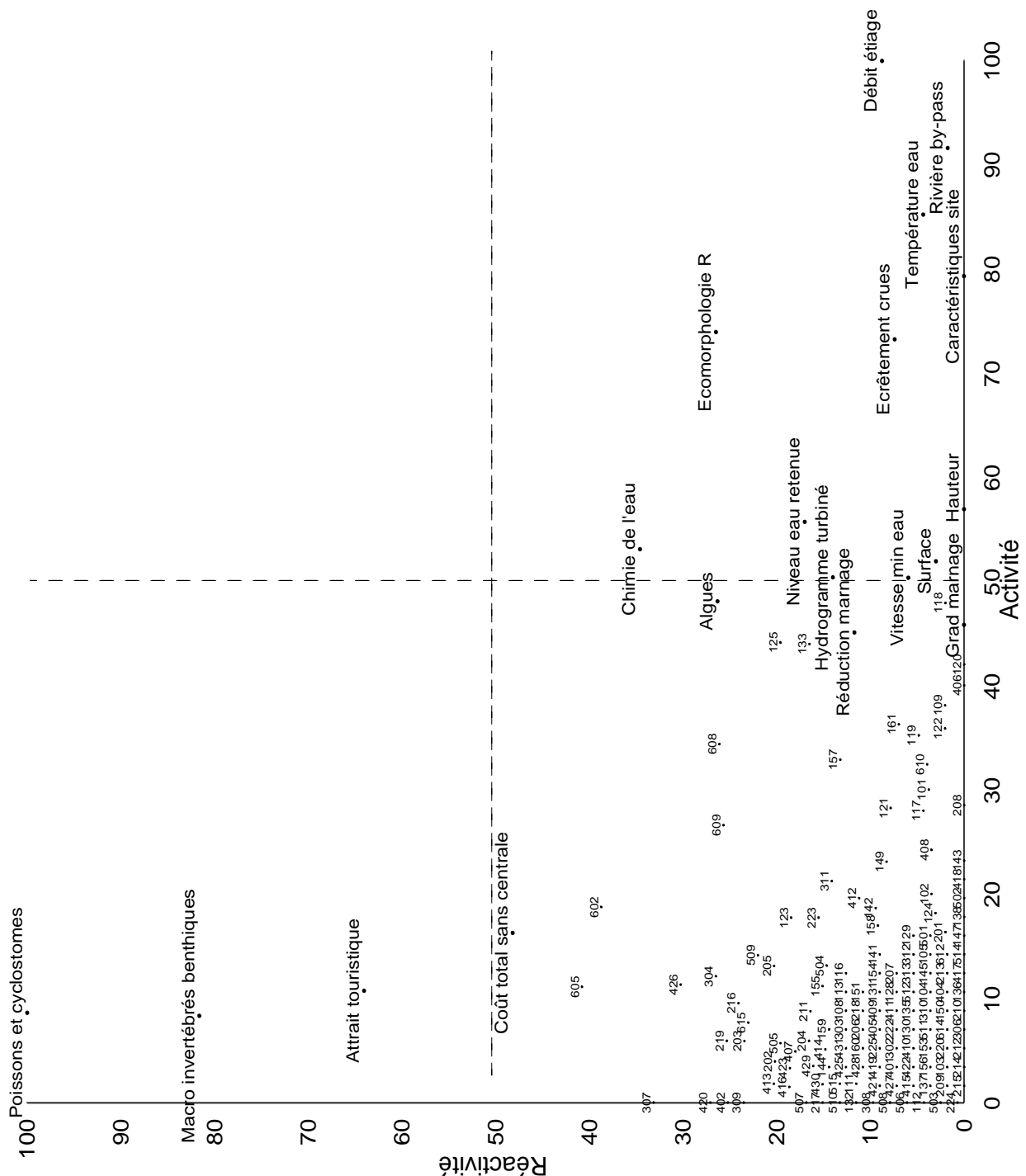
L'analyse des résultats globaux qui suit est faite avec le modèle 1. Les zones ont une frontière de $\pm 10\%$ autour de la médiane. L'analyse porte sur la position et le rang des facteurs.

3.5. Analyse des résultats

Les résultats sont d'abord présentés pour l'ensemble des facteurs dans un graphe. Chaque thème est ensuite traité en particulier. Les graphes sont toujours normés selon leurs maxima respectifs en abscisse (activité) et en ordonnée (réactivité). Les résultats issus du graphe complet permettent une analyse relative des thèmes entre eux. Les analyses thématiques permettent de cibler un seul aspect de l'aménagement et d'en dégager les facteurs essentiels.

3.5.1. Résultats du graphe complet

Le graphe complet (Grappe 3) met en évidence **quinze facteurs actifs, quatre facteurs réactifs, aucun facteur critique et 136 facteurs inertes**. Les graphes primaire, secondaire et tertiaire sont donnés dans les annexes 8.42 à 8.44.



Graph 3 : Résultats tertiaires du graphe complet

A) Facteurs actifs

La **hauteur du barrage** (facteur 115 à 54%) et la **surface de l'aménagement** (facteur 146 à 53%) ne sont pas les facteurs les plus actifs. Le principe du barrage étant admis, avec la surface nécessaire à l'aménagement, l'**écrêtement des crues** (facteur 110 à 73%) ou la **rivière by-pass** (facteur 140 à 92%) prennent plus d'importance. Selon le calcul choisi, les **caractéristiques inhérentes du site** (facteur 148 à 79%) perdent un peu d'importance (variation de 100% à 79%). Elles restent cependant un facteur très actif. Cette activité souligne l'importance du choix du site. Il influence directement le potentiel de réduction du marnage, d'écroulement des crues, d'influence sur la nappe phréatique. La qualité du sol pour la construction en dépend également. Il conditionne les nuisances sur le voisinage potentiel et l'influence sur une centrale

aval. La **température de l'eau** (facteur 613 à 85%) et le **débit d'étiage** (facteur 106 à 100%) influencent spécialement l'écologie du système aval. Tous deux sont très peu dirigeables sinon par la gestion et le volume de la retenue. La **vitesse de l'eau dans la retenue** (facteur 152 à 50%) est justement le paramètre qui conditionne le temps de séjour dans la retenue. Cette vitesse influence également positivement la réduction de la sédimentation.

B) Facteurs actifs faiblement réactifs

L'**hydrogramme turbiné** (facteur 126 à 50%) est le premier facteur d'ordre énergétique. Influencé par le débit équipé (facteur 208 à 30%) et le débit du cours d'eau, il est, avec le **niveau de la retenue** (facteur 134 à 56%), le moteur de la production hydroélectrique. Sa position médiane sur le graphe indique que la production d'énergie doit être considérée comme une opportunité pour un tel aménagement. Les deux facteurs écologiques « **algues** » (facteur 601 à 48%) et « **chimie de l'eau** » (facteur 603 à 53%) sont dépendants de la qualité écologique de l'ensemble du cours d'eau. A la base de la chaîne alimentaire, ils l'influencent directement. Ces deux facteurs ne sont pas directement dirigeables. Ils le sont partiellement à travers l'« **Ecomorphologie de niveau R** » (facteur 606 à 74%). Les dépendances réelles de ces paramètres écologiques nécessitent une analyse détaillée.

La **réduction du marnage** apparaît en douzième position (activité de 45%). Cette faiblesse provient de sa duplication : réduction du marnage (facteur 139 à 45%) et gradient de variation du marnage (facteur 114 à 45%). Réunis, ils sont à la quatrième position (82%). Distincts, ils montrent l'impact de la variation du niveau d'eau et de la vitesse avec laquelle cette variation se produit. Ces deux aspects sont appréciés à la même valeur (45%). Le laminage par la retenue permet une réduction de ces effets négatifs. Faiblement réactif par les aspects hydrauliques, ils influencent de manière importante le processus écologique. Il convient de les traiter comme variables de projet dont les limites sont fixées et que la gestion doit respecter.

C) Facteurs réactifs

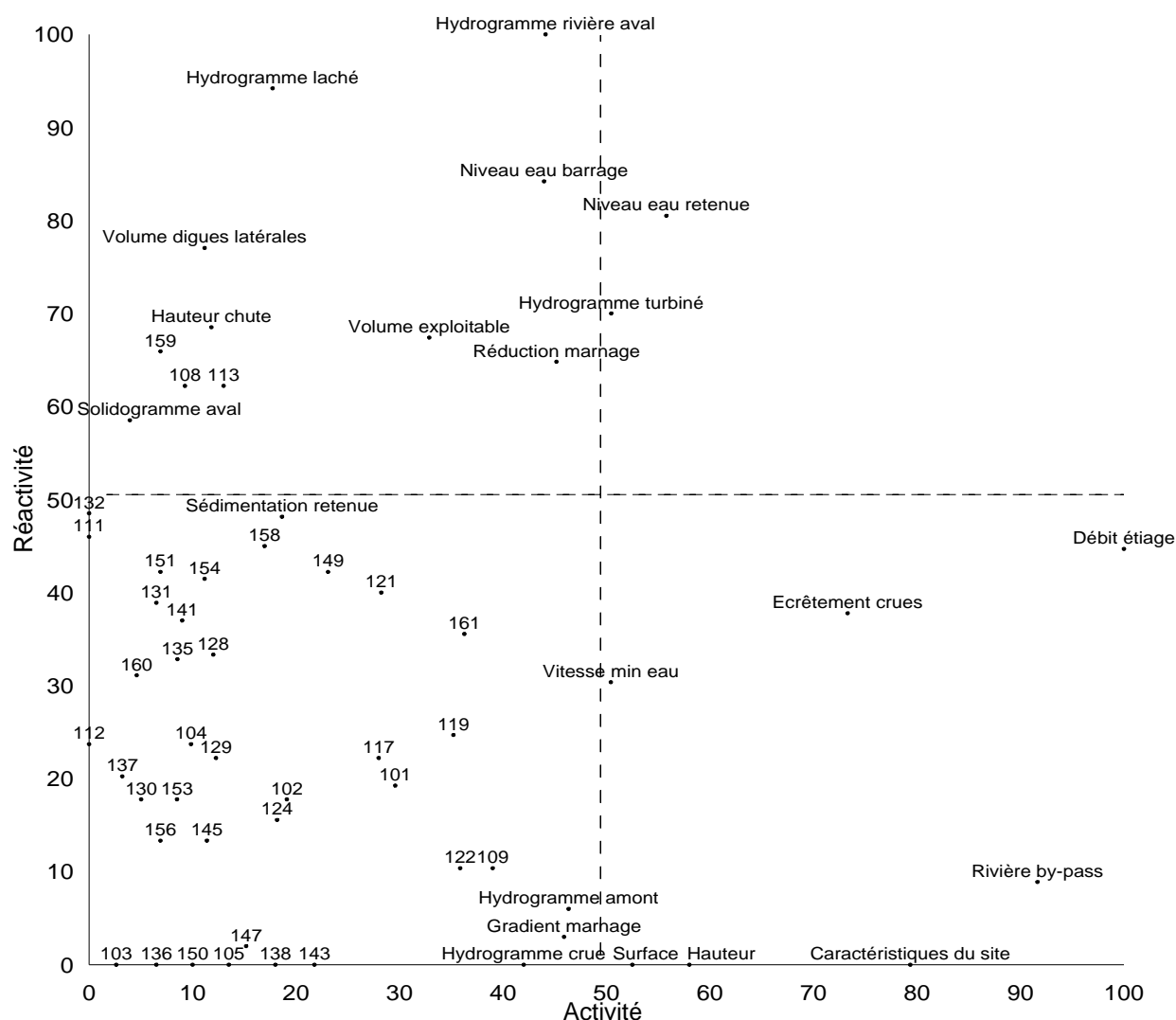
Les quatre facteurs réactifs mettent en évidence **trois aspects** : l'**écologie** (les deux facteurs les plus réactifs), les **loisirs** par l'offre que constitue un tel aménagement et les **finances**. L'amélioration du fonctionnement écologique se traduit par la croissance de la population aquatique. Les **poissons** (facteur 611 à 100%) et les **macro-invertébrés benthiques** (facteur 607 à 82%) sont les taxons idéaux pour mesurer un tel impact. Dans la mesure où la demande touristique existe, l'**attrait touristique** (facteur 403 à 64%) généré par la retenue et les aménagements idoines peut être la source d'un développement économique. Ce résultat nécessite cependant une étude des mécanismes à la base d'une telle réussite. Ainsi les investissements additionnels nécessaires à l'offre de loisirs doivent être soigneusement étudiés. Selon la modélisation (coût additionnel de la centrale à charge de l'exploitant), le **coût total sans centrale** (facteur 305 à 48%) est l'indicateur financier principal. Une simplification du réseau financier permet de supprimer cet élément au profit du « coût public de l'aménagement » (facteur 304). Le coût à charge de l'Etat devient ainsi le premier indicateur. Ce changement est confirmé par la position du facteur « finances cantonales » (facteur 307 à 33% de réactivité). Ce facteur est un indicateur global des finances de l'Etat liées à un tel aménagement. Il s'agit en particulier du coût de l'aménagement, de la réduction des coûts de protection contre les crues et de rentrées fiscales supplémentaires (impôts sur la production hydroélectrique).

3.5.2. Résultats du graphe « facteurs hydrauliques »

Sauf les facteurs inertes, le graphe hydraulique (Graphe 4) distingue sept facteurs actifs, trois facteurs actifs légèrement critiques, cinq facteurs réactifs légèrement critiques et six facteurs réactifs. Les graphes primaire, secondaire et tertiaire sont donnés dans les annexes 8.24 à 8.26.

A) Facteurs actifs

L'activité du graphe complet est normée par le débit d'étiage (facteur 106 à 100%). Ainsi les remarques concernant l'activité des **caractéristiques inhérentes du site** (facteur 148 à 79%) et le **gradient de variation du marnage** (facteur 114 à 46%) énoncées au paragraphe 3.5.1 sont valables pour ce graphe. L'importance donnée à la **rivière by-pass** (facteur 140 à 92%) est d'ordre écologique. Ce facteur contient implicitement le débit résiduel. L'**hydrogramme de la rivière amont** (facteur 118 à 46%), moteur de l'aménagement, est un facteur totalement non dirigeable. Il est la variable externe prépondérante. Une étude particulière doit déterminer des valeurs vraisemblables. Cette remarque est valable pour l'**hydrogramme de crue** (facteur 120 à 44%). Les résultats ne distinguent pas la **hauteur du barrage** (115 à 54%) et la **surface de la retenue** (146 à 53%). Les trois calculs aboutissent à des positions très proches. Le fonctionnement hydraulique de l'aménagement est basé sur le volume de rétention. Ce dernier peut être atteint par une grande hauteur ou une grande surface. Relativement au volume, la hauteur influence positivement la production d'énergie mais augmente les coûts de construction, les infiltrations dans la nappe phréatique et l'impact visuel de l'ouvrage. La surface influence le coût d'achat des terrains. L'approche financière cherche à relativiser ces deux facteurs (cf. paragraphe 3.5.4). Véritables leviers du projet, il est cependant difficile, par un modèle qualitatif, de quantifier leurs impacts négatifs.



Graph 4 : Résultats tertiaires du graphe hydraulique

B) Facteurs actifs faiblement réactifs

Le **débit d'étiage** (facteur 106 à 100%) a beaucoup d'importance pour les aspects écologiques. Il conditionne directement le débit résiduel dans la **rivière by-pass** (facteur 140). Pour la rivière aval, il est nettement moins dirigeable. Son influence est dépendante du volume utile de la retenue. C'est ainsi, selon la rivière aval ou la rivière by-pass, une variable de projet (design) ou une variable de gestion (management). L'**écrêtement des crues** (facteur 110 à 73%) a une position active car il représente deux aspects. L'aspect sécuritaire est réduit par la diversité des facteurs nécessaires à la modélisation physique de l'écrêtement des crues (facteurs 159 volume de rétention des crues, 113 gestion des crues, 121 hydrogramme de crue aval et 120 hydrogramme de crue amont dont la différence est justement l'écrêtement). Réunis, ce facteur a une réactivité de 88%. Il devient ainsi un bon indicateur. Sa valeur active lui vient de son aspect écologique. Les inondations conditionnent le rajeunissement de l'écosystème dans la mesure où elles ne sont que partiellement destructives. La **vitesse minimale de l'eau dans la retenue** (facteur 152 à 50%) réduit grandement la sédimentation de cette dernière. Elle est réglée par le débit de la digue perméable. Sa faible réactivité vient de la modélisation physique (influence de l'hydrogramme amont sur ce débit).

C) Facteurs réactifs faiblement actifs

Indicateur principal de l'aménagement, l'**hydrogramme aval** (facteurs 125 à 100%) résume toute l'influence de la retenue. La valeur maximale de réactivité lui revient logiquement. Sa faible activité vient de l'influence qu'il a sur le niveau d'eau aval ainsi que la réduction du marnage. Les **niveaux d'eaux de la retenue et du barrage** (facteurs 133 et 134 à 84% et 80%) sont des facteurs nécessaires à la modélisation physique. Ils ne présentent pas d'intérêt particulier. L'**hydrogramme turbiné** (facteur 126 à 70%) est influencé par le débit équipé (facteur 208 du thème énergétique) et l'hydrogramme de la rivière amont. Il est la principale variable de gestion de la production d'énergie. Il est toutefois peu dirigeable et se situe donc dans une position relativement critique (activité à 51% et réactivité à 70%). Le **volume exploitable** (facteur 157 à 67%) se trouve, pour les mêmes raisons, dans une position similaire.

D) Facteurs réactifs

L'**hydrogramme lâché** (facteur 123 à 94%) constitue avec l'hydrogramme turbiné et le débit résiduel, l'hydrogramme de la rivière aval. La maximisation de la production d'énergie, sous contraintes écologiques, revient à minimiser l'hydrogramme lâché. Cet hydrogramme constitue ainsi un bon indicateur de l'optimisation énergétique. Les **digues latérales** (facteur 155 à 77%), selon leur volume, ont une influence directe sur le coût de l'aménagement. Avec la longueur des digues latérales (facteur 131 à 39%), ce volume est un paramètre de l'impact visuel lié aux digues. Ce volume et cette longueur sont ainsi des indicateurs architecturaux du projet. La **hauteur de chute** (facteur 116 à 69%) est le second moteur de la production d'énergie. Elle n'est toutefois pas dirigeable. Elle dépend entièrement d'un choix initial (hauteur du barrage) et de la gestion de l'aménagement (niveau d'eau à l'amont et à l'aval du barrage). Elle est le second indicateur de l'optimisation énergétique du système. Le **solidogramme aval** (facteur 144 à 59%) et la **sédimentation de la retenue** (facteur 142 à 48%) résument l'impact de l'aménagement sur le débit solide transporté. Dépendant du solidogramme de la rivière amont et de la vitesse minimale dans la retenue, le déficit solide à l'aval peut provoquer une érosion de la rivière. Ces deux facteurs doivent ainsi être retenus comme indicateur.

3.5.3. Résultats du graphe « facteurs énergétiques »

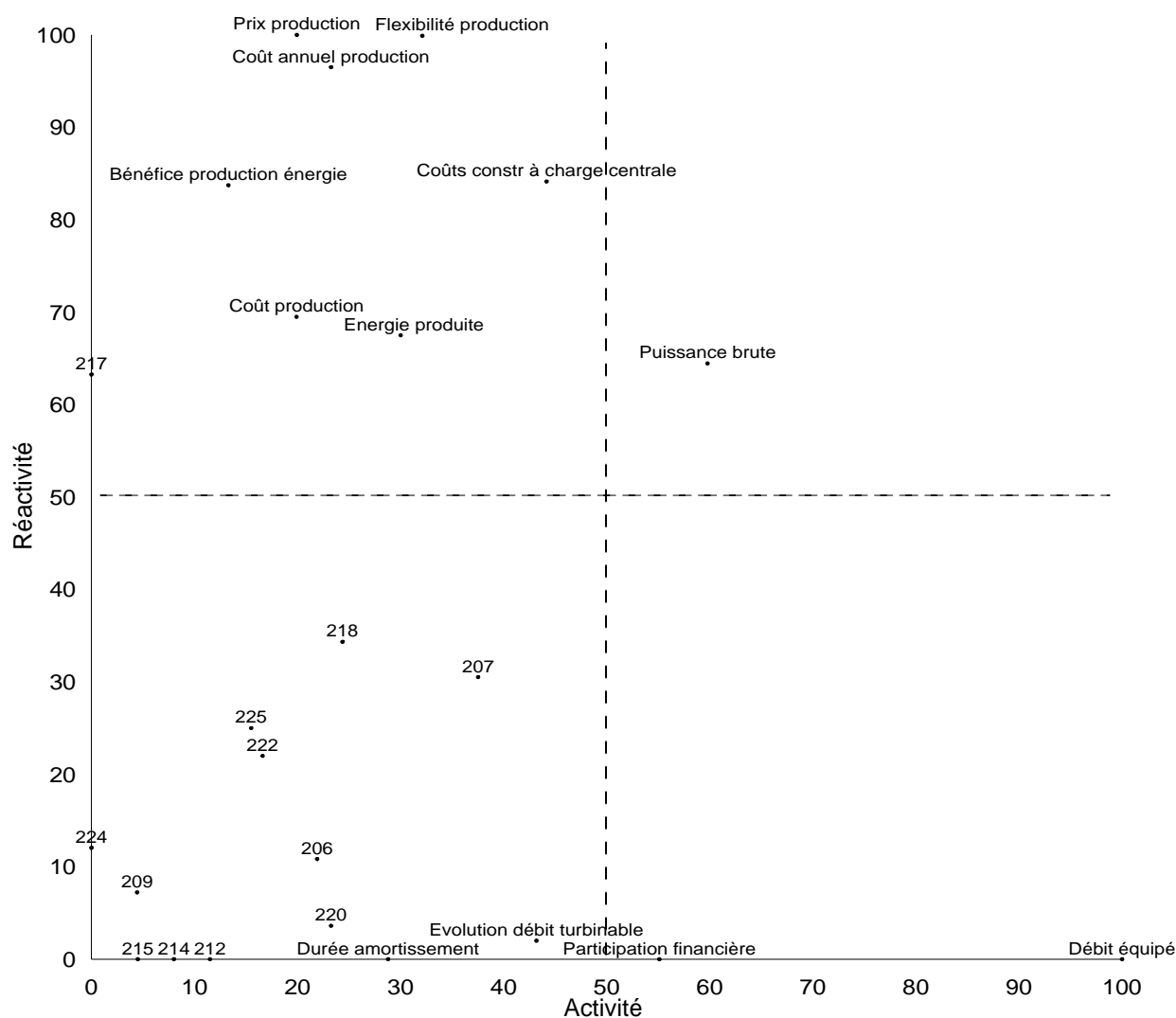
Le graphe énergétique (Graphe 5) soulignent trois facteurs actifs, deux facteurs critiques et sept facteurs réactifs. Les trois graphes sont donnés dans les annexes 8.27 à 8.29.

A) Facteurs actifs

Le barrage mis en place, le **débit équipé** (facteur 208 à 100%) fixe la limite supérieure à la production d'énergie. La **participation financière** (facteur 201 à 55%) conditionne le rendement de cette opération. L'**évolution du débit turbinable** (facteur 213 à 43%) permet de tenir compte des variations hydrologiques ou légales futures. C'est, par définition, un facteur non dirigeable pour lequel des scénarii vraisemblables doivent être choisis. La **durée de l'amortissement** (facteur 210 à 29%) semble moins déterminante.

B) Facteurs critiques

La **puissance brute** (facteur 223 à 60% d'activité et 65% de réactivité) réunit le débit et la hauteur de chute. Elle permet le calcul de la production d'énergie et des impôts (redevance et impôts). Sa position critique est donc logique. Les **coûts de construction à charge de la centrale** (facteur 205 à 44% d'activité et 84% de réactivité) comprennent les coûts pour l'installation des machines hydrauliques et la participation à l'aménagement. Ils sont une variable de passage pour le calcul du rendement financier de la production d'énergie. Avec la puissance brute, ils ne sont pas directement dirigeables.



Graph 5 : Résultats tertiaires du graphe énergétique

C) Facteurs réactifs

Les facteurs réactifs soulignent deux aspects : l'**énergie produite** (facteur 211 à 68%) et le **rendement financier**. Ce rendement est décomposé en coût annuel de production (facteur 203 à 97%) et en prix de l'énergie produite (facteur 219 à 100%). Le ratio du coût annuel par

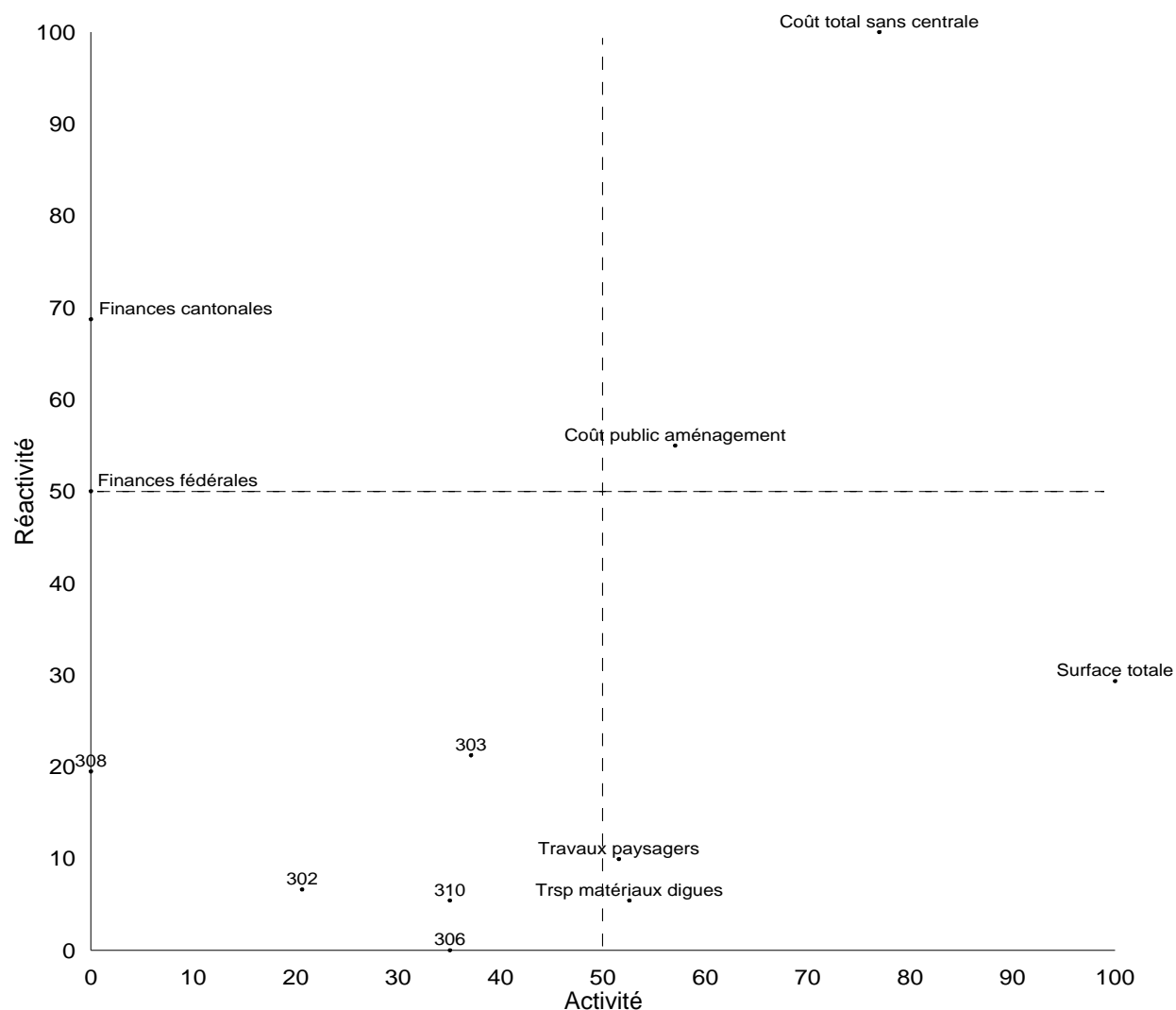
l'énergie produite donne le coût de l'électricité produite (facteur 204 à 68%). Avec la flexibilité de production (facteur 216 à 100%) le **bénéfice de la production** (facteur 202 à 84%) est calculé. Ce dernier facteur résume financièrement tous les précédents. La **flexibilité de production aval** (facteur 217 à 63%) peut devenir prépondérante avec des barrages en série. Elle peut cependant être ramenée à des considérations financières.

3.5.4. Résultats du graphe « facteurs financiers »

Le graphe financier (Graphe 6) indique trois facteurs actifs, deux facteurs critiques et deux facteurs réactifs. Les trois graphes sont donnés dans les annexes 8.30 à 8.32.

A) Facteurs actifs

La **surface totale** (facteur 311 à 100%) est le facteur le plus actif. Sa réactivité (29%) vient de l'addition des surfaces partielles (épanchement, retenue, écologie et loisirs) et des contraintes légales (facteur 406). Cette limite doit être fixée selon les cas. Le **transport des matériaux** pour la construction des digues (facteur 213 à 53%) est une conséquence des caractéristiques du site (topographie et relation hauteur-volume de la retenue) et de la hauteur du barrage. Relativement à la surface totale, ce facteur est moins important. Cette conclusion est discutable sans étude quantitative (cf. 3.5.2A). Les **travaux paysagers** (facteur 312 à 52%) traduisent la volonté d'intégrer l'aménagement dans un concept architectural. Influencés par les digues, ces travaux ont un impact direct sur les finances et sur l'aspect paysager (facteur 401).



Grphe 6 : Résultats tertiaires du graphe financier

B) Facteurs critiques

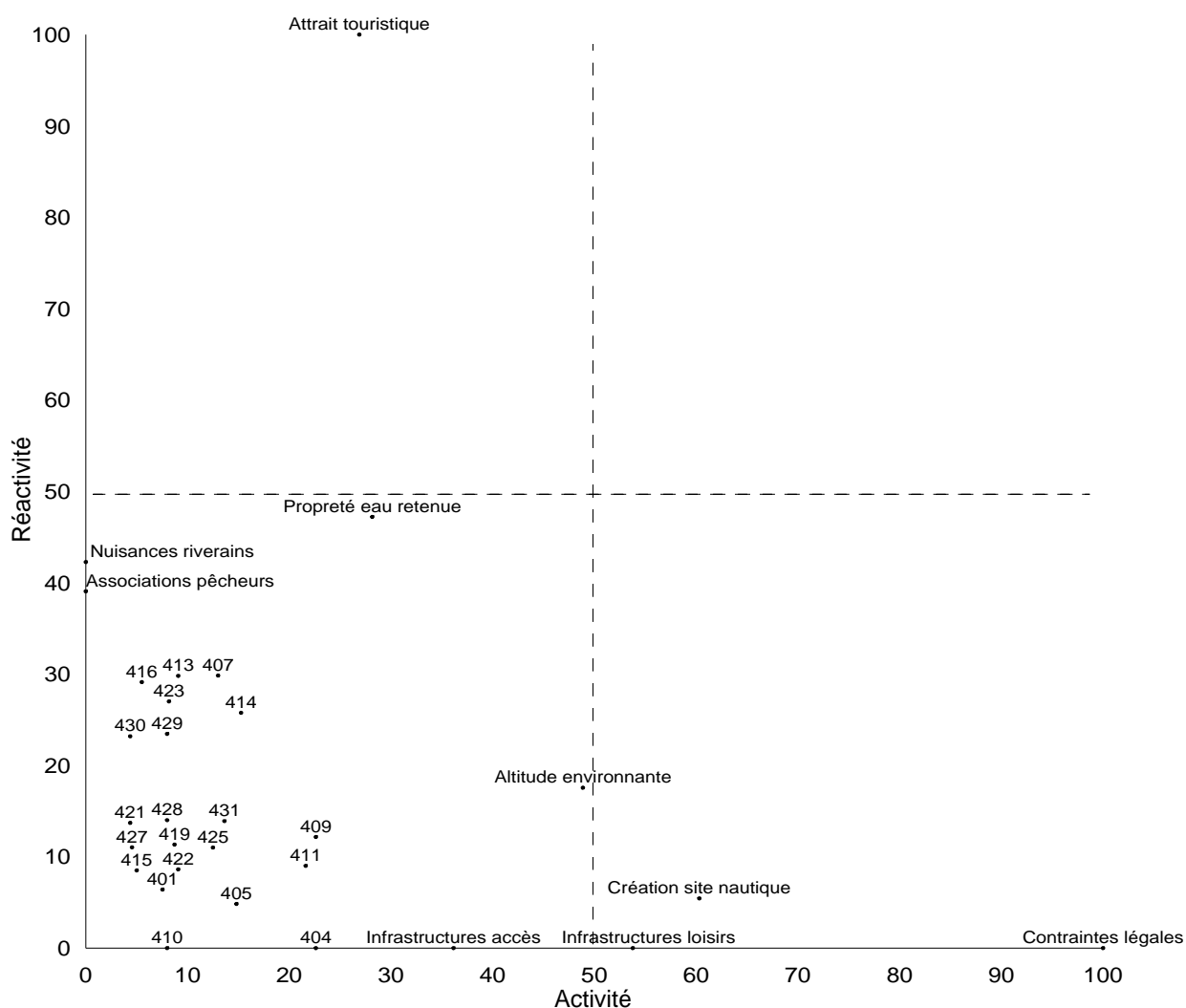
Les deux facteurs critiques, **coût public de l'aménagement** (facteur 304 à 57% d'activité et 55% de réactivité) et **coût total sans centrale** (facteur 305 à 77% et 100%) représente le financement du projet par la collectivité publique. Réunis, celui-ci a une position encore plus critique (82% et 100%). Ce facteur n'est que le résultat négatif des choix pris en amont. Il néglige les aspects positif (gains escomptés par un tel investissement). Il n'est donc pas un indicateur du projet.

C) Facteurs réactifs

L'impact de ce projet sur les **finances cantonales et fédérales** est l'indicateur financier réel. D'importance régionale, les finances cantonales (facteur 307 à 69%) arrivent devant les finances fédérales (facteur 309 à 49%). Ces deux entités sont touchées directement par le financement de l'aménagement et indirectement par la réduction des mesures de protection contre les crues. Les redevances supplémentaires liées à la production hydroélectrique pèsent également dans les finances cantonales. Dans le cadre du Rhône, il n'y a pas de redevance communale.

3.5.5. Résultats du graphe « facteurs socio-économiques »

Le graphe socio-économique (Graphe 7) indique cinq facteurs actifs, dont quatre moyennement, et quatre facteurs réactifs dont deux faiblement critiques. Les graphes primaire, secondaire et tertiaire sont donnés dans les annexes 8.33 à 8.35.



Graphie 7 : Résultats tertiaires du graphe socio-économique

A) Facteurs actifs

Les **contraintes légales** (facteur 406 à 100%), très actif, sont par essence non dirigeables. Elles constituent des bornes au projet. Elles limitent la surface totale d'un tel aménagement et fixent le débit résiduel, perdu pour la production d'énergie. Une étude précise de ces contraintes est nécessaire. Le **site nautique** (facteur 408 à 60%), les **infrastructures de loisirs** (facteur 418 à 54%) et les **infrastructures d'accès** (facteur 417 à 36%) sont des variables de projet relatives à l'offre touristique de l'aménagement. L'**altitude environnante** (facteur 412 à 49%) est directement dépendante des caractéristiques du site. Elle conditionne les risques résiduels (aspects hydrauliques) et les impacts relatifs à la nappe phréatique.

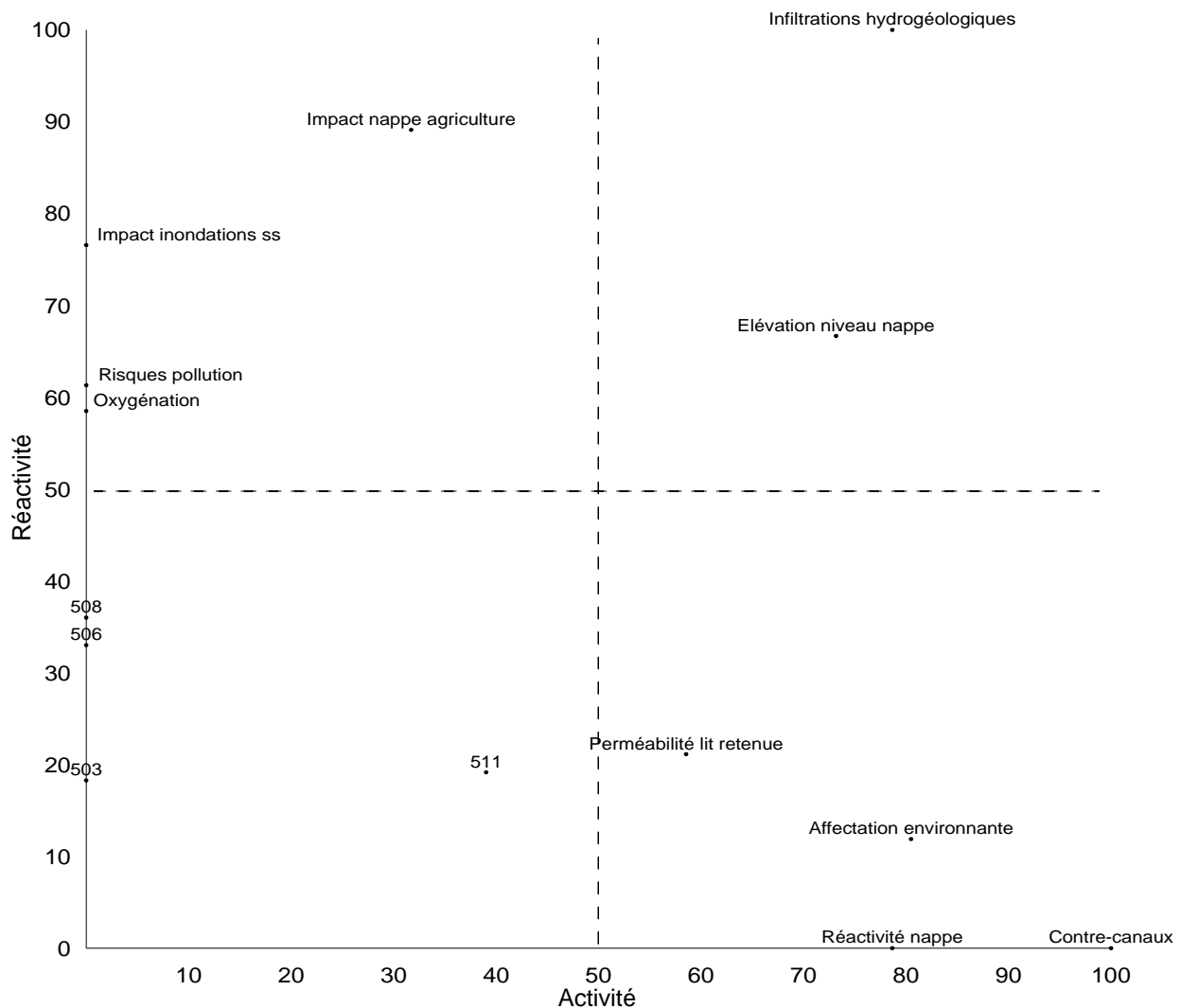
B) Facteurs réactifs

Les quatre facteurs soulignent trois aspects de l'aménagement : tourisme, riverains et pêcheurs. La **propreté de l'eau** (facteur 426 à 47%) conditionne avec la température le potentiel d'activité nautique. Par ce biais, elle influence l'attrait touristique de l'aménagement. Cet **attrait** (facteur 403 à 100%) résume l'ensemble des attraits liés aux activités potentielles. Il est toutefois complètement dépendant de la demande touristique. Une étude de cette demande, ou de la volonté de développement touristique, est nécessaire. Les **nuisances sur les riverains** (facteur 420 à 42%) soulignent l'importance de remporter l'adhésion des riverains à une telle construction. Ils doivent être inclus dès les phases initiales au processus décisionnel. Les **pêcheurs** (facteur 402 à 39%), puisqu'il s'agit de leur milieu de prédilection, doivent être traités de manière similaire aux riverains.

Selon le calcul (secondaire dans ce cas), la **disponibilité de sols de bonne qualité agricole** (facteur 413 à 39%) monte au quatrième rang. Ceci souligne l'importance à accorder au secteur primaire de l'économie. Riverains, pêcheurs et agriculteur sont ainsi les interlocuteurs à convaincre pour obtenir les conditions initiales de faisabilité d'un tel projet.

3.5.6. Résultats du graphe « facteurs nappe phréatique »

Les résultats (Grappe 8) montrent trois zones : quatre facteurs actifs, deux facteurs critiques et quatre facteurs réactifs. Les trois graphes sont donnés dans les annexes 8.36 à 8.38.



Graph 8 : Résultats tertiaires du graphe nappe phréatique

A) Facteurs actifs

La **réactivité de la nappe** (facteur 514 à 79%) et l'**affectation environnante** (facteur 501 à 81%) sont des facteurs directement dépendants du site et non dirigeables. La **perméabilité du lit** (facteur 512 à 59%) est un facteur peu dirigeable. La sédimentation des matériaux fins peut réduire les infiltrations. La mise en place d'une couche initiale peut également avoir un effet. Ecologiquement, ce colmatage n'est pas souhaitable. Les **contre-canaux** (facteur 502 à 100%) constituent la seule variable de projet pour limiter la surélévation de la nappe. Ils présentent cependant un surcoût par la place qu'ils occupent et les travaux qu'ils engendrent. Ils offrent en contrepartie un biotope à forte valeur ajoutée (eau claire et écoulement lent).

B) Facteurs critiques

La **surélévation de la nappe phréatique** (facteur 504 à 73% d'activité et 67% de réactivité) et les **infiltrations hydrogéologiques** (facteur 509 à 79% d'activité et 100% de réactivité) sont clairement critiques. Ils sont distincts pour être conforme à la modélisation physique. Réunis, ils sont encore plus critiques (83% et 100%). La surélévation est une conséquence de l'augmentation de la pression hydrostatique sur le lit. Elle n'a d'influence que selon l'affectation des terrains environnants. Ce facteur est donc logiquement critique.

C) Facteurs réactifs

L'impact sur les terrains environnants est représenté l'**impact de la nappe sur l'agriculture** (facteur 505 à 90%) et l'**impact de la nappe sur les inondations des sous-sols** (facteur 507 à

77%). Ces deux facteurs dépendent de l'affectation, de l'altitude relative et de l'augmentation du niveau de la nappe autour de la retenue. Ils constituent deux indicateurs réels des impacts générés par la variation des eaux dans le sous-sol. Cette conclusion confirme celle obtenue au paragraphe 3.5.5A. Les **risques de pollution de la nappe** (facteur 515 à 60%) et l'**oxygénation de la nappe** (facteur 510 à 60%) constitue le second aspect. Ils soulignent le fonctionnement propre à la nappe phréatique. Les probabilités d'occurrence liées à la pollution de la nappe et les conséquences possibles doivent être étudiées pour mesurer le risque réel encouru.

3.5.7. Résultats du graphe « facteurs écologiques »

Le graphe écologique (Grappe 9) distingue trois zones : un facteur très actif, trois facteurs actifs faiblement critiques et deux facteurs réactifs. Les trois graphes sont donnés dans les annexes 8.39 à 8.41.

A) Facteurs actifs

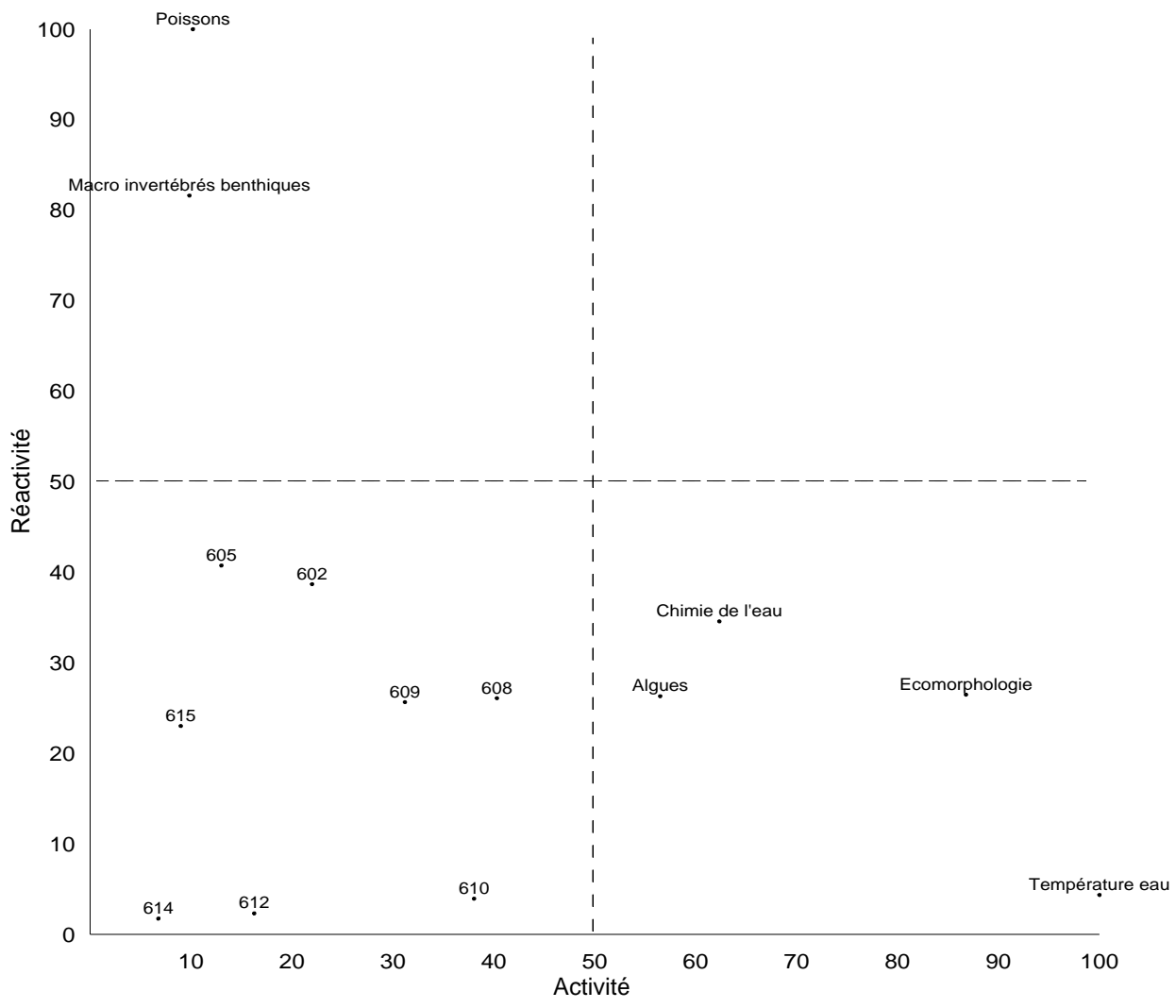
La **température de l'eau** (facteur 613 à 100%) influence directement toute l'écologie et une partie des activités sociales. Elle fixe par sa borne inférieure le potentiel touristique. Pour l'écologie aquatique, elle impose le développement. Ce facteur est peu dirigeable. Les variations journalières de la retenue pour le laminage réduisent le séjour de l'eau et son réchauffement dans la retenue.

B) Facteurs actifs faiblement réactifs

L'**écomorphologie** (facteur 606 à 87%) est le seul facteur directement dirigeable. Il favorise, par un design approprié, la diversité écologique. Il a de l'importance pour les objets entièrement gérés par l'aménagement (contre-canaux ou rivière by-pass) mais est fortement réduit dans un contexte plus général (la rivière dans son ensemble avec la retenue). L'aménagement doit ainsi être particulièrement conçu pour favoriser le développement écologique dans ses parties autonomes et chercher à réduire les impacts négatifs de la rivière dans son ensemble par une gestion adéquate. Sa réactivité (27%) vient de sa dépendance vis-à-vis de l'hydraulique (marnage, débit d'étiage, continuum interrompu) qui contrôle la richesse écologique du site. La **chimie de l'eau** (facteur 603 à 63%) et les **algues** (facteur 601 à 67%) sont très peu dirigeables. Leur activité vient de leur position initiale dans la chaîne alimentaire aquatique. Comme premier maillon, ils déterminent le développement potentiel.

C) Facteurs réactifs

Les **poissons et cyclostomes** (facteur 611 à 100%) et les **macro-invertébrés benthiques** (facteur 607 à 82%) sont facilement identifiables et repérables dans une rivière. Ils constituent également la fin de la chaîne alimentaire. Ils sont donc de bons indicateurs écologiques.



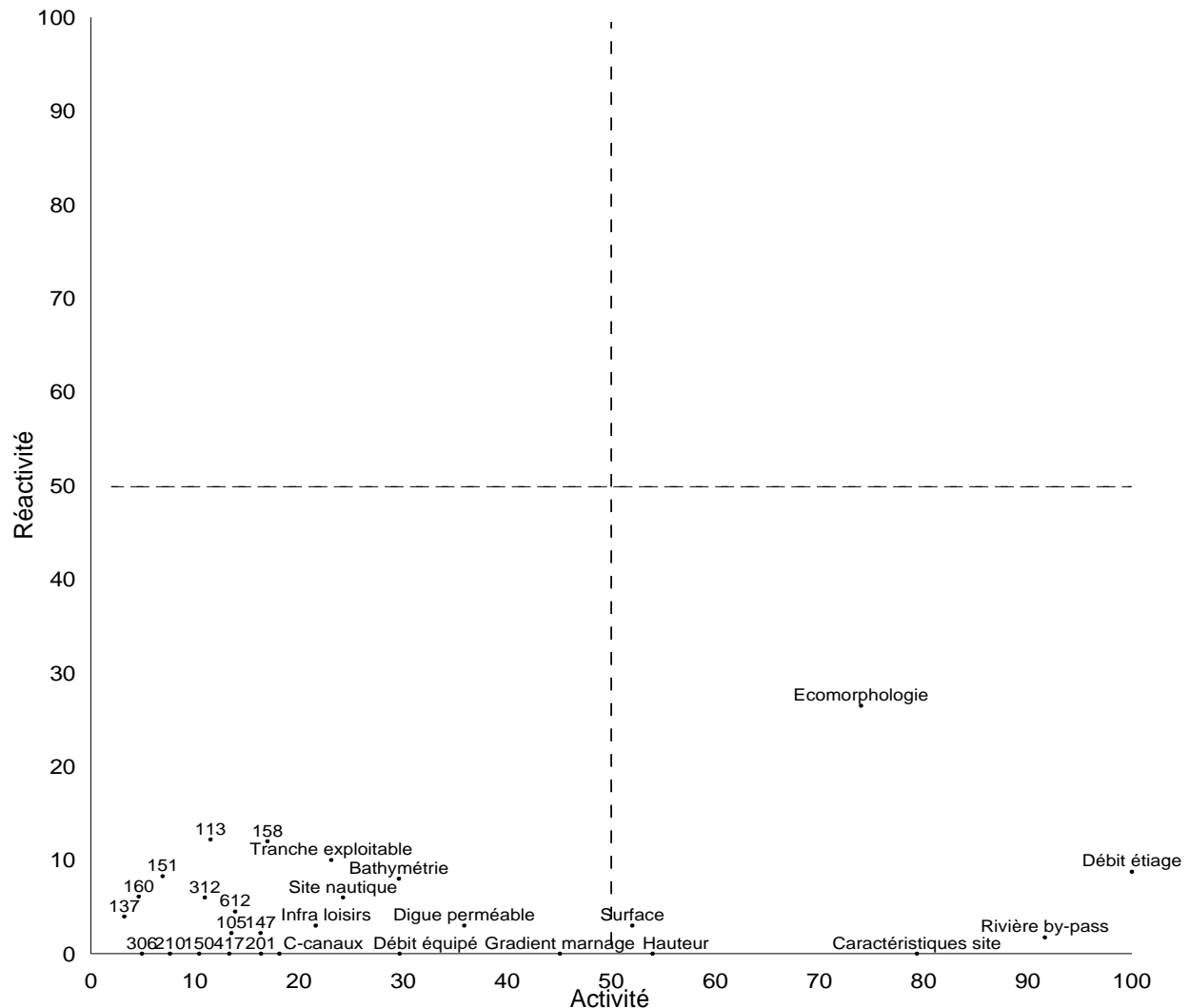
Grphe 9 : Résultats tertiaires du graphe écologique

4. CONCLUSIONS

L'élaboration de solutions concrètes à partir des résultats obtenus est difficile. Les résultats des différents graphes peuvent être synthétisés selon deux axes : les facteurs qui forment le vecteur solution, c'est-à-dire, les variables de projet et de gestion, et les facteurs qui constituent les variables des fonctions objectif partiel, c'est-à-dire, les variables objectif.

4.1. Résultats du graphe « variables de projet et de gestion »

Ce graphe (Graphe 10) est issu du graphe complet et ne garde que les facteurs dirigeables. Il souligne deux variables de gestion et douze variables de projet. Ces facteurs sont analysés selon leur activité. Les trois graphes sont donnés dans les annexes 8.45 à 8.47.



Graphe 10 : Résultats tertiaires partiels du graphe complet, variables de projet et de gestion

4.1.1. Variables de gestion

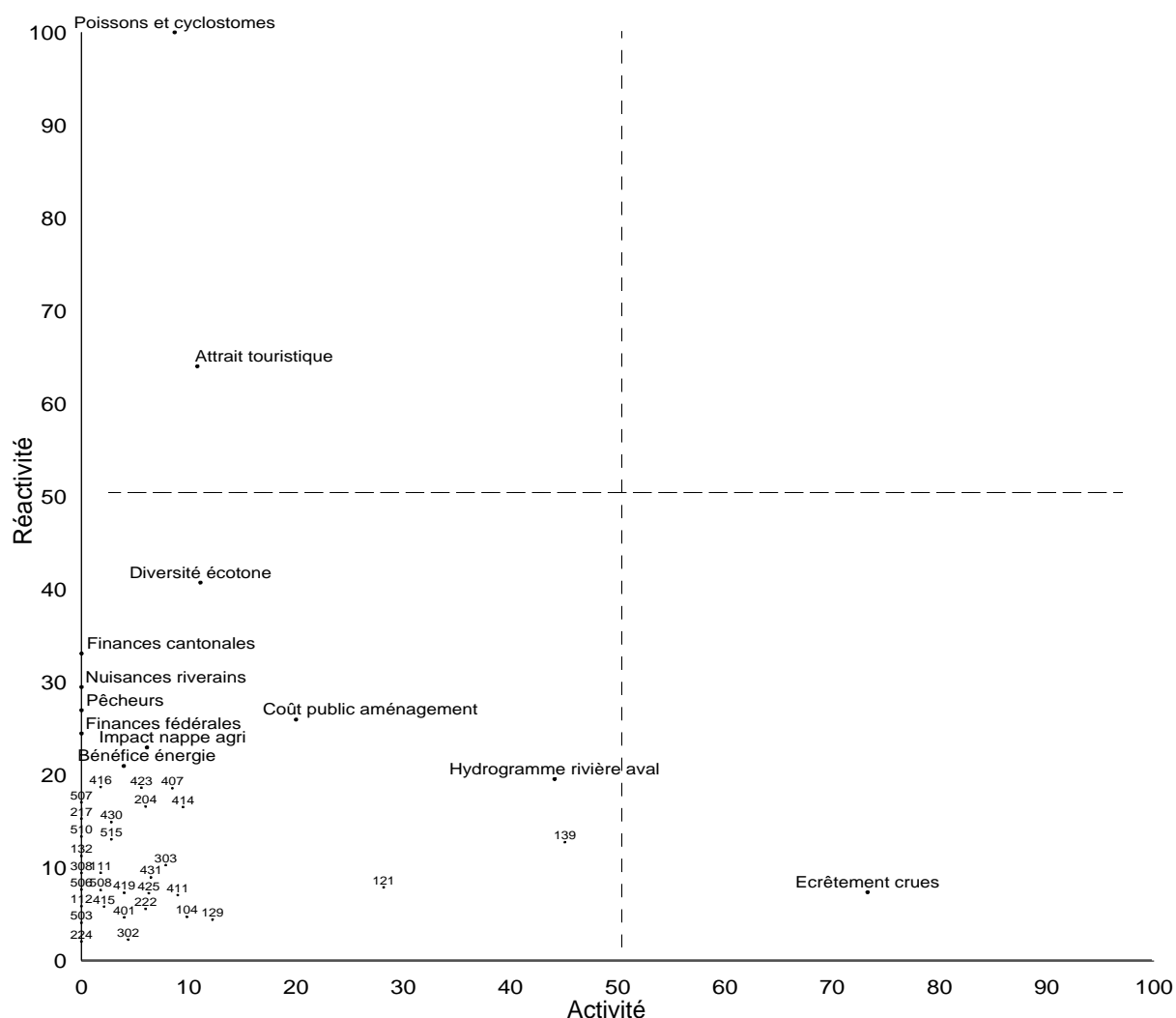
Les deux variables de gestion sont hydrauliques. Le **débit d'étiage** (facteur 106 à 100%) a une réactivité de 9%. Elle vient de la durée du débit d'étiage (facteur 109) et du volume exploitable à disposition (facteur 157). Le débit d'étiage n'est pas complètement dirigeable mais dépendant de l'équation de continuité. Seul la modélisation physique permet de quantifier le soutien de l'aménagement à la rivière aval. Le **gradient de variation du marnage** (facteur 114 à 45%) est un facteur actif uniquement. Ce résultat admet implicitement un volume de laminage suffisant pour régler la dérivée de l'hydrogramme selon une gestion indépendante.

4.1.2. Variables de projet

Le classement de ces facteurs selon une logique de conception, fait d'abord venir les **caractéristiques inhérentes du site** (facteur 148 à 79%). La **hauteur du barrage** (facteur 115 à 54%) et la **surface de la retenue** (facteur 146 à 52%) constituent l'épine dorsale de l'aménagement. L'impact négatif issu de la rupture du continuum aquatique est minimisé par la **rivière by-pass** (facteur 140 à 92%) et l'**écomorphologie** (facteur 606 à 74%). La gestion des problèmes de sédimentation de la retenue nécessite une **bathymétrie** adéquate (facteur 101 à 30%) ainsi qu'un **débit à travers la digue perméable** (facteur 122 à 36%) pour créer un champ de vitesses optimal. Les effets sur la nappe phréatique sont contenus à l'aide de **contre-canaux** (facteur 502 à 18%). La **tranche exploitable de la retenue** (facteur 149 à 23%) permet de réduire les brusques variations de débit et garder le niveau de la rivière dans des limites écologiquement acceptables. Enfin la production d'énergie, **débit équipé** (facteur 208 à 30%), et les aspects touristiques, **site nautique** (facteur 408 à 24%) et **infrastructures de loisirs** (facteur 418 à 22%), peuvent venir se superposer.

4.2. Résultats du graphe « variables objectif »

Ce graphe, tiré du graphe complet, ne retient que les facteurs indicateurs de l'aménagement (variables objectif). Après élimination des facteurs peu influencés (valeur de réactivité inférieure à 20%) douze facteurs résument les aspects écologiques (quatre facteurs), les aspects financiers (six facteurs) et les aspects riverains (deux facteurs). Ils sont analysés selon leur potentiel de réactivité. Les trois graphes sont donnés dans les annexes 8.48 à 8.50.



Graph 11 : Résultats tertiaires partiels du graphe complet, variables objectifs

4.2.1. Indicateurs de type financier

L'**attrait touristique** (facteur 403 à 64%) est le fruit d'investissements financiers. De même l'**impact de la nappe sur l'exploitation agricole** (facteur 505 à 21%) peut être compensé par des dédommagements pécuniaires. Ces deux facteurs, les **finances cantonales et fédérales** (facteurs 307 à 33% et 309 à 23%), le **coût public de l'aménagement** (facteur 304 à 27%), le **bénéfice de l'exploitation hydroélectrique** (facteur 202 à 20%) peuvent se résumer à un bilan financier. L'**écrêtement des crues** (facteur 110 à 17%) peut également être transformé en indicateur financier.

4.2.2. Indicateurs d'un autre type

Seules les **nuisances sur les riverains** (facteur 420 à 27%) et les facteurs écologiques sont d'un autre ordre. La **diversité de l'écotone** (facteur 605 à 41%) conjointement au développement des **poissons** (facteur 611 à 100%) sont le fruits d'améliorations qui se mesurent notamment par le **débit aval de la rivière** (facteur 125 à 20%). Ces changements se répercutent principalement sur les associations qui s'intéressent au fonctionnement écologique de la rivière dont les **associations de pêcheurs** (facteur 402 à 25%). C'est pourquoi les riverains et les associations écologiques doivent être considérés comme partenaires privilégiés d'un tel aménagement.

5. PERSPECTIVES

Le traitement des systèmes complexes nécessite une approche particulière. La forte interconnexion des éléments qui le constituent et leurs aspects hautement dynamiques rendent l'**approche globale nécessaire**. Par essence, un aménagement fluvial à buts multiples appartient à un tel système. Ainsi, un outil d'aide à la conception de ces ouvrages nécessite une méthode d'évaluation globale. L'établissement de cette **nouvelle méthode** d'évaluation est le but de ce travail.

Dans un premier temps, la **mise à jour des acteurs** du système est nécessaire pour comprendre leurs motivations et **trouver les facteurs** déterminants. L'**établissement des relations** entre ces derniers permet de construire le fonctionnement complexe de l'aménagement. L'**évaluation du réseau** obtenu souligne les aspects importants des mécanismes induits.

Cette modélisation a permis de détecter les aspects les plus sensibles d'un aménagement hydraulique à buts multiples, notamment de souligner les variables de décision et les indicateurs importants. Cette étude a distingué les variables de projet des variables de gestion. Elle relève comme **variables de projet** l'ensemble des aspects constructifs (hauteur du barrage, surface de la retenue, contre-canaux, aménagement de loisirs, débit équipé). Comme **variables de gestion**, elle relève deux aspects hydrauliques : le soutien au débit d'étiage (réduction de l'amplitude du marnage) et la réduction du gradient de marnage. Ils sont tous deux résumés dans l'hydrogramme aval. L'unique variable de gestion est donc le débit qui sort de l'aménagement.

Cette modélisation a également montré **ses limites**. Les aspects qualitatifs peuvent être comparés sur une même échelle arbitraire malgré des éléments d'unités différentes. Cependant il est difficile de distinguer réellement le poids des éléments entre eux, encore moins celui de leurs variations relatives. Seul un **modèle quantitatif** peut le faire. Cette première modélisation en a montré le besoin.

L'absence de relations rigoureuses entre les différents facteurs n'est pas suffisante pour rejeter les enseignements d'un tel modèle. Cet état lui permet au contraire de considérer des relations difficilement modélisables mathématiquement. Il faut moins le voir en opposition à un modèle quantitatif, plutôt comme une extension (Atkinson, 2004). L'établissement d'un **modèle quali-quantitatif** permettrait de retenir tous les aspects d'un modèle qualitatif sans négliger la rigueur d'un modèle quantitatif. Ce modèle est schématisé à la Figure 9. Une grande difficulté, hormis la définition des relations entre les éléments d'une même appartenance, réside dans le passage de l'information d'un type à un autre.

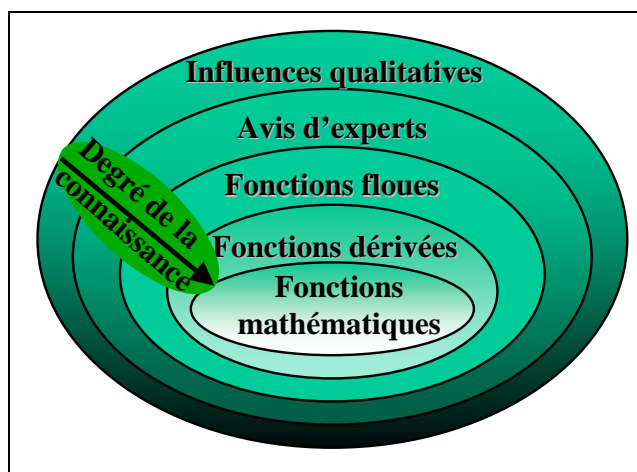


Figure 9 : Modèle quali-quantitatif

6. REMERCIEMENTS

Ce travail, fruit d'une bonne collaboration spécialement entretenue avec le Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes (GECOS, EPFL), est également le résultat d'une série d'entretiens bilatéraux avec les différents partenaires de ce projet.

Les facteurs et réseaux des thèmes hydraulique et énergétique sont le fruit de discussions avec les bureaux d'études privés STUCKY (Lausanne, Suisse) et VA TECH (Vevey, Suisse) ainsi qu'avec les Forces Motrices Valaisannes (FMV Valais, Suisse). Les aspects financiers ont été spécialement discutés avec le Service des Forces Hydrauliques (SFH Valais, Suisse). Ce dernier service ainsi que le Laboratoire de Paysage et Architecture (PARC, EPFL) et l'équipe de la troisième correction du Rhône (Rhône 3, Valais, Suisse) ont également participé à la mise en évidence des facteurs socio-économiques ainsi que leurs relations réciproques. Le réseau qui représente le fonctionnement de la nappe phréatique est le fruit d'une collaboration directe avec l'hydrogéologue de la troisième correction du Rhône. Enfin tous les aspects écologiques sont soit directement issus du Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, soit le fruit d'une collaboration avec ce même laboratoire ou avec le Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Aquatique (LEBA, Université de Genève, Suisse).

7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., Tajrishi, M., and Marino, M. (2005). "Case Study : Application of Multicriteria Decision Making to Urban Water Supply." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(4), 326-335.
- Arakawa, M., Yamakawa, H., and Ishikawa, H. "Robust Design Using Fuzzy Numbers with Intermediate Variables." *AIT - CU Workshop 2003*, Asian Institute of Technology Conference Center, Thailand.
- Atkinson, G. (2004). "Common ground for institutional economics and system dynamics modeling." *System Dynamics Review*, 20, 275-286.
- Banville, C., Landry, M., Martel, J.-M., and Boulaire, C. (1998). "A stakeholder approach to MCDA." *System Research and Behavioral Science*, 15(1), 15-32.
- Bollaert, E., Imrger, P., and Schleiss, A. "Management of sedimentation in a multiple reservoir in a run-of-river powerplant project on an Alpine river." *Proc. HYDRO 2000*, Bern, Switzerland, 183-192.
- Brans, J.-P., and Vincke, P. (1985). "A preference ranking organization method : The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making." *Management science*, 31(6), 647-656.
- Buchecker, M., Hunziker, M., and Kienast, F. (2003). "Participatory landscape development: overcoming social barriers to public involvement." *Landscape and Urban Planning*, 64, 29-46.
- Cai, X., Lasdon, L. S., and Michelsen, A. M. (2004). "Group Decision Making in Water Resources Planning Using Multiple Objective Analysis." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(1), 4-14.
- Chen, Q., and Mynett, A. E. (2004). "A robust fuzzy logic approach to modelling algae biomass." *Journal of Hydraulic Research*, 42(3), 303-309.
- Coyle, G. (2000). "Qualitative and quantitative modelling in system dynamics : some research questions." *System Dynamics Review*, 16(3), 225-244.
- Daniels, S. E., Lawrence, R. L., and Alig, R. J. (1996). "Decision making and ecosystem based management: applying the Vroom Yetton model to public participation strategy." *Environmental Impact Assessment Review*, 16, 13-30.
- Delbecq, A. L., Ven, A. H. v. d., and Gustafson, D. H. (1975). *Group Techniques for Program Planning : A Guide to Nominal Group and Delphi Processes*, Scott, Foresman.
- Doyle, J. K. (1997). "The cognitive psychology of systems thinking." *System Dynamics Review*, 13(3), 253-265.
- Duggan, E. W., and Thachenkary, C. S. (2004). "Integrating nominal group technique and joint application development for improved systems requirements determination." *Information and management*, 41, 399-411.
- Duram, L. A., and Brown, K. G. (1999). "Assessing public participation in US watershed planning initiatives." *Society and Natural Resources*, 12, 455-467.
- EuroDicauTom. (1982). "Definition de la dynamique des systemes." *Recueil de terminologie spatiale*, <http://ec.europa.eu/eurodicautom/Controller>.
- Flug, M., Seitz, H. L. H., and Scott, J. F. (2000). "Multicriteria Decision Analysis Applied to Glen Canyon Dam." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(5), 270-276.
- Fontane, D. G., Gates, T. K., and Moncada, E. (1997). "Planning Reservoir Operations with Imprecise Objectives." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123(3), 154-162.
- Gabrys, B., and Bargiela, A. (1999). "Neural Networks Based Decision Support in Presence of Uncertainties." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(5), 272-280.

- Gomez, P., and Probst, G. (1995). *Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens*, Paul Haupt, Bern, Switzerland.
- Gordon, T. J. (1994). "The Delphi Method." AC/UNU Millennium Project.
- Griffin, C. (1999). "Watershed councils: an emerging form of public participation in natural resource management." *Journal of the American Water Resources Association*, 35(3), 505-518.
- Hill, M. J., Braaten, R., Veitch, S. M., Lees, B. G., and Sharma, S. (2005). "Multi-criteria decision analysis in spatial decision support : the ASSESS analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis." *Environmental Modelling and Software*, 20, 955-976.
- Hyde, K. M., Maier, H. R., and Colby, C. B. (2004). "Reliability-Based Approach to Multicriteria Decision Analysis for Water Resources." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(6), 429-438.
- Irniger, P. (2000). "Aménagement à buts multiples sur le Rhône, Travail pratique de Master, Faculté ENAC, EPFL, Switzerland." Laboratoire de Constructions Hydrauliques, EPFL, Lausanne.
- Kapoor, I. (2001). "Towards participatory environmental management ?" *Journal of Environmental Management*, 63(3), 269-279.
- Knoepfel, P., Larrue, C., and Varone, F. (2001). *Analyse et pilotage des politiques publiques*, Helbing et Lichtenhahn, Bâle, Switzerland.
- Leach, W. D., and Pelkey, N. W. (2001). "Making Watershed Partnerships Work : A Review of The Empirical Literature." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(6), 378-385.
- Landeta, J. (2006). "Current validity of the Delphi method in social sciences." *Technological Forecasting and Social Change*, 73, 467-482.
- Liu, A., Collins, A., and Yao, S. (1998). "A Multi-Objective and Multi-Design Evaluation Procedure for Environmental Protection Forestry." *Environmental and Resource Economics*, 12, 225-240.
- Luna-Reyes, L. F., and Andersen, D. L. (2003). "Collecting and analyzing qualitative data for system dynamics: methods and models." *System Dynamics Review*, 19(4), 271-296.
- Lund, J. R., and Ferreira, I. (1996). "Operating Rule Optimization for Missouri River Reservoir System." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(4), 287-295.
- Luyet, V. (2005). "Bases méthodologiques de la participation lors de projets ayant des impacts sur le paysage. Cas d'application : la plaine du Rhône valaisanne," thèse No 3342, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, EPFL, Switerland, EPFL, Lausanne.
- Maani, K. E., and Maharaj, V. (2004). "Links between systems thinking and complex decision making." *System Dynamics Review*, 20(1), 21-48.
- Mahmoud, M. R., and Garcia, L. A. (2000). "Comparison of different multicriteria evaluation methods for the Red Bluff diversion dam." *Environmental Modelling and Software*, 15, 471-478.
- Martino, J. P. (1993). *Technological Forecasting for Decisionmaking*, Mcgraw-Hill, USA.
- Mason, R., and Mitroff, I. (1981). *Challenging Strategic Planning Assumptions*, John Wiley and Sons, New York, USA.
- Maystre, L., Pictet, J., and Simos, J. (1994). *Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*, Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne, Switzerland.
- Meile, T., Schleiss, A., and Boillat, J.-L. (2005). "Entwicklung des Abflussregimes der Rhone seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts." *Wasser-Energie-Luft*, 97(5/6), 133-142.

- Mena, S. B. (2000). "Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision." *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 4(2), 83-93.
- Netto, O. C., Parent, E., and Duckstein, L. (1996). "Multicriterion Design of Long-Term Water Supply in Southern France." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(6), 403-413.
- Nikolopoulos, C. (1997). *Expert systems*, Basel, Switzerland.
- Ohkubo, S., and Dissanayake, P. (1999). "An Intelligent Multicriteria Fuzzy Optimum Design Method for Large-Scale Structural Systems." *International Journal of Numerical Methods in Engineering*, 45, 195-214.
- Park, M., Nepal, M. P., and Dulaimi, M. F. (2004). "Dynamic Modeling for Construction Innovation." *Journal of Management in Engineering*, 20(4), 170-177.
- Rangarajan, B., Allen, J. K., and Mistree, F. "Modeling Uncertainty in Preliminary Design Stages through the Usage of Fuzzy Goals in Compromise Decision Support Problems." *3rd World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization*, New York, USA.
- Rapport de synthèse. (2000). "Troisième correction du Rhône, Sécurité pour le Futur", Canton du Valais, Service des Routes et Cours d'eaux, Suisse.
- Rapport N° 4'371/ 14'002a, (1999). "3^{ème} correction du Rhone – Synergie possible avec les paliers de production hydroélectrique", Phase I, Canton du Valais, Suisse.
- Richmond, B. (1997). "The thinking in systems thinking: how can we make it easier to master", *The Systems Thinker*, 8, Pegasus Communications, USA.
- Rowe, G., and Wright, G. (1996). "The impact of task characteristics on the performance of structured group forecasting techniques." *International Journal of Forecasting*, 12, 73-89.
- Roy, B. (1968). "Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)." *Revue Française de Recherche Operationnelle*, 2(8), 57-75.
- Russell, S. O., and Campbell, P. F. (1996). "Reservoir Operating Rules with Fuzzy Programming." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(3), 165-170.
- Sanchez, M., Prats, F., Agell, N., and Ormazabal, G. (2005). "Multiple-Criteria Evaluation for Value Management in civil Engineering." *Journal of Management in Engineering*, 21(3), 131-137.
- Sasikumar, K., and Mujumdar, P. P. (1998). "Fuzzy Optimization Model for Water Quality Management of a River System." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 124(2), 79-88.
- Schärlig, A. (1985). *Décider sur plusieurs critères, panorama de l'aide à la décision multicritère*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Switzerland.
- Schleiss, A. (2001). "Solutions et mesures pour réduire les effets nuisibles, Cycle d'étude postgrade en aménagements hydrauliques, LCH, EPFL, Switzerland." m. Sous-module 2, ed., Cycle d'étude postgrade en aménagements hydrauliques, LCH-ICARE-ENAC-EPFL, Switzerland.
- Schlüter, M., Savitsky, A. G., McKinney, D. C., and Lieth, H. (2005). "Optimizing long-term water allocation in the Amudarya River delta: a water management model for ecological impact assessment." *Environmental Modelling and Software*, 20, 529-545.
- Shrestha, B. P., Duckstein, L., and Stakhiv, E. Z. (1996). "Fuzzy Rule-Based Modeling of Reservoir Operation." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(4), 262-269.
- Site confédéral, www.admin.ch
- Site valaisan, www.vs.ch
- Steiner, I. D. (1972). *Group Process and Productivity*, Academic Press, New-York, USA.

- Sterman, J. D. (2002). "Dana Meadows : Thinking globally, acting locally." *System Dynamics Review*, 18(2), 101-107.
- Steuer, R. E. (1986). *Multiple criteria optimisation : theory, computation and application*, John Wiley and Sons, USA.
- Taylor, J. G., and Ryder, S. D. (2003). "Use of the delphi method in resolving complex water resources issues." *Journal of the American Water Resources Association*, 39(1), 183-189.
- UN. "Earth Summit, Agenda 21." *Conference on Environment and Development (UNCED)*, Rio de Janeiro, Brazil.
- Vester, F. "Simulating complex systems as sustainable organization by transparent sensitivity models." *4th International Eurosim Congress*, Netherlands.
- Yin, Y. Y., Huang, G. H., and Hipel, K. W. (1999). "Fuzzy Relation Analysis for Multicriteria Water Resources Management." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(1), 41-47.
- Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy Sets." *Information and Control*, 8, 338-353.

8. ANNEXES

8.1. Orientation et perspective des acteurs, liste exhaustive

Les différents acteurs			Centres d'intérêt	Perspectives des acteurs	
Classes	Niveaux	Acteurs		Un AHFABUM est un système visant à ...	
Politique Fédérale	DFI	OFMC (météo suisse)	alarme	alermer en cas de crue	
		OFSP (santé publique)	microclimat	étudier les microclimats	
	DDPS	CENAL		activités physiques	promouvoir les activités physiques du point de vue de la santé
				micro-organismes	ne pas développer de micro-organismes nuisibles à la santé
	DFF	AFF (finances)		énergie propre (air)	réduire les émissions polluantes
				santé publique	contribuer à la santé publique
	DFE	AFC (contribution)		rupture barrage	être pourvu d'un système d'alarme en cas de rupture
			SECO	effet d'une crue	réduire l'effet d'une crue
	DETEC	ARE		activité physique (santé)	promouvoir les activités physiques du point de vue de la santé
			OFFT (formation et technologie)	activité physique (éduca)	promouvoir les activités physiques du point de vue éducatif
		OFAEP (approv. économique)		financement projet	posséder un financement propre
				coût R3	réduire les coûts de la R3
		OFEF		travaux R3	permettre un déphasage des travaux avec la R3
				redevance fédérale	générer des redevances fédérales supplémentaires
		OFAGR		emplois	générer des emplois supplémentaires
				ingénierie	développer les sciences liées à l'ingénierie
	OFT		recherche et développement	promouvoir la recherche et le développement	
			production agricole	générer une production agricole	
	OFEG		terres arables	permettre la vente de terres arables	
			paiements directs	réduire les subventions (paiements directs)	
	OFEN		approvisionnement électrique	contribuer à l'approvisionnement en électricité	
			approvisionnement agricole	contribuer à l'approvisionnement en produit agricole	
	OFEP		aménagement territoire	respecter les directives de l'aménagement du territoire	
			transport	respecter les directives concernant le transport	
	OFEG		espace rural	respecter l'espace rural	
			transport	développer les infrastructures de transport	
	OFEG		hydroélectricité	développer le potentiel hydroélectrique	
			ressource hydraulique	protéger les ressources hydrauliques	
	OFEN		économie des eaux	satisfaire aux exigences écologiques de la loi fédérale	
			hydrogéologie	protéger les eaux souterraines	
	OFEP		risques liés à l'eau	limiter les risques résiduels liés à une crue	
			approvisionnement énergie	contribuer à l'approvisionnement en énergie	
	OFEP		production électricité	contribuer à l'approvisionnement en électricité	
			énergie renouvelable	contribuer à l'approvisionnement en énergie renouvelable	
	OFEP		protection de la nature	contribuer à la protection de la nature	
			protection des forêts	contribuer à la protection de la forêt	
	OFEP		protection du paysage	contribuer à la protection du paysage	
			protection des eaux	contribuer à la protection des eaux	
	OFEP		protection de l'air	réduire les émissions polluantes	
			protection sols	contribuer à la protection des sols	
Politique Canton	Finance, agri.	ACF	financement du projet	posséder un financement propre	
			coût R3	réduire les coûts de la R3	
		SCC		coût d'entretien du projet	avoir des coûts d'entretien aussi bas que possible
				redevance cantonale	générer des redevances cantonales supplémentaires
		SCA		viticulture	générer une production viticole supplémentaire
				arboriculture/horticulture	générer une production arboricole/horticole supplémentaire
		DSSE (santé)	SSP (santé publique)	maraîcher	générer une production maraîchère supplémentaire
				irrigation	favoriser l'irrigation
		SEN	SFH	eau potable	générer de l'eau potable
				sport	promouvoir les activités physiques du point de vue de la santé
		SFH	SFH	énergie propre	contribuer à l'approvisionnement en énergie renouvelable
				santé publique	contribuer à la santé publique
		SFH	SFH	énergie propre	contribuer à l'approvisionnement en énergie
				force hydraulique	contribuer à l'approvisionnement en énergie renouvelable
		SFH	SFH	redevance hydraulique	contribuer au développement de l'énergie hydraulique
				risques résiduels	générer des redevances hydrauliques
		SFH	SFH	crue	limiter les risques résiduels liés à une crue
				zone d'épanchement	écrêter les crues
	Education/sport	Economie	SCPF	activité sportive	favoriser le principe des zones d'épanchement
				emplois	promouvoir les activités physiques du point de vue éducatif
	Economie	SCPF	pêche	générer des emplois supplémentaires	
			chasse	promouvoir la pêche	
	Economie	SCPF	aménagement territoire	promouvoir la chasse	
				respecter les directives de l'aménagement du territoire	
	Economie	SCPF	aménagement territoire	respecter les directives de l'aménagement du territoire	
				favoriser la renaturation du site	
	Economie	SCPF	renaturation	favoriser la renaturation du site	
			forêt alluviale	créer une zone alluviale	
	Economie	SCPF	emplois	générer des emplois supplémentaires	
			développement régional	favoriser le développement régional	
	Economie	SCPF	tourisme	augmenter l'attractivité touristique du canton	
			chômage	réduire le chômage	
	Economie	SCPF	fonctionnement transports	augmenter la fiabilité des infrastructures de transport	
			aménagement cours d'eaux	aménager les cours d'eaux selon les nouvelles perspectives	
	Economie	SCPF	aménagement routes	aménager les routes selon les nouvelles perspectives	
			hydrogéologie	protéger les eaux souterraines	
	Economie	SCPF	crue	permettre le passage du débit de crue	
			risques résiduels	limiter les risques résiduels liés à une crue	
	Economie	SCPF	retenion	favoriser la retenion de la crue à l'amont	
			déficit écologique	réduire le déficit écologique de la rivière	
	Economie	SCPF	synergie avec l'hydroélectricité	permettre une synergie avec l'hydroélectricité	
			agriculture	intégrer l'agriculture	
	Economie	SCPF	coût R3	réduire les coûts de la R3	
			forêts	conserver les forêts	
	Economie	SCPF	nature et paysages	favoriser la nature et les paysages	
			dangers naturels	prévenir les dangers naturels	
	Economie	SCPF	environnement	protéger l'environnement	
			eaux souterraines	ne pas nuire aux eaux souterraines	

		SICT (industrie, travail) STODR Caisse chômage Transport SRCE Troisième Correction du Rhône SFP (forêt, paysage) SPE (protection enviro.)	forêt alluviale emplois développement régional tourisme chômage fonctionnement transports aménagement cours d'eaux hydrogéologie crue risques résiduels rétention déficit écologique synergie avec l'hydroélectricité agriculture coût R3 forêts nature et paysages dangers naturels environnement eaux souterraines	créer une zone alluviale générer des emplois supplémentaires favoriser le développement régional augmenter l'attractivité touristique du canton réduire le chômage augmenter la fiabilité des infrastructures de transport aménager les cours d'eaux selon les nouvelles perspectives aménager les routes selon les nouvelles perspectives protéger les eaux souterraines permettre le passage du débit de crue limiter les risques résiduels liés à une crue favoriser la rétention de la crue à l'amont réduire le déficit écologique de la rivière permettre une synergie avec l'hydroélectricité intégrer l'agriculture réduire les coûts de la R3 conservier les forêts favoriser la nature et les paysages prévenir les dangers naturels protéger l'environnement ne pas nuire aux eaux souterraines
Politique commune	Commune	(personne politique)	redevances communales terres constructibles développement économique coûts du projet population communale tourisme terrains eau électricité infrastructures communales	générer des redevances communales supplémentaires générer des terrains constructibles améliorer la situation économique communale réduire les coûts associés à ce projet augmenter la population communale augmenter l'attractivité touristique communale générer un bénéfice sur la vente de terrains améliorer l'approvisionnement en eau améliorer l'approvisionnement en électricité entretenir les infrastructures communales
Economie	Agriculture	vigneron maraîcher arboriculteur	terrains affectation des terrains production viticole hydrogéologie ventes viticoles gel terrains affectation des terrains production maraîchère hydrogéologie ventes maraîchers gel terrains affectation des terrains production arboricole hydrogéologie ventes arboricoles gel	permettre la vente/achat de terrains transférer des terrains agricoles en constructibles augmenter la production viticole favoriser l'hydrogéologie augmenter les ventes viticoles réduire les risques de gel permettre la vente/achat de terrains transférer des terrains agricoles en constructibles augmenter la production maraîchère favoriser l'hydrogéologie augmenter les ventes maraîchères réduire les risques de gel permettre la vente/achat de terrains transférer des terrains agricoles en constructibles augmenter la production arboricole favoriser l'hydrogéologie augmenter les ventes arboricoles réduire les risques de gel
	Construction	bureau hydraulique bureau géotechnique bureau structure entrepreneur producteur béton constructeur métallique constructeur centrale électrique électricien paysagiste	mandat hydraulique savoir-faire hydraulique mandat géotechnique savoir-faire géotechnique mandat de structure savoir-faire en structure projet de construction savoir-faire (réalisation) béton pièces métalliques projet de construction projet électrique projet paysagiste savoir-faire paysagiste	générer des mandats d'étude hydraulique favoriser l'acquisition de savoir-faire technique générer des mandats d'étude géotechnique favoriser l'acquisition de savoir-faire géotechnique générer des mandats d'étude de structure favoriser l'acquisition de savoir-faire en structure générer un projet à construire favoriser l'acquisition de savoir-faire de l'entrepreneur vendre du béton frais vendre des pièces métalliques générer un projet de construction de centrale générer un projet de construction électrique générer un projet d'aménagement paysagiste favoriser l'acquisition de savoir-faire en matière d'écosystème
	Producteur e'	la centrale elle-même	vente d'électricité production d'électricité coût production flexibilité image barrages plan d'eau volume du lac concurrence marnage zones épanchement risques résiduels insectes climat bruit prix immobilier prix électricité opinion publique	vendre de l'électricité produire de l'électricité réduire les coûts de production d'électricité garder la flexibilité de production améliorer l'image populaire des barrages surélever le plan d'eau à l'amont générer un volume d'eau suffisant pour l'exploitation réduire la concurrence entre producteurs d'électricité écrêter le marnage posséder un système sûr pour les zones d'épanchement limiter les risques résiduels liés à une crue maintenir le développement des insectes améliorer le microclimat contenir les nuisances liées au bruit faire croître le prix de l'immobilier réduire le prix de l'électricité s'assurer de l'acceptation publique
	Contribuable	riverain amont riverain aval contribuable communal contribuable cantonal contribuable fédéral	marnage risques résiduels revenu communal impôts communaux revenu cantonal impôts cantonaux revenu fédéral impôts fédéraux	écrêter le marnage limiter les risques résiduels liés à une crue générer un revenu communal supplémentaire diminuer les impôts communaux générer un revenu cantonal supplémentaire diminuer les impôts cantonaux générer un revenu fédéral supplémentaire diminuer les impôts fédéraux
	Emploi	communal centrale tourisme construction agriculture	emplois long terme emplois long terme emplois long terme emplois court terme emplois long terme	générer des emplois communaux supplémentaires à long terme générer des emplois secondaires supplémentaires à long terme générer des emplois tertiaires supplémentaires à long terme générer des emplois secondaires supplémentaires à court terme conservier le nombre d'emplois du secteur primaire

Loisirs	pour tous promeneur planchiste / rafting / kayak pêcheur nageur/plongeur chasseur équitation camping	accès public accès privé site site plage domaine piste domaine	rendre le site accessible en transport public rendre le site accessible en voiture avec des places de parc générer des itinéraires pour promeneurs/randonneurs générer un site pour les sports nautiques de surface générer un site de pêche de qualité générer une plage d'accès pour les sports aquatiques créer un nouveau domaine de chasse créer de nouvelles pistes d'équitation créer un nouveau domaine pour le camping	
Ecologie	As avec recours	Rheinaubund ASPAN (aménagement territoire) WWF Suisse ASPO (protection oiseaux) LSP (patrimoine national) ProNatura CAS (club alpin suisse) SPE (Equiterre, dev. durable) ASTE (technique pour environ.) Ligue suisse contre bruit FSPAP (protection paysage) FSE (énergie) FSAN (amis de la nature) VSA (protection des eaux) Aqua Viva (cours d'eau, lacs) FSP (pêche et pisciculture) FST (idem ATE) ATE (transport et environn.) Fédération tourisme pédestre Greenpeace Suisse Pro Campagna FACH (chasseurs) Médecins pour l'environnement Initiative des Alpes	eaux + paysage potentiel écologique rivières utilisation sols ressources naturelles site et paysage lois CH forêt eau climat biodiversité espèces rares pollution oiseaux habitats des oiseaux bâti sol à bâtir paysage réserve naturelle paysage nature zone alluviale montagne sport en montagne propreté air bruit développement durable santé public hygiène de l'eau bruit bruit paysage paysage bâti production d'énergie consommation d'énergie sources d'énergie loisirs et nature environnement tourisme pédestre épuration des eaux protection des eaux beauté cours eaux eaux souterraines faune conditions hydrologiques renaturation mesures écologiques nouvelles centrales milieux aquatique espèces aquatiques intérêts des pêcheurs parcimonie énergétique environnement transports santé sécurité des usagers transports zone 30 km/h transfert route-rail itinéraires pédestres la marche défense de la nature défense de l'environnement défense des animaux habitats de la faune diversité des espèces intérêts des chasseurs marche/vélo transport public environnement alpes et trafic nature et trafic oiseaux nature + paysage recherche ornithologique paysage entretien du paysage restauration du paysage paysages ruraux oiseaux exploitation agricole exploitation forestière	participer à la protection des eaux et du paysage naturel développer le potentiel écologique global revitaliser le cours d'eau utiliser judicieusement le sol à bâtir protéger les ressources naturelles protéger le paysage naturel appliquer et développer les lois de protection de la nature protéger et développer la forêt participer à la protection de l'eau combattre le réchauffement planétaire favoriser la biodiversité protéger les espèces rares réduire les émissions polluantes protéger les oiseaux générer des habitats pour les oiseaux conserver le bâti existant utiliser parcimonieusement le sol à bâtir conserver le paysage naturel développer une réserve naturelle protéger le paysage naturel favoriser la nature à l'état sauvage développer les zones alluviales conserver la montagne à l'état naturel favoriser les sports en montagne réduire les émissions polluantes lutter contre le bruit participer au développement durable contribuer à la santé publique contribuer à la qualité de l'eau lutter contre le bruit lutter contre le bruit conserver le paysage naturel revaloriser le paysage naturel intégrer dans le paysage les constructions nouvelles décentraliser la production d'énergie réduire la consommation d'énergie diversifier les sources d'approvisionnement énergétique développer les loisirs naturels respecter l'environnement développer le tourisme pédestre participer à l'épuration naturelle des eaux participer à la protection des eaux maintenir la beauté des cours d'eau protéger la quantité et qualité des eaux souterraines protéger la faune aquatique et terrestre maintenir les conditions hydrologiques naturelles renaturer les cours d'eau imposer les mesures écologiques nécessaires face aux centrales renoncer à la création de toutes nouvelles centrales développer les habitats aquatiques protéger les espèces aquatiques intégrer les intérêts des pêcheurs utiliser l'énergie avec parcimonie générer le minimum d'atteinte à l'environnement réduire les transports inutiles protéger la santé humaine des nuisances garantir au maximum la sécurité des usagers de la route favoriser les transports avec le meilleur rendement énergétique développer les zones 30 km/h et de rencontre favoriser le transfert route-rail développer des itinéraires pédestres agir pour la marche défendre les droits de la nature défendre les droits de l'environnement défendre les droits des animaux en général développer des habitats pour les animaux de chasse diversifier les espèces animales de chasse intégrer les intérêts des chasseurs développer la marche / vélo développer les transports publics respecter l'environnement protéger les alpes contre le trafic protéger la nature contre le trafic protéger les oiseaux protéger la nature et les paysages naturels favoriser la recherche ornithologique préserver les paysages naturels participer à l'entretien des paysages naturels restaurer les paysages naturels préserver les paysages ruraux protéger les oiseaux développer des exploitations agricoles naturelles développer des exploitations forestières naturelles
	Sans recours	Nos oiseaux FSP (fonds suisse paysage) station ornithologique	oiseaux nature + paysage recherche ornithologique paysage entretien du paysage restauration du paysage paysages ruraux oiseaux exploitation agricole exploitation forestière	

	Thèmes	Système	réseau biotope monoculture développement température eau oxygénation eau profondeur eau vitesse écoulement variée diversité morphologie lit échelle à poissons faune terrestre circulation transversale circulation longitudinale diversité développement marnage flore aquatique morphologie lit développement marnage flore terrestre énergie propre air énergie propre déchets déchets dynamique alluviale marnage dynamique alluviale alluvionnement purge infiltrations quantité infiltrations qualité paysage	mettre en réseau des écosystèmes isolés créer un biotope non accessible réduire la monoculture développer la faune aquatique maintenir la température de l'eau dans les limites optimales maintenir le taux d'oxygène dans les limites optimales générer une profondeur optimale pour le développement aquatique favoriser des vitesses variées d'écoulement diversifier les espèces animales aquatiques varier la morphologie du lit de la rivière permettre la circulation longitudinale des poissons (échelle à) développer la faune terrestre favoriser la circulation transversale de la faune favoriser la circulation longitudinale de la faune diversifier la faune terrestre développer la flore aquatique écrêter le marnage diversifier la flore aquatique varier la morphologie du lit de la rivière développer la flore terrestre écrêter le marnage diversifier la flore terrestre contribuer à l'approvisionnement en énergie renouvelable réduire les émissions polluantes contribuer à l'approvisionnement en énergie renouvelable réduire la production de déchets radioactifs écrêter le marnage respecter la dynamique alluviale gérer les problèmes posés par l'alluvionnement gérer les problèmes posés par les purges contenir les débits d'infiltration favoriser les infiltrations de qualité valoriser les paysages naturels
	Science	Ecole	EPFL WSL EAWAG	permettre l'acquisition de nouvelles connaissances progresser dans les recherches sur la forêt progresser dans les recherches sur la neige progresser dans les recherches sur les paysages progresser dans les recherches sur l'épuration des eaux progresser dans les recherches sur l'aménagement des eaux progresser dans les recherches sur la protection des eaux progresser dans les recherches sur la vie aquatique
	Média	Journal TV Radio Internet	Nouvelliste TSR 1 RSR 1 Radio Chablais Radio Rhône	informer les valaisans informer les romands informer les romands informer le bas Valais informer le Valais central améliorer la qualité de vie en Valais améliorer la qualité de vie en Romandie améliorer la qualité de vie en Romandie améliorer la qualité de vie en bas Valaisan améliorer la qualité de vie en Valais central

8.2. Résumé des acteurs et de leurs points de vue

Acteurs politiques

Administration fédérale Au niveau fédéral, l'administration se divise en départements. Tous les départements peuvent trouver une relation avec un tel aménagement. Toutefois les départements les plus concernés sont celui des finances, celui de l'économie ainsi que celui de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication. Le premier est intéressé par une réduction des coûts de la troisième correction du Rhône (administration fédérale des finances) ainsi que par le développement d'entreprises susceptibles de générer des revenus supplémentaires (administration fédérale des contributions). Le second département est intéressé par le développement général de l'économie, en particulier la création d'emplois (secrétariat d'Etat à l'économie) et l'utilisation des ressources naturelles (Office fédéral pour l'approvisionnement économique du pays). Le troisième département est particulièrement attentif à l'utilisation du sol (office fédéral du développement territorial), à l'approvisionnement énergétique (office fédéral de l'énergie), à la gestion des eaux (office fédéral des eaux et de la géologie) ainsi qu'aux aspects écologiques (office fédéral de l'environnement, de la forêt et du paysage).

Administration cantonale Construite sur une structure similaire à celle de l'administration fédérale, l'administration valaisanne diffère dans la répartition des tâches par départements. Parmi ceux les plus en relation avec un aménagement hydraulique, on trouve celui des finances et de l'agriculture, celui de la santé, des affaires sociales et de l'énergie, celui de l'économie et enfin celui des transports, de l'équipement et de l'environnement. Le premier est intéressé par une réduction des coûts de la troisième correction du Rhône et, de façon secondaire, par un contrôle sur les coûts d'entretien du Rhône (administration cantonale des finances) ainsi que par le développement de l'agriculture (service de l'agriculture). Le second département est intéressé, en général, par le développement du potentiel énergétique du Valais (service de l'énergie) et, en particulier, par le développement du potentiel hydroélectrique (service de forces hydrauliques). Ce second service est également en charge de la perception de l'impôt spécial (60% de la redevance hydraulique fédérale). Le département de l'économie veille au développement économique général du canton, notamment par le biais de la création d'emplois (direction du développement économique, service de l'industrie du commerce et du travail), au repeuplement faunistique du canton (service de la chasse, de la pêche et de la faune), au développement harmonieux de l'espace naturel et construit (service de l'aménagement du territoire), ainsi qu'au développement touristique local (service du tourisme et du développement régional). Enfin le dernier département est en charge de la troisième correction du Rhône et des aménagements sur les cours d'eau (service des routes et cours d'eau). Il

s'intéresse également à la préservation du patrimoine écologique en général : forêt, eaux souterraines, nature et paysages (service de la protection de l'environnement, service des forêts et du paysage).

Administration communale Basée sur une structure souvent beaucoup plus simple, l'administration communale est aussi plus proche de la population résidente. En conséquence, elle cherche d'abord des projets de développement pour la commune, plus modestes mais plus concrets, afin de satisfaire sa population. Parallèlement, des rentrées fiscales supplémentaires, même mineures, peuvent avoir un impact important (nouveaux contribuables physiques ou moraux). Elle est aussi particulièrement sensible à l'occupation du sol ainsi qu'aux nuisances en tout genre (trafic, bruit, impact visuel, impacts négatifs du tourisme).

Acteurs économiques

Secteur primaire

De loin très influent dans l'économie valaisanne, le monde agricole est aussi un acteur très impliqué dans la construction d'un tel aménagement. Tout d'abord pour des problèmes d'occupation du sol un conflit peut se développer dans la mesure où des zones agricoles devraient être soustraites à l'agriculture. D'autre part, une variation du niveau d'eau dans la rivière peut provoquer une modification sensible du niveau de la nappe phréatique. Si la nappe est déjà affleurante, cet effet peut se révéler très néfaste. Positivement le secteur primaire peut également voir dans une telle retenue un possible soutien pour l'irrigation, la réduction du gel printanier ainsi que la promotion des produits du terroir.

Le secteur primaire comprend les vigneron, les maraîchers ainsi que les arboriculteurs.

Secteur secondaire

Intéressé surtout par la recherche de nouveaux contrats, le secteur secondaire voit assurément un tel aménagement comme une opportunité pour concevoir, développer, construire et exploiter un nouveau projet. Concernant l'exploitation, ce dernier ne présente un intérêt économique que dans la mesure où il dégage un bénéfice.

Le secteur secondaire ainsi concerné comprend les différents bureaux d'étude de génie civil (structure et hydraulique) avec l'ensemble des branches touchées par la construction (fournisseur de béton, constructeur métallique, paysagiste, transport de matériaux, entrepreneurs...) ainsi que l'exploitant de la centrale hydroélectrique. Dans une moindre mesure, les exploitants de centrales amont ou aval du même cours d'eau pourraient être intéressés par l'aménagement dans le cas où ce dernier nuirait à leur flexibilité de production.

Secteur tertiaire

Second pilier de l'économie valaisanne, le tourisme représente une source importante de revenu. Un tel aménagement peut assurément, par son aspect loisirs, devenir un point d'attraction touristique. Un développement conjoint avec le secteur primaire (vente de produit du terroir, artisanat) peut créer un pôle

économique local.

Les acteurs financiers (banques et assurances) voient également dans un tel projet une opportunité pour de nouveaux contrats. De plus, par la réduction de l'occurrence des débordements liés à une crue, les risques assumés par les assurances quant à la couverture des biens à l'aval de l'aménagement se trouvent ainsi réduits.

Acteurs sociaux

Riverains

Les riverains peuvent être divisés arbitrairement en trois classes : ceux qui se trouvent à l'amont, ceux qui se trouvent à l'aval et ceux qui résident dans l'environnement immédiat de l'aménagement. Le premier groupe n'est a priori pas touché par une telle construction et n'en subit aucune conséquence. Peut-être a-t-il seulement une opinion favorable ou défavorable en ce qui regarde un barrage sur le Rhône et ainsi veut-il prendre part au débat. Le second groupe, en plus de l'opinion qu'il porte au ouvrage hydraulique, bénéficie de deux impacts positifs : la réduction du marnage et la diminution du risque résiduel liée à une crue. Le dernier groupe subit l'essentiel des nuisances liées à l'aménagement : perte de tranquillité, bruit et trafic liés au tourisme, possible développement d'insectes, possible augmentation de la brume. Parallèlement ces mêmes impacts peuvent être vus positivement avec notamment une amélioration substantielle du site (aménagement paysager, mise en valeur du cours d'eau). Un accord avec la commune peut également être envisagé afin de lui fournir de l'énergie à meilleur prix.

Contribuables

Vus comme contribuables, les citoyens peuvent également être divisés en trois classes : les contribuables fédéraux, cantonaux et communaux. Si les premiers n'ont a priori aucun intérêt direct sinon une réduction possible des dépenses (liées troisième correction du Rhône) ainsi qu'une augmentation des revenus (création de nouvelles sociétés génératrices de revenus et d'emplois), les contribuables cantonaux sont, avec les mêmes intérêts, plus impliqués par le fait de proximité. Les contribuables communaux voient dans l'installation d'un tel aménagement un nouveau contribuable susceptible d'apporter directement une diminution de la charge fiscale.

Demandeurs d'emploi

Sur le plan des emplois, un tel aménagement génère de nombreux emplois à court terme pendant la construction. Ces emplois ont un impact essentiellement sur le plan cantonal. Ensuite, la gestion de l'aménagement génère des emplois à long terme notamment pour le fonctionnement de la centrale, l'entretien du site ainsi que les services pour le tourisme. En contre partie, l'agriculture, proportionnellement la surface perdue, perd des emplois. Néanmoins, selon l'occupation préalable du sol du site choisi ainsi que selon la structure agricole du site, cette perte peut être supportable. Des mesures de compensation sont également envisageables.

Consommateurs de loisirs

Vu comme un pôle récréatif, un tel aménagement présente de l'intérêt pour différents types de loisirs : promenades, pêche,

planche à voile, kayak, équitation, cyclismes, camping. Un tel développement de l'offre des loisirs nécessite néanmoins une infrastructure d'accès suffisante (voies d'accès et parking, offre de transport public) ainsi que des installations idoines (pistes cyclables intégrées dans un réseau, chemins pour promeneurs et cavaliers, parcours vita, canal pour le kayak, éventuellement installations sportives). En dernier lieu un tel aménagement pourrait être le moteur au développement d'un centre sportif.

Acteurs écologiques

Associations

Parmi les vingt-quatre associations avec droit de recours sur le plan fédéral, seulement trois, d'importance nationale et internationale, suffisent comme partenaires. Il s'agit de WWF Suisse, Greenpeace Suisse et ProNatura. Ces associations s'intéressent particulièrement aux forêts, aux cours d'eau et leurs zones alluviales, aux paysages et aux réserves naturelles, aux espèces aquatiques et terrestres protégées d'ordre végétal ou animal. Elles s'intéressent également à la pollution de l'air, aux déchets atomiques (considérations énergétiques) ainsi qu'à la nappe phréatique et ses interactions avec les cours d'eau. Ces associations présentent l'avantage d'être suffisamment puissantes pour, d'une part, pouvoir être prise en compte comme des interlocuteurs crédibles et, d'autre part, représenter l'ensemble de la tendance écologique.

Chasse et pêche

Réunies sur le plan national en deux associations distinctes (FACH et FSPP) la chasse et la pêche ont dans le cadre valaisan un poids certain. D'abord réunis pour un objectif de loisirs, les chasseurs et les pêcheurs sont rapidement devenu un soutien pour l'écologie en général. C'est pour cette raison que, par le biais de leurs représentants dans l'administration cantonale, ils cherchent à développer tout ce qui peut favoriser la nature et la vie animale.

Acteurs scientifiques

Hautes écoles

Parmi les hautes écoles susceptibles de porter un intérêt au développement d'un tel projet, on peut considérer les deux écoles polytechniques fédérales, l'institut fédéral de recherche WSL ainsi que l'institut fédéral suisse pour la science de l'environnement et la technologie EAWAG. Leur objectif est de développer de nouvelles connaissances dans la compréhension des phénomènes naturels aquatiques et de mettre au point de nouveaux outils de conception et de gestion des rivières.

Acteurs médiatiques

Tous types

Parmi les médias se trouvent les journaux, les chaînes de télévision, les radios ainsi que internet. Bien qu'a priori un média ne soit pas un acteur de premier ordre, il doit cependant être pris en compte comme relais d'opinion. Dans l'espace valaisan le Nouvelliste, la radio et la télévision suisse romande, radio Chablais et radio Rhône sont les médias prépondérants.

8.3. Terminologie

Pour permettre les distinctions nécessaires entre les différents facteurs d'un système, des définitions claires doivent être données à ces différents groupes. On relève notamment :

- **Contrainte (C)** : facteur externe constant issu de l'environnement du système sur lequel il n'est pas possible d'agir et qui limite le système. La contrainte peut être de type légal, physique, économique ou social, etc... Exemples : l'accélération terrestre, la surface totale disponible, le niveau cible de la nappe phréatique.
- **Donnée externe (D)** : facteur externe évolutif issu de l'environnement du système sur laquelle il n'est pas possible d'agir mais qui influence néanmoins le système dans son ensemble. Elle diffère d'une contrainte par sa variabilité dans le temps. Exemples : le débit amont de la rivière étudiée, la température de l'air.
- **Variable de projet (P)** : facteur constant dont la valeur est fixée lors de la conception d'un projet donné et qui constitue les inputs ou leviers du système. Les paramètres peuvent eux-mêmes être limités quant à leur domaine d'extension par des contraintes. Le vecteur contenant les valeurs optimales des paramètres de projet constitue le vecteur solution recherché pour la conception du projet. Exemples : la hauteur du barrage, la surface de la retenue.
- **Variable de gestion (G)** : facteur évolutif dont la variation est limitée lors de la conception du projet. A l'instar des variables de projet, les variables de gestion peuvent être limitées dans leur extension par des contraintes ou des données externes. Le vecteur contenant les valeurs optimales des variables de gestion constitue le vecteur solution recherché pour la gestion du projet. Exemples : la gestion de la retenue en cas crue, l'hydrogramme aval de la rivière.
- **Variable interne (V)** : facteur évolutif interne au système qui en modélise le fonctionnement. Une variable interne peut être une variable de flux ou une variable d'état.
- **Variable de flux (Vf)** : variable interne mesurable qui quantifie, au cours du temps, une grandeur transitoire du système. Exemples : le débit au barrage à un moment donné, le taux de sédiment entrant à un moment donné.
- **Variable d'état (Vé)** : variable interne mesurable qui quantifie, à un moment donné, l'état dans lequel le système se trouve. Exemples : la hauteur d'eau de la retenue à un moment donné, la puissance hydroélectrique à un moment donné, la quantité d'énergie produite par année.
- **Fonction objectif (Fo)** : combinaison de fonctions objectif partiel composées de variables internes. Cette fonction permet d'évaluer objectivement le système défini par les variables de projet et de gestion. Exemples de fonctions objectif partiel : minimiser le coût de production hydroélectrique, maximiser la diversité de l'écotone, maximiser le nombre de poissons.
- **Variable objectif (Vo)** : variable interne qui compose les fonctions objectif partiel. Exemples : le coût du kWh produit, le nombre de poissons.
- **Vecteur solution (Vs)** : vecteur contenant les valeurs optimales des variables de projet et de gestion établi d'après la fonction objective. Exemples : la hauteur optimale du barrage, la gestion optimale de la retenue en cas crue, l'hydrogramme aval optimal de la rivière.

8.4. Facteurs considérés pour établir le système

Facteurs hydrauliques

101	P	Bathymétrie	Morphologie sous-lacustre de la retenue. Cette forme influence directement les courants dans la retenue ainsi que la sédimentation qui peut s'y produire. Ce paramètre tient également compte de la profondeur minimale des bords de la retenue. Cette profondeur a pour but de réduire autant que possible le développement de moustiques. Celui-ci n'a lieu qu'avec de l'eau stagnante et de faible profondeur pouvant se réchauffer suffisamment pour permettre le développement des larves. Une profondeur minimale conjointe à un courant minimum permet d'empêcher ce développement.
102	Vé	Continuum longitudinal	Capacité de l'aménagement à assurer une connexion longitudinale permettant le passage de la faune aquatique à travers le barrage. Ce continuum assure également le maintien d'une certaine dynamique alluviale.
103	Vf	Corps flottants	Débit solide formé de corps flottants arrivant au barrage. D'un point de vue hydraulique, ces corps flottants constituent une entrave au bon fonctionnement des installations hydrauliques et nécessitent donc une évacuation. Celle-ci s'effectue généralement à l'aide d'un dégrilleur. D'un point de vue écologique cependant, les corps flottants constituent un biotope à part entière et sont ainsi nécessaires dans un cours d'eau. Une gestion judicieuse des corps flottants serait donc de leur assurer un transit au travers du barrage, soit en utilisant l'échelle à poisson, soit en les transportant mécaniquement à l'aval.
104	Vo	Curage/Purge	Opérations de nettoyage de la retenue en cas de sédimentation excessive. Ces opérations représentent également un coût dans le budget de l'entretien de l'aménagement.
105	P	Débit crue équipé	Débit additionnel à celui des turbines qui permet de faire passer le débit de crue. Ce débit est choisi en fonction de la sécurité que l'aménagement doit posséder pour une période de retour de crue choisie. Ce débit conditionne d'autre part les ouvrages hydrauliques à mettre en place avec leurs coûts de construction respectifs.
106	G	Débit étiage	Valeur minimale du débit d'étiage hebdomadaire que l'on cherche à maintenir dans la rivière aval pour des raisons de fonctionnement écosystémique. Le choix de ce débit, compte tenu de l'hydrogramme amont de la rivière, fixe une borne minimale pour le volume exploitable nécessaire de la retenue.
108	Vé	dh barrage-retenu	Différence de niveaux d'eau entre le barrage et la

			retenue. Cette différence conditionne le remplissage ou la vidange de la retenue. Il s'agit d'un facteur de fonctionnement hydraulique de l'aménagement.
109	D	Durée débit étiage	Durée pendant laquelle le débit additionnel généré par la retenue doit être maintenu afin de respecter le débit d'étiage aval cible choisi.
110	Vo	Ecrêtement crues	Différence entre le débit amont et le débit aval de la rivière compte tenu du laminage possible de la crue avec le volume mis à disposition par la retenue. Ce volume est composé du volume exploitable, du volume de revanche généré par la surélévation exceptionnelle du plan d'eau ainsi que par un ou des volumes d'épanchement situé sur des zones adjacentes à la retenue. Du point de vue écologique, la réduction de la crue correspond à une diminution de l'effet bénéfique des inondations pour le rajeunissement du milieu. Cet aspect négatif peut cependant être éliminé par des inondations artificielles. Ce paramètre intervient pour la modélisation dans les réseaux hydrauliques ainsi qu'écologiques.
111	Vo	Erosion aval	Erosion du cours d'eau à l'aval du barrage. Cette érosion se produit si le solidogramme qui sort de l'aménagement est trop faible. Afin de rétablir l'équilibre dynamique, le lit aval se creuse et charge l'hydrogramme de particules solides. Cette érosion peut avoir des conséquences importantes sur l'ensemble du cours d'eau aval.
112	Vo	Evacuation matériaux	Evacuation et mise en décharge des matériaux issus de la récupération des corps flottants. Sans valeur marchande, ils sont considérés comme une charge d'exploitation.
113	G	Gestion crues	Opérations planifiées pour écrêter au mieux la crue selon les prévisions de débits et le volume disponible. Ces opérations considèrent également une vidange préventive de la retenue afin de maximiser le volume disponible.
114	G	Gradient variation marnage	Vitesse de variation du plan d'eau à l'intérieur de la tranche normalement exploitable. Dans le cadre de la retenue, cette vitesse est limitative.
115	P	Hauteur barrage	Hauteur du barrage sur la rivière qui provoque une élévation du plan d'eau à l'amont. Par une relation hauteur-volume, ce facteur détermine le volume de la retenue. Il est également directement lié à la hauteur de chute ainsi qu'au prix de construction de l'aménagement dans son ensemble.
116	Vé	Hauteur chute	Différence des niveaux d'eau amont et aval du barrage. Cette différence est la source possible d'une production d'énergie hydroélectrique.
117	Vé	Hauteur digues latérales	Hauteur nécessaire, selon la topographie du site, des digues latérales pour contenir l'extension de

			la retenue ainsi que de la rivière amont. Cette hauteur est calculée selon un niveau d'eau maximal. Une étude architecturale particulière doit être menée afin d'intégrer ces digues dans le paysage.
118	D	Hydrogramme amont	Hydrogramme hebdomadaire moyen de la rivière à l'endroit de l'aménagement. Cet hydrogramme ne tient pas compte des événements exceptionnels de type « crue ». Ce facteur représente l'input nécessaire au fonctionnement hydraulique de l'aménagement en situation habituelle. Etant donné que la retenue a un pouvoir d'accumulation journalier, un hydrogramme hebdomadaire est suffisant. Au besoin plusieurs hydrogrammes types peuvent être déterminés.
119	Vf	Hydrogramme aval retenue	Hydrogramme de la retenue à sa connexion aval avec la rivière latérale. Ce débit est provoqué par la différence des niveaux d'eau de la retenue à l'amont du barrage (facteur dh digue-retenu). Le débit est considéré positif s'il sort de la retenue et négatif s'il rentre.
120	D	Hydrogramme crue amont	Hydrogramme de crue choisi pour une période de retour donnée et pour lequel l'aménagement doit être dimensionné.
121	Vo	Hydrogramme crue aval	Hydrogramme de crue aval cible que l'aménagement devrait permettre de ne pas dépasser. L'écrêtement de la crue est calculé par la différence de cet hydrogramme avec l'hydrogramme de crue amont.
122	P	Hydrogramme digue perméable	Hydrogramme qui entre dans la retenue à travers la digue perméable située à l'amont de la retenue entre cette dernière et la rivière latérale. Ce débit est dépendant du gradient hydraulique entre la rivière latérale et la retenue.
123	Vf	Hydrogramme lâché	Hydrogramme non-turbiné au barrage en période normale à cause d'un débit de la rivière supérieur à celui équipé avec des turbines. Cet hydrogramme ne tient pas compte du débit résiduel utilisé par la passe à poisson.
124	Vf	Hydrogramme latéral	Hydrogramme de la rivière latérale en situation normal. Il résulte de la différence entre l'« hydrogramme amont » et « hydrogramme digue perméable ». Cette hydrogramme représente le débit qui arrive directement sur le barrage
125	Vo	Hydrogramme rivière aval	Hydrogramme qui ressort à l'aval du barrage. Il est constitué de l'« hydrogramme turbiné » et de l'« hydrogramme lâché ». Additionné au « débit résiduel », il constitue le débit de la rivière à l'aval de l'aménagement.
126	Vf	Hydrogramme turbiné	Hydrogramme turbiné au barrage. Cet hydrogramme est directement dépendant du

128	Vé	Largeur digues latérales	programme de gestion de la retenue, de l'hydrogramme latéral ainsi que du débit équipé. Largeur nécessaire des digues latérales afin d'assurer leur stabilité. Cette largeur est mesurée à la base. Elle dépend fortement de la hauteur de ces digues ainsi que de la qualité rhéologique du sous-sol. Elle conditionne le volume total nécessaire à la construction.
129	Vo	Longueur courbe remous max	Longueur de la rivière influencée hydrauliquement à l'amont de l'aménagement du à la surélévation du plan d'eau. Cette longueur marque le point à partir duquel le plan d'eau devient horizontal ainsi que le début des problèmes potentiels de sédimentation. Ce même point sert de frontière entre la rivière amont et la rivière latérale. Cette longueur est prise dans sa valeur maximale, c'est-à-dire, celle correspondant à la hauteur maximale du plan d'eau au barrage.
130	Vé	Longueur couronnement	Longueur du barrage placé sur le cours d'eau, mesurée à son couronnement.
131	Vé	Longueur digues latérales	Somme des longueurs des digues latérales nécessaires pour confiner la retenue et la rivière latérale. Cette somme dépend de la topographie du site choisi, de la surface voulue pour la retenue ainsi que de la pente naturelle de la rivière.
132	Vo	Marnage retenue	Variation artificielle du niveau d'eau de la retenue nécessaire à la régulation du débit aval de la rivière. Compte tenu d'un hydrogramme amont donné, la volonté de réduire, à l'aval, le marnage dans la rivière implique obligatoirement une variation du volume de rétention dans la retenue.
133	Vé	Niveau eau barrage	Niveau d'eau variable mesuré juste à l'amont du barrage. Il s'agit d'un facteur de passage qui permet le calcul de la différence de niveau entre la rivière latérale et la retenue ainsi que le calcul de la hauteur de chute exploitable.
134	Vé	Niveau eau retenue	Niveau variable du plan d'eau mesuré dans la retenue. La variation de ce niveau peut être limitée, pour des raisons écologiques, par un gradient de variation maximal. Cette variation constitue le marnage de la retenue.
135	Vé	Niveau rivière aval	Niveau d'eau variable de la rivière mesuré à l'aval de l'aménagement. Il s'agit également d'un facteur de passage.
136	C	Pente rivière	Pente moyenne du lit de la rivière à l'amont de l'aménagement qui détermine, en fonction de la hauteur maximale du plan d'eau au barrage, la longueur de la courbe de remous.
137	P	Profondeur retenue	Profondeur maximale de la retenue. Conditionné par la bathymétrie et la hauteur du barrage, ce facteur importe essentiellement pour des raisons

			écologiques.
138	C	Qualité rhéologique fondation	Etat de contraintes et résistance du sol de fondation. Ce facteur est primordial en regard du gradient hydraulique admissible. Il conditionne ainsi la largeur des digues latérales ainsi que l'importance du voile d'étanchéité sous le barrage.
139	Vo	Réduction marnage	Réduction de l'amplitude, de la durée et du gradient du marnage à la sortie de l'aménagement. Cette réduction représente un des principaux buts écologiques de l'aménagement. Toutefois afin de limiter le marnage de la retenue elle-même, cette réduction sera définie selon un optimum écologique issu d'un bilan effectué sur l'ensemble des parties touchées par un tel aménagement.
140	P	Rivière by-pass	Ouvrage hydraulique qui contourne le barrage et permet de créer le continuum aquatique. Conçu comme rivière à part entière, cet ouvrage doit permettre le passage de la vie dans les deux directions (amont et aval). Du point de vue énergétique, l'échelle à poisson constitue un manque à gagner. Le débit résiduel prévu se situe aux environs de 2-4 m ³ /s. Ce dernier peut toutefois, selon les besoins de l'écologie, être variable au cours de l'année.
141	Vé	Sédimentation latérale	Etat de la sédimentation de la rivière latérale. La courbe de remous et la diminution de la vitesse de l'eau peuvent générer une sédimentation accrue dans la rivière latérale. Positif du point de vue de l'infiltration, diminuée par réduction de la perméabilité du lit, ce colmatage est toutefois négatif pour écologique.
142	Vé	Sédimentation retenue	Etat de la sédimentation de la retenue. Cette sédimentation dépend avant tout de la vitesse minimum maintenue dans la retenue ainsi que du solidogramme qui entre dans la retenue. La bathymétrie joue également un rôle important. Si une sédimentation trop importante prend place, un curage, avec les frais ad hoc, devient nécessaire.
143	D	Solidogramme amont	Débit solide qui entre dans l'aménagement (rivière latérale) sous forme de sédiment en suspension ou de charriage. Ce facteur est totalement incontrôlable et dépendant de la rivière à l'amont.
144	Vf	Solidogramme aval	Débit solide qui sort de l'aménagement à l'aval du barrage. Ce facteur est prépondérant pour une potentielle érosion aval selon l'équilibre dynamique du cours d'eau à l'aval.
145	Vf	Solidogramme retenue	Débit solide qui entre dans la retenue. Ce facteur influence de façon prépondérante la sédimentation de la retenue.

146	P	Surface retenue	Surface inondée par la retenue lorsque cette dernière se trouve à son niveau maximal. Cette surface est limitée au besoin, par des digues latérales. Ces digues peuvent être aménagées de sorte à rendre les rives utilisables (socio-économie et écologie).
147	P	Surfaces épanchement	Surface des zones d'épanchement réservées en cas de crue. L'utilisation courante de ces surfaces peut être libre ou contrainte pour autant qu'elles ne contiennent pas de constructions.
148	P	Caractéristiques inhérentes du site	Facteur qui résume la topographie dans un périmètre proche de l'aménagement. Il détermine ainsi l'importance des digues latérales et des arrières-digues, la relation « hauteur - volume » de la retenue ainsi que la longueur de couronnement du barrage. Il conditionne également la « distance à la prochaine centrale » (209), la distance pour le « transport des matériaux des digues » (313) ainsi que d'un point de vue écologique le « voisinage » anthropomorphique (614), négatif pour le développement d'une réserve naturelle.
149	P	Tranche exploitable	Epaisseur de la tranche d'eau exploitable de la retenue. Elle est déterminée directement par le volume exploitable et fixe les cotes minimale et maximale à l'intérieur desquelles le plan d'eau de la retenue doit se situer en situation normale. La tranche exploitable comprend l'hydroélectricité, le marnage et l'étiage.
150	G	Variation volume permanent	Variation saisonnière de l'amplitude de la tranche exploitable, vue comme restrictive pour l'exploitation (hydroélectrique, marnage, étiage) au profit du fonctionnement écologique.
151	G	Vidange préventive	Opérations planifiées selon un cahier des charges de sorte à maximiser le volume disponible pour écrêter une crue. Cette vidange préventive comprend l'intégralité de la tranche exploitable et, si le fonctionnement écologique le permet, une partie du volume permanent.
152	Vf	Vitesse min eau	Vitesse minimum maintenue dans la retenue pour éviter les dépôts sédimentaires. Ce débit, de l'amont vers l'aval, est généré par la digue semi-perméable. Cette vitesse minimale assure également l'élimination des larves de moustiques qui ont un impact très négatif pour les aspects sociaux.
153	Vé	Volume arrières-digues	Volume nécessaire à la construction des arrières-digues pour contenir l'eau dans les surfaces d'épanchement. Ce volume de matériaux de construction est fortement dépendant de la topographie du site. Dans un cas optimal, il peut être naturellement réduit à néant.
154	Vé	Volume béton	Volume de béton nécessaire aux constructions

			constituées par le barrage et le voile d'étanchéité. Ce volume ne comprend pas les constructions annexes (loisirs ou hydroélectrique pur).
155	Vé	Volume digues latérales	Volume nécessaire à la construction des digues latérales déterminé par la hauteur, la longueur et la largeur de ces dernières. En l'absence de projet concret (site défini, conditions particulières établies), ce volume constitue un indicateur des problèmes d'intégration paysagère des digues latérales.
156	Vé	Volume épanchement	Volume additionnel généré par les surfaces d'épanchement pour écrêter les crues. Ce volume peut être géré soit directement par des vannes, soit indirectement par des digues fusibles ou des déversoirs dont la cote est fixée lors de la construction. Dans le cas de gestion par vannes, ces surfaces pourraient être régulièrement inondées afin de créer des milieux palustres avec une forte valeur écologique ajoutée.
157	Vé	Volume exploitable	Volume disponible pour la production d'énergie, le laminage du marnage et le soutien du débit d'étiage. Ce volume est borné à son niveau inférieur par le volume permanent ainsi que, à son niveau supérieur, par le volume de revanche.
158	G	Volume permanent	Volume permanent de la retenue (volume mort) établi pour des raisons écologiques principalement. Ce volume peut varier, au détriment du volume exploitable, selon les saisons afin de produire un développement écologique optimal dans la retenue.
159	Vé	Volume rétention crues	Volume total à disposition pour laminier les crues. Il s'agit de la somme du volume exploitable, du volume de revanche et du volume d'épanchement.
160	P	Volume revanche	Volume généré par la surélévation exceptionnelle du plan d'eau. Ce volume se répartit principalement sur la retenue ainsi que partiellement sur la rivière latérale.
161	Vé	Volume total disponible	Volume maximal de la retenue. Ce volume ne comprend pas le volume mis à disposition par les zones d'épanchement en cas de crue. Il s'agit simplement de la somme du volume permanent additionné au volume exploitable et au volume de revanche.

Facteurs énergétiques

201	P	% coûts assumés par centrale	Part du coût total de construction, sans la centrale, assumé par le producteur énergétique. Il s'agit d'une participation financière à l'aménagement par le producteur d'énergie de sorte à réduire le coût de construction à charge de la collectivité publique.
202	Vo	Bénéfice production énergie	Bénéfices issus de la vente d'énergie électrique.

203	Vé	Coût annuel production	Somme des coûts annuels d'exploitation et financiers à charge de la centrale.
204	Vo	Coût électricité produite	Coût ou prix de revient moyen de l'énergie produite. Il est admis que 5 ct/kWh constitue actuellement une limite à ne pas dépasser.
205	Vé	Coûts constr à charge centrale	Somme des coûts de constructions de la centrale hydroélectrique ainsi que des coûts de l'aménagement assumés par le producteur. La centrale est ainsi vue comme un ouvrage facultatif sur un aménagement déjà existant. En contre partie, un pourcentage des coûts de l'aménagement lui incombe.
206	Vé	Coûts construction centrale	Coûts de construction de la centrale hydroélectrique et de ses parties idoines. Ces coûts sont vus comme un coût marginal de l'aménagement. Ils sont admis directement liés au débit équipé de la centrale.
207	Vé	Coûts exploitation	Coûts annuels liés à l'exploitation de la centrale. Ces coûts comprennent les charges de personnel, l'entretien de l'installation, les impôts mais excluent les coûts financiers déjà compris dans « coûts constr à charge centrale ».
208	P	Débit équipé	Débit équipé de la centrale hydroélectrique pour la production énergétique. Ce débit est utilisé comme facteur principal pour calculer le coût de construction de la centrale. Il a également une influence directe sur la production d'énergie.
209	C	Distance prochaine centrale	Distance entre deux aménagements successifs sur la même rivière. Selon la distance, l'hydrogramme sortant de l'aménagement amont peut avoir une influence directe sur l'aménagement aval.
210	P	Durée amortissement	Durée pendant laquelle il est prévu d'amortir les emprunts liés au coût de construction à charge de la centrale. Cette durée peut être comprise entre 30 et 60 ans. Elle a une incidence directe sur les coûts financiers annuels de la centrale.
211	Vé	Energie produite	Produit de l'hydrogramme turbiné et de la hauteur de chute disponible. Au besoin cette énergie peut être discrétisée par saison, par jour, par heure.
212	D	Evolution coûts exploitation	Tendance, sur la durée d'amortissement, des coûts d'exploitation. Compte tenu du niveau de vie déjà élevé de la Suisse et de la stabilité politique, ce facteur ne devrait pas avoir beaucoup d'importance.
213	D	Evolution débit turbinable	Evolution du débit réellement turbinable en fonction d'éventuelles limitations écologiques ou de changements climatiques. De part ses différents buts considérés, dont l'un est l'amélioration écologique de la rivière, les limitations écologiques ne devraient pas constituer un problème pour un tel

			aménagement. Les études faites sur les changements climatiques estiment que le débit total annuel restera constant mais que la courbe des débits classés variera.
214	D	Evolution future marché électrique	Tendance, sur la durée de l'amortissement, des prix de vente de l'électricité. Déjà très bas, ces prix constituent cependant encore une grosse inconnue. Il est admis que le coût moyen de 5 ct/kWh produit constitue actuellement une limite à ne pas dépasser pour rester rentable.
215	D	Evolution taux intérêt	Tendance, sur la durée d'amortissement, du taux d'intérêt bancaire pratiqué. L'incertitude liée à ce facteur peut être réduite à néant si le taux est fixé pour toute la durée de l'emprunt.
216	Vé	Flexibilité de production	Possibilité laissée à la centrale quant à son programme de turbinage. Cette flexibilité va à l'encontre soit de la stabilité du niveau de la retenue, soit de la stabilité du niveau aval de la rivière. Cette flexibilité est essentielle pour la production d'énergie afin de vendre l'électricité lorsque les prix du marché sont intéressants.
217	Vo	Flexibilité production aval	Impact économique de la retenue sur la production énergétique de centrales situées à l'aval. Afin de tirer un bilan global, ce facteur peut réduire fortement le bénéfice tiré de l'aménagement projeté.
218	C	Impôts kW	Somme de la redevance, de l'impôt spécial et de l'indemnité calculée par kW. Ce total se monte actuellement à 80 fr/kW.
219	Vé	Prix énergie produite	Prix de vente de l'électricité. C'est la valeur marchande de l'énergie produite. Ce prix conditionne directement le bénéfice potentiel de l'installation.
220	D	Prix marché électrique	Prix actuel de l'électricité sur le marché. Ce prix est fortement dépendant du taux horaire. La flexibilité de production prend ainsi toute son importance.
222	Vo	Production énergie renouvelable	Développement du potentiel de production d'énergie renouvelable. Plus orienté sur la pollution atmosphérique, ce facteur est l'input du facteur « réduction d'émissions nocives ». Marquée par un label de production écologique, cette énergie peut être vendue plus chère. Ce facteur intervient donc dans le prix de l'énergie produite.
223	Vé	Puissance brute	Puissance installée pour calculer la production d'énergie ainsi que l'impôt (cantonal et communal).
224	Vo	Réduction émissions nocives	Réduction potentielle des émissions nocives calculée selon la moyenne des émissions produites par kWh en Europe. Ces émissions considèrent autant les pollutions atmosphériques

225	C	Taux intérêt	qu'atomiques. Taux d'intérêt bancaire pratiqué pour les emprunts assumés par le producteur d'énergie.
-----	---	--------------	--

Facteurs financiers

302	Vo	Coût entretien communal	Il est admis que l'entretien de l'aménagement dans son ensemble, excepté la partie hydroélectrique directement à charge de la centrale, est du ressort de la commune d'accueil. Cet entretien comprend les berges, les surfaces de loisirs, les zones écologiques ainsi que les différents accès.
303	Vo	Coût protection crues	Investissement nécessaire de l'Etat pour construire les mesures de protection contre les crues. Dans la mesure où l'aménagement prévu réduit la pointe de la crue, ces investissements peuvent être sensiblement réduits.
304	Vo	Coût public aménagement	Coût de construction de l'aménagement à charge de l'Etat. Ce coût représente le coût total de construction sans la centrale moins la participation éventuelle du producteur d'énergie.
305	Vé	Coût total sans centrale	Coût de construction sans le coût additionnel de la construction de la centrale et de ses installations ad hoc. Il s'agit d'une valeur de passage pour calculer la répartition des différents coûts.
306	P	Durée travaux	Durée des travaux nécessaire pour la réalisation totale de l'aménagement. Selon la difficulté technique, cette durée peut varier considérablement et avoir ainsi un impact important sur les coûts de réalisation.
307	Vo	Finances cantonales	Impact global de l'aménagement sur les finances cantonales. On considère notamment la réduction des mesures pour la protection contre les crues, le coût de construction de l'aménagement, les impôts issus de la production d'énergie ainsi que les emplois générés.
308	Vo	Finances communales	Impact global de l'aménagement sur les finances communales. On retient l'augmentation de l'attractivité de la commune par l'aménagement, le développement économique lié à la retenue et la perte de surfaces agricoles.
309	Vo	Finances fédérales	Impact global de l'aménagement sur les finances fédérales. Ce facteur est influencé par la réduction des mesures liées à la protection contre les crues, faiblement par la création d'emploi (réduction du chômage) ainsi que les impôts issus du bénéfice d'exploitation de la centrale.
310	Vé	Fourniture hydroméc	Vente de fournitures hydromécaniques nécessaires au fonctionnement de l'aménagement. Les fournitures spécifiques à la centrale (turbines notamment) ne sont pas comprises dans ce facteur. Elles interviennent

			directement dans le coût de construction de la centrale.
311	Vé	Surface totale	Surface totale au sol occupée constamment par l'aménagement. Cette surface comprend la retenue, les digues et les contre-canaux, la rivière latérale, les espaces d'accès, de loisirs et de sports, les différents biotopes terrestres. Elle ne comprend pas les zones d'épanchement. Une partie de cette surface (biotopes) peut toutefois être comprise comme surface agricole en jachère. L'essentiel de cette surface doit être possession de l'Etat. Ce paramètre influence donc grandement le coût de l'aménagement.
312	P	Travaux paysagers	Travaux d'ordre paysager nécessaires à la réalisation de l'aménagement pour la mise en valeur du site. Ce facteur influence le coût de construction. Ces travaux sont le résultat d'études architecturales du paysage qui favorise une intégration judicieuse des éléments de l'aménagement.
313	Vé	Trsp matériaux digues	Distance à parcourir pour transporter les matériaux nécessaires à la construction des digues latérales et des arrières-digues. Ce facteur influence grandement le coût de construction en fonction du volume nécessaire de ces matériaux.

Facteurs socio-économiques

401	Vo	Amélioration aspect paysager	Amélioration générale pour le site de l'aspect paysager qui passe par une intégration des ouvrages, par la nature et les formes choisies pour les éléments de grande envergure (digues et arrières-digues notamment).
402	Vo	Influence associations pêcheurs	Influence et avis des associations de pêcheurs. Le service d'Etat est pris comme référence de même que la FSPP (fédération suisse de pêche et pisciculture).
403	Vo	Attrait touristique	Attractivité touristique locale génératrice de revenus. Cette attractivité est renforcée par les activités liées à l'aménagement dans ses aspects loisirs et sports.
404	D	Besoins touristiques	Résultats d'une étude sur les besoins réels d'un tel aménagement d'un point de vue touristique et social. Si l'attrait touristique représente l'offre, les besoins sont vus comme la demande. Ce facteur est assurément difficile à cerner et quantifier.
405	Vé	Brouillard	Risques liés à l'apparition de brume suite à de l'évaporation sur le pan d'eau. Selon son importance, ce facteur peut avoir un impact non négligeable sur l'attrait d'un tel aménagement.
406	C	Contraintes légales	Contraintes externes liées aux lois propres au site d'accueil. Ces contraintes portent essentiellement sur des problèmes de surface disponible ainsi que de débits résiduels.

407	Vo	Création emplois	Emplois générés par la réalisation, l'exploitation et l'entretien de l'aménagement. Il s'agit donc d'emplois de court et de long termes.
408	P	Création site nautique	Activités nautiques de loisirs possibles dans la retenue (baignade, planche à voile). Un canal spécial pour le kayak pourrait être envisagé avec la passe à poisson.
409	Vé	Dégagement odorifère	Dégagement odorifère de l'eau à cause de la forte teneur en sédiment. Un tel dégagement aurait un impact rédhibitoire sur toute activité nautique.
410	C	Dégâts potentiels aval	Dégâts potentiels liés spécifiquement à un dysfonctionnement de l'aménagement lors d'une crue. Ce facteur est exprimé en francs.
411	Vo	Dév moustiques	Développement potentiel de moustiques ayant pour origine l'eau stagnante. Écologiquement intéressant, ce développement est toutefois très négatif sur le plan social. Il peut à lui seul détruire tout l'intérêt social de l'aménagement. Ce point est par ailleurs très sensible pour la population.
412	Vé	Altitude relative environnante	Altitude des parcelles voisines relativement à l'aménagement. Ce facteur permet de considérer, d'une part, l'influence de la modification du niveau de la nappe phréatique. La topographie peut réduire à néant l'impact de la nappe si l'altitude de ces parcelles est suffisamment élevée. D'autre part, ce facteur permet de calculer la dénivellation maximale entre le niveau d'eau maximal et la plaine adjacente au niveau de l'aménagement. Le calcul du risque résiduel admet que cette dénivellation est l'élément clé. Elle représente en effet l'unique raison d'un possible débordement. Ce facteur est complètement conditionné par le choix du site.
413	C	Disponibilité sols qualité agricole	Impact de l'aménagement sur la surface agricole disponible qui offre des sols de bonne qualité. Il est communément admis que les surfaces proches des cours d'eau ont des qualités agricoles élevées. Ce facteur cherche à pondérer les surfaces soustraites à l'agriculture compte tenu de leurs qualités pour cet usage.
414	Vo	Economie touristique locale	Impact de l'aménagement sur l'économie touristique et agricole à l'échelle communale (articles de sport, loisirs, restauration, bar, artisanat...).
415	Vo	Emplois agricoles	Impact de l'aménagement sur la réduction de la surface agricole et la perte d'emplois liée à cette réduction.
416	Vo	Impacts économiques	Résumé des impacts de type économique à l'échelle cantonale.
417	P	Infrastructures accès	Infrastructures nécessaires pour les accès aux activités de loisirs et d'exploitation (route, parking). Ces infrastructures ont un coût de

418	P	Infrastructures loisirs	<p>construction et occupent une certaine surface.</p> <p>Infrastructures nécessaires pour les activités de loisirs et de sport (plage, chemins pédestres, équestre, pistes cyclables, restaurant...). Ces infrastructures ont un coût de construction et occupent une certaine surface. Cette surface ne comprend pas la retenue.</p>
419	Vo	Lutte incendie	Impact économique du plan d'eau pour faciliter le remplissage des hélicoptères dans la lutte contre les grands incendies.
420	Vo	Nuisance riverains	Résumé de l'ensemble des nuisances pour les riverains issues de l'aménagement. Il s'agit principalement du bruit (centrale et tourisme), du trafic et du brouillard.
421	Vé	Plus-value économique terrains	Attractivité modifiée des terrains à cause de la modification du rapport offre/demande liée à la construction de l'aménagement.
422	Vé	Potentiel irrigation	Potentiel d'irrigation lié directement au volume exploitable de la retenue. Selon le débit équipé, ce soutirage n'est pas forcément en concurrence avec la production énergétique. Ce potentiel reste cependant faible.
423	Vo	Production agricole	Impact de l'aménagement sur la production du secteur primaire. Ces impacts sont essentiellement liés à la réduction de la surface, la variation de l'hydrogéologie ainsi qu'au potentiel d'irrigation.
425	Vo	Promotion agricole	Ventes additionnelles du secteur primaire à l'échelle communale générées par l'attrait touristique renforcé.
426	Vé	Propreté eau retenue	Absence de sédiments dans l'eau de la retenue. Compte tenu du taux de sédiments en suspension dans le cours d'eau, cette propreté peut être rendue nécessaire pour permettre les activités nautiques.
427	Vé	Réduction locale gel	Réduction locale du gel à cause de l'inertie thermique de la retenue.
428	Vé	Risque d'embâcle	Risque spécifique d'un embâcle lié à cet aménagement en particulier, notamment en situation de crue.
429	Vé	Risque renard	Risque lié à l'apparition du phénomène de renard aux pieds des digues latérales. Ce risque est directement lié à la largeur des digues, à la qualité rhéologique du sol ainsi qu'à la hauteur d'eau dans la retenue.
430	Vo	Risque résiduel aval	Produit des dégâts potentiels aval et de la somme des probabilités d'occurrence d'accidents générés par l'aménagement. Ce facteur cherche à tenir compte des dysfonctionnements possibles de l'aménagement en cas de crue.
431	Vo	Surface cultivée	Indicateur relatif à la surface cultivée avec ou sans l'aménagement.

Nappe phréatique

501	C	Affectation environnante	Affectation des parcelles avoisinant l'aménagement susceptibles de subir l'influence d'une modification du niveau de la nappe. Deux types sont considérés : agriculture ou habitat.
502	P	Contre-canaux	Contre-canaux au pied des digues latérales afin de contenir le niveau de la nappe. Ces mêmes espaces peuvent devenir des biotopes à forte valeur écologique. L'eau qui y circule a été filtrée par les digues latérales et séjourne relativement longtemps ce qui lui permet de se réchauffer.
503	Vo	Dilution nappe	Dilution de la nappe par infiltration d'eau moins chargée de particules.
504	Vé	Élévation niveau nappe	Conséquence directe de l'augmentation de la quantité d'eau infiltrée dans la nappe. Le but de l'aménagement demeure toutefois de contenir le niveau de la nappe dans son état actuel.
505	Vo	Impact nappe agriculture	Impact sur les cultures suite à l'élévation du niveau de la nappe phréatique. Cet impact peut être positif si la nappe est particulièrement basse. Dans la plupart des cas, cependant, cette élévation est perçue négativement par le monde agricole. Cet impact dépend directement de l'affectation environnante.
506	Vo	Impact nappe captages	Impact sur les captages d'eau potable suite à l'élévation du niveau de la nappe phréatique. Cet impact se traduit directement par une réduction des charges énergétiques de pompage.
507	Vo	Impact nappe inondations ss	Impact sur les inondations des sous-sols des bâtiments suite à l'élévation du niveau de la nappe phréatique. Cet impact dépend directement de l'affectation environnante.
508	Vo	Impact nappe tassements	Impact sur les tassements des bâtiments et les infrastructures suite à la variation du niveau de la nappe phréatique. Ces tassements sont également dépendants des qualités rhéologiques du sol.
509	Vé	Infiltrations hydrogéologiques	Augmentation des infiltrations dans la nappe phréatique liée à l'augmentation de la charge hydraulique sur le lit de la rivière et de la retenue. Cette augmentation dépend également de l'augmentation de la surface d'infiltration. La perméabilité joue un rôle prépondérant dans la quantité d'eau infiltrée. Un processus de colmatage du lit peut venir réduire cette quantité.
510	Vo	Oxygénation nappe	Augmentation de la teneur en oxygène de la nappe phréatique suite à l'infiltration accrue d'eau oxygénée. Ce facteur n'a vraisemblablement pas beaucoup d'importance.
511	Vé	Perméabilité lit latéral	Perméabilité, variable avec la sédimentation et le colmatage, du lit de la rivière latérale. La rivière latérale est définie par la position du barrage

512	Vé	Perméabilité lit retenue	ainsi que par la courbe de remous. Il s'agit donc du tronçon de rivière qui subit une modification de la charge hydraulique suite à l'aménagement. Perméabilité, variable avec la sédimentation et le colmatage, du lit de la retenue. Cette perméabilité constitue le facteur essentiel pour la modification des infiltrations hydrogéologiques.
514	C	Réactivité nappe	Facteur global qui qualifie la nappe et son interaction avec les eaux de surface. La réactivité conditionne le décalage temporaire entre la variation des infiltrations au niveau de l'aménagement et la variation effective de la nappe dans le voisinage là où ses effets sont mesurés.
515	Vo	Risques pollution nappe	Risques de pollution de la nappe phréatique liée aux activités humaines dans la retenue. Compte tenu d'une capacité possible de la retenue à épurer l'eau, ce risque apparaît comme faible.

Facteurs écologiques (fournis par le GECOS, EPFL)

601	Vf	Algues	Diatomées et algues vertes dont l'évaluation ou la prédiction sera effectuée en saison hivernale selon un procédé qui reste encore à déterminer. Il est prévisible que les algues sont peu développées en hiver dans le Rhône mais il est difficile de savoir s'il s'agit d'un déficit naturel à cause du manque de documentation sur le sujet.
602	Vf	Bactériologie	Évaluation et prédiction de l'emprise bactériologique dans le fonctionnement du système. Cette classe restera probablement uniquement qualitative car l'absence de documentation utilisable rend sa quantification difficile. On suppose toutefois que les bactéries jouent un rôle fonctionnel de grande importance dans le système, notamment pour l'autoépuration.
603	Vf	Chimie de l'eau	Caractéristiques chimiques de l'eau de la rivière. Cette classe comprend les attributs suivants : pH, concentration minimale d'oxygène, nitrates, sulfates, polluants organiques et métaux lourds.
605	Vo	Diversité écotone	Ce facteur représente, d'une part, la diversité végétale évaluée dans la zone terrestre directement influencée par le système (zone située entre les digues latérales) et, d'autre part, la diversité animale située ou prédite dans cette même zone.
606	P	Ecomorphologie R	Ensemble de conditions structurelles de la rivière dans son environnement immédiat. Ce facteur comprend la largeur des rives, la largeur du lit, la largeur du lit mouillé, le coefficient de marnage, le coefficient de variation de la profondeur, le coefficient de la variation des vitesses de courant, la quantification de plans d'eau isolés du

			<p>système, la granulométrie, la sinuosité, le continuum entre le système aquatique et le système terrestre adjacent, l'occurrence d'abris ou de sous-berges pour les poissons, la pente des rives et de la plaine.</p>
607	Vf	Macro invertébrés benthiques	Répartition des groupes fonctionnels prédits selon les caractéristiques physico-chimiques de l'eau ainsi que de l'écomorphologie de la rivière dans son milieu (principalement sur les groupes fonctionnels trophiques).
608	Vf	Macrophytes aquatiques	Prédiction de l'occurrence, l'abondance et la richesse des hydrophytes selon la physico-chimie de l'eau et l'écomorphologie de la rivière dans son milieu.
609	Vf	Matière en suspension	Masse par unité de volume de matière en suspension contenue dans la rivière étudiée. Dans le cas du Rhône, la matière en suspension est principalement formée des farines glaciaires.
610	D	Nutriments	Implicitement compris dans le facteur « chimie de l'eau », les nutriments représentent la biodisponibilité en azote (N) et en phosphore (P).
611	Vo	Poissons et cyclostomes	Note d'habitat pour la truite et le chabot. Ce facteur représente l'abondance et la diversité des habitats déterminée selon les critères physiques et écomorphologiques de la rivière.
612	P	Surface min écologique	Surface minimale nécessaire à l'élaboration d'une synergie apportant une plus valeur significative d'un point de vue écologique. La valeur de cette surface est encore à déterminer et se basera probablement sur des avis d'experts. Cette surface comprend la rivière by-pass et ses abords ainsi que les contre-canaux.
613	Vf	Température eau	Températures minimales hivernales et maximales estivales.
614	C	Voisinage	Impact du voisinage anthropologique sur la faune et la flore de la zone écologique. Les éventuels corridors écologiques qui pourraient relier cette zone ont un effet favorable.
615	Vf	Zooplancton	Evaluation et prédiction du plancton animal dont la méthode reste à définir. Devant l'absence quasi totale de zooplancton animal dans le Rhône valaisan, ce facteur a de forte chance de ne pas être significatif pour la rivière étudiée.

8.5. Attributs écologiques (tableau fourni par le GECOS EPFL)

Nb.	Classe	Attributs #					
1	Algues	Densité algues filamenteuses	Indice des diatomées suisses (DI-CH)				
2	Bactériologie	Bactéries indicatrices	Taux décomposition moyen litière				
3	Chimie de l'eau	Concentration minimale d'oxygène	Basic/Neutre/Acide	Polluants métaux	Polluants organiques	Productivité primaire moyenne	Taux respiration moyen
5	Diversité écotone	Population d'insectes	Population araignées	Population oiseaux	Population gastéropodes	Population amphibiens	Population mammifères
6	Ecomorphologie-R	Largeur des rives	Largeur du lit	Variabilité largeur lit mouillé	Coef. variation profondeur	Coef. variation vitesse courant	Nombre bras isolés
7	Macro invertébrés benthiques	Population brouteurs / collecteurs	Population broyeurs	Population prédateurs			
8	Macrophytes aquatiques	% volume infesté par hydrphytes submergés					
9	Matière en suspension	Matière en suspension lors régime normal	Nature des sédiments				
10	Nutriments	Concentration azote	Concentration phosphore				
11	Diversité poissons et cyclostomes	Abondance de truites	Population autres poissons	Diversité mésohabitats			
12	Surface min écologique	Surface végétation pionnière	Surface végétation ligneuse	Surface buissons	Surface de barres de graviers		
13	Température eau	Variation température	Température moyenne	Amplitude changements à court terme			
14	Voisinage	Sinusoité berges	Continuum				
15	Zooplancton	Population zooplancton - EAWAG					

Références GECOS :

Amoros, C. and G. Petts (1993). "Hydrosystèmes fluviaux", Masson, col. d'écologie 24.

Balestrini, R., M. Cazzola, et al. (2004). "Characterising hydromorphological features of selected Italian rivers: a comparative methodological approach", *Hydrobiologia* 516: 365-379

Brettum, P. and G. Halvorsen (2004). "The phytoplankton of lake Atnsjoen, Norway - a long term investigation", *Hydrobiologia* 521: 141-147

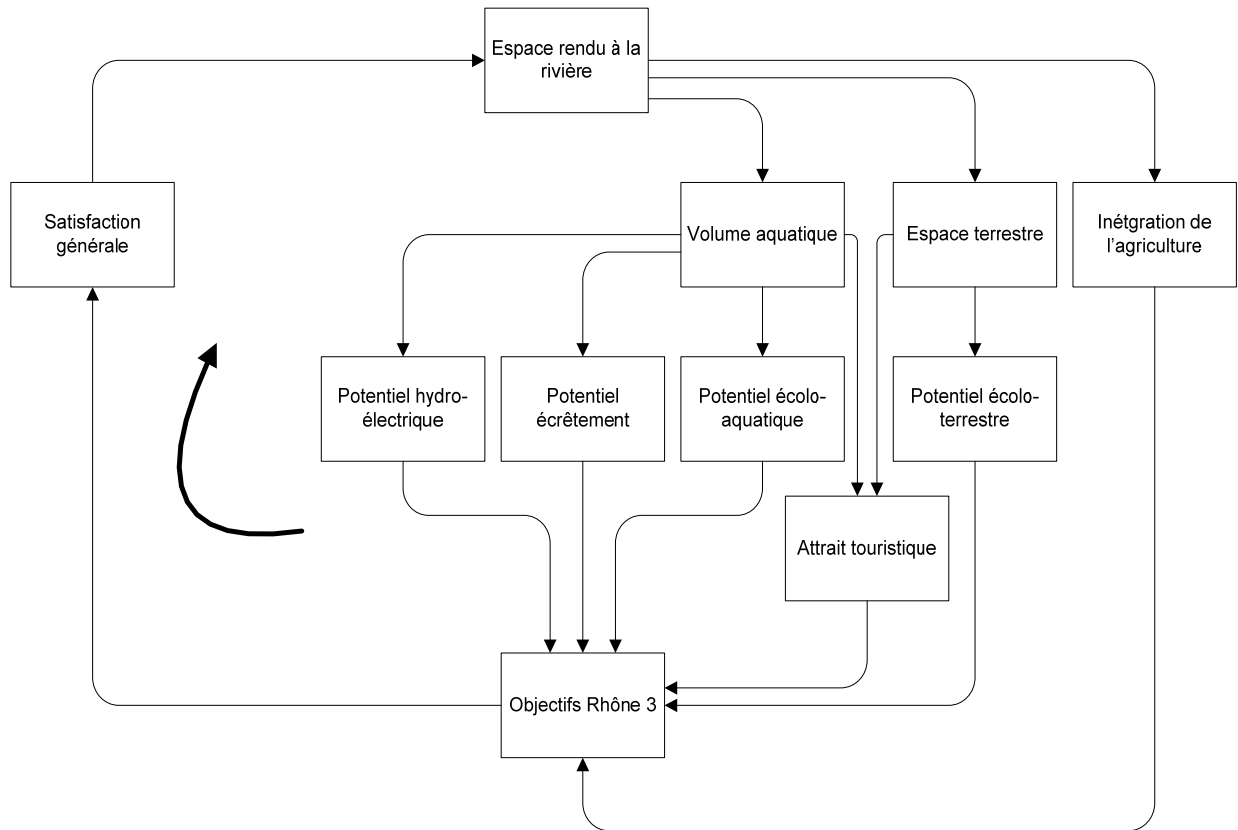
Carr, G., H. Duthie, et al. (1997). "Modelsof aquatic plant productivity: a review of the factors that influence growth", *Aquatic Botany* 59(3-4): 195-215

Hainard, P., B. Bressoud, G. Giugni et J.L. Moret (1987) "Incidence de la réduction du débit des cours d'eau sur la flore et la végétation", Berne, OFEFP: 65pp. + annexes

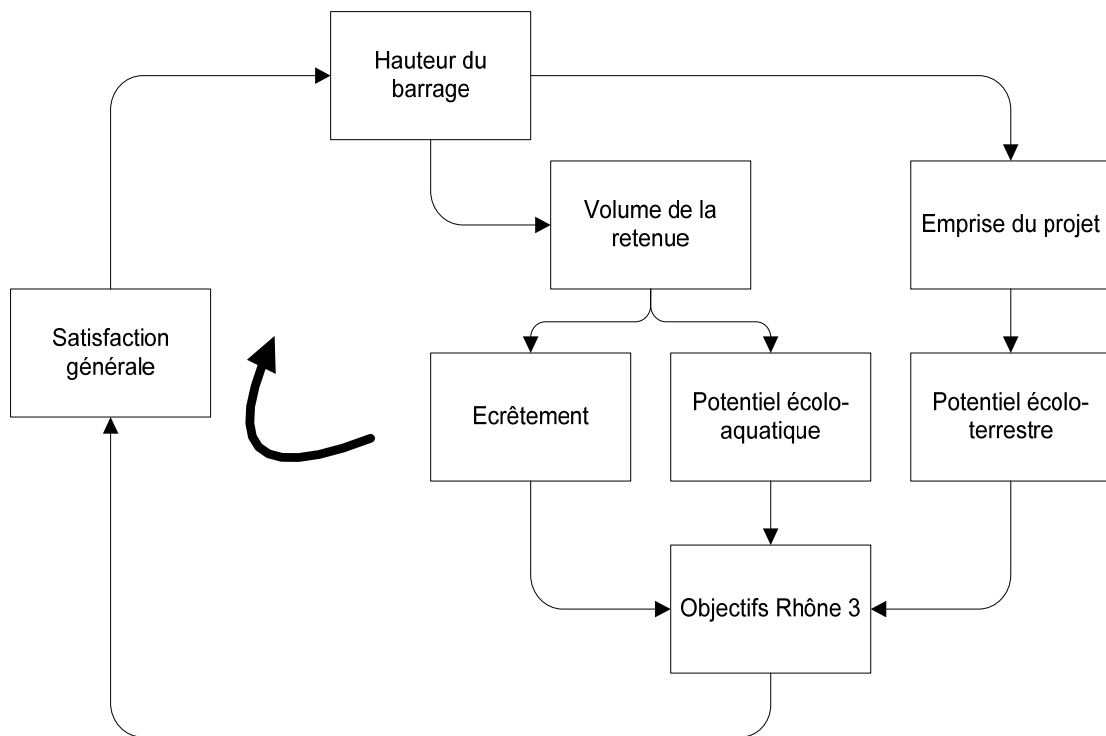
OFEFP (1998). "Ecomorphologie de niveau R", Berne, OFEFP

Rutherford, J., M. Scarsbrock, et al. (2000). "Grazer control of stream algae: modeling temperature and flood effects", *Journal of Environmental Engineering*, April: 331-339

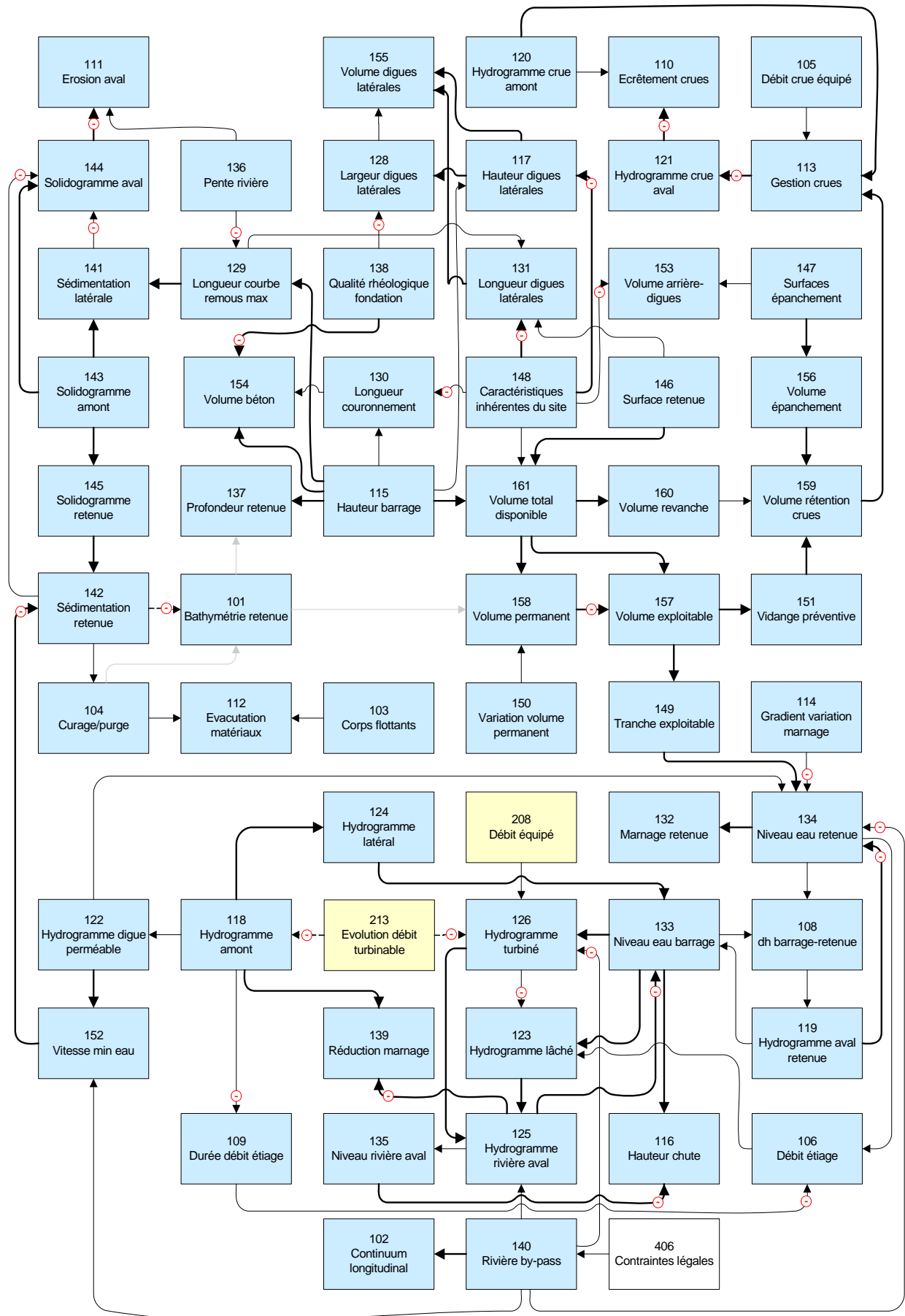
8.6. Réseau d'influence des objectifs de la troisième correction du Rhône



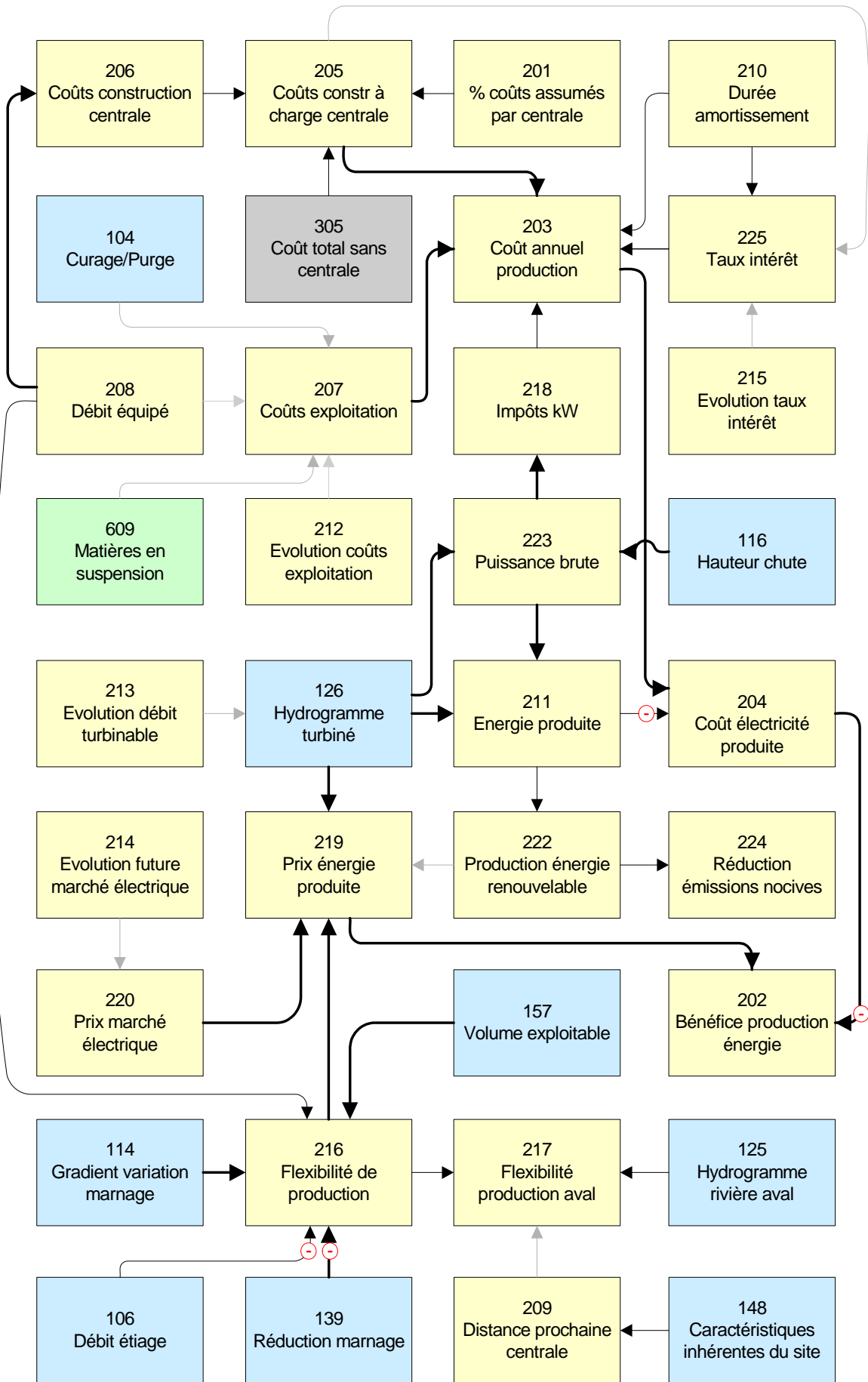
8.7. Réseau d'influence barrage – 3^{ième} correction du Rhône



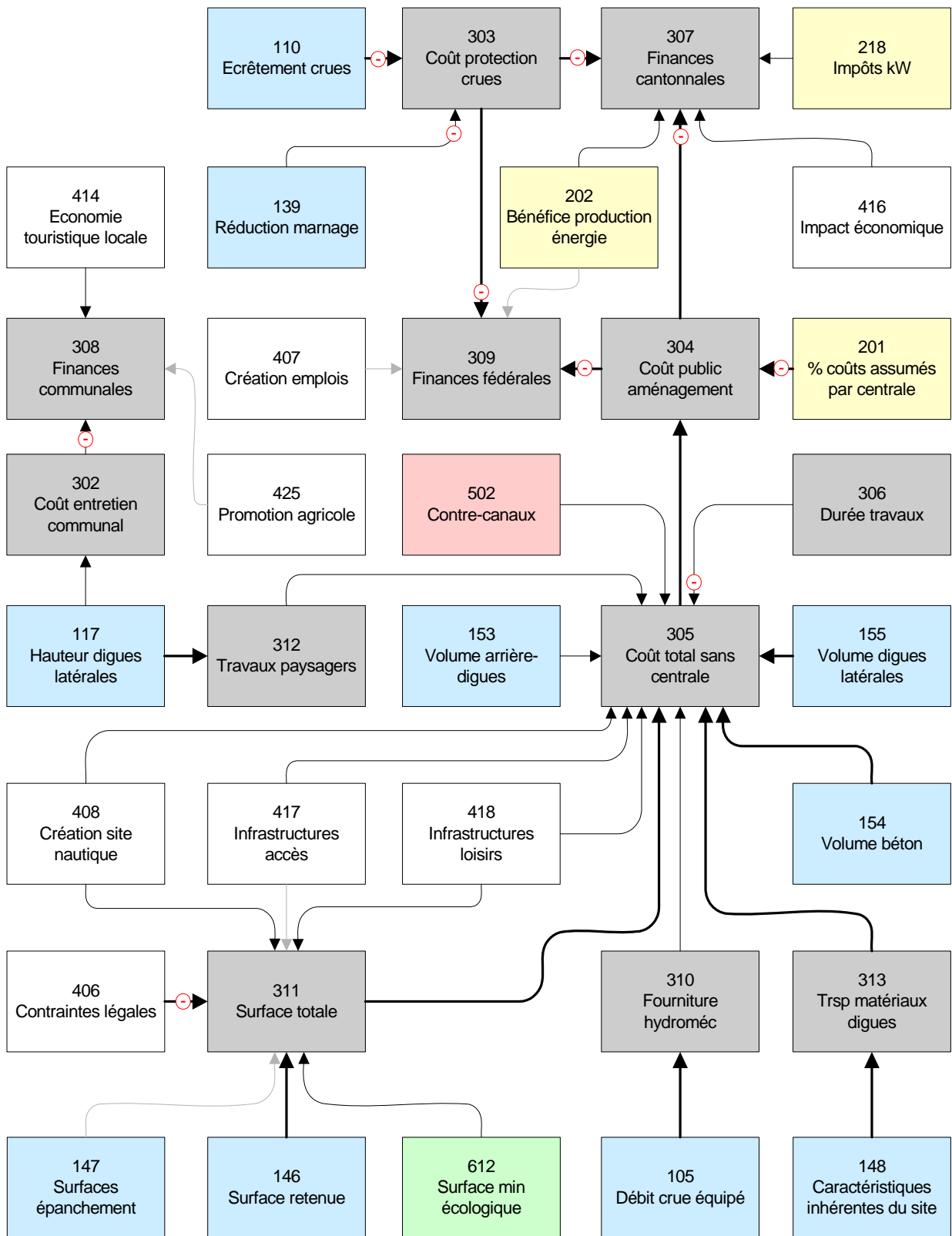
8.8. Réseau hydraulique



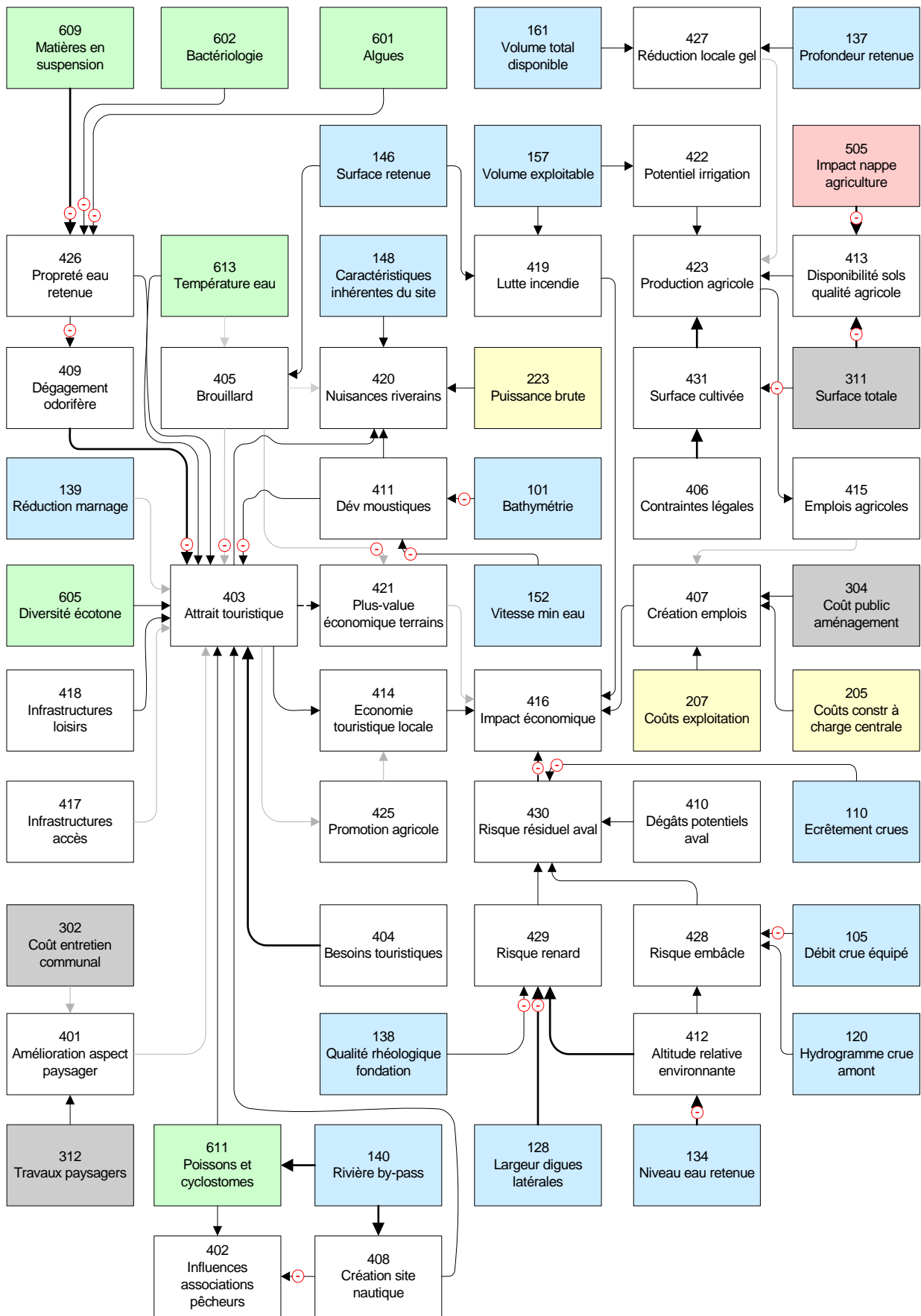
8.9. Réseau énergétique



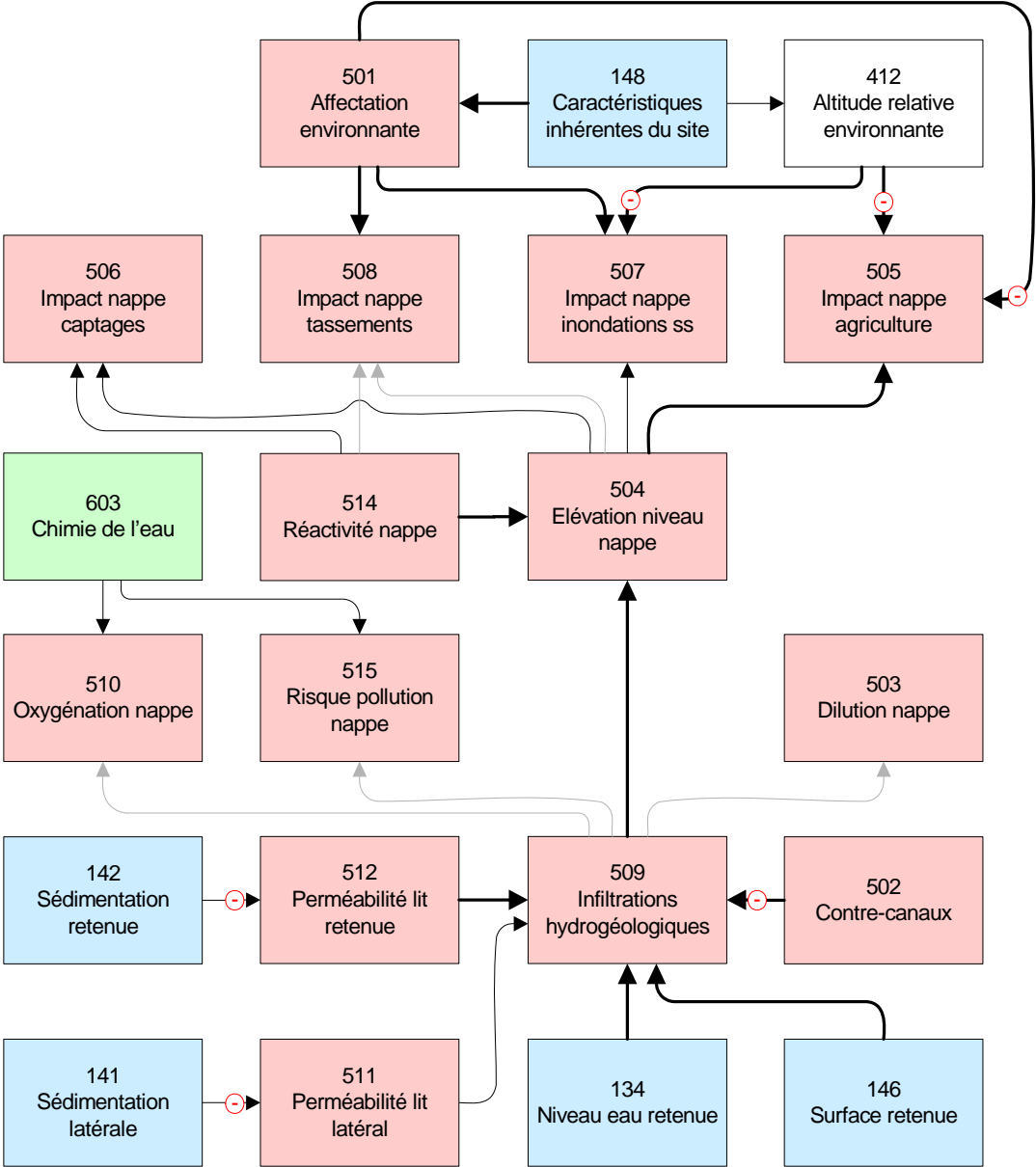
8.10. Réseau financier



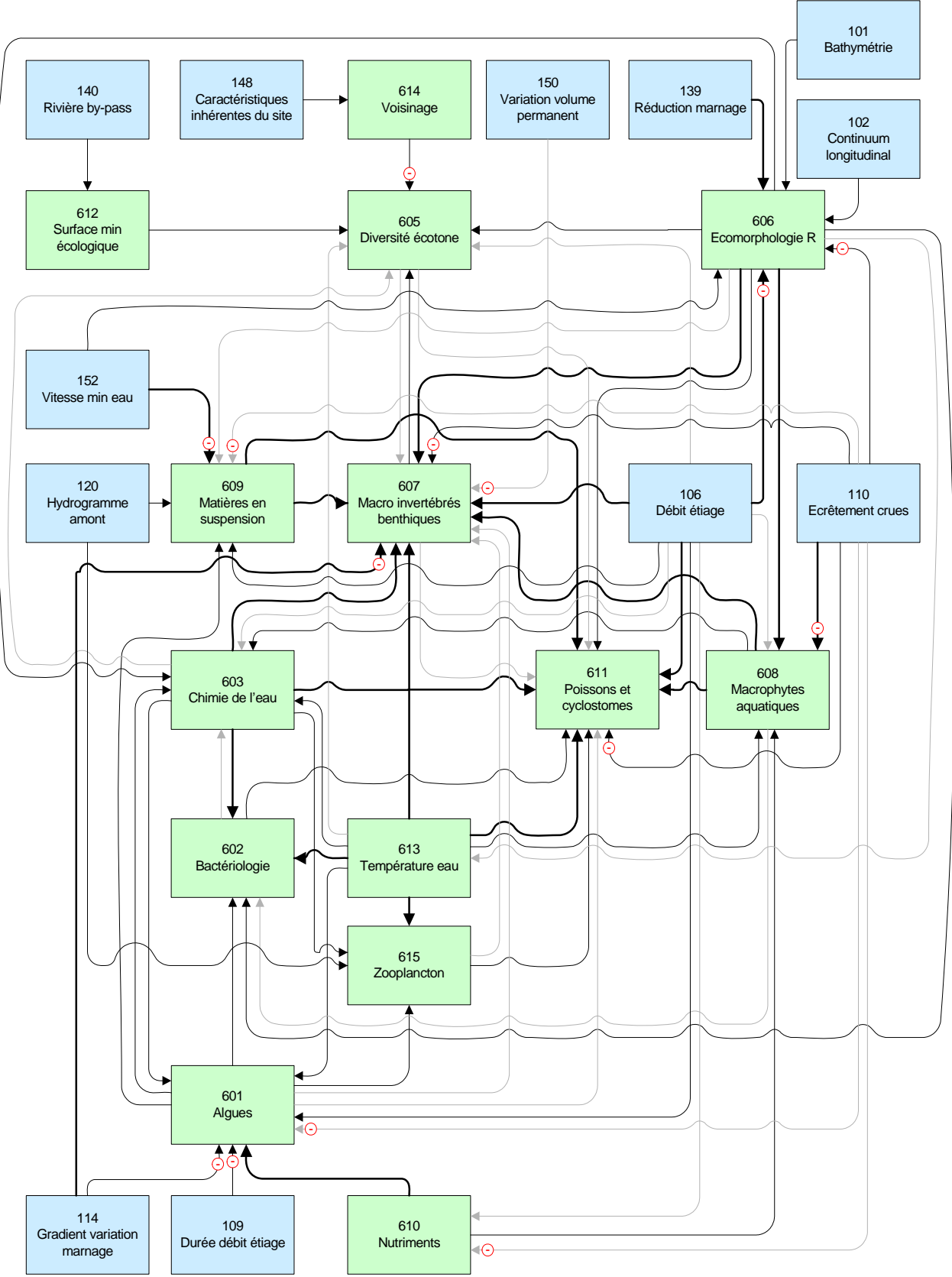
8.11. Réseau socio-économique



8.12. Réseau nappe phréatique



8.13. Réseau écologique (en collaboration avec le GECOS, EPFL)



8.15. Sensibilité sur la pondération des influences, facteurs déterminants

n°	Hydr prim								Hydr sec								Hydr ter							
	Réf		Mod 2		Résultats				Réf		Mod 2		Résultats				Réf		Mod 2		Résultats			
	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP
106	81	33	100	40	19%	0	7%	1	100	54	100	63	0%	1	10%	6	100	45	100	59	0%	0	15%	8
110	65	42	82	40	16%	1	2%	5	76	40	77	37	1%	2	3%	0	73	38	77	35	4%	2	3%	1
113	12	67	9	60	2%	1	7%	1	9	74	5	63	4%	3	11%	2	11	62	6	57	6%	7	6%	1
115	62	0	55	0	7%	1	0%	0	63	0	41	0	23%	4	0%	0	54	0	31	0	23%	8	0%	0
116	12	50	9	40	2%	1	10%	1	14	68	8	53	7%	5	15%	6	12	69	6	55	6%	7	13%	7
123	12	58	9	60	2%	1	2%	1	16	93	9	95	7%	6	2%	2	18	94	8	100	9%	4	6%	1
125	38	67	36	60	2%	2	7%	1	43	100	28	89	15%	1	11%	2	44	100	26	93	19%	3	7%	1
126	54	67	45	80	8%	0	13%	0	57	78	34	84	23%	4	6%	2	50	70	27	77	23%	7	7%	1
131	12	58	9	60	2%	1	2%	1	9	54	5	58	4%	3	4%	4	8	39	4	48	4%	1	9%	6
133	42	67	36	60	6%	2	7%	1	45	88	26	74	18%	6	14%	1	44	84	22	77	22%	5	7%	1
134	50	100	45	100	5%	1	0%	0	60	98	46	100	14%	1	2%	1	56	80	43	90	13%	1	9%	1
139	35	50	41	40	6%	7	10%	1	46	65	44	53	2%	4	12%	3	45	65	44	55	1%	6	10%	4
140	73	17	73	20	0%	1	3%	1	88	12	67	16	22%	1	3%	1	92	9	65	13	26%	1	4%	1
141	15	50	18	40	3%	1	10%	1	12	53	10	42	1%	3	10%	2	8	38	8	35	1%	8	3%	3
142	27	50	36	40	9%	2	10%	1	23	62	27	47	4%	7	14%	3	19	48	23	42	5%	10	6%	5
144	12	58	9	60	2%	1	2%	1	6	68	4	68	2%	2	0%	1	4	59	2	64	1%	1	5%	4
146	58	0	59	0	1%	1	0%	0	62	0	48	0	14%	1	0%	0	53	0	37	0	16%	3	0%	0
148	100	0	100	0	0%	0	0%	0	100	0	71	0	29%	2	0%	0	79	0	52	0	27%	1	0%	0
154	12	67	9	60	2%	1	7%	1	11	58	7	58	5%	1	0%	1	11	41	6	48	5%	5	6%	4
155	12	67	9	60	2%	1	7%	1	11	97	7	84	5%	1	13%	1	11	77	6	75	5%	5	2%	1
157	50	50	45	40	5%	1	10%	1	41	80	27	63	13%	1	17%	4	33	67	20	59	13%	2	8%	3
158	12	50	9	60	2%	1	10%	5	20	64	10	74	9%	5	10%	6	17	47	8	65	9%	4	18%	8
159	12	67	9	60	2%	1	7%	1	9	74	5	63	4%	3	11%	2	7	66	4	59	3%	1	7%	2
161	42	67	36	60	6%	2	7%	1	42	49	26	47	16%	4	2%	1	36	36	20	39	16%	3	4%	3

8.17. Sensibilité sur le type de calcul, facteurs déterminants

n°	Hydr dir								Hydr ind 1								Hydr ind 2							
	Réf		Direct		Résultats				Réf		Indi 1		Résultats				Réf		Indi 2		Résultats			
	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP
106	81	33	81	33	0%	0	0%	0	81	33	100	57	19%	1	24%	16	81	33	100	22	19%	1	11%	3
110	65	42	65	42	0%	0	0%	0	65	42	73	18	7%	0	23%	5	65	42	68	32	3%	1	10%	3
113	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	5	49	6%	2	18%	9	12	67	15	32	4%	6	35%	10
115	62	0	62	0	0%	0	0%	0	62	0	54	0	8%	3	0%	0	62	0	37	0	24%	11	0%	0
116	12	50	12	50	0%	0	0%	0	12	50	15	61	3%	2	11%	5	12	50	7	70	4%	6	20%	9
123	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	18	98	7%	5	40%	8	12	58	20	98	8%	9	39%	8
125	38	67	38	67	0%	0	0%	0	38	67	40	100	2%	1	33%	1	38	67	46	100	7%	5	33%	1
126	54	67	54	67	0%	0	0%	0	54	67	49	57	5%	2	10%	1	54	67	39	49	14%	8	18%	0
131	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	5	20	6%	2	38%	16	12	58	5	0	7%	4	58%	20
133	42	67	42	67	0%	0	0%	0	42	67	39	76	4%	2	9%	3	42	67	43	75	0%	1	9%	1
134	50	100	50	100	0%	0	0%	0	50	100	59	47	9%	3	53%	18	50	100	48	36	2%	2	64%	11
139	35	50	35	50	0%	0	0%	0	35	50	49	55	14%	9	5%	2	35	50	43	64	8%	7	14%	8
140	73	17	73	17	0%	0	0%	0	73	17	87	0	14%	1	17%	1	73	17	97	0	24%	1	17%	10
141	15	50	15	50	0%	0	0%	0	15	50	6	31	9%	12	19%	7	15	50	2	0	13%	20	50%	17
142	27	50	27	50	0%	0	0%	0	27	50	16	49	11%	8	1%	0	27	50	10	13	17%	11	37%	7
144	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	0	49	12%	10	9%	3	12	58	0	34	12%	10	24%	3
146	58	0	58	0	0%	0	0%	0	58	0	55	0	3%	0	0%	0	58	0	36	0	21%	12	0%	0
148	100	0	100	0	0%	0	0%	0	100	0	82	0	18%	2	0%	0	100	0	43	0	57%	12	0%	0
154	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	9	16	2%	4	50%	23	12	67	11	0	1%	2	67%	28
155	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	9	94	2%	4	27%	1	12	67	11	26	1%	2	40%	12
157	50	50	50	50	0%	0	0%	0	50	50	25	86	25%	14	36%	9	50	50	19	34	31%	17	16%	1
158	12	50	12	50	0%	0	0%	0	12	50	24	53	12%	9	3%	1	12	50	12	4	1%	5	46%	10
159	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	5	49	6%	2	18%	9	12	67	3	45	9%	2	22%	1
161	42	67	42	67	0%	0	0%	0	42	67	34	0	8%	5	67%	37	42	67	26	0	16%	9	67%	28

8.19. Sensibilité du modèle 3, facteurs déterminants

n°	Hydr prim								Hydr sec								Hydr ter							
	Réf		Mod 3		Résultats				Réf		Mod 3		Résultats				Réf		Mod 3		Résultats			
	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP
106	81	33	81	33	0%	0	0%	0	81	33	100	56	19%	1	23%	13	81	33	100	29	19%	1	5%	3
110	65	42	65	42	0%	0	0%	0	65	42	74	25	8%	0	17%	6	65	42	69	30	4%	1	11%	2
113	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	6	56	5%	2	11%	6	12	67	14	36	2%	5	30%	8
115	62	0	62	0	0%	0	0%	0	62	0	56	0	5%	2	0%	0	62	0	40	0	21%	11	0%	0
116	12	50	12	50	0%	0	0%	0	12	50	15	63	3%	1	13%	5	12	50	8	68	3%	6	18%	9
123	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	18	96	6%	4	38%	8	12	58	20	98	8%	8	39%	8
125	38	67	38	67	0%	0	0%	0	38	67	41	100	2%	1	33%	1	38	67	45	100	6%	5	33%	1
126	54	67	54	67	0%	0	0%	0	54	67	51	63	3%	2	4%	0	54	67	41	52	13%	7	15%	0
131	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	6	30	5%	2	29%	14	12	58	5	6	7%	4	52%	20
133	42	67	42	67	0%	0	0%	0	42	67	40	79	2%	1	12%	3	42	67	42	76	0%	0	9%	1
134	50	100	50	100	0%	0	0%	0	50	100	59	61	9%	3	39%	9	50	100	50	41	0%	3	59%	11
139	35	50	35	50	0%	0	0%	0	35	50	48	58	14%	8	8%	2	35	50	44	63	9%	7	13%	8
140	73	17	73	17	0%	0	0%	0	73	17	88	4	15%	1	13%	0	73	17	95	1	22%	1	16%	0
141	15	50	15	50	0%	0	0%	0	15	50	8	37	8%	10	13%	5	15	50	3	7	12%	20	43%	12
142	27	50	27	50	0%	0	0%	0	27	50	18	53	9%	8	3%	1	27	50	12	21	15%	8	29%	6
144	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	2	54	10%	6	4%	4	12	58	0	38	11%	6	20%	3
146	58	0	58	0	0%	0	0%	0	58	0	57	0	1%	0	0%	0	58	0	40	0	18%	11	0%	0
148	100	0	100	0	0%	0	0%	0	100	0	87	0	13%	2	0%	0	100	0	50	0	50%	5	0%	0
154	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	10	28	2%	4	39%	18	12	67	11	6	1%	0	61%	24
155	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	10	95	2%	4	28%	1	12	67	11	40	1%	0	27%	5
157	50	50	50	50	0%	0	0%	0	50	50	29	84	21%	12	34%	9	50	50	20	44	30%	15	6%	2
158	12	50	12	50	0%	0	0%	0	12	50	23	56	11%	9	6%	1	12	50	14	14	2%	5	36%	8
159	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	6	56	5%	2	11%	6	12	67	3	47	8%	1	20%	1
161	42	67	42	67	0%	0	0%	0	42	67	36	14	6%	3	53%	26	42	67	28	3	14%	9	64%	27

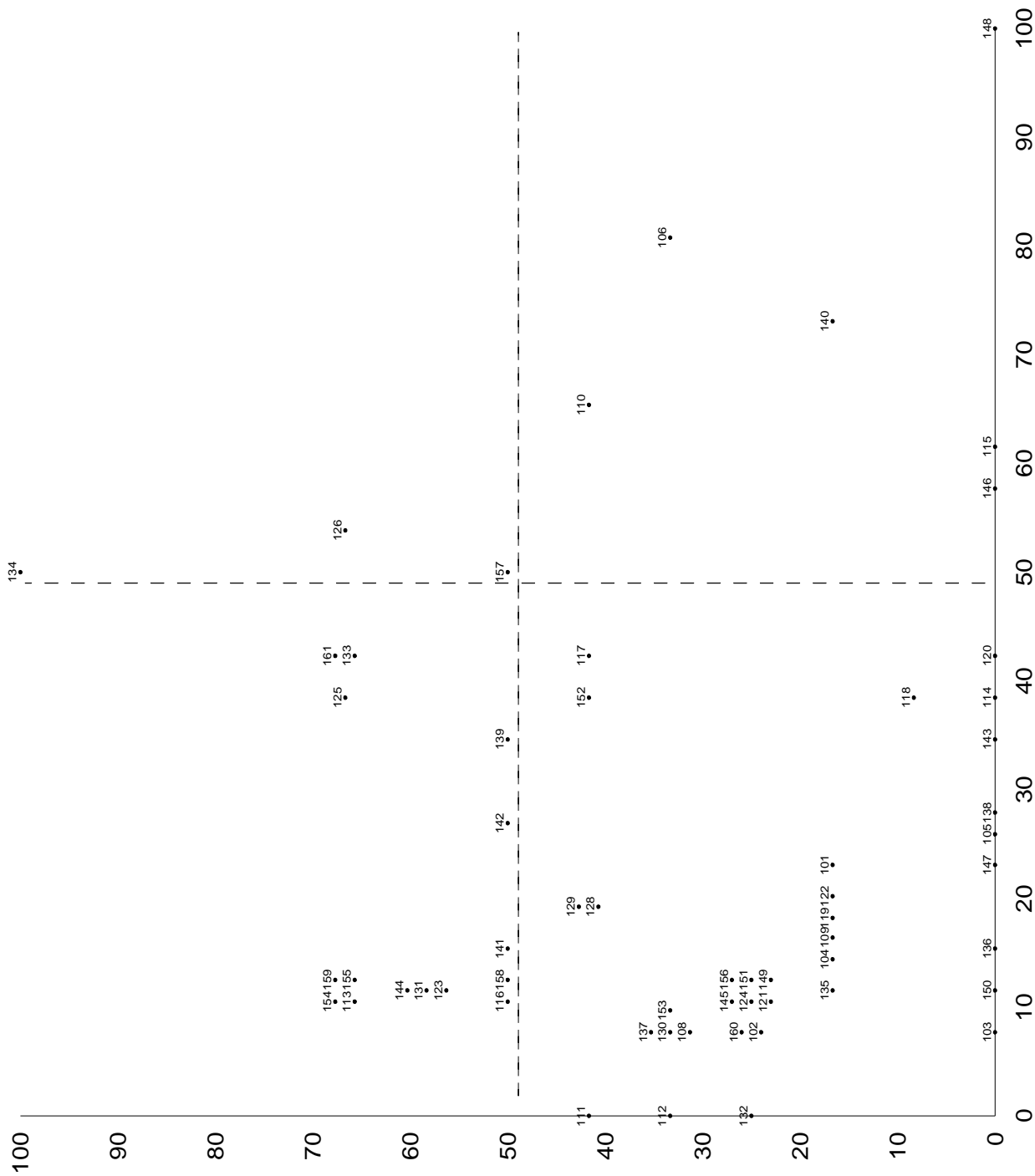
8.21. Sensibilité du modèle 4, facteurs déterminants

n°	Hydr prim								Hydr sec								Hydr ter							
	Réf		Mod 4		Résultats				Réf		Mod 4		Résultats				Réf		Mod 4		Résultats			
	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP
106	81	33	81	33	0%	0	0%	0	81	33	100	56	19%	1	22%	9	81	33	100	34	19%	1	0%	5
110	65	42	65	42	0%	0	0%	0	65	42	74	27	9%	0	15%	5	65	42	70	30	4%	1	12%	2
113	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	7	59	5%	0	8%	4	12	67	13	41	1%	4	26%	7
115	62	0	62	0	0%	0	0%	0	62	0	58	0	4%	2	0%	0	62	0	43	0	19%	8	0%	0
116	12	50	12	50	0%	0	0%	0	12	50	15	64	3%	0	14%	3	12	50	9	68	2%	4	18%	9
123	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	18	96	6%	3	38%	8	12	58	19	97	8%	8	39%	8
125	38	67	38	67	0%	0	0%	0	38	67	41	100	3%	1	33%	1	38	67	44	100	6%	4	33%	1
126	54	67	54	67	0%	0	0%	0	54	67	52	66	2%	2	1%	0	54	67	43	55	11%	5	12%	2
131	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	7	34	5%	0	25%	13	12	58	5	12	6%	3	47%	20
133	42	67	42	67	0%	0	0%	0	42	67	41	80	1%	1	14%	3	42	67	42	77	0%	3	10%	1
134	50	100	50	100	0%	0	0%	0	50	100	59	67	9%	3	33%	6	50	100	51	47	1%	2	53%	12
139	35	50	35	50	0%	0	0%	0	35	50	48	59	13%	8	9%	2	35	50	44	63	10%	9	13%	8
140	73	17	73	17	0%	0	0%	0	73	17	88	5	15%	0	12%	0	73	17	94	2	21%	1	15%	0
141	15	50	15	50	0%	0	0%	0	15	50	8	39	7%	10	11%	3	15	50	4	14	11%	16	36%	10
142	27	50	27	50	0%	0	0%	0	27	50	19	54	8%	6	4%	1	27	50	13	27	14%	9	23%	5
144	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	2	57	9%	6	2%	3	12	58	1	42	11%	6	16%	3
146	58	0	58	0	0%	0	0%	0	58	0	58	0	0%	0	0%	0	58	0	42	0	15%	9	0%	0
148	100	0	100	0	0%	0	0%	0	100	0	89	0	11%	1	0%	0	100	0	56	0	44%	3	0%	0
154	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	10	33	2%	4	34%	17	12	67	11	11	1%	0	55%	24
155	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	10	95	2%	4	28%	1	12	67	11	50	1%	0	16%	0
157	50	50	50	50	0%	0	0%	0	50	50	31	84	19%	11	34%	9	50	50	22	51	28%	15	1%	5
158	12	50	12	50	0%	0	0%	0	12	50	22	57	11%	9	7%	1	12	50	15	22	4%	5	28%	7
159	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	7	59	5%	0	8%	4	12	67	4	50	8%	2	17%	1
161	42	67	42	67	0%	0	0%	0	42	67	37	20	5%	2	47%	22	42	67	29	7	13%	8	60%	26

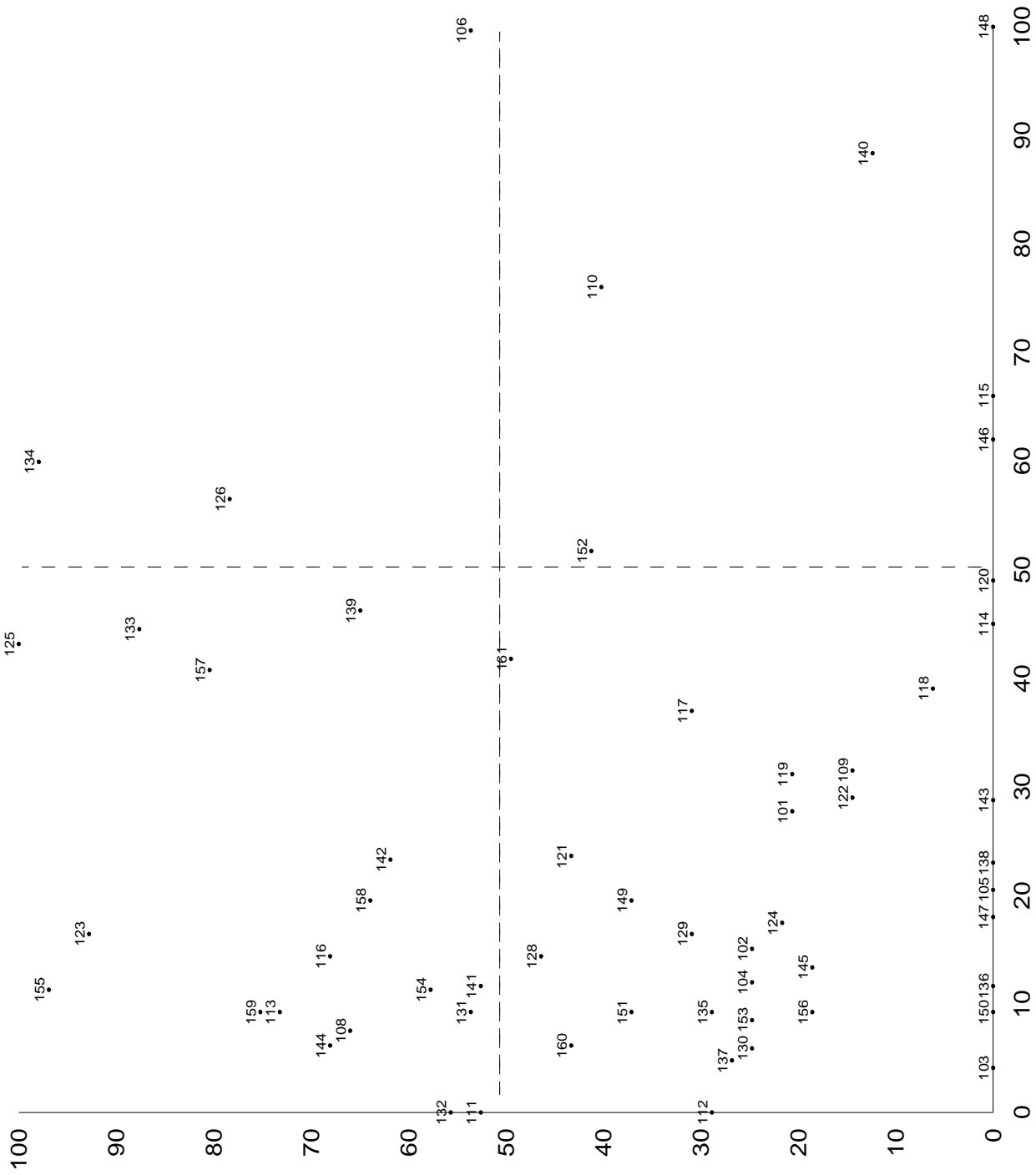
8.23. Sensibilité du modèle 1, facteurs déterminants

n°	Hydr prim								Hydr sec								Hydr ter							
	Réf		Mod 1		Résultats				Réf		Mod 1		Résultats				Réf		Mod 1		Résultats			
	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP	X	Y	X	Y	%X	DP	%Y	DP
106	81	33	81	33	0%	0	0%	0	81	33	100	54	19%	0	20%	7	81	33	100	45	19%	1	11%	7
110	65	42	65	42	0%	0	0%	0	65	42	76	40	11%	0	1%	3	65	42	73	38	8%	0	4%	1
113	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	9	74	2%	0	8%	0	12	67	11	62	0%	3	4%	3
115	62	0	62	0	0%	0	0%	0	62	0	63	0	2%	0	0%	0	62	0	54	0	8%	1	0%	0
116	12	50	12	50	0%	0	0%	0	12	50	14	68	3%	2	18%	3	12	50	12	69	0%	2	19%	6
123	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	16	93	5%	1	34%	6	12	58	18	94	6%	4	36%	8
125	38	67	38	67	0%	0	0%	0	38	67	43	100	5%	0	33%	1	38	67	44	100	6%	1	33%	1
126	54	67	54	67	0%	0	0%	0	54	67	57	78	3%	1	12%	2	54	67	50	70	3%	1	3%	3
131	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	9	54	2%	0	5%	7	12	58	8	39	4%	2	20%	11
133	42	67	42	67	0%	0	0%	0	42	67	45	88	2%	0	21%	3	42	67	44	84	2%	1	18%	1
134	50	100	50	100	0%	0	0%	0	50	100	60	98	10%	1	2%	1	50	100	56	80	6%	3	20%	3
139	35	50	35	50	0%	0	0%	0	35	50	46	65	12%	7	15%	0	35	50	45	65	11%	7	15%	3
140	73	17	73	17	0%	0	0%	0	73	17	88	12	15%	0	4%	0	73	17	92	9	19%	1	8%	0
141	15	50	15	50	0%	0	0%	0	15	50	12	53	4%	8	3%	3	15	50	8	38	7%	14	12%	7
142	27	50	27	50	0%	0	0%	0	27	50	23	62	4%	3	12%	2	27	50	19	48	8%	5	2%	2
144	12	58	12	58	0%	0	0%	0	12	58	6	68	5%	5	10%	0	12	58	4	59	8%	5	0%	1
146	58	0	58	0	0%	0	0%	0	58	0	62	0	4%	0	0%	0	58	0	53	0	5%	1	0%	0
148	100	0	100	0	0%	0	0%	0	100	0	100	0	0%	0	0%	0	100	0	79	0	21%	2	0%	0
154	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	11	58	0%	7	9%	7	12	67	11	41	0%	5	25%	12
155	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	11	97	0%	7	30%	1	12	67	11	77	0%	5	10%	3
157	50	50	50	50	0%	0	0%	0	50	50	41	80	9%	7	30%	7	50	50	33	67	17%	11	17%	5
158	12	50	12	50	0%	0	0%	0	12	50	20	64	8%	5	14%	1	12	50	17	47	5%	3	3%	2
159	12	67	12	67	0%	0	0%	0	12	67	9	74	2%	0	8%	0	12	67	7	66	5%	2	1%	0
161	42	67	42	67	0%	0	0%	0	42	67	42	49	1%	2	17%	13	42	67	36	36	6%	4	31%	17

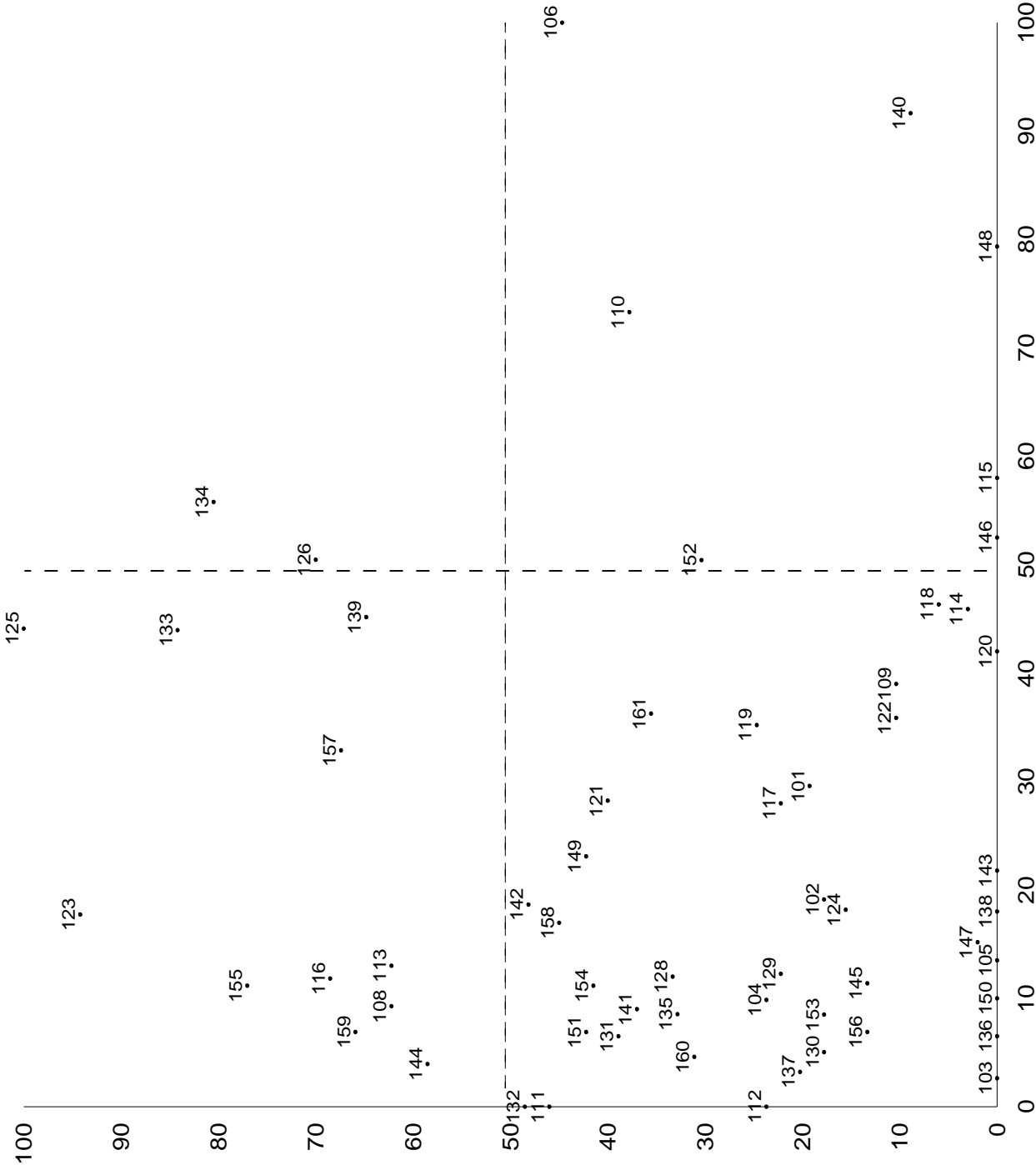
8.24. Graphe hydraulique, primaire



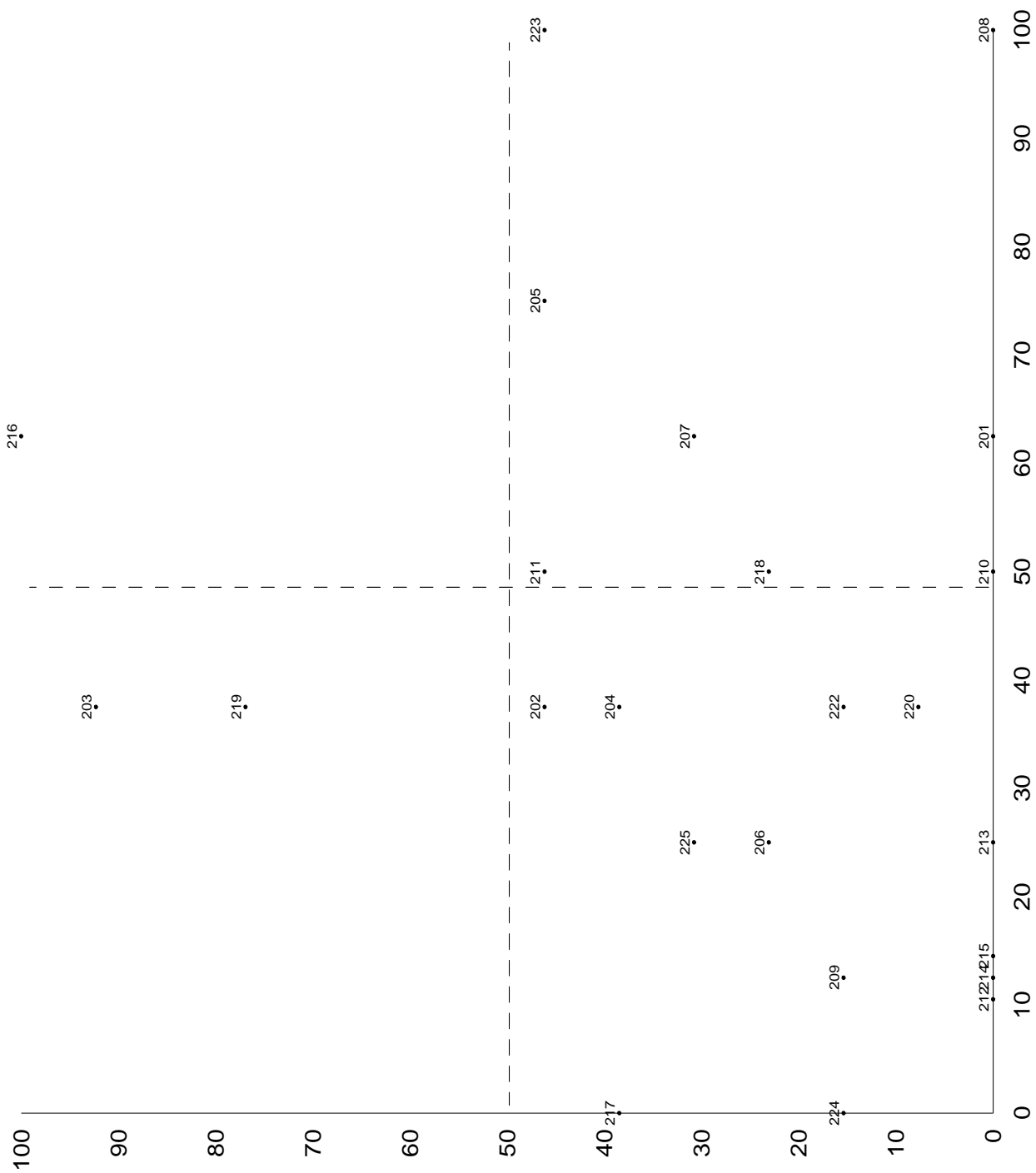
8.25. Graphe hydraulique, secondaire



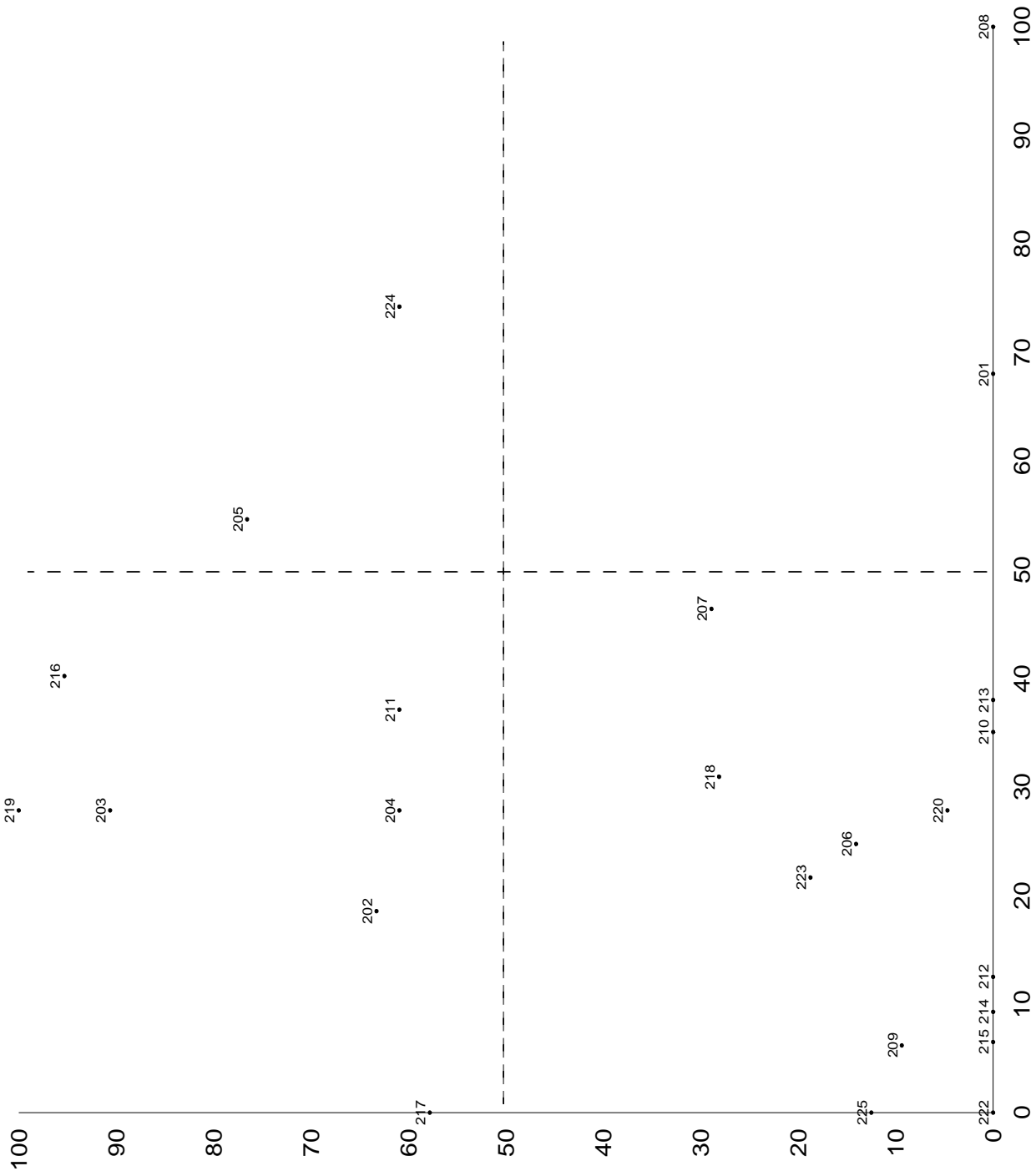
8.26. Graphe hydraulique, tertiaire



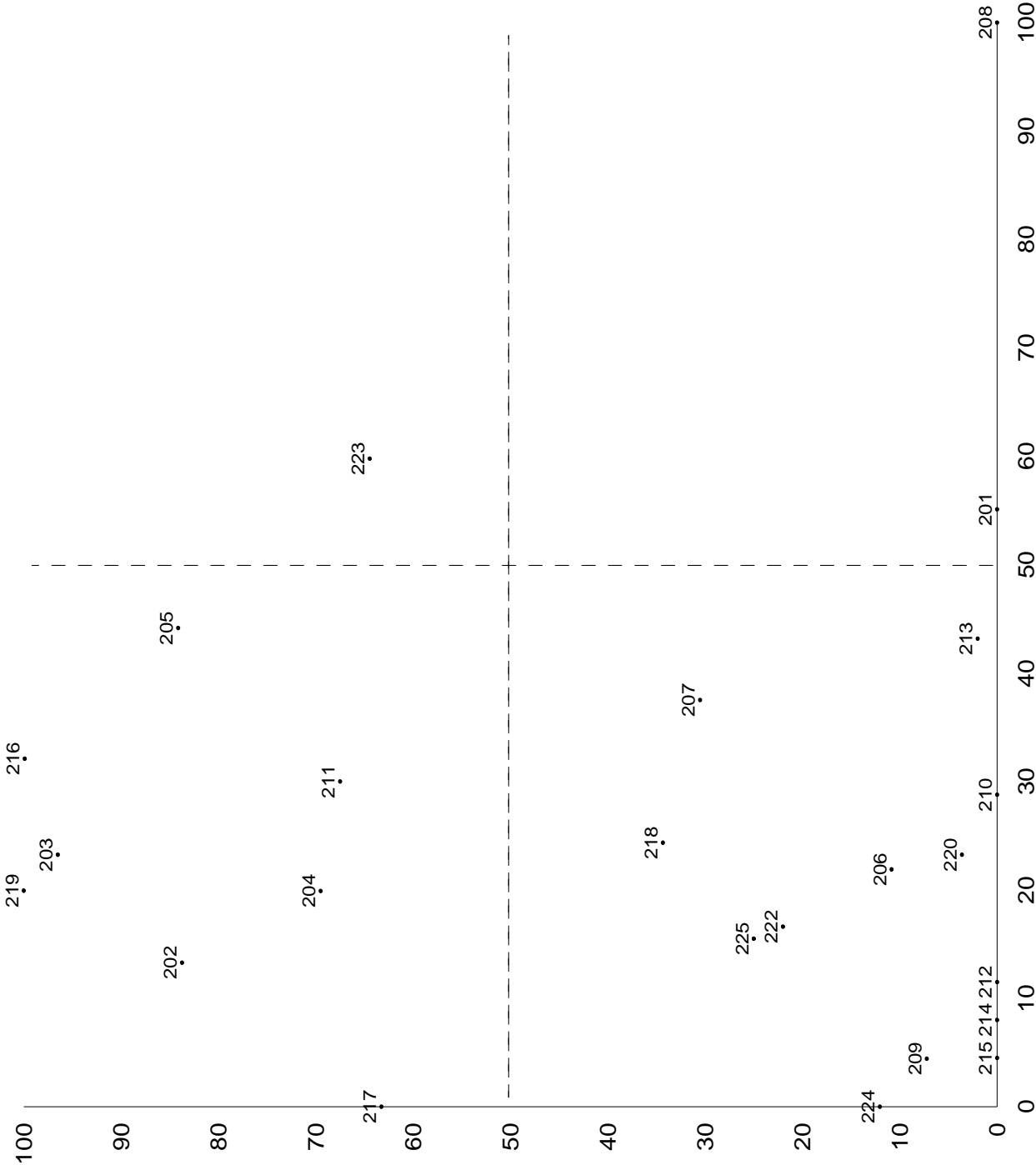
8.27. Graphe énergie, primaire



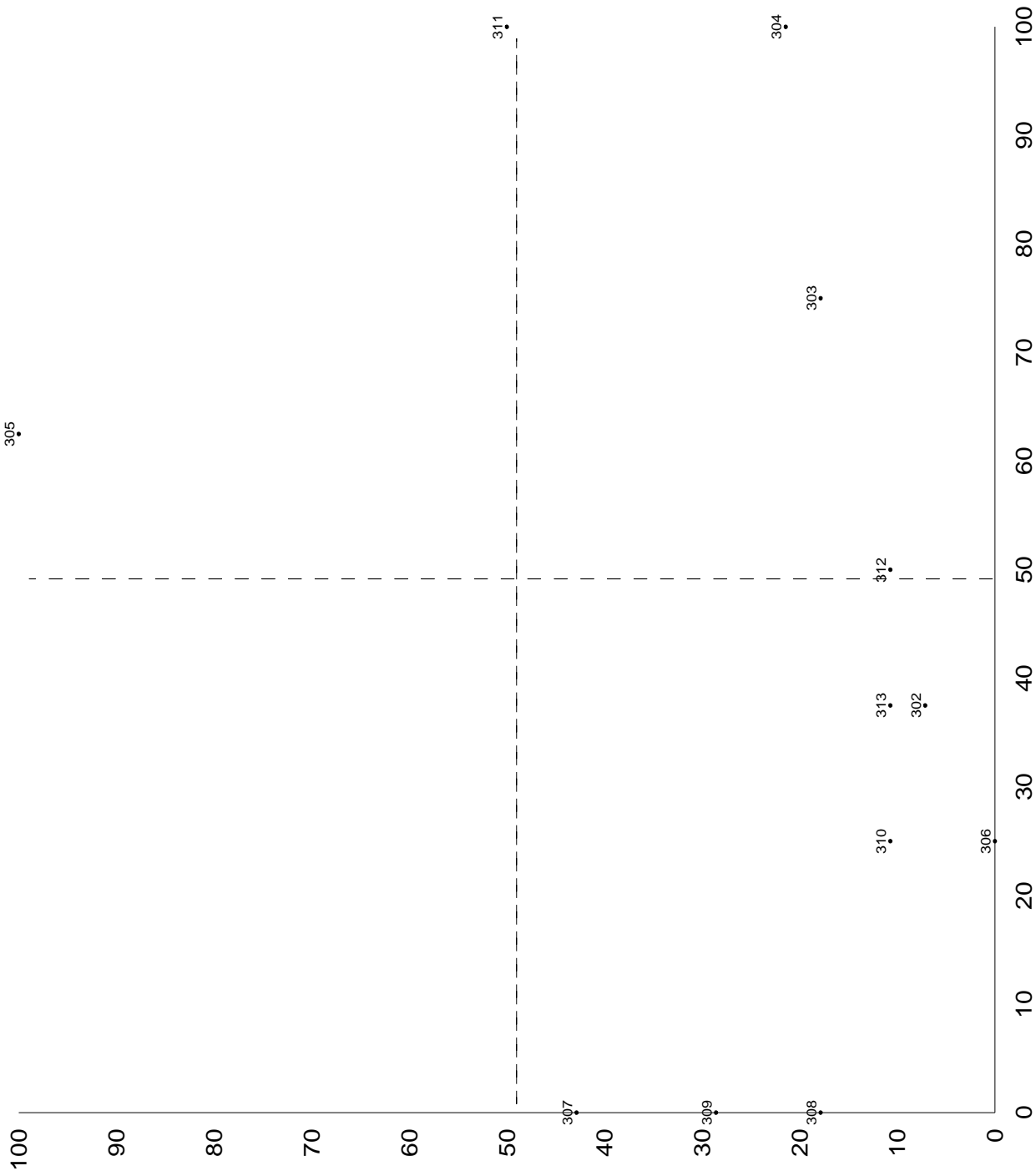
8.28. Graphe énergie, secondaire



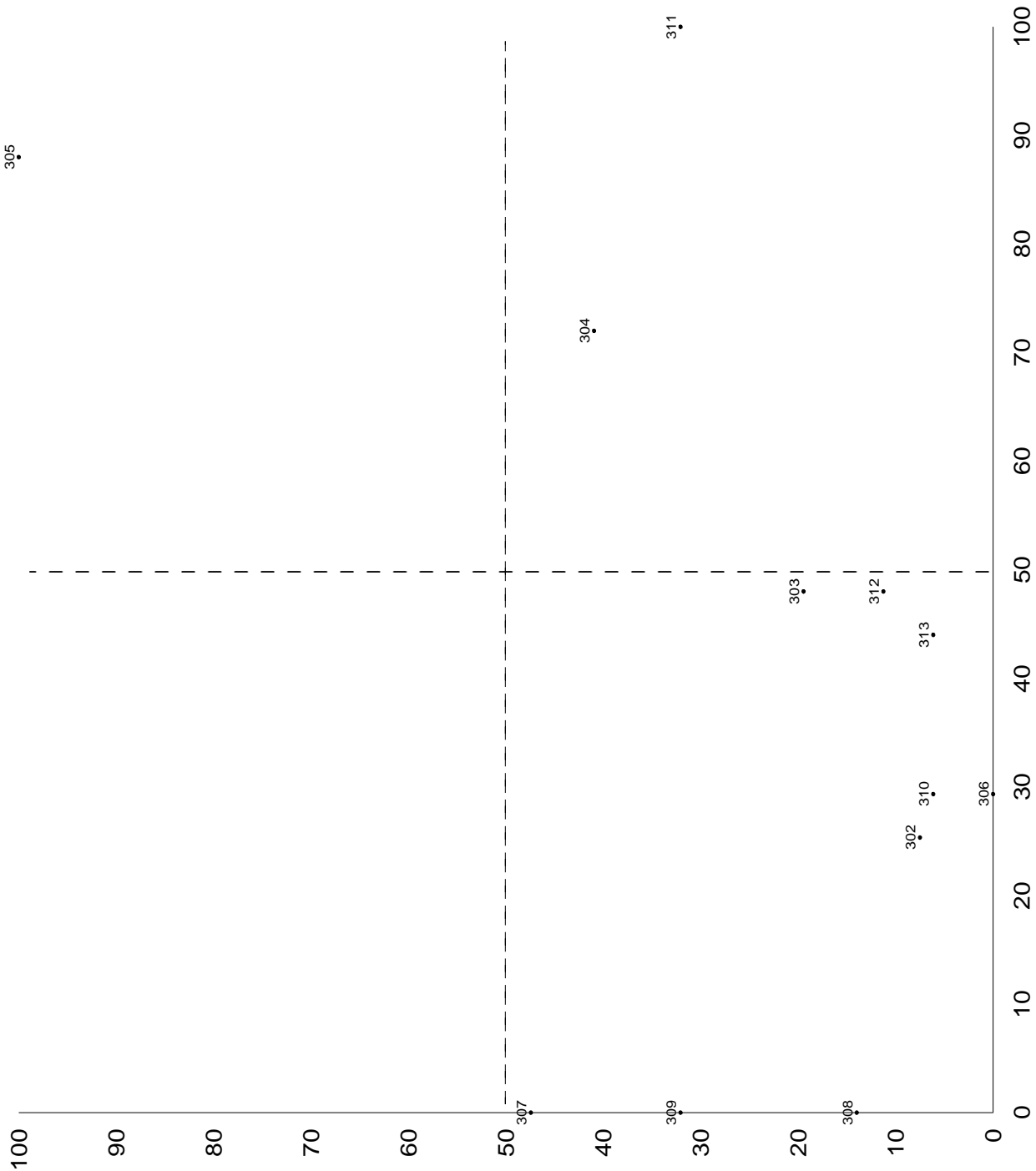
8.29. Graphe énergie, tertiaire



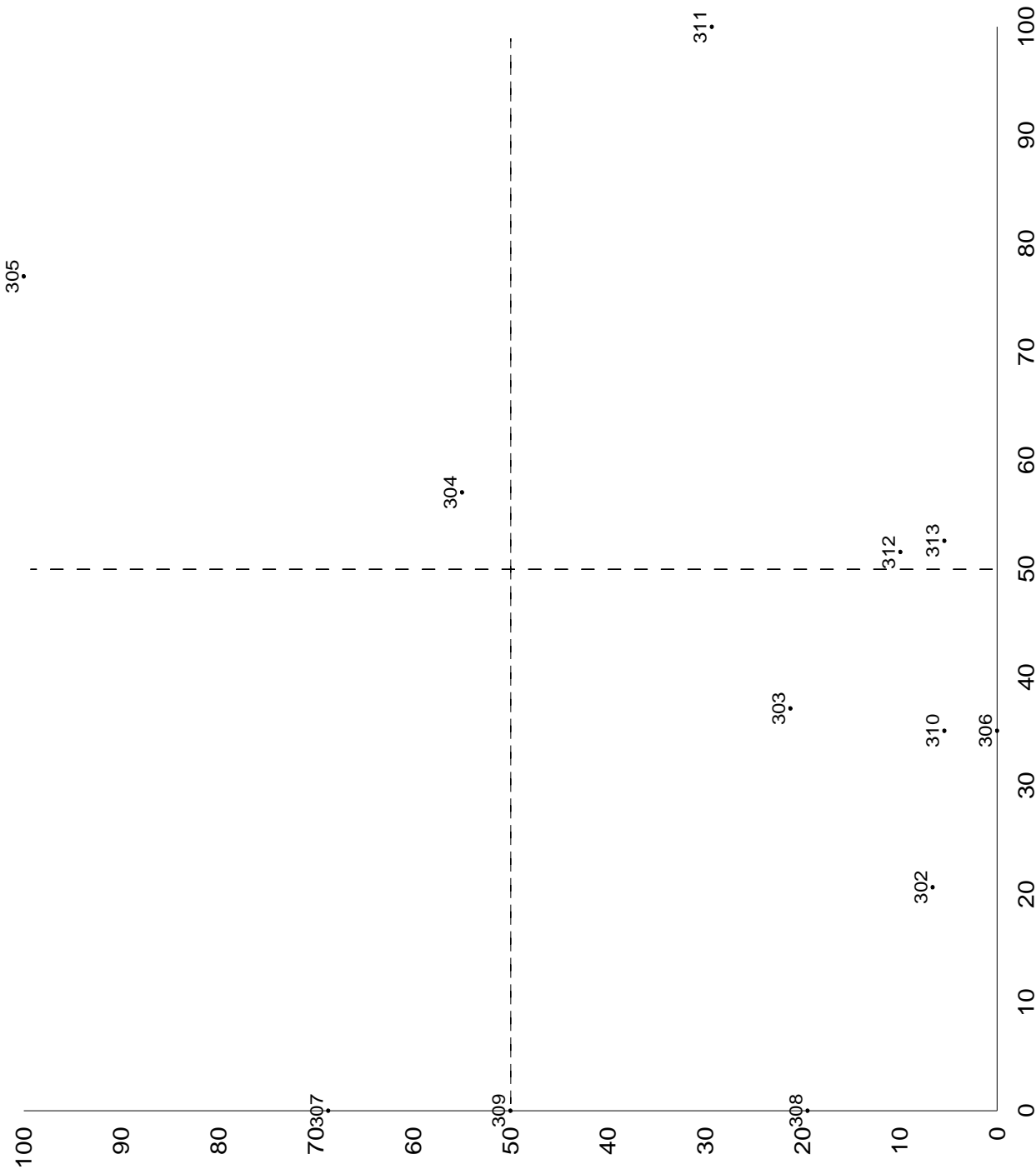
8.30. Graphe financier, primaire



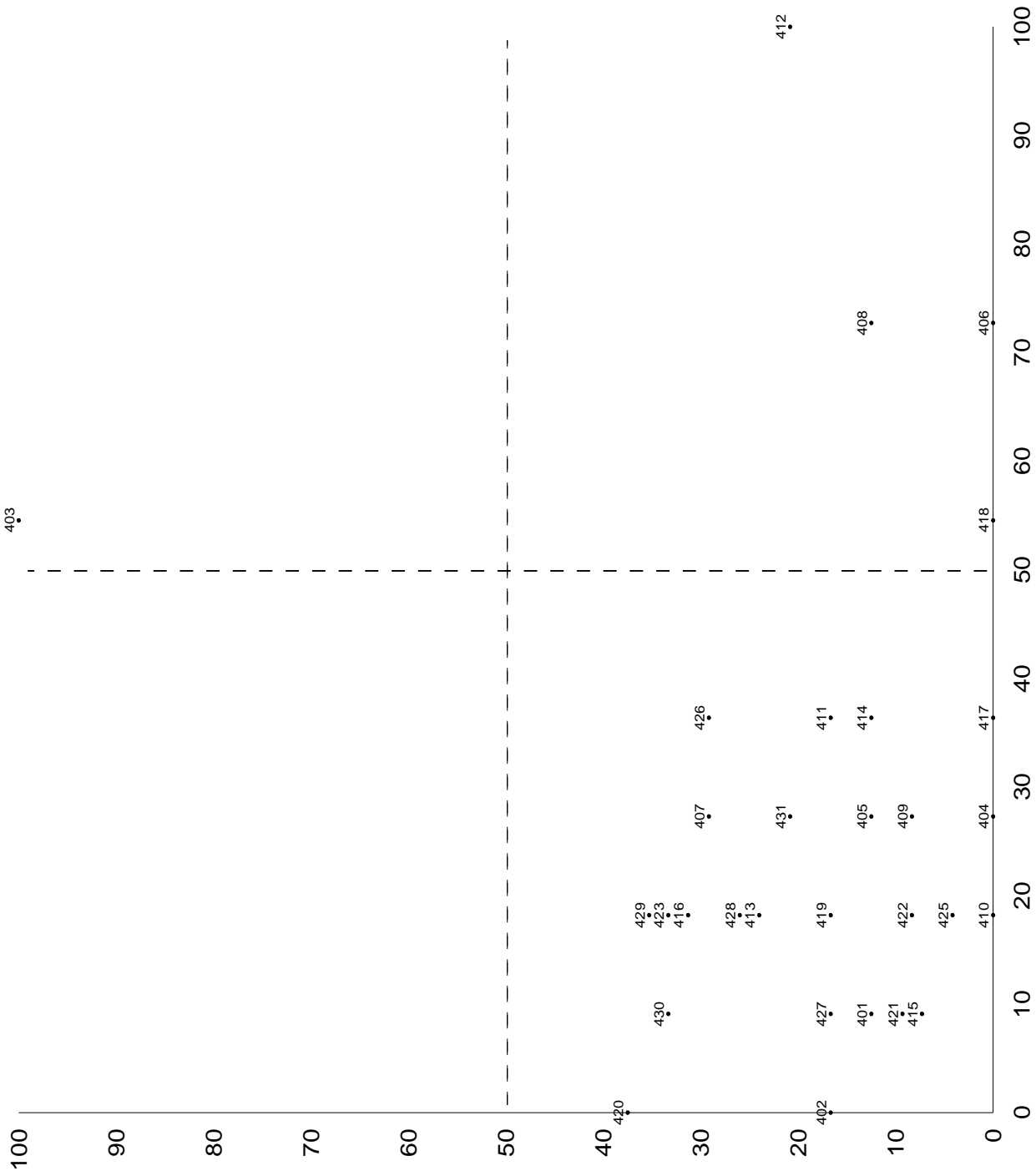
8.31. Graphe financier, secondaire



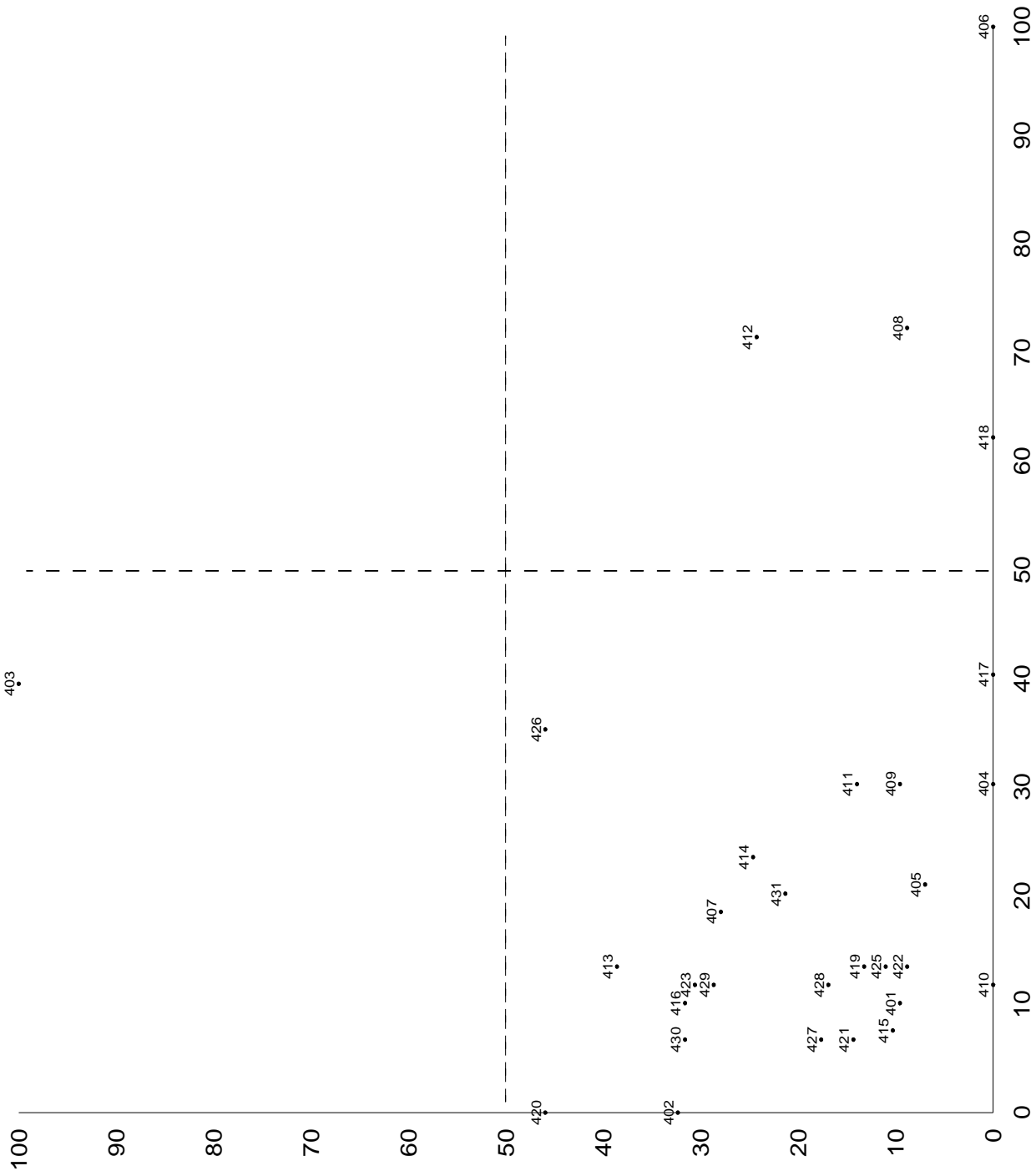
8.32. Graphe financier, tertiaire



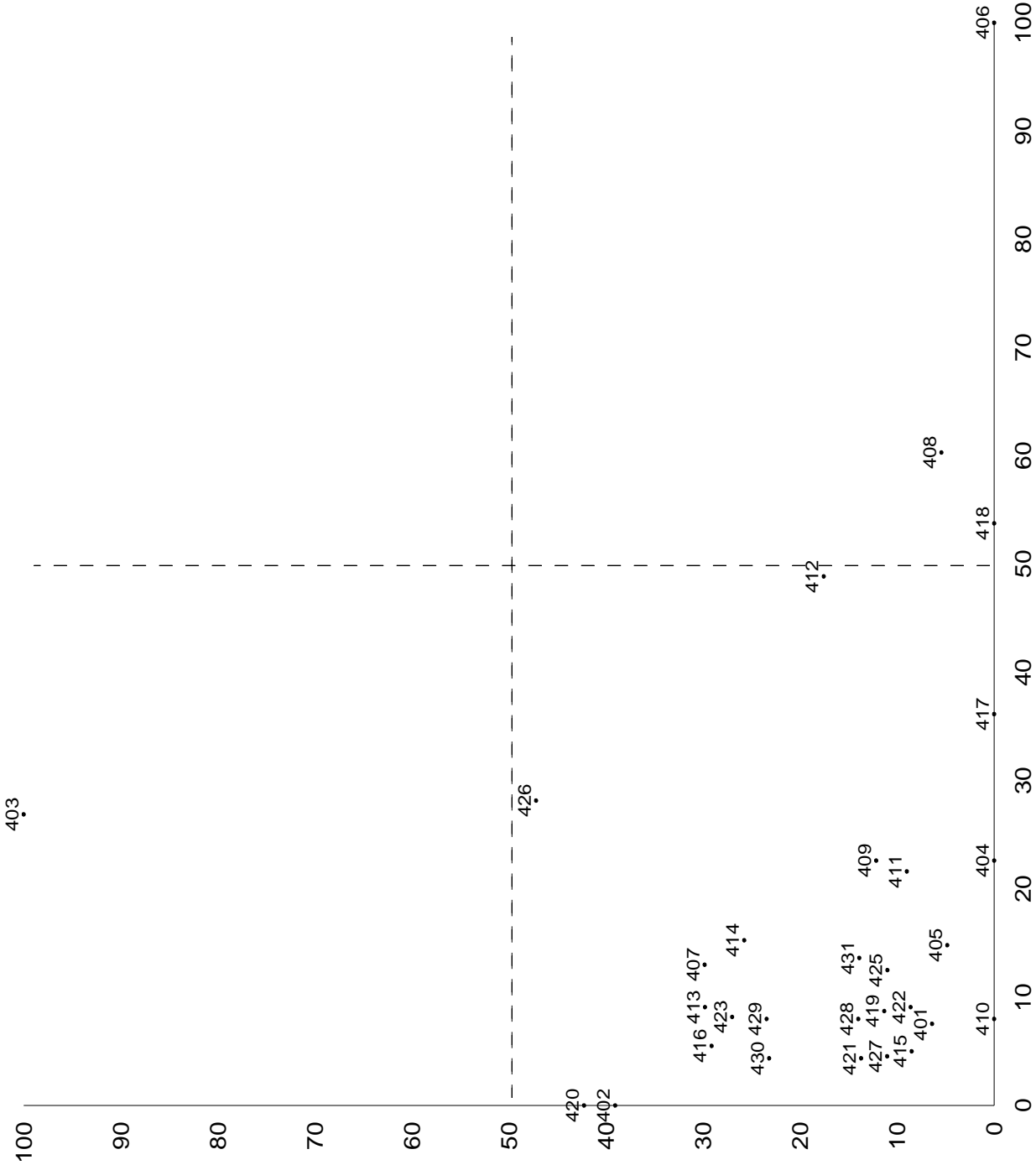
8.33. Graphe socio-économique, primaire



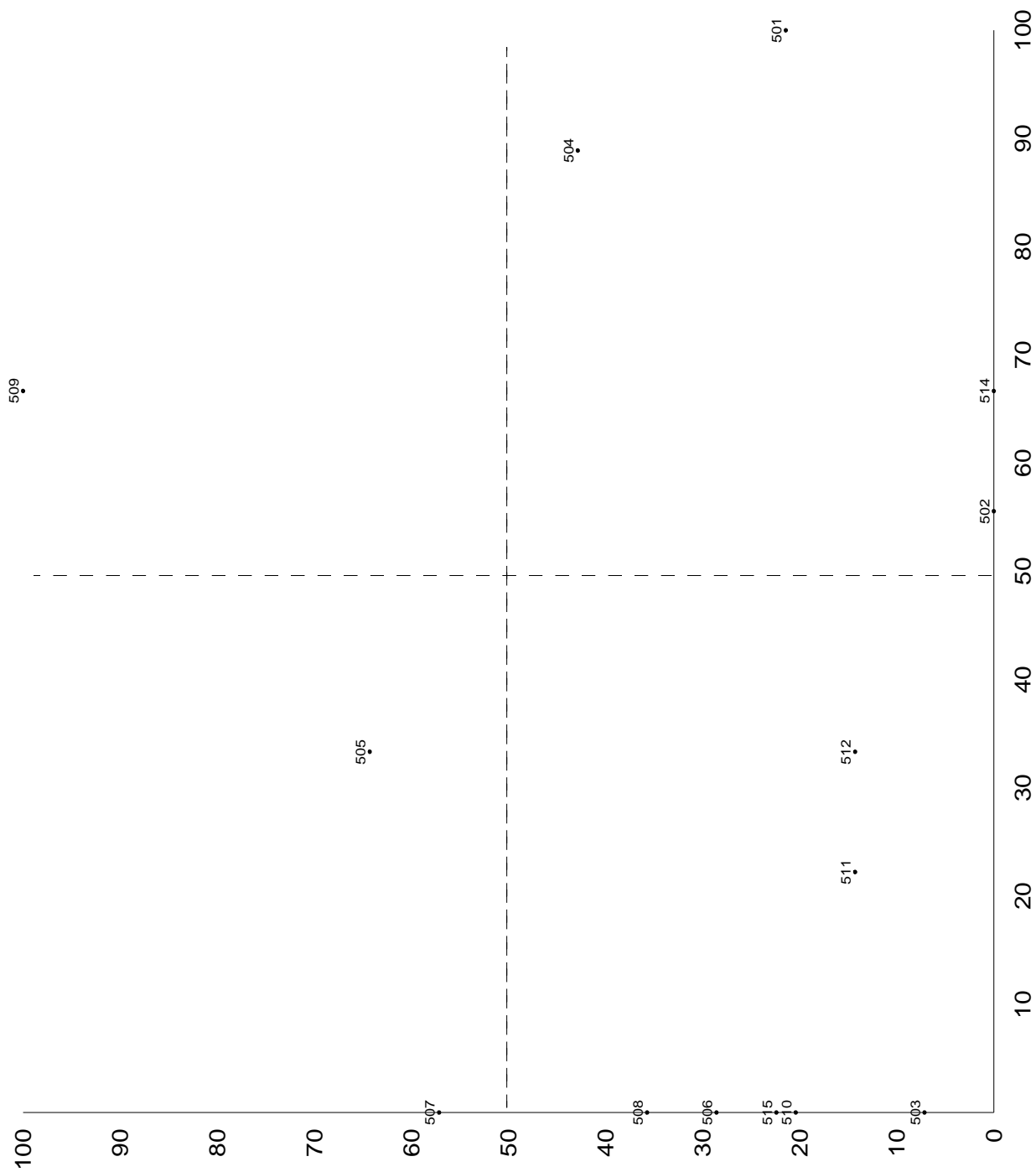
8.34. Graphe socio-économique, secondaire



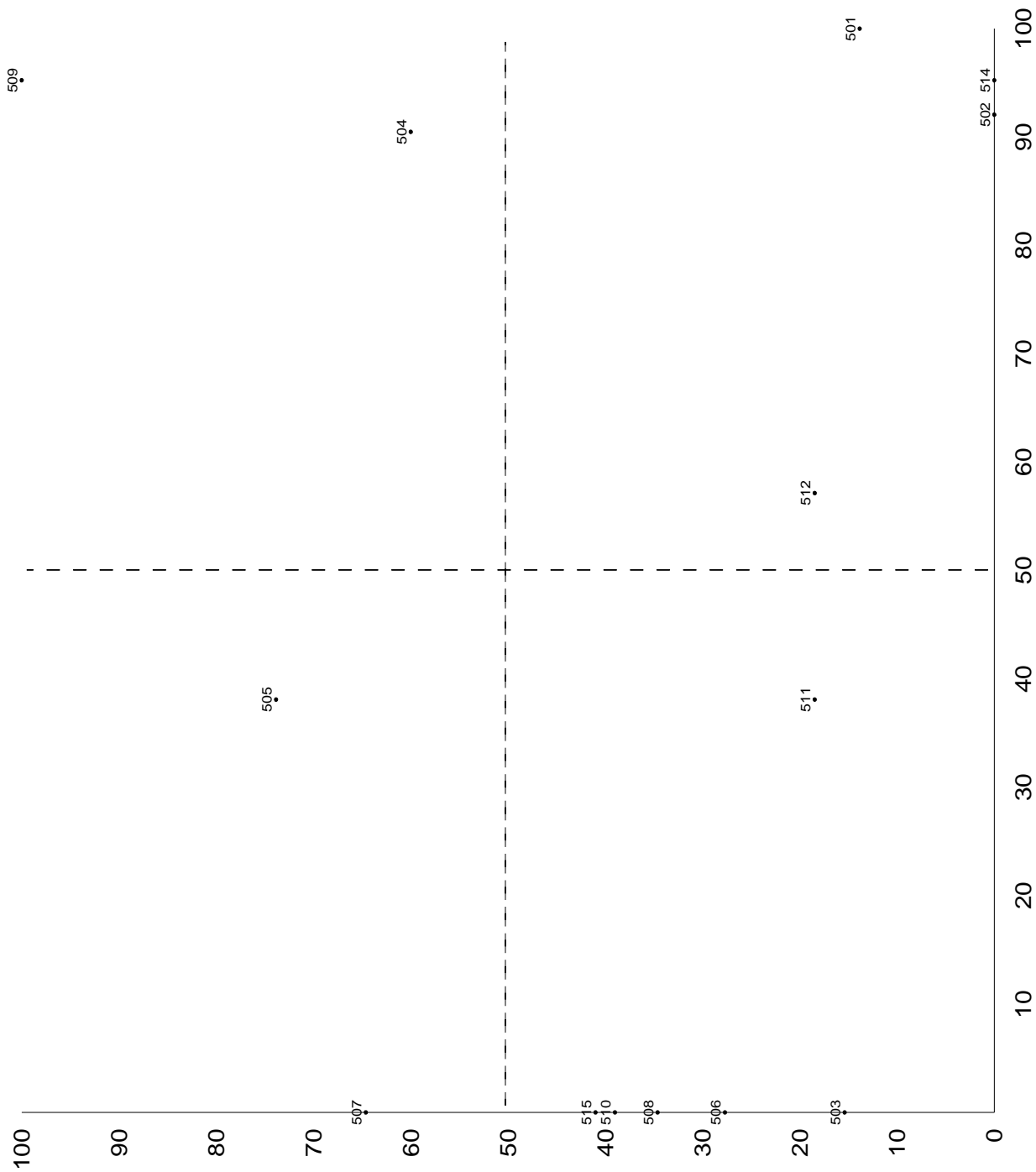
8.35. Graphe socio-économique, tertiaire



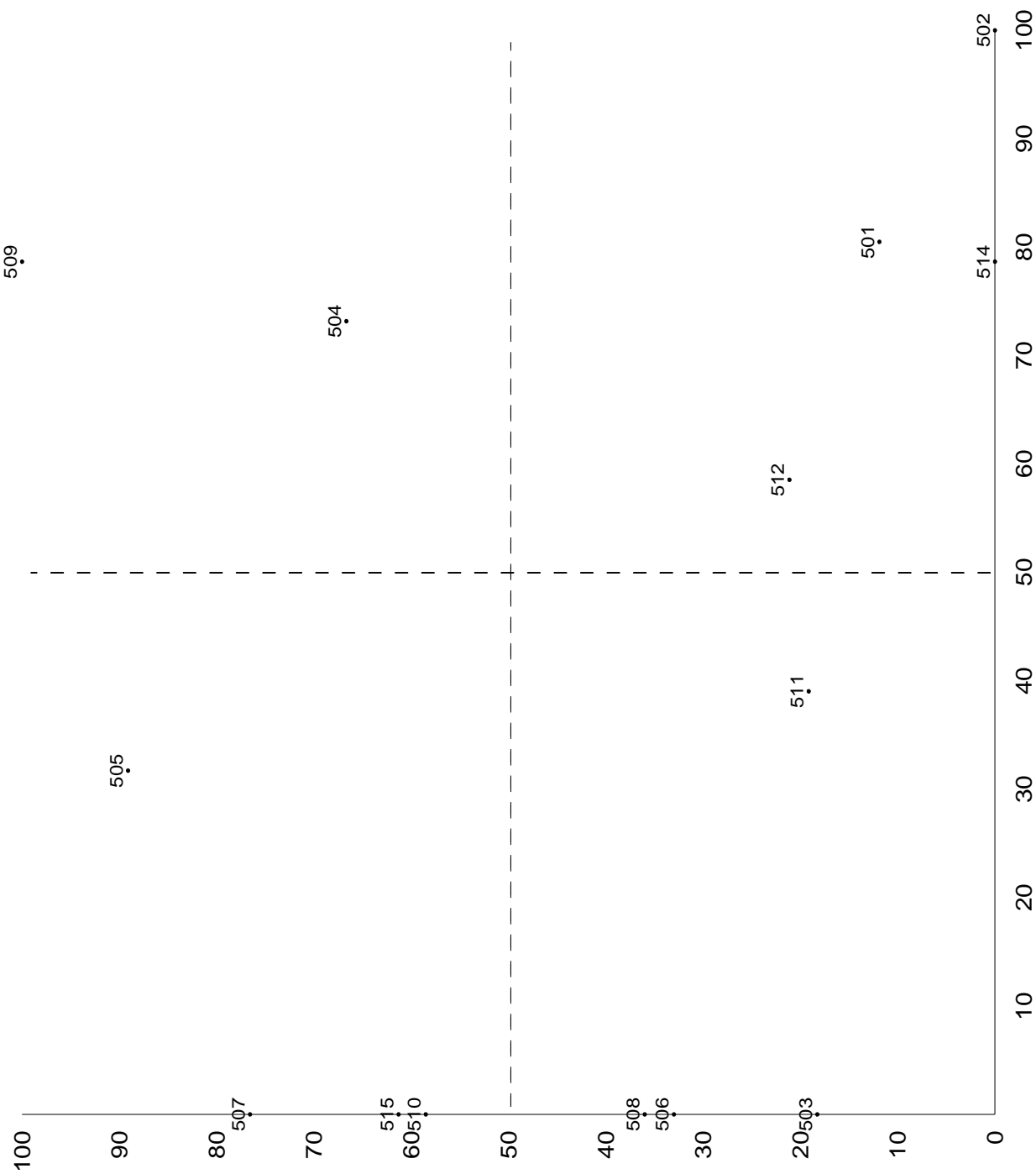
8.36. Graphe nappe phréatique, primaire



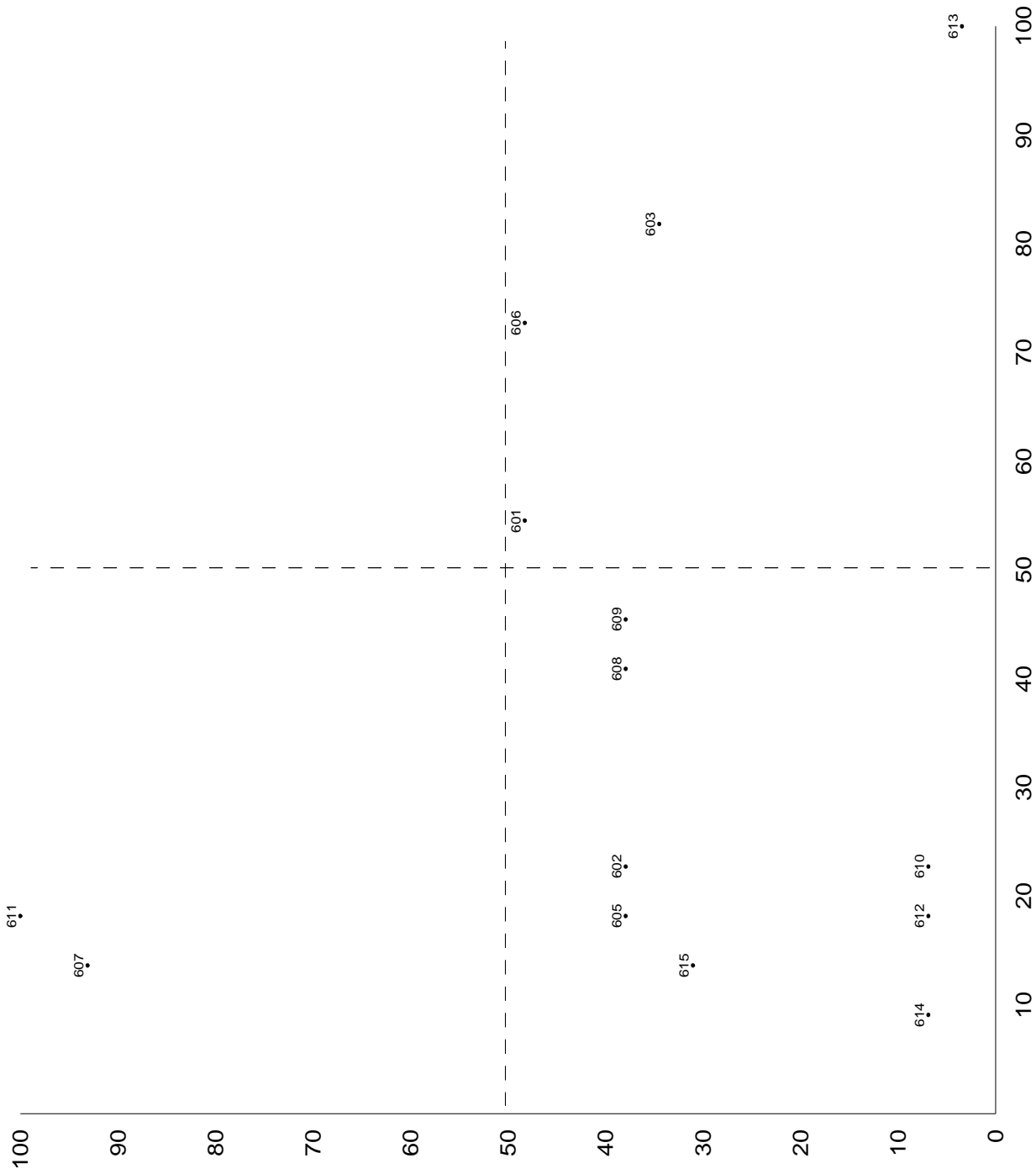
8.37. Graphe nappe phréatique, secondaire



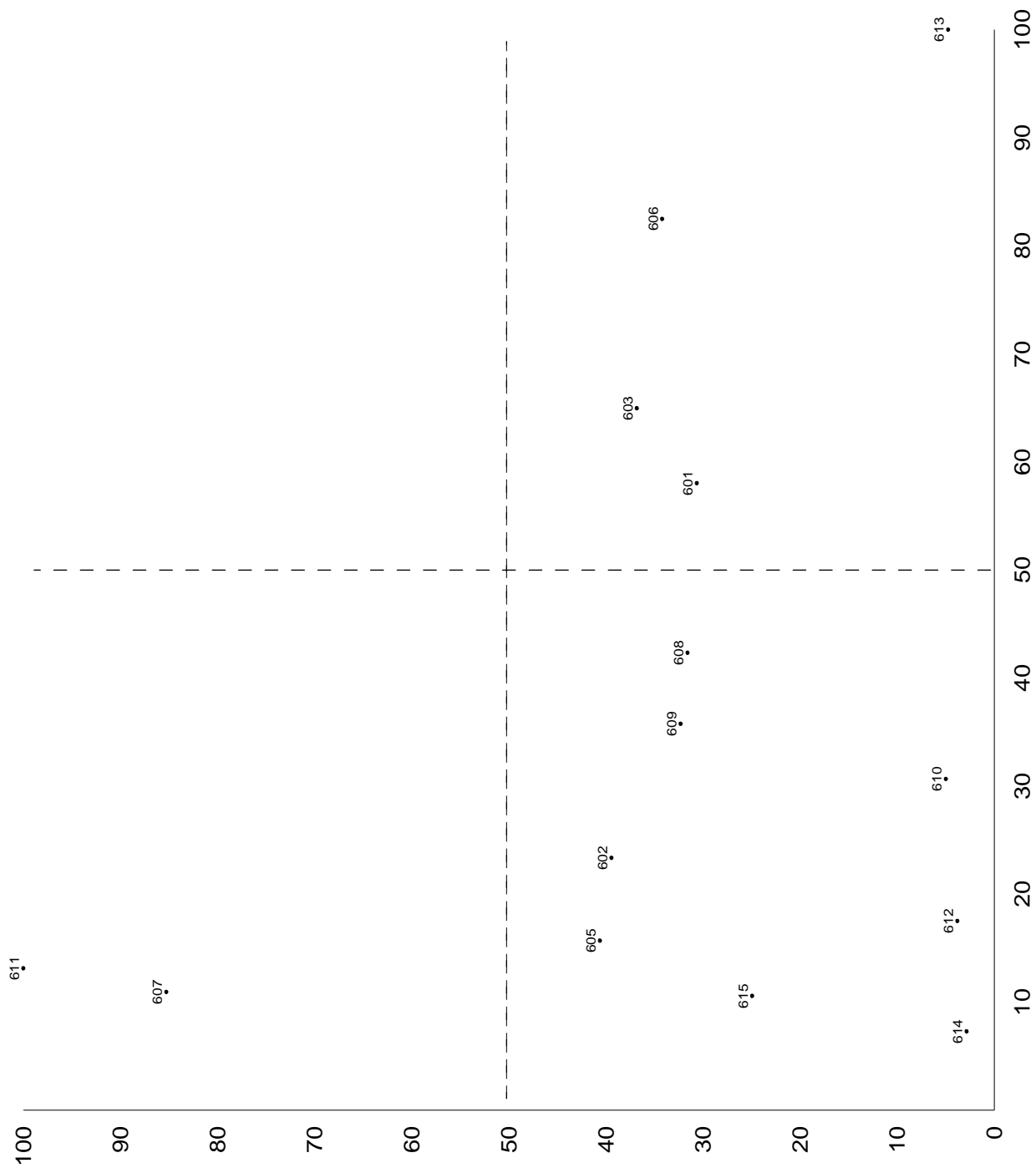
8.38. Graphe nappe phréatique, tertiaire



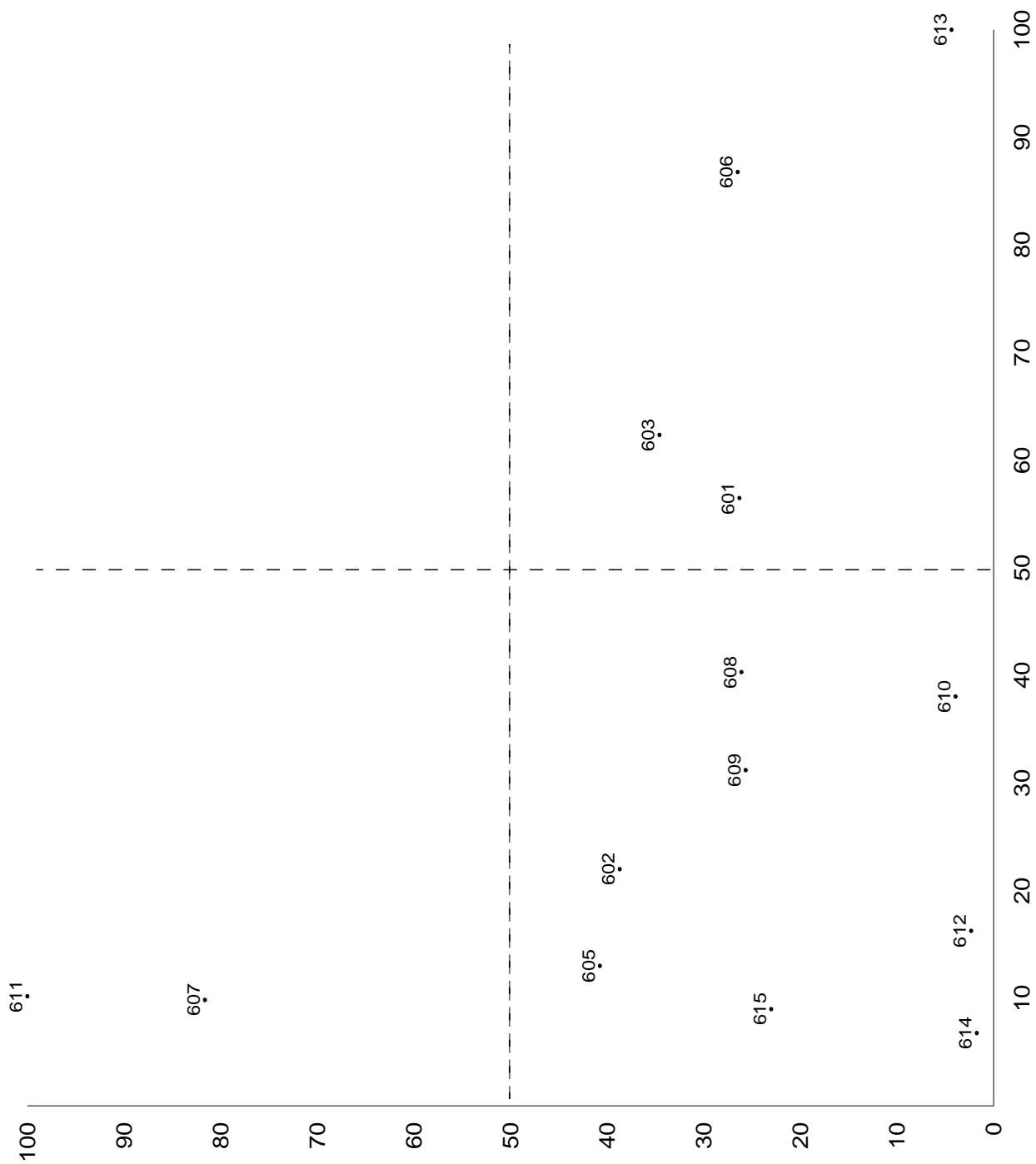
8.39. Graphe écologique, primaire



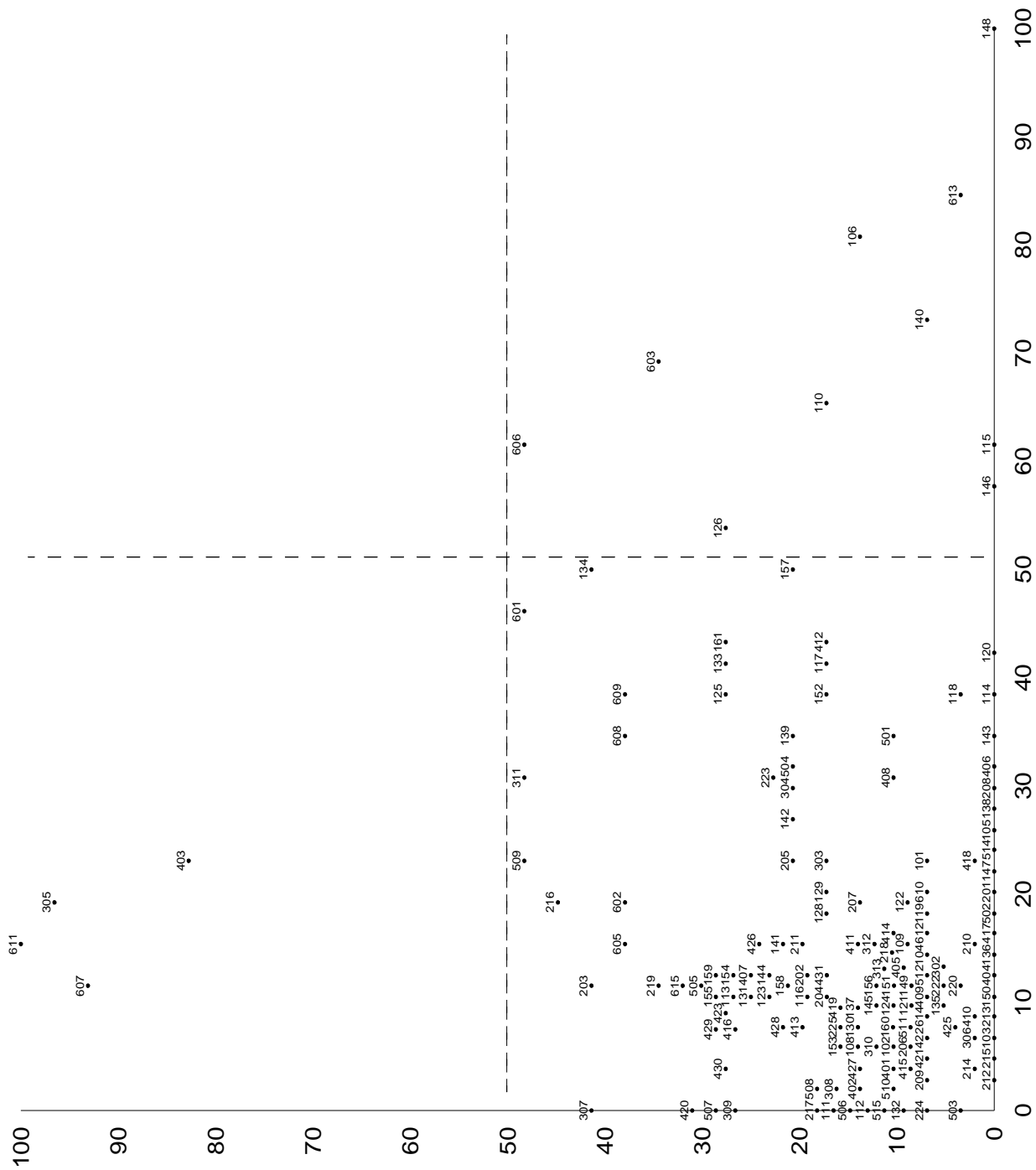
8.40. Graphe écologique, secondaire



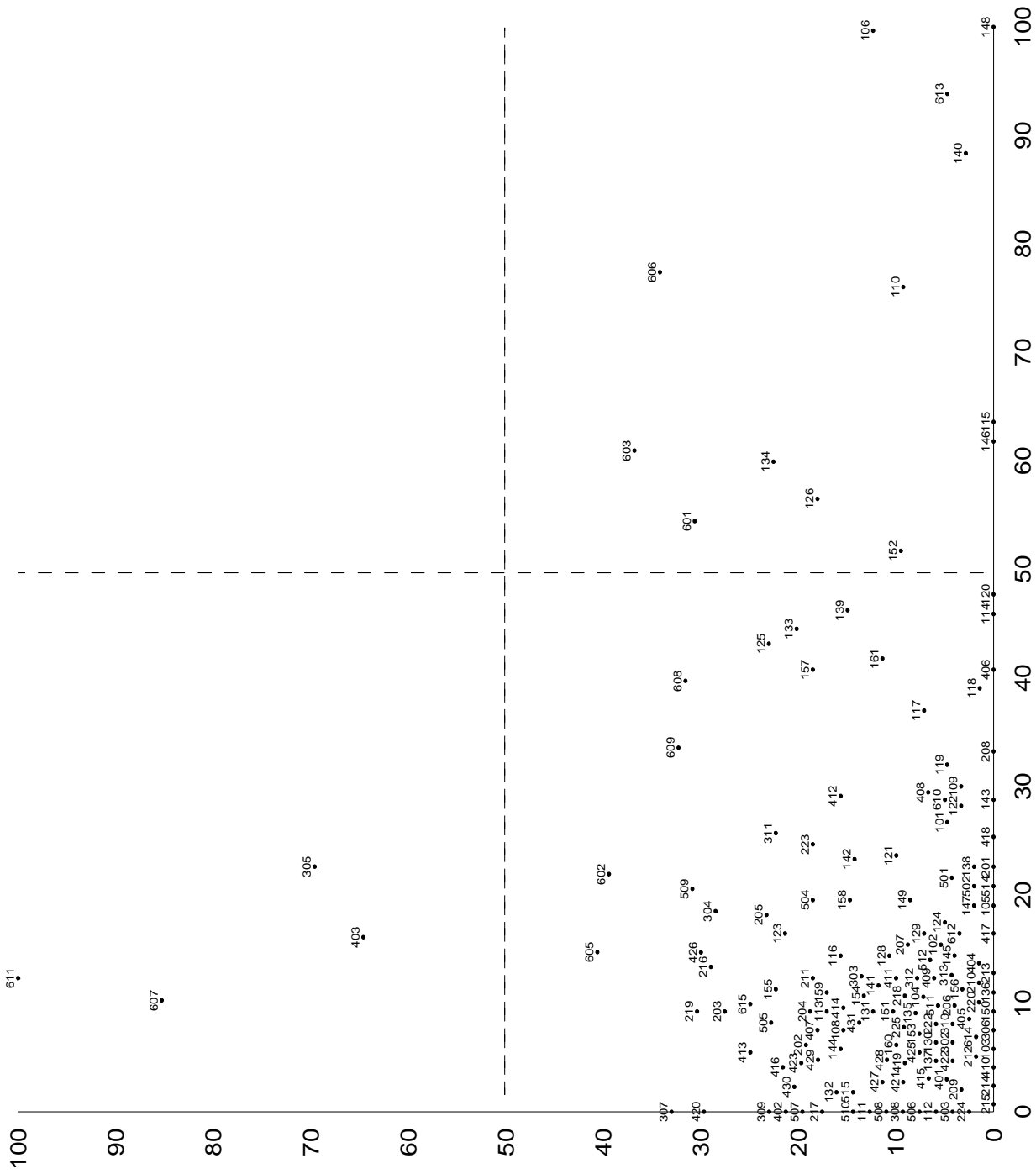
8.41. Graphe écologique, tertiaire



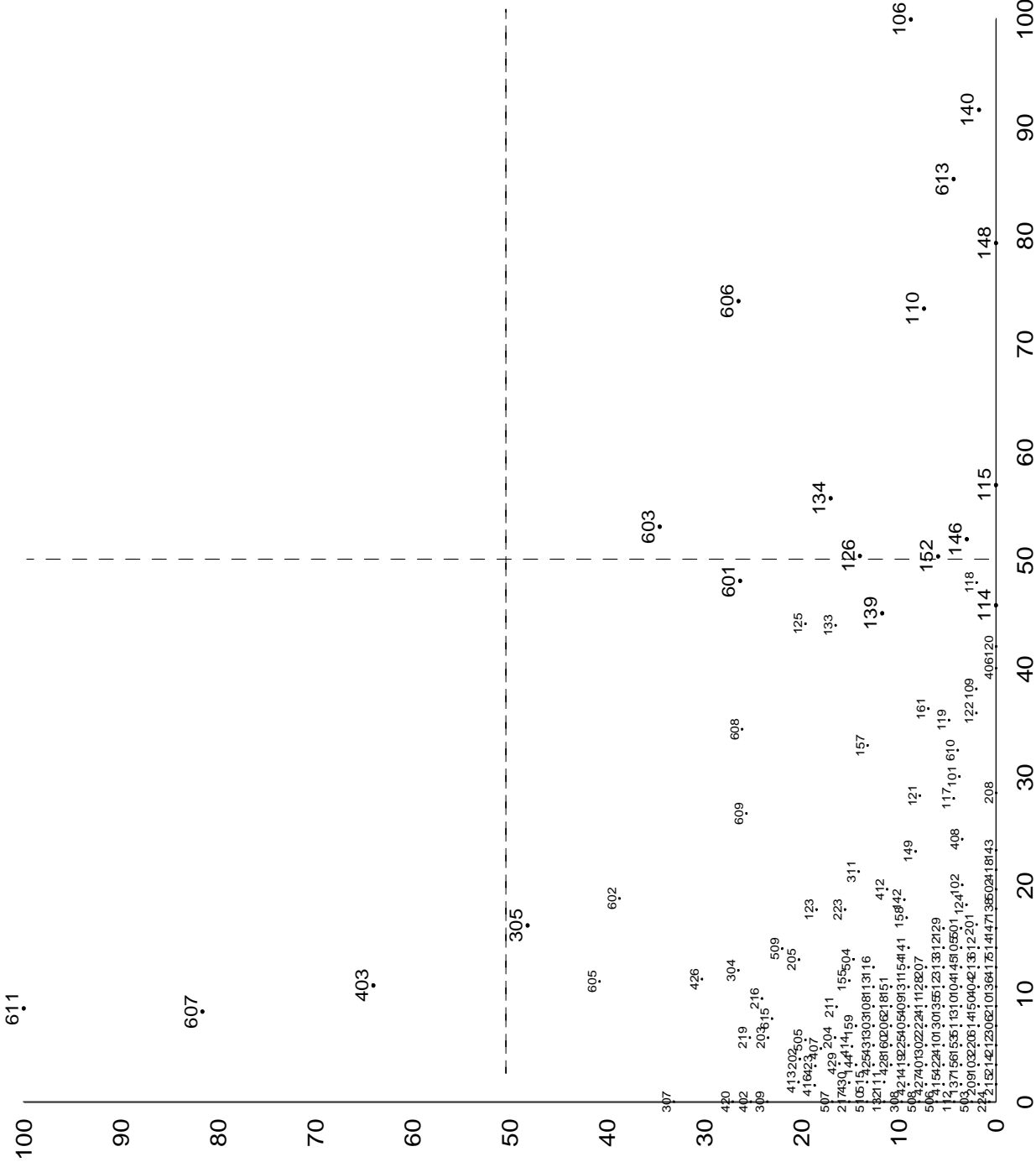
8.42. Graphe total, primaire



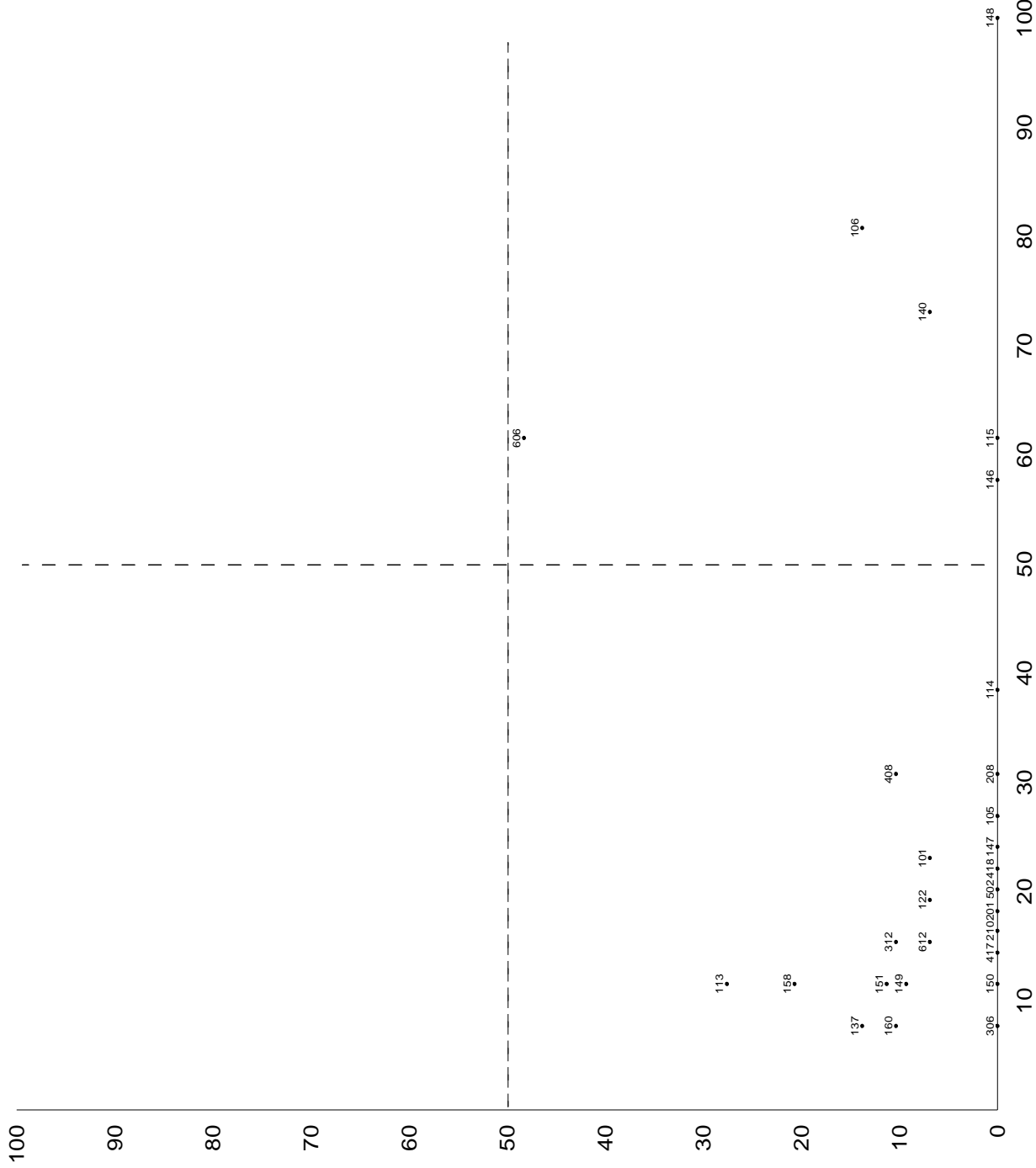
8.43. Graphe total, secondaire



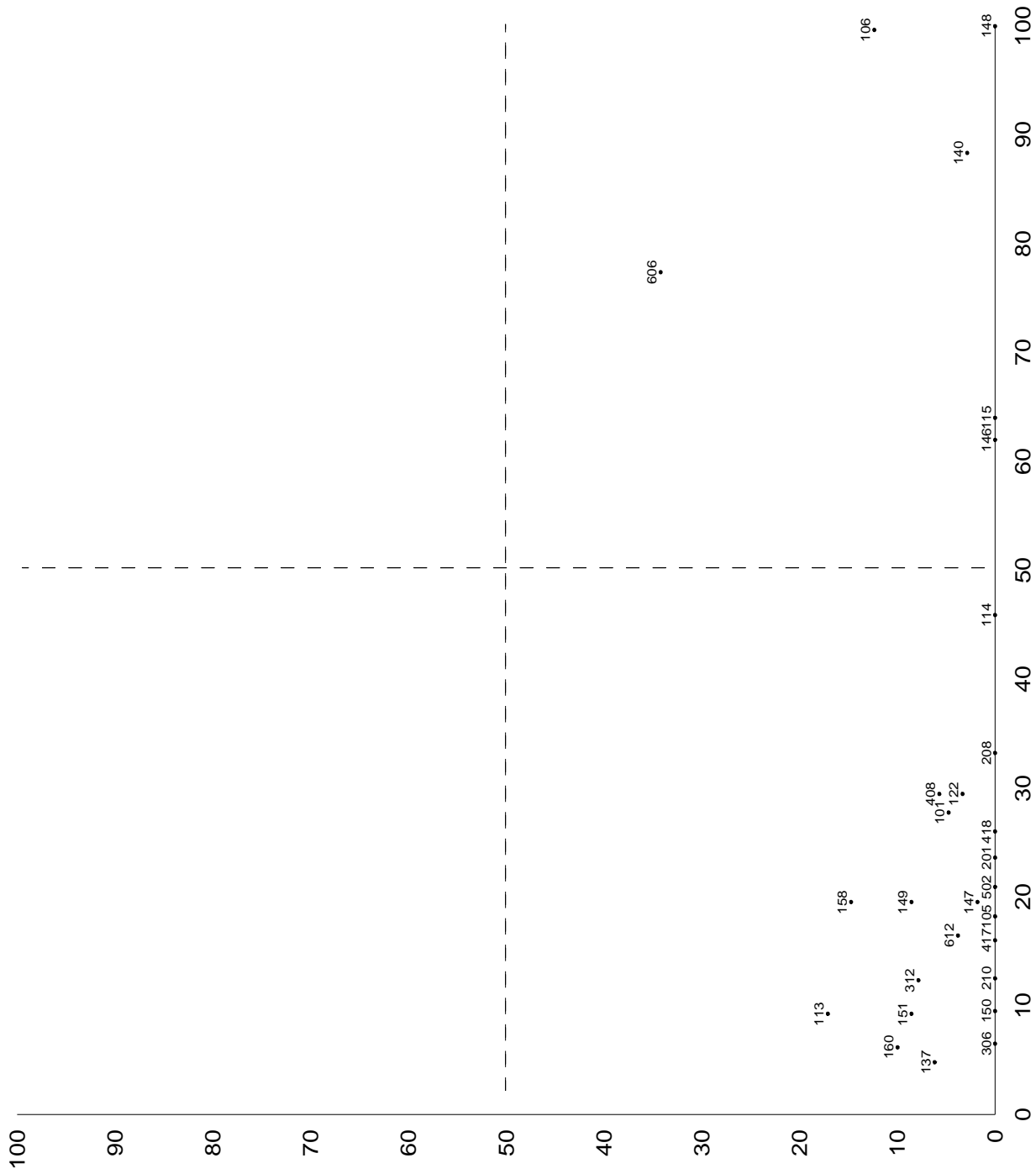
8.44. Graphe total, tertiaire



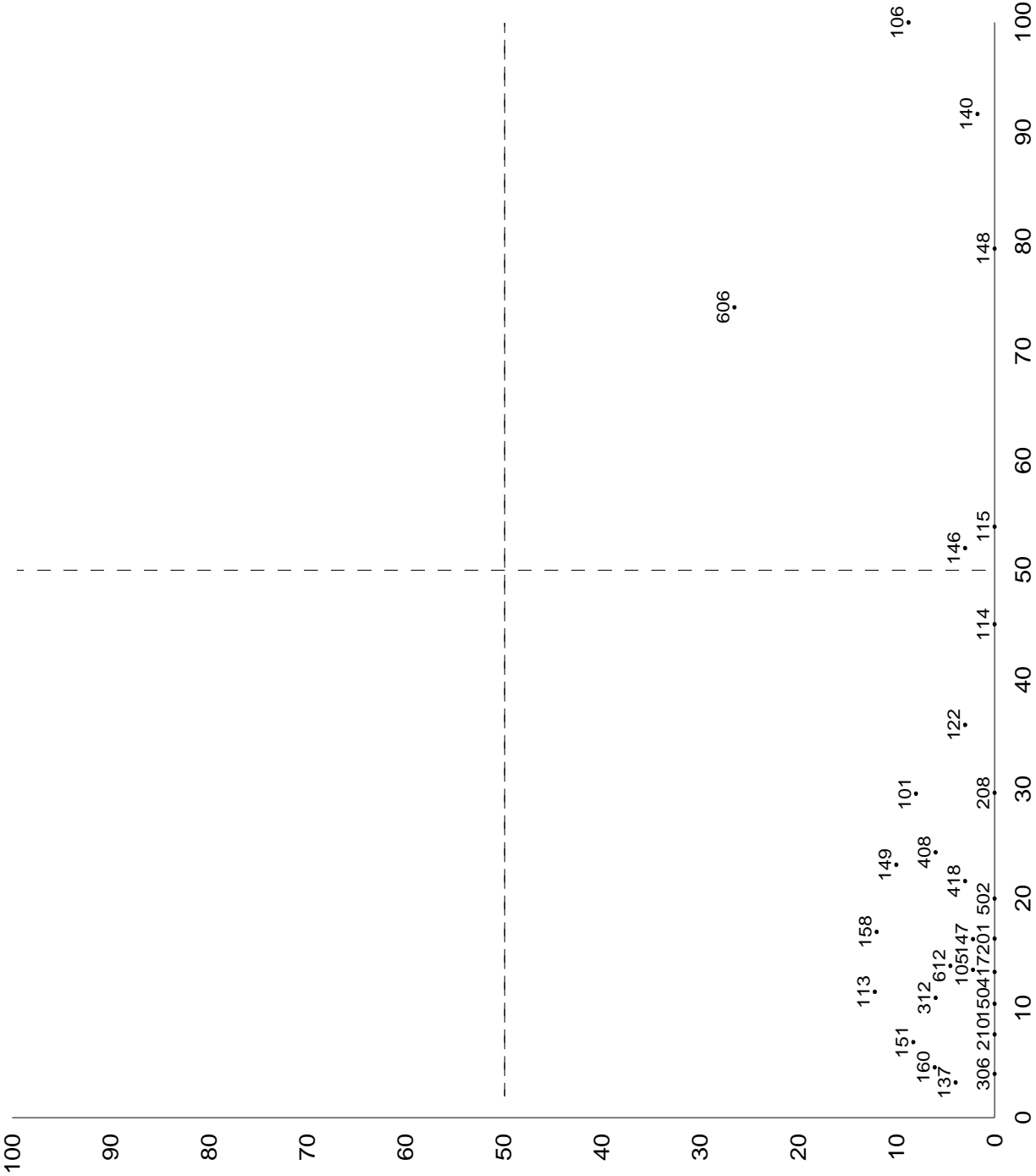
8.45. Graphe variables de projet et gestion, primaire



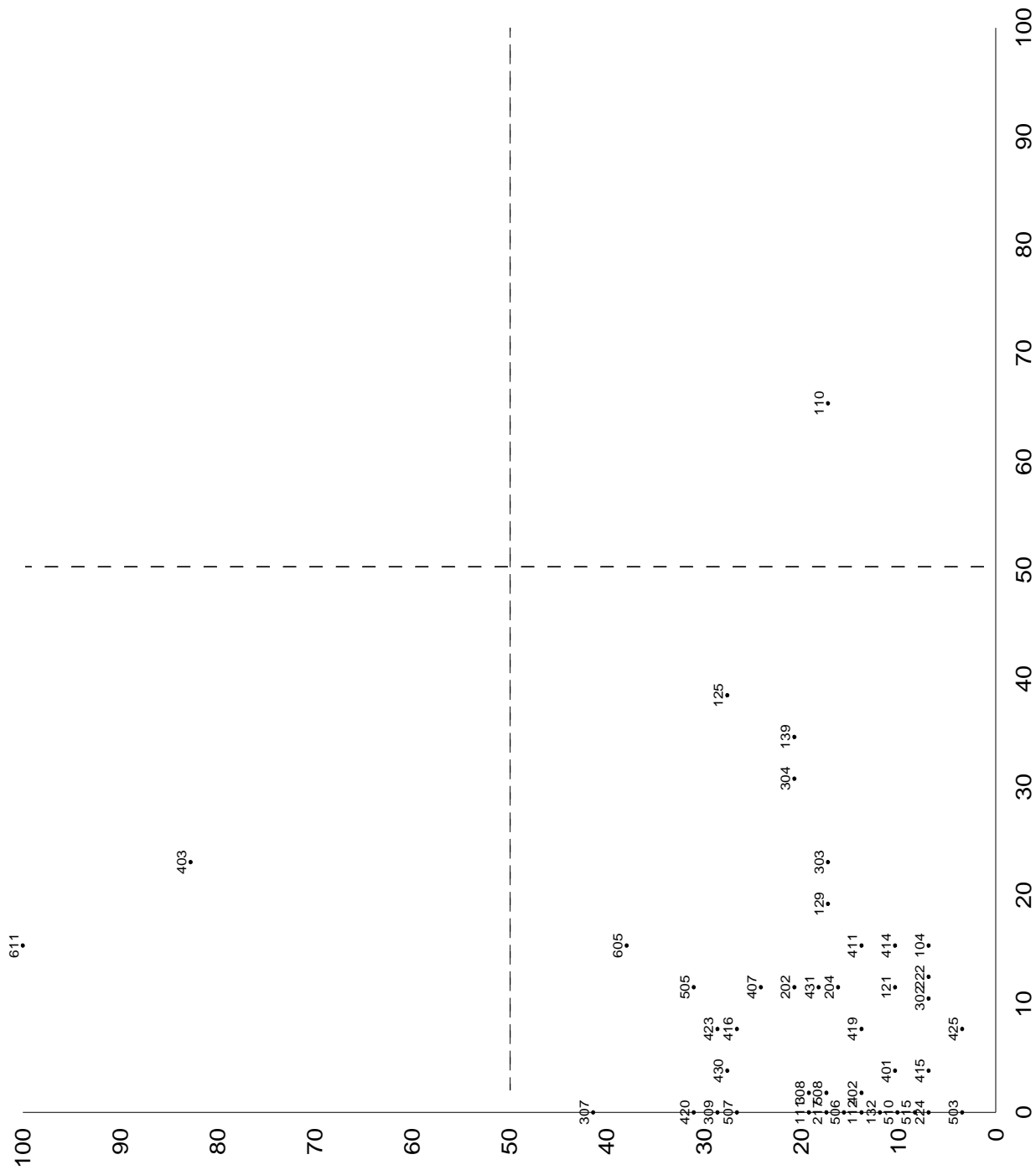
8.46. Graphe variables de projet et gestion, secondaire



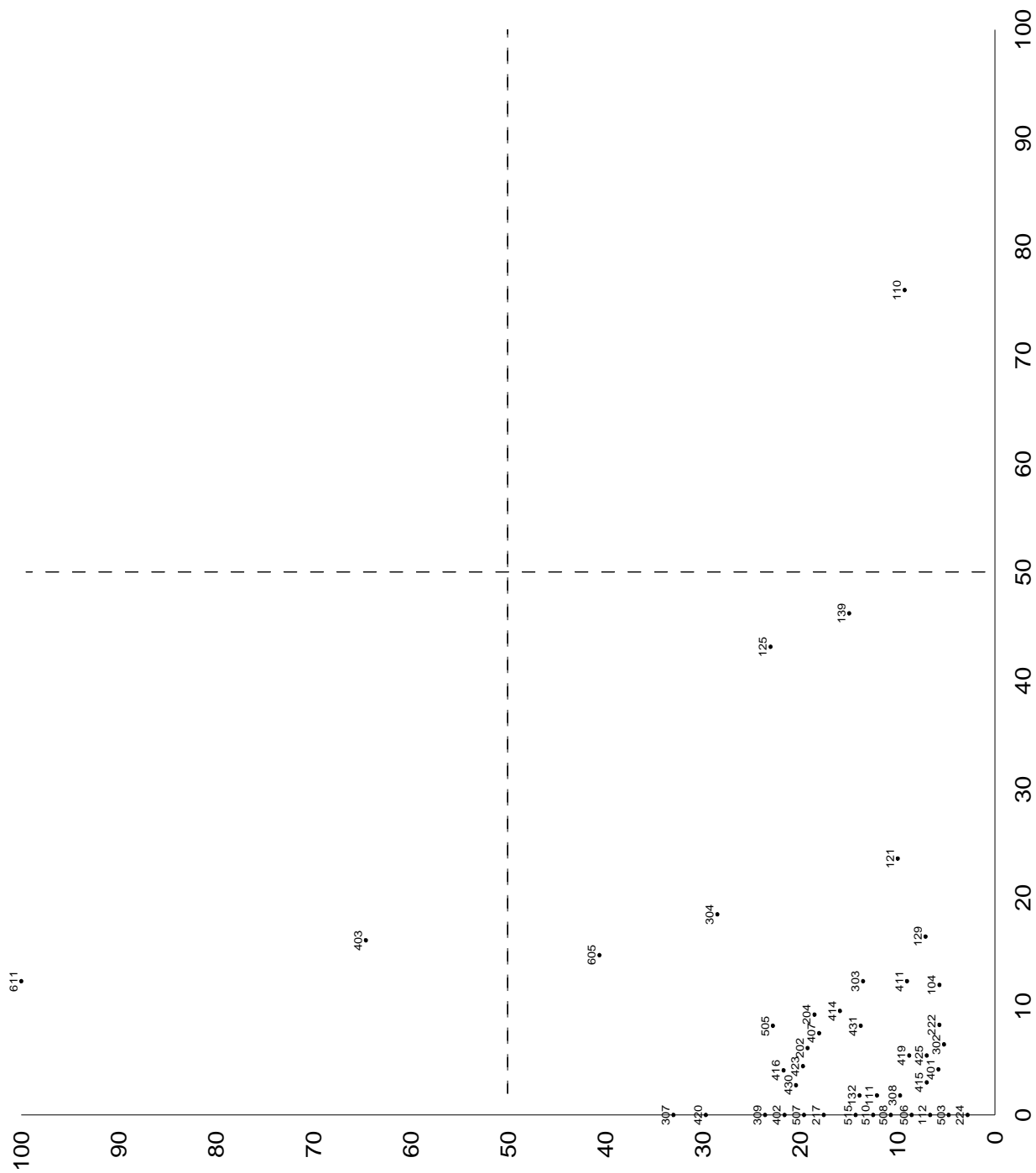
8.47. Graphe variables de projet et gestion, tertiaire



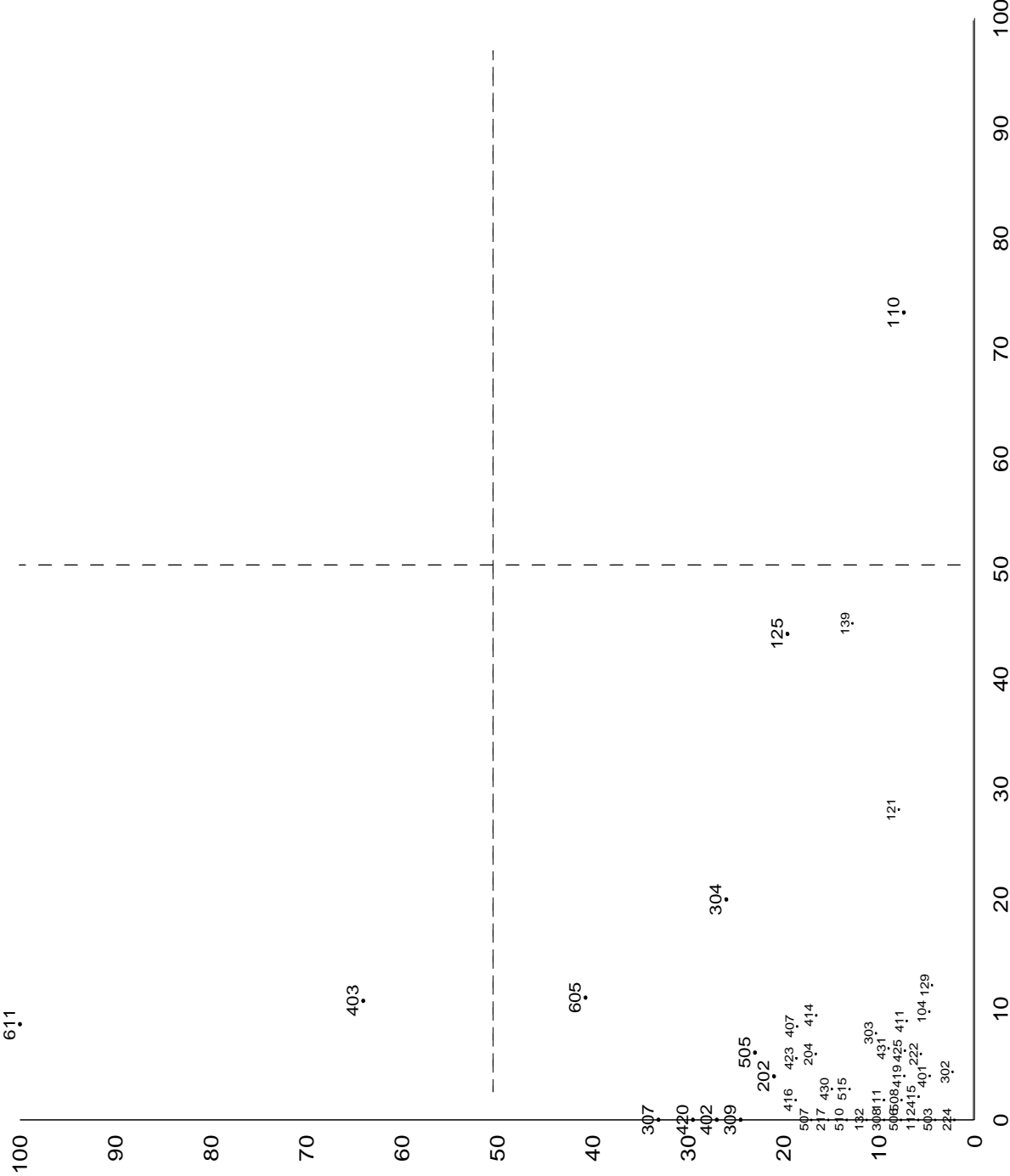
8.48. Graphe variables objectif, primaire



8.49. Graphe variables objectif, secondaire



8.50. Graphe variables objectif, tertiaire



PARTIE II

Logiciel PACEVs, outil d'analyse qualitative pour l'assainissement des rivières et torrents alpins

1. CONTEXTE DE L'ETUDE

1.1. Mandat du Conseil d'Etat valaisan

Conformément à l'article 80, al. 1 et 2 de la loi sur la protection des eaux (Leaux) ainsi qu'aux demandes d'autorisation de purge et de vidange, le Conseil d'Etat valaisan a attribué en octobre 2003 un mandat d'étude pour l'assainissement des cours d'eau.

Suite à cette attribution, le groupement d'ingénieurs CEVAP (Communauté d'Etude Valaisanne Assainissement et Purge) a produit un premier rapport provisoire sur l'assainissement de la Dranse de Bagnes (CEVAP, 2005) à l'attention du SFH (Service des Forces Hydrauliques du Valais).

Devant l'impossibilité par la méthode choisie de distinguer les meilleures mesures à mettre en œuvre dans les cours d'eau pour leur assainissement, le SFH a mandaté le LCH (Laboratoire de Constructions Hydrauliques, EPFL) pour développer la présente méthode.

1.2. Méthodologie appliquée dans le rapport provisoire de la CEVAP

Le rapport CEVAP souligne trois objectifs relatifs aux dimensions sécuritaire, socio-économique et environnementale. Il développe, au chapitre 9^{ème}, différents critères et indicateurs pour chacune des trois dimensions. La dimension environnementale est notamment traitée à l'aide des six modules de la BD-Eaux (BD-Eaux, 2003).

Parallèlement, pour l'assainissement de la rivière étudiée, un catalogue de 27 mesures possibles est développé au chapitre 8^{ème}. Le choix des meilleures mesures repose sur une analyse multicritères basée sur les indicateurs des trois dimensions.

La vision agrégée des indicateurs et des critères ne permet toutefois pas de comprendre le fonctionnement du système.

1.3. Support méthodologique additionnel

Appliquée à des problèmes hydrauliques, la méthode qualitative développée par les professeurs Gomez et Probst permet d'appréhender un problème dans son contexte global. Cette méthode s'applique surtout aux problèmes complexes qui requièrent une vue d'ensemble. Le résultat escompté doit permettre de choisir les solutions les plus appropriées compte tenu de l'environnement à l'intérieur duquel le problème se situe. Cette méthode est approfondie dans le cadre d'un travail de thèse à l'EPFL (Heller, 2005).

Avec ses trois objectifs (sécuritaire, socio-économique et environnemental), l'assainissement proposé est un problème complexe. La méthode développée est donc adaptée à cette situation.

1.4. Objectif de l'étude

L'objectif principal de la présente étude est de distinguer, parmi les mesures proposées, celles qui sont principales de celles qui sont secondaires. La méthode proposée repose sur un réseau qualitatif. Celui-ci modélise le fonctionnement du système étudié au travers des différents facteurs qui le composent.

Le chapitre 2 donne un bref aperçu de la méthode développée. Le chapitre 3 décrit les trois réseaux relatifs aux dimensions retenues et le chapitre 4 en fait l'analyse par la méthode précitée. Le chapitre 5 explique le fonctionnement de l'outil Excel développé pour ce projet. Le chapitre 6 présente une application fictive de l'outil à la Dranse de Bagnes.

2. ANALYSE QUALITATIVE : METHODE DE GOMEZ ET PROBST

2.1. Général

Cette méthode donne une vision globale de l'environnement considéré pour permettre les décisions les plus judicieuses. Elle s'adresse principalement aux problèmes économiques. Cette méthode peut cependant être appliquée à tous les problèmes complexes. Elle tire son nom de deux professeurs de socio-économie, les professeurs Gilbert Probst de l'université de Genève et Peter Gomez de l'université de Saint-Gall (Gomez & Probst, 1995) qui l'ont développée. Le professeur Anton Schleiss de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne l'a appliquée aux problèmes hydrauliques (Schleiss, 2001).

Cette méthode systématise toutes les relations, internes ou externes, du projet. Elle met en évidence les interactions directes ou indirectes, positives ou négatives. Les deux maître-mots sont « **approche intégrée** » et « **réflexion en réseau** ».

La méthode distingue cinq étapes résumées à la Figure 1.

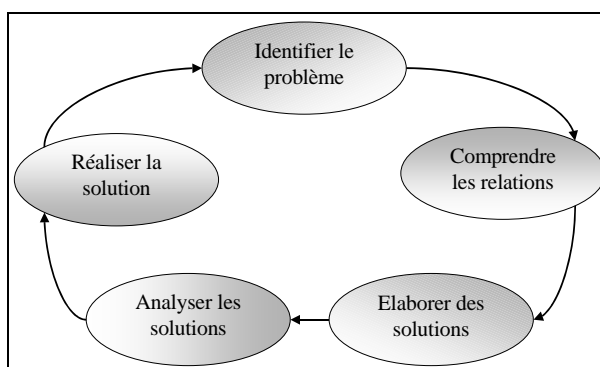


Figure 1 : Les cinq étapes de la méthode de Probst et Gomez

Il s'agit d'« **identifier le problème** » en le regardant sous différents angles, pour pouvoir « **comprendre les relations** » qui existent entre les différents partenaires ou agents du problème. Cette analyse doit permettre, par la mise en évidence des facteurs-clés, d'« **élaborer des solutions** » qu'il faut « **analyser** » par le biais d'indicateurs afin de pouvoir prendre les mesures nécessaires pour « **réaliser la solution** » la plus prometteuse. La réalisation génère une nouvelle situation qui engendre de nouveaux problèmes. Le schéma est donc cyclique.

2.2. Première étape : définition du contexte

La première étape consiste à définir les frontières du problème ainsi que ses différents points de vue. Elle pose le **contexte général** en trois étapes.

A) Etablissement de la **liste des acteurs**. Les acteurs sont toutes les personnes, morales ou physiques, en relation avec le projet. Cette liste d'acteurs peut être dressée par degré hiérarchique (catégories, classes puis acteurs précis) ou par proximité géographique (personnes impliquées selon les différents rayons géographiques considérés). Comme exemple hiérarchique, la catégorie « politique » conduit à la classe « politique fédérale » et atteint finalement les différents départements et offices fédéraux concernés.

B) Définition de la **perspective de chaque acteur**. Elle montre comment l'acteur perçoit le projet. Elle est donnée par la réponse aux questions « Tel projet est un système visant à ... » ou encore « Pour tel acteur, un tel aménagement doit favoriser cet aspect..., ne pas nuire à cet

autre.. ». Le bon sens suffit souvent pour établir les perspectives des acteurs. Au besoin, des experts sont interrogés.

C) Etablissement de la **liste des facteurs**. La compréhension du système au travers des acteurs, permet d'établir la liste des facteurs. Un facteur est un élément qui agit sur le système. Il peut être externe ou interne au système.

2.3. Deuxième étape : définition du réseau d'influence

La seconde étape de la méthode est le point central du travail. Elle définit le **fonctionnement du système** étudié. Elle comprend deux parties.

A) La **construction du réseau** permet de relier tous les facteurs définis à la première étape. Elle met en évidence les relations réciproques. De nombreux facteurs s'ajoutent lors de cette construction.

Les relations sont caractérisées qualitativement par **trois aspects** :

- selon que l'effet est renforçant ou atténuant (+ / -)
- selon une intensité d'influence (1, 2, 3,...)
- selon une perspective temporelle (court, moyen, long terme, ...).

Le réseau complet constitue le graphe d'influences réciproques des facteurs. Une relation représente la dérivée partielle f de la fonction F qui relie un facteur à un autre. Si le facteur A dépend des facteurs B, C et D , alors la relation f de B vers A peut s'exprimer comme

$$f = \frac{\partial F(B, C, D)}{\partial B}$$

Souvent la fonction F n'est pas connue explicitement. Une approximation qualitative de ses dérivées partielles permet de l'approcher. D'un modèle explicite basé sur des relations quantitatives, on passe à un modèle qualitatif d'influences relatives.

L'**effet renforçant ou atténuant** est symbolisé par un signe « + » ou « - ». Il indique l'effet de la cause sur la conséquence. Il est le signe de la dérivée partielle. Dans l'exemple de la *Figure 2*, la croissance ou la décroissance de la population ne change pas le signe des relations.

L'effet renforçant ou atténuant ne permet pas de distinguer l'opérateur mathématique qui intervient dans la dérivée. Il modélise des fonctions linéaires uniquement.

L'**intensité de la relation** caractérise le degré d'influence d'un facteur sur un autre. Elle vaut mathématiquement la valeur absolue de la dérivée. Selon les auteurs, trois degrés d'influence sont suffisants. Ils ne permettent que la représentation de fonctions simples. Les changements de pente, les paliers, les influences réversibles ou les sauts ne peuvent pas être considérés. Ces trois degrés sont représentés dans les réseaux par des flèches grisées (influence faible, valeur 1), normales (influence normale, valeur 2) ou grasses (influence forte, valeur 3).

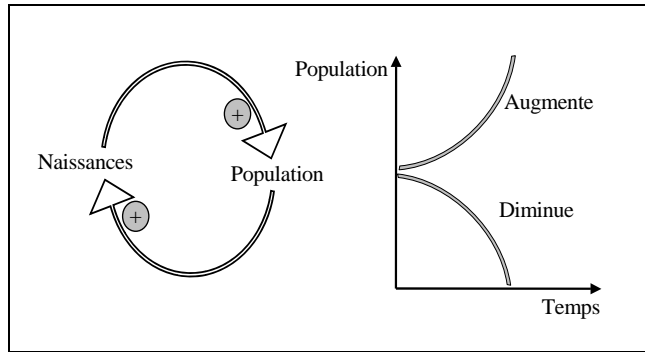


Figure 2 : Relations démographiques, illustration du signe de la relation entre les facteurs

L'**effet temporel** donne une indication sur le temps nécessaire à une variation pour se propager sur les facteurs suivants. Elle exprime le retard dû à la propagation des effets.

B) Le réseau est résumé dans une **matrice d'influence** qui définit le **graphe d'influence**. Celui-ci sépare les facteurs actifs des facteurs réactifs. L'activité d'un facteur est schématisée sur le réseau par une relation sortante, la réactivité par une relation entrante. L'intensité de la relation est prise en compte comme pondération de l'action. La Figure 3 illustre ce calcul.

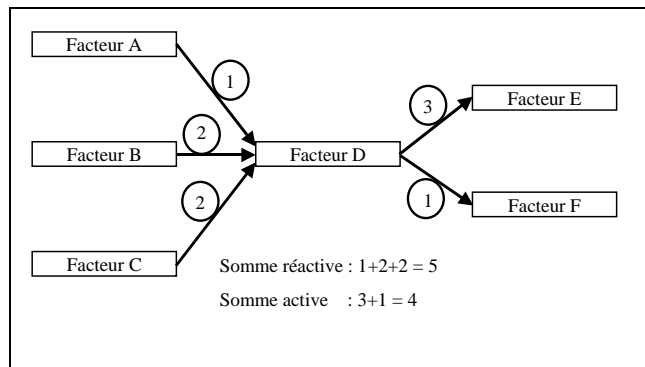


Figure 3 : Calcul des influences active et réactive

Le calcul des influences peut être fait selon trois degrés. Le calcul primaire considère les facteurs directement précédents et suivants pour calculer les sommes actives et passives (selon l'exemple de la Figure 3). Le calcul secondaire tient compte en plus des facteurs qui se situent un rang plus loin (influence indirecte du premier ordre). Le calcul tertiaire va encore un pas plus loin (influence indirecte du second ordre). La somme active et réactive de chaque facteur génère la matrice d'influence (Figure 4).

		influence						
		1	2	...	i	...	n	Somme active
est influencé par	Facteur							
	1							
	2							
	⋮							
	j							
	⋮							
n								
Somme réactive								

Figure 4 : Matrice d'influence

Le graphe d'influence est une représentation de la matrice d'influence (Figure 5). Ce graphe distingue quatre zones. Les **facteurs inertes**, activité et réactivité faibles, représentent les éléments secondaires sans fortes interactions avec le projet. Les **facteurs réactifs**, activité faible

et réactivité forte, représentent les conséquences des décisions prises au sein du projet. Ce sont d'excellents indicateurs. Les **facteurs actifs**, activité forte et réactivité faible, sont les leviers du projet. Une variation à leur niveau permet de changer le projet. Ils jouent le rôle de directeur du projet. Enfin les **facteurs critiques**, activité et réactivité fortes, doivent être traités avec prudence. Ils peuvent servir de levier mais sont susceptibles de provoquer des réactions en chaîne.

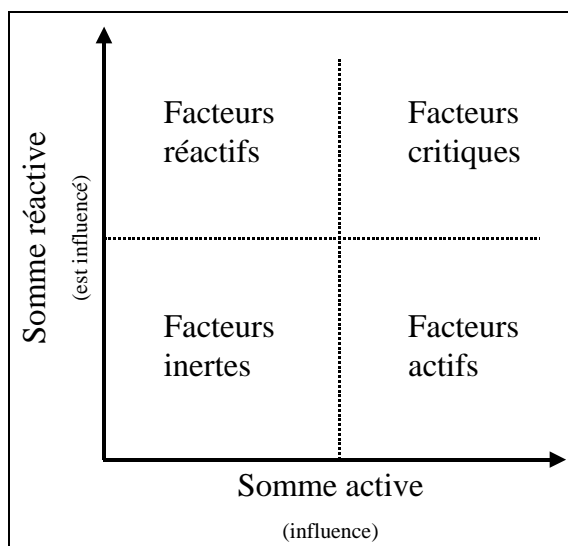


Figure 5 : Définition des zones du graphe d'influence

Pour faciliter la lecture, le graphe est normé horizontalement sur l'élément le plus actif et verticalement sur l'élément le plus réactif. La frontière des différentes zones se situe à la valeur de 50%. Le caractère partiellement subjectif de cette séparation nécessite une certaine souplesse. Une bande de largeur a priori indéterminée fait office de zone incertaine.

2.4. Troisième étape : élaboration de solutions

La troisième étape consiste à **élaborer des solutions**. Il faut repérer les éléments non dirigeables. Dans la mesure où ils influencent d'autres facteurs, il convient de ne pas les négliger. L'établissement des scénarios vraisemblables à leur égard permet d'étudier l'impact de leurs variations sur les facteurs réactifs. Ces facteurs non dirigeables représentent les contraintes du problème à résoudre.

Les facteurs qui servent d'indicateurs forment une base objective pour l'analyse des différentes solutions générées. Ils sont choisis parmi les facteurs réactifs.

Enfin, il faut distinguer les solutions qui s'inscrivent dans un processus stabilisant de celles qui sont déstabilisantes. Pour des raisons de stabilité du système, seules les solutions stabilisantes sont retenues.

2.5. Amélioration proposée

2.5.1. Distinction des effets

Pour qualifier plus précisément l'impact des solutions proposées, les résultats doivent distinguer l'**activité positive et négative** de chaque solution. La différence, activité positive moins activité négative, est appelée impact.

La méthode est complétée par les étapes suivantes :

- calcul d'influence de chaque branche du réseau de sorte à définir la **matrice d'impact de chaque solution proposée sur chaque facteur** du système
- agrégation normée de l'activité de chaque solution par sommation thématique
- agrégation normée de l'activité de chaque solution par sommation totale
- agrégation de l'activité de chaque solution par pondération des sommations thématiques.

Le calcul intégré de chaque branche du réseau tient compte du **signe de la relation** entre deux facteurs successifs. Ce signe est dépendant de la définition donnée à chaque facteur. Par exemple, la relation entre la « surface » et le « volume » est positive. Ceci signifie qu'une augmentation de la surface produit une augmentation du volume. La même relation peut être définie négativement si le facteur « volume » est changé en « réduction du volume ». Ainsi une augmentation de la surface produit une diminution de la réduction du volume. Puisque le signe des relations est une question de définition, il est nécessaire de définir un sens positif de sommation. Naturellement l'addition est perçue positivement tandis que la soustraction est perçue négativement. Ainsi donc pour une solution proposée, avoir une valeur d'impact élevée signifie avoir un fort impact positif. A l'opposé, avoir une forte valeur négative signifie avoir un impact négatif. L'agrégation d'une série d'éléments positifs et négatifs par sommation nécessite de définir au préalable si un facteur est perçu positivement (une augmentation de son état est positive) ou s'il est perçu négativement (une réduction de son état est positive). Dans ce cas, son influence reçue doit être inversée avant la sommation. Par exemple la solution « A » a un impact positif sur le facteur « finance » et un impact négatif sur le facteur « pollution ». La sommation directe de ces deux impacts pourrait conduire à une valeur nulle. Or le facteur « pollution » est défini négativement (une réduction de son état est positive). Son impact négatif est positif. Avant de le sommer, il faut donc changer son signe. De la sorte, la mesure « A » a un impact global positif.

Les graphes thématiques d'influence sont normés par rapport à la solution qui offre la plus forte activité.

2.5.2. Rayon d'action

Pour tenir compte des effets liés à l'étendue géographique, chaque facteur qui compose le système indique s'il est, ou non, géographiquement situé. Les solutions proposées, ci-après nommées mesures, indiquent ensuite sur quelle étendue elles font valoir leurs effets. Cette étendue est fixée à quatre valeurs : 25%, 50%, 75% ou 100%. Elle représente la part influencée par la mesure sur le tronçon étudié. L'étendue est prise comme un coefficient réducteur dans le calcul de l'impact. De la sorte, la méthode permet de distinguer, qualitativement, les mesures qui ont un impact géographique limité d'avec celles qui ont un impact étendu.

3. DEVELOPPEMENT DES RESEAUX

Afin de garder la même logique que celle développée dans le rapport intermédiaire de la CEVAP (CEVAP, 2005), les réseaux des **trois dimensions** (sécurité, socio-économie et environnement) sont construits à partir des critères et indicateurs du chapitre 9^{ème}. Pour garder la cohérence avec le chapitre précédent, le terme de « facteur » est attribué à tous les membres qui constituent ces réseaux. Enfin le présent rapport reprend l'intégralité du travail effectué dans le rapport CEVAP et l'utilise implicitement comme la première étape de la méthode qualitative (paragraphe 2.2. Définition du contexte).

Afin d'assurer la construction de réseaux cohérents et représentatifs du système étudié, ces derniers suivent autant que possible la logique des processus physiques. Ces réseaux ont également été soumis à l'expertise de spécialistes pour chacun des trois domaines respectifs.

Ainsi le réseau sécurité a été contrôlé et amendé par MM. Pierre-Benoît Raboud du Service des Forces Hydrauliques et Dominique Bérode du Service des Routes et Cours d'Eaux. Le réseau socio-économie a fait l'objet d'une expertise de la part de M. Roland Schegg de l'Institut Economie et Tourisme de la HEVs. Enfin le réseau écologique a été entièrement élaboré par le concepteur même de la BD-Eaux, M. Andreas Zurwerra du bureau d'étude ProNat à Brig-Glis.

3.1. Réseau sécuritaire

Le rapport CEVAP définit **trois critères sécuritaires et six indicateurs** relatifs. Les critères donnés par ce rapport sont :

- a) effet immédiat des mesures d'assainissement sur le potentiel de risque
- b) effet à long terme des mesures d'assainissement sur le potentiel de risque
- c) effet des mesures d'assainissement sur le potentiel de risque lors des purges

Les indicateurs sont :

- effet sur la stabilité des berges
- effet sur la stabilité du lit
- effet sur la capacité hydraulique
- effet sur la vulnérabilité des objets menacés par les inondations
- potentiel de transport solide
- stabilité du lit à long terme
- potentiel de risque lors des purges

Les indicateurs (2) et (6) sont réunis dans un même facteur, stabilité du lit. L'indicateur (4) exprime le risque résiduel d'inondation des objets menacés. Il est reformulé en risque d'inondation. A ces 6 facteurs se rajoute la pente du lit. Elle a un impact important vis-à-vis de la capacité de la rivière (hydraulique et débit solide). La construction du réseau a en outre rendu nécessaire l'adjonction des facteurs suivants : atterrissement, érosion, embâcle, débâcle, granulométrie, rugosité, morphologie du lit, largeur du lit et espace du cours d'eau. Il en résulte finalement une liste de **quinze facteurs**. A cause du grand nombre de liens entre les facteurs et pour faciliter la compréhension, les réseaux sont redessinés pour les influences de chaque facteur. Les réseaux des quinze facteurs sécuritaires sont donnés en annexe (10.1 à 10.15). Les facteurs sont numérotés de 101 à 115.

3.2. Réseau socio-économique

Le rapport CEVAP définit **sept critères socio-économiques et sept indicateurs** relatifs. Les critères sont :

- a) coût d'investissement unique
- b) coût d'entretien et d'exploitation
- c) perte due à la diminution de production d'électricité
- d) effet sur l'emploi
- e) effet sur le tourisme
- f) effet sur le développement économique local
- g) effet sur les infrastructures

Les indicateurs relatifs sont :

- coût d'investissement en franc par an
- coût d'entretien et d'exploitation en franc par an
- réduction de la production annuelle d'énergie
- changement pour l'emploi
- changement pour l'attrait touristique
- estimation des effets secondaires sur le développement économique local
- estimation des effets sur les infrastructures

La matrice socio-économique est divisée en trois parties : les **acteurs et intérêts de la société**, les **buts ou objectifs** ainsi que le **système cours d'eau**. Les facteurs socio-économiques se situent dans les deux premières parties.

Les **acteurs et intérêts de la société** comprennent : l'aménagement du territoire, la pêche, l'agriculture, le tourisme, la construction et les sociétés productrices d'hydroélectricité. Le développement des infrastructures liées à l'eau (STEP, conduites...), la disponibilité en eau ainsi que la sécurité relèvent plus directement de l'acteur « commune ».

Les **objectifs** comprennent les finances des sociétés hydroélectriques, les finances communales et cantonales, le développement économique de la région concernée, l'attrait touristique, la qualité de l'environnement ainsi que les coûts sociaux liés aux accidents.

Les **seize facteurs** socio-économiques sont alors intégrés dans autant de réseaux d'influence. Ils sont numérotés de 201 à 216. Les réseaux d'influence sont donnés en annexe (10.16 à 10.31).

3.3. Réseau environnemental

Le rapport CEVAP définit **six critères environnementaux et six indicateurs** relatifs. Les critères correspondent aux six modules de la BD-Eaux. Les critères sont :

- a) écomorphologie
- b) hydrologie
- c) qualité des eaux
- d) hydrobiologie

- e) milieux riverains et alluviaux
- f) paysage

La *Figure 6* donne un aperçu des liens qui relie les différents critères ou module de la BD-Eaux. Les facteurs relatifs aux six critères précités sont ceux développés dans les modules de la BD-Eaux.

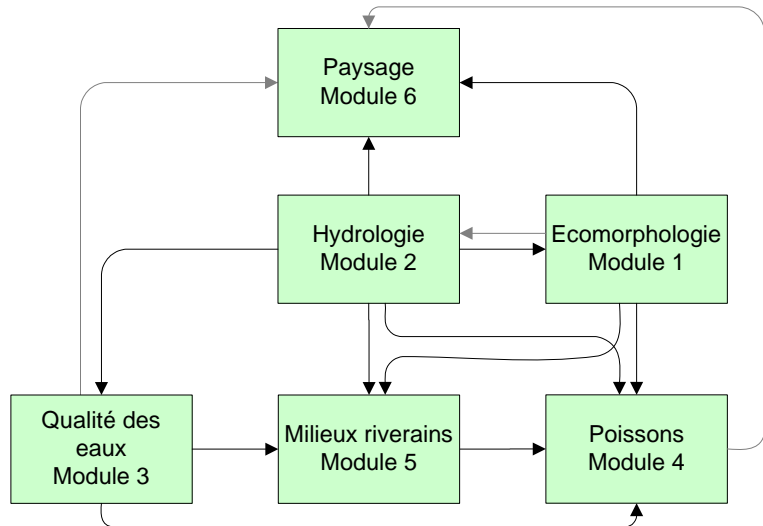


Figure 6 : Réseau environnemental, articulation des modules

Le réseau environnemental est développé par étape. Un premier réseau donne l'articulation des modules de la BD-Eaux entre eux. Les facteurs reprennent la numérotation de la BD-Eaux.

Chacun des modules est développé à l'aide des critères énumérés dans la BD-Eaux. Les six réseaux et les **cinquante facteurs** sont alors intégrés dans une seule matrice. Devant le très grand nombre de liens à l'intérieur de cette matrice, le dessin des réseaux d'influence apporte peu d'aide à la compréhension. La matrice est construite sur une réflexion qui isole chaque facteur et cherche à le relier à chacun des autres facteurs de la matrice. Ces facteurs sont numérotés de 301 à 350.

4. ANALYSE DES RESEAUX

L'analyse des réseaux est menée sans considération des mesures proposées (cf. chapitre 6). L'analyse est faite indépendamment pour chaque dimension (sécuritaire, socio-économique et écologique) selon un calcul secondaire. La complexité réside ainsi dans les liens des mesures avec les dimensions et non dans les liens des dimensions entre elles. Cette analyse permet, avant d'inclure les mesures, de comprendre le fonctionnement du système et de mettre en évidence les facteurs sensibles (actifs, réactifs).

4.1. Analyse sécuritaire

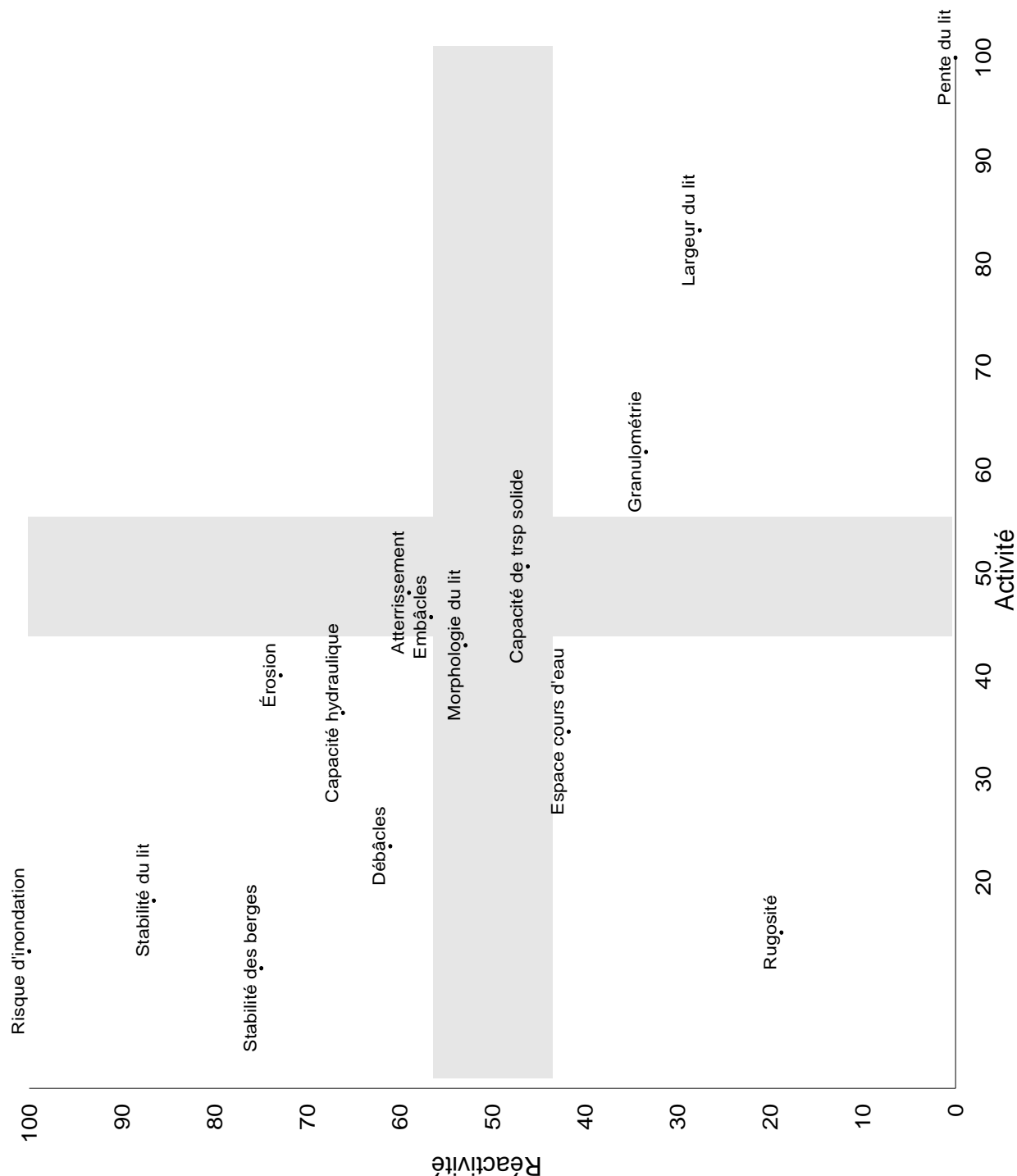


Figure 7 : Graphe d'influence des facteurs sécuritaires issu d'un calcul secondaire

Le graphe présenté à la *Figure 7* met en évidence comme facteur le plus actif la **pen­te du lit** de la rivière. Ce facteur est toutefois très peu dirigeable et ne permet ainsi pas de modification facile sur le système. La **largeur du lit** est le véritable facteur actif dirigeable qui permet d’agir sur le système de manière directe. Il possède une certaine réactivité liée aux conditions environnantes de la rivière (pen­te du lit, aménagement autour du lit, atterrissement, érosion...). La **capacité de transport solide** ainsi que la **capacité hydraulique** sont des facteurs de transition. Dépendant des conditions physiques de la rivière, ils conditionnent également la stabilité de la rivière. Les trois facteurs réactifs du système sont la **stabilité des berges**, la **stabilité du lit** et le **risque d’inondation**. Ils représentent en effet le niveau de sécurité atteint lors d’événements extrêmes. Ils possèdent une légère activité issue du fonctionnement complexe de ce système.

En résumé, ce graphe peut être lu de manière simplifiée comme la nécessité d’avoir une capacité hydraulique suffisante par le biais de la largeur tout en assurant la stabilité des berges et du lit. Dans le cas de transport solide important, de rupture de pen­te ou de rétrécissement du cours d’eau, une étude de la capacité du transport solide doit également être effectuée.

4.2. Analyse socio-économique

Les facteurs retenus pour dessiner la matrice socio-économique montrent un **système fortement complexe**. L’essentiel des facteurs s’aligne sur la diagonale principale du graphe d’influence de la *Figure 8*, c’est-à-dire qu’ils possèdent un taux d’activité similaire à celui de la réactivité. Deux facteurs toutefois montrent une activité plus importante. Ce sont l’**aménagement du territoire** et la **production hydroélectrique**. Ce résultat souligne d’une part l’importance pour une commune de définir clairement comment elle entend occuper son sol. Les choix opérés à ce niveau sont répercutés sur le reste du système. Ces choix se traduisent par un plan d’aménagement et, plus largement, par un cadre légal. D’autre part, pour les aspects privés modélisés, soit l’hydroélectricité, la **production hydroélectrique** constitue le facteur clé. Indépendamment des aspects hydrologiques (non modélisé ici), la production brute est le point de départ de toute la chaîne économique liée à cette activité. Il convient de relever toutefois, vu la position relativement faible occupée par le facteur **finances des sociétés hydroélectriques** que ce volet économique n’a pas, pour l’assainissement des rivières une place aussi prépondérante que communément admise. La **pêche**, en tant qu’activité socio-économique, possède également une importance relativement faible. Deux facteurs se démarquent légèrement par leur réactivité, soit le **développement économique** et le **cadre de vie/at­trait touristique**. Ils synthétisent en effet les deux aspects de ce domaine, les aspects économiques et les aspects sociaux. Le développement économique résume l’état de santé économique d’une région. Cet état, s’il est bon, génère des moyens qui, mis en œuvre par le biais de décisions politiques, améliorent le cadre de vie. Ce dernier provoque à son tour un attrait tant touristique qu’économique.



Figure 8 : Graphe d'influence des facteurs socio-économiques issu d'un calcul secondaire

4.3. Analyse environnementale

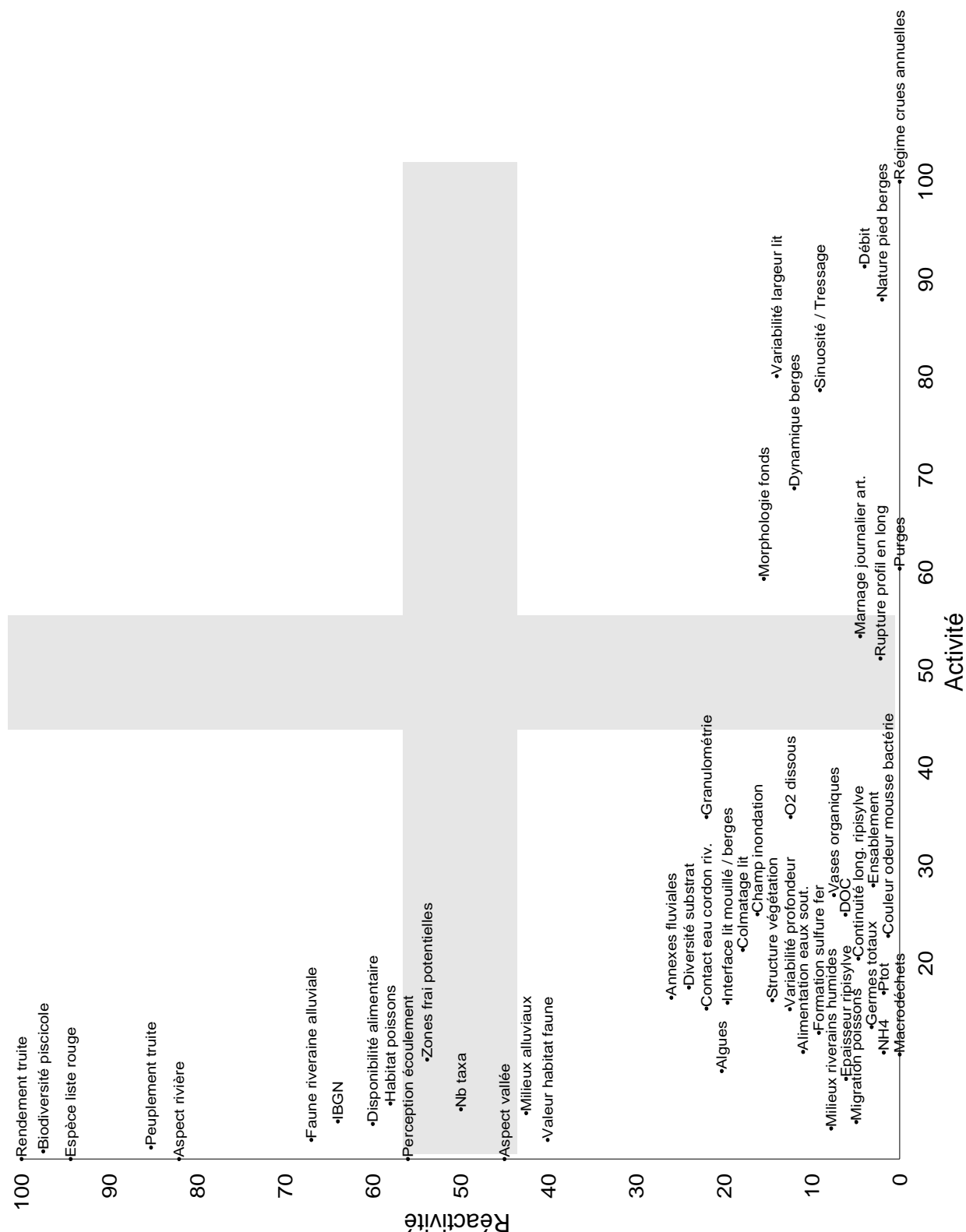


Figure 9 : Graphe d'influence des facteurs écologiques issu d'un calcul secondaire

Le graphe d'influence écologique représenté à la Figure 9 laisse apparaître de nombreux facteurs de passage. Sans pouvoir être négligés, ces derniers ne possèdent qu'une importance relative. Parmi les facteurs les plus influents, le **régime des crues** apparaît en première position. Pour les besoins de la lecture du graphe, le **débit** et la **nature des pieds de berges** ont une légère réactivité. Ces trois facteurs constituent les leviers les plus importants pour le

fonctionnement écologique de la rivière. Ce fonctionnement naturel peut être perturbé par trois autres facteurs définis négativement, à savoir la **rupture du profil longitudinal**, le **marnage journalier artificiel**, et les **purges** de bassins amont. Ainsi mis en évidence, les mesures devront autant que possible restaurer la continuité longitudinale, redonner une morphologie des berges et un hydrogramme naturels ainsi que minimiser l'impact négatif du marnage et des purges. La réactivité du système met en avant la vie piscicole de la rivière, par la **truite** et la **biodiversité piscicole**. Le poisson constitue le dernier élément de la chaîne alimentaire aquatique d'un cours d'eau alpin. Les facteurs relatifs (rendement et peuplement) sont donc normalement très réactifs. Les espèces reliées à la **liste rouge** sont également un facteur très réactif. Ce résultat souligne l'importance accordée par la modélisation à ces espèces. Le graphe marque également l'**aspect général de la rivière**. Ce facteur est difficilement quantifiable. Il montre toutefois, par les résultats de la matrice écologique, une attention similaire à celle développée spécifiquement par les aspects sociaux de la matrice socio-économique.

5. EXPLICATIF DE L'OUTIL EXCEL – LE LOGICIEL PACEVS

L'outil développé, dont l'acronyme PACEVs signifie « Potentiel d'assainissement des cours d'eau valaisans » est programmé en « Visual Basic for Application » sur une plateforme **Excel 2003**. Il est ainsi facilement transportable et libre d'accès. L'essentiel des opérations s'effectue à l'aide de **macros**. Il est donc nécessaire de les activer lors de l'ouverture du programme. Au besoin, le niveau de sécurité des macros doit être abaissé (ceci peut se faire directement dans Excel sous l'onglet Outil/Macro/sécurité/niveau de sécurité, mettre sur le niveau moyen).

Le fichier Excel se compose de **20 feuilles actives**, précédées d'une feuille d'introduction. Le tableau suivant résume les différentes feuilles avec leur nom ainsi que leur fonction. Le passage entre les différentes feuilles se fait automatiquement en activant le bouton qui porte le nom de la feuille suivante. Les feuilles sont **protégées en écriture**, mais sans mot de passe. Les cellules qui doivent être remplies par l'utilisateur sont automatiquement grisées et déprotégées en écriture. Pour les feuilles résultats, un bouton pour l'impression des graphes est programmé.

L'utilisation de ce programme requiert la compréhension des réseaux développés au chapitre 3, le choix de mesures étudiées ainsi que les liens qui les relient à ces réseaux.

Nom de la feuille	Type de feuille	Fonction
Explicatif	Input des mesures	Ensemble des facteurs répartis en thèmes qui constituent les réseaux et des mesures proposées avec un bref descriptif pour chacun. Les mesures requièrent un type et un rayon d'influence.
Données	Input des influences	Données brutes, sous forme matricielle, des réseaux d'influence. Les facteurs nécessitent une indication sur le sens de leur définition (défini positivement ou négativement).
Graphes	Calcul	Feuille de calcul intermédiaire. A ce niveau, il faut choisir entre les calculs primaire, secondaire ou tertiaire. Ce choix a une importance pour les quatre feuilles suivantes uniquement et pour la feuille « Réactives pondérées ».
Sécu	Activité du réseau sécurité	Résultats agrégés du réseau sécuritaire sous forme d'un graphe activité/réactivité.
Socio	Activité du réseau socio-économie	Résultats agrégés du réseau socio-économie sous forme d'un graphe activité/réactivité.
Ecolo	Activité du réseau écologie	Résultats agrégés du réseau écologique sous forme d'un graphe activité/réactivité
Mesures 1	Activité de toutes les mesures	Résultats agrégés des mesures sous forme d'un graphe d'activité uniquement.

Mesures 2	Impact de toutes les mesures	Résultats désagrégés des mesures selon un impact positif ou négatif sur les facteurs (critères) sous forme d'un graphe d'activité uniquement. A ce niveau une pondération est requise entre les trois objectifs.
Mesures 2 pondérées	Impact de toutes les mesures avec pondération	Idem à Mesures 2 mais pour le calcul pondéré uniquement avec les facilités de classement des mesures (normé ou numéroté).
Réactives pondérées	Impact de toutes les mesures, Mesures 2	Idem à Mesures 2 mais avec un calcul effectué selon les facteurs réactifs uniquement.
100% pondérées	Impact des mesures globales, Mesures 2	Résultats désagrégés issus de la pondération pour les mesures globales uniquement (100%).
75% pondérées	Impact des mesures semi-globales, Mesures 2	Résultats désagrégés issus de la pondération pour les mesures semi-globales uniquement (75%).
50% pondérées	Impact des mesures semi-globales, Mesures 2	Résultats désagrégés issus de la pondération pour les mesures semi-globales uniquement (50%).
25% pondérées	Impact des mesures locales, Mesures 2	Résultats désagrégés issus de la pondération pour les mesures locales uniquement (25%).
Dotation pondérées	Impact des mesures de dotation, Mesures 2	Résultats désagrégés issus de la pondération pour les mesures de dotation uniquement.
Exploitation pondérées	Impact des mesures d'exploitation, Mesures 2	Résultats désagrégés issus de la pondération pour les mesures d'exploitation uniquement.
Construction pondérées	Impact des mesures de construction, Mesures 2	Résultats désagrégés issus de la pondération pour les mesures de construction uniquement.
Autres pondérées	Impact des mesures d'autres types, Mesures 2	Résultats désagrégés issus de la pondération pour les mesures d'autres types uniquement.
Curage/Vidange pondérées	Impact des mesures de curage ou de vidange, Mesures 2	Résultats désagrégés issus de la pondération pour les mesures de curage ou de vidange uniquement.
Tiers pondérées	Impact des mesures de tiers, Mesures 2	Résultats désagrégés issus de la pondération pour les mesures de tiers uniquement.

5.1. Feuille Explicatif

La feuille Explicatif (*Figure 10*) comporte **cinq colonnes**. La première contient le **numéro** du facteur ou de la mesure. La numérotation des mesures est manuelle et ne doit pas forcément être croissante. Elle doit toutefois être comprise entre 401 et 32'766. La seconde colonne contient le **nom** de la mesure. La cinquième colonne donne une brève **définition** pour chacun des facteurs ou des mesures adaptée au cas traité. La colonne trois ne concerne que les mesures. Elle indique le **type** de la mesure. Le programme contient six types de mesures possibles, les types dotation, exploitation, construction, autres, curage/vidange et tiers. Ces six

types reprennent la classification des mesures données par la loi fédérale sur la protection des eaux (Leaux). La quatrième colonne donne le **rayon d'action** de la mesure (100%, 75%, 50% ou 25%). Pour les facteurs, elle indique si ce dernier est géographiquement situé (dépend ou non du rayon d'action).

Les lignes concernant les facteurs sont protégées et ne doivent pas être changées. L'utilisateur doit remplir les lignes concernant les mesures. Lorsque la liste des mesures est exhaustive, il doit appuyer sur le bouton « Va à Données » pour passer à l'étape suivante. S'il veut commencer la seconde étape avec une feuille vierge, il faut choisir le second bouton « Efface tout ». Une validation est alors demandée. S'il veut continuer avec une liste de liens existants pour les mesures, il faut choisir le premier bouton « Ajout / Suppression ». Ce bouton permet justement d'ajouter ou de supprimer des mesures sans effacer la totalité des liens relatifs aux autres mesures. Les suppressions et les ajouts ne peuvent cependant se faire que depuis le bas de la liste. Il est toujours possible d'utiliser les facilités d'Excel pour classer les mesures (tri par ordre croissant des numéros, copier-coller pour déplacer des lignes,...). Il faut cependant rester prudent pour assurer la cohérence avec la page suivante.

344	Milieux alluviaux	oui	Etendue et diversité des zones alluviales	
345	Milieux riverains humides	oui	Etendue et diversité des milieux riverains non alluviaux (marais, étang, source, prairie...)	
346	Valeur habitat faune	non	Variabilité des habitats pour la faune aquatique constituée par la présence de graviers nus, bancs de sable, souches d'arbres, bas-marais...	
347	Faune riveraine alluviale	oui	Présence et diversité d'avifaunes, de batraciens et d'invertébrés	
348	Perception écoulement	oui	Naturalité de la perception visuelle et acoustique de l'écoulement	
349	Aspect rivière	oui	Valeur paysagère de la rivière par rapport aux éléments de proximité	
350	Aspect vallée	oui	Valeur paysagère de la rivière par rapport aux éléments éloignés	
Mesures appliquées				
2100	Crue artificielle	Exploitation	100%	Crue annuelle générée artificiellement d'une durée de 4 heures avec un débit moyen de 25 m ³ /s
2101	Crue morpho	Exploitation	100%	Crue 3-5 ans générée artificiellement d'une durée de 72 heures avec un débit moyen de 25 m ³ /s
2102	Curage	Exploitation	100%	Curage de la rivière de sorte à éliminer les dépôts fins
4100	Déboisement	Autres	25%	Déboisement de la rive droite sur 25% du tronçon
2103	Diversification régime	Exploitation	25%	Modification de la morphologie du lit pour permettre une diversification du régime sur 25% du tronçon
1100	Dotation	Dotation	25%	Augmenter la dotation minimale de 50 l/s. Cette mesure a un impact sur le 25% du tronçon étudié

Va à Données
Ajout / Suppression

Va à Données
Efface tout

Figure 10 : Illustration de la feuille Explicatif

5.2. Feuille Données

La feuille Données (Figure 11) contient 100 colonnes. Les trois premières sont identiques aux trois premières colonnes de la page précédente, à savoir le numéro, le nom et le type des facteurs et des mesures. Ces informations sont automatiquement recopiées. La quatrième colonne, valable uniquement pour les facteurs, détermine s'ils sont définis positivement ou négativement (ex : augmentation du nombre d'emploi ou réduction du nombre d'emplois). Par défaut, les mesures sont toujours définies positivement. Les **colonnes 5 à 98 sont l'expression matricielle linéaire des réseaux d'influence**. Ce tableau se lit en ligne. Par exemple la mesure 401 (crue artificielle) influence positivement le facteur 106 avec une intensité de 2, négativement le facteur 103 avec une intensité de -1 et positivement le facteur 102 avec une intensité de 2. Ces trois influences sont représentées dans les réseaux par des flèches qui vont de 401 vers 106, 103 et 102. La colonne 99 somme les intensités d'influence de chaque mesure en valeur absolue. La dernière colonne somme l'influence des facteurs et des mesures par thème. Lorsque cette matrice est remplie, l'utilisateur doit appuyer sur le bouton « Va à Graphe » pour passer à l'étape suivante. Le passage à la feuille suivante efface automatiquement les informations qui pourraient s'y trouver de manière à avoir une feuille vierge.

344	Milieux alluviaux	oui	347	3	348	2	349	3	350	2												
345	Milieux riverains humides	oui	347	3	349	1	350	2														
346	Valeur habitat faune	non	347	3																		
347	Faune riveraine alluviale	oui	340	2	341	2																
348	Perception écoulement	oui																				
349	Aspect rivière	oui																				
350	Aspect vallée	oui																				
			Va à Graphe																			
2100	Crue artificielle	Exploitation	106	2	103	-1	102	2	101	1	111	1	113	1	109	-2	110	1	203	2	209	-2
2101	Crue morpho	Exploitation	106	3	103	-2	102	3	101	2	111	2	113	2	109	-3	110	2	203	2	209	-2
2102	Curage	Exploitation	109	-1	110	1	103	-2	102	1	215	1	203	1	214	1	202	-1	305	1	306	-1
4100	Déboisement	Autres	109	-3	102	1	107	-2	101	1	112	-1	106	1	214	-1	211	-1	215	-1	309	-2
2103	Diversification régime	Exploitation	202	-1	214	1	203	1	310	1	311	1	313	1	314	1	320	-1	341	1		
1100	Dotation	Dotation	202	-3	203	2	205	2	214	2	208	1	215	2	306	-1	315	3				

Figure 11 : Illustration de la feuille Données

5.3. Feuille Graphe

La feuille Graphe (Figure 12) est principalement constituée de **quatre colonnes**. Les deux premières, **numéro** et **nom** de la mesure, sont copiées intégralement de la feuille précédente. L'utilisateur doit ensuite choisir entre le **calcul primaire, secondaire ou tertiaire** (cf. paragraphe 2.3 B). Le bouton effectue alors le calcul de l'activité et de la réactivité de chaque facteur et de chaque mesure. Ces dernières doivent normalement avoir une somme réactive nulle (les mesures sont des « facteurs » uniquement actifs). Le choix du calcul (primaire, secondaire ou tertiaire) n'influence que les quatre feuilles suivantes et ainsi que les facteurs de référence de la feuille « Réactives pondérées ». Le calcul remplit les colonnes d'**activité** et de **réactivité** de chaque mesure et facteur. Le graphe qui s'affiche sur cette feuille permet de visualiser l'emplacement relatif des facteurs entre eux. Il est toutefois plus aisé pour la lecture de transférer ces données sur un logiciel de représentation (Surfer par exemple). Lorsque le calcul est effectué, l'utilisateur doit appuyer sur le bouton « Va à Mesures 1 » pour passer à l'étape suivante. Le passage à la feuille suivante efface automatiquement les informations qui pourraient s'y trouver de manière à avoir une feuille vierge.

Sur la feuille Graphe, l'utilisateur dispose encore d'indications sommaires, sous forme de tableau, sur la répartition des groupes de facteurs et de mesures. Le tableau de gauche en haut indique la somme des poids de chaque groupe. Les deux tableaux de droite indiquent les influences actives et passives selon le calcul effectué. Enfin le tableau de gauche en bas répartit simplement le nombre de facteurs ou mesures pour chaque groupe.

344	Milieux alluviaux	48	479		
345	Milieux riverains humides	32	77		
346	Valeur habitat faune	20	459		
347	Faune riveraine alluviale	20	690		
348	Perception écoulement	0	598		
349	Aspect rivière	0	919	Actif	Passif
350	Aspect vallée	0	473	11941	15098
<hr/>					
2100	Crue artificielle	335	0		
2101	Crue morpho	499	0		
2102	Curage	318	0		
4100	Déboisement	292	0		
2103	Diversification régime	123	0		
1100	Dotation	276	0		
3100	Élargissement lit mineur	444	0		
3101	Élargissement rives	331	0		
6100	Élimination déchets et bois	123	0		
3102	Techniques végétales	312	0		
4101	Extraction matériaux	221	0	Calcul primaire	
6101	Intégration tourisme/sport	43	0		
5100	Purge bassin	155	0	Calcul secondaire	
4102	Reboisement	256	0		
3103	Rehaussement ponts	139	0	Calcul tertiaire	
3104	Renaturation pieds berges	324	0		
3105	Renforcement rives	123	0		
6102	Repeuplement pisc.	57	0		
3106	Rivière by-pass	167	0		
6103	STEP	263	0	Va à Mesures 1	
6104	Suivi env.	25	0		
4103	Suppression eaux usées	431	0		
3107	Suppression seuil	204	0	Actif	
6105	Suppression rejet gravière	69	0	0	5531

Tableau indicateur des thèmes entre eux					
Influence directe active des thèmes			Influence active des thèmes		
Thèmes	Pts	%	Thèmes	Pts	%
Sécurité	202	11%	Sécurité	2289	11%
Socio-économique	117	7%	Socio-économique	987	5%
Ecologique	1051	59%	Ecologique	11941	58%
Mesures	408	23%	Mesures	5531	27%
Total	1778	100%	Total	20747	100%
Nombre de facteurs par thème			Influence passive des thèmes		
Thèmes	Nb	%	Thèmes	Pts	%
Sécurité	15	14%	Sécurité	3586	17%
Socio-économique	16	15%	Socio-économique	2063	10%
Ecologique	50	48%	Ecologique	15098	73%
Mesures	24	23%	Mesures	0	0%
Total	105	100%	Total	20747	100%

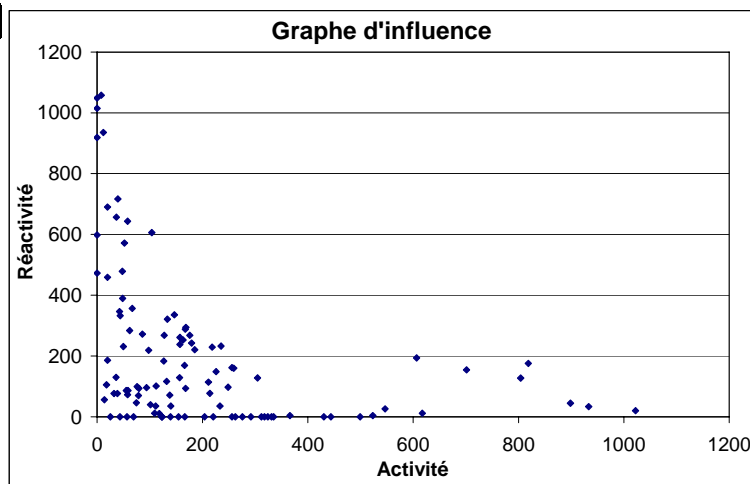


Figure 12 : Illustration de la feuille Graphe

Manuellement l'utilisateur peut revenir aux feuilles « Sécu », « Socio » ou « Ecolo » pour visualiser les graphes des facteurs des thèmes considérés. Les boutons à disposition sont les mêmes que ceux de la feuille « Mesures 1 ».

5.4. Feuille Mesures 1 (activité)

La feuille Mesures 1 (Figure 13) contient toutes les mesures avec le numéro et le nom dans les colonnes 1 et 2. Les colonnes 3 et 4 affichent l'activité et la réactivité de chaque mesure. Ces résultats sont calculés selon la méthode expliquée au paragraphe 2.3. Le bouton « 1. Normer » calcule les taux d'activité et de réactivité de chaque mesure et les norme par rapport à l'activité et la réactivité maximale. Il classe également les mesures par ordre croissant d'activité. Le bouton « 2. Ordre numéroté » classe les mesures selon leur ordre de numérotation. Le bouton « Imprimer le graphe » effectue la prévisualisation du graphe pour l'impression. La zone du graphe n'est pas protégée en écriture. De la sorte, il est possible de sélectionner le graphe pour modifier son aspect ou de le copier et de l'importer dans un autre fichier. L'utilisateur doit appuyer sur le bouton « Va à Mesures 2 » pour passer à l'étape suivante. Il a le choix entre un calcul primaire, secondaire ou tertiaire. Le passage à la feuille suivante efface automatiquement les informations qui pourraient s'y trouver et calcule l'impact de chaque mesure sur chaque facteur.

6100 Elimination déchets et bois	122.7	0.0	24.6	0.0
6101 Intégration tourisme/sport	43.3	0.0	8.7	0.0
6102 Repeuplement pisc.	56.7	0.0	11.3	0.0
6103 STEP	262.7	0.0	52.6	0.0
6104 Suivi env.	25.3	0.0	5.1	0.0
6105 Suppression rejet gravière	69.3	0.0	13.9	0.0

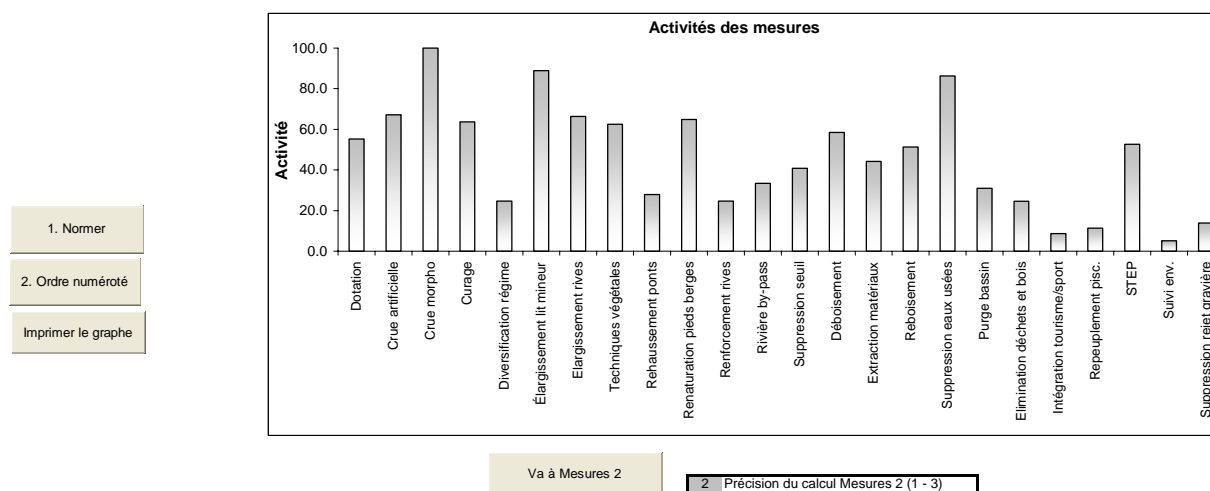


Figure 13 : Illustration de la feuille Mesures 1

5.5. Feuille Mesures 2 (impact)

La feuille « Mesures 2 » calcule l'impact de chaque mesure sur chaque facteur et génère la matrice relative sur les lignes 3 à 83. Ces calculs sont effectués selon la méthode expliquée au paragraphe 2.5. L'utilisateur a accès à toute l'information détaillée sur ces lignes. La matrice est agrégée sur les lignes 92 à 96. La ligne 92 « Total normé » somme l'impact de chaque mesure sur l'ensemble des facteurs et le norme par rapport l'impact maximal. La ligne 93 « Sécu normé » effectue un calcul identique pour l'ensemble des mesures sur les facteurs sécuritaires seulement, la ligne 94 « Socio normé » sur les facteurs socio-économiques seulement et la ligne 95 « Ecolo normé » sur les facteurs écologiques seulement. Par le biais des poids (ligne 93 à 95, colonne 1), la ligne 96 « Total pondéré » fait la somme pondérée des trois lignes précédentes.

Le premier graphe correspond au total pondéré, les quatre graphes suivants sont pris dans le même ordre que les lignes 92 à 95. Chaque graphe peut être imprimé à l'aide d'un bouton prédéfini.

Pour passer aux feuilles suivantes, l'utilisateur doit appuyer le bouton « Partition des mesures ».

5.6. Feuille Réactives pondérées

La feuille « Réactives pondérées » effectue les mêmes opérations que la feuille précédente. Toutefois les calculs sont basés sur les facteurs réactifs uniquement. Ces derniers sont mis en évidence par les calculs effectués à la feuille « Graphe ». Les quatre facteurs les plus réactifs de chacune des trois dimensions sont pris en compte. Leur impact sur chaque mesure est retenu et la somme, par mesure, est normée pour chacune des trois dimensions. L'agrégation se fait ensuite selon les poids définis à la feuille précédente (ligne 93 à 95, colonne 1).

5.7. Feuille 100% pondérées et suivantes

L'ensemble de l'information de la ligne 96 « Total pondéré » de la feuille « Mesures 2 » peut être divisée selon le type et le rayon d'action des mesures. La feuille « 100% pondérées » affiche les mesures qui ont un rayon d'action global. Les feuilles « 75% pondérées » et « 50% pondérées » affichent les mesures qui ont un rayon d'action semi-globale (50% et 75%). La feuille « 25% pondérées » affiche les mesures qui ont un rayon d'action local. La feuille

« dotation pondérées » affiche les mesures de renforcement de la dotation. La feuille « Exploitation pondérées » affiche les mesures liées à l'exploitation des retenues ou des prises d'eau amont. La feuille « Construction pondérées » affiche les mesures de type constructif sur le cours d'eau étudié. La feuille « Autres pondérées » affiche les mesures d'autres types. La feuille « Curage/Vidange pondérées » affiche les mesures liées aux curages et vidanges des retenues ou des prises d'eau amont. Enfin la feuille « Tiers pondérées » affiche les mesures de tiers.

La feuille « Mesures 2 pondérées » suit la même source (ligne 96 de la feuille « Mesures 2 ») mais offre les facilités de classement des mesures (par ordre croissant d'impact ou de numérotation).

6. APPLICATION A LA DRANSE DE BAGNES

A partir des trois réseaux fonctionnels définis au chapitre 3, les mesures viennent se rajouter comme des facteurs additionnels. Les réseaux augmentés sont alors traités avec l'outil présenté au chapitre 5. Cette application est fictive et n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie. Elle est donnée à titre d'exemple.

6.1. Les mesures

Les 27 mesures proposées dans le rapport sur l'assainissement de la Dranse de Bagnes (CEVAP, 2005) sont regroupées en **23 mesures distinctes**. Ces mesures sont proposées avec les types et les rayons d'action suivants.

La nécessité d'attribuer un type pour chaque mesure est une aide pour maintenir une vue globale sur le problème et ne pas oublier de mesures. Le rayon d'action permet la hiérarchisation des mesures entre elles, notamment pour l'exploitation des résultats. La numérotation est faite dans l'ordre énumératif. Toutefois une structure de numérotation peut être définie (par type, par bassin versant,...). Pour faciliter le classement, les mesures peuvent d'abord être triées par ordre alphabétique.

Cette liste de mesures n'est pas exhaustive. La mesure « suppression des eaux » n'est pas considérée dans cet exemple.

6.2. Les influences des mesures

Les mesures très locales ne sont pas considérées. Elles sont trop spécifiques pour être incluses dans un tel réseau. Ces mesures nécessitent une étude particulière pour déterminer si les impacts négatifs qu'elles engendrent sont compensés par les effets positifs. Le suivi environnemental (mesure n° 6104) est également difficilement appréhendable. Excepté son aspect financier (coût comme mesure d'entretien), il n'entre pas directement dans un des trois processus. Il est ainsi difficile d'en tenir compte dans les aspects écologiques.

6.3. Résultats agrégés des mesures (activité)

Avec un calcul de **type secondaire**, le classement des mesures par ordre d'importance est donné à la *Figure 14*. La première mesure concerne la restauration d'une **crue morphogène**. Les deux autres mesures de même type (crue artificielle et curage) occupent les 3^{ème} et 6^{ème} rangs. Ces trois positions marquent l'importance du rétablissement d'un régime naturel de crue capable de rajeunir l'écosystème (destruction de la couche de pavage, inondations des zones inondables, restructuration des zones alluviales...). Ces mêmes mesures sont également soutenues par les aspects sécuritaires puisqu'elles maintiennent la capacité hydraulique de la rivière. Les secondes mesures par ordre d'importance sont les **élargissements de la rivière**, soit l'élargissement du profil hydraulique (2^{ème} mesure) et l'élargissement des rives (4^{ème} mesure).

2100	Crue artificielle	Exploitation	100%	Crue annuelle générée artificiellement d'une durée de 4 heures avec un débit moyen de 25 m ³ /s
2101	Crue morpho	Exploitation	100%	Crue 3-5 ans générée artificiellement d'une durée de 72 heures avec un débit moyen de 25 m ³ /s
2102	Curage	Exploitation	100%	Curage de la rivière de sorte à éliminer les dépôts fins
4100	Déboisement	Autres	25%	Déboisement de la rive droite sur 25% du tronçon
2103	Diversification régime	Exploitation	25%	Modification de la morphologie du lit pour permettre une diversification du régime sur 25% du tronçon
1100	Dotation	Dotation	25%	Augmenter la dotation minimale de 50 l/s. Cette mesure a un impact sur 25% du tronçon étudié
3100	Élargissement lit mineur	Construction	75%	Élargissement du lit mineur de 15% sur 75% du tronçon
3101	Élargissement rives	Construction	25%	Élargissement de l'emprise globale de 25% sur la totalité du tronçon
6100	Élimination déchets et bois	Tiers	100%	Mise en place d'un service de nettoyage sur la totalité du tronçon
3102	Techniques végétales	Construction	25%	Mise en application de technique végétale sur 25% du tronçon
4101	Extraction matériaux	Autres	25%	Extraction périodique de matériaux déposés sur 25% du tronçon étudié
6101	Intégration tourisme/sport	Tiers	100%	Intégration de chemins pédestres et d'un parcours vita sur l'ensemble du tronçon
5100	Purge bassin	Curage/Vidange	100%	Purge du bassin amont avec un effet marqué sur la totalité du tronçon
4102	Reboisement	Autres	25%	Reboisement du cordon latéral sur environ 25% de la longueur totale
3103	Rehaussement ponts	Construction	25%	Rehaussement de ponts avec un effet sur 25% du tronçon
3104	Renaturation pieds berges	Construction	50%	Renaturation des pieds de berges sur 50% du tronçon
3105	Renforcement rives	Construction	25%	Renforcement des rives pour des raisons hydrauliques sur 25% du tronçon
6102	Repeuplement pisc.	Tiers	100%	Plan de repeuplement piscicole sur la totalité du tronçon
3106	Rivière by-pass	Construction	50%	Rivière by-pass qui permet un passage piscicole sur 50% du tronçon
6103	STEP	Tiers	75%	Construction d'une STEP pour assainir 75% du tronçon
6104	Suivi env.	Tiers	100%	Suivi environnemental sur la totalité du tronçon
3107	Suppression seuil	Construction	50%	Suppression de seuils de sorte à permettre un passage piscicole sur 50% du tronçon
6105	Suppression rejet gravière	Tiers	25%	Suppression des rejets de gravière qui influencent 25% du tronçon

Tableau 1 : Numéro, nom, type, rayon d'action et définition des mesures

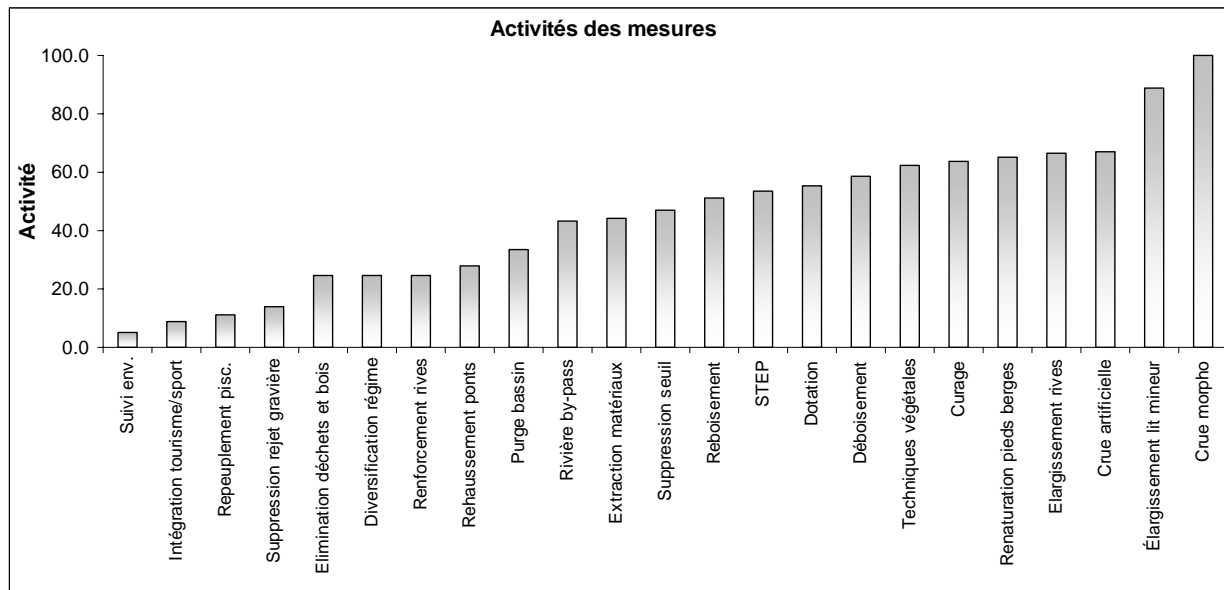


Figure 14 : Résultat secondaire agrégé des mesures par ordre croissant d'importance

Ces deux mesures soulignent l'importance de redonner de la place au réseau hydrographique. Ici encore, elles profitent tant pour les aspects écologiques que sécuritaires. La diversification du régime peut être vue comme une conséquence des élargissements. La cinquième mesure est la **renaturation des pieds de berges**. La vie se développe à l'interface eau-air. Il est donc normal de voir apparaître les pieds de berges comme une mesure importante. Les résultats montrent toutefois les 10 premières mesures à un degré d'importance très proche. Il est donc difficile avec ce type de calcul de mieux les distinguer.

Le calcul d'activité tertiaire des mesures montre un résultat similaire (Figure 15). Il intervertit les deux premières mesures mais leur laisse, comme au calcul précédent, une marge d'environ 20%. Ces résultats montrent, pour les 10 premières mesures, le même degré d'importance. Le classement bouge toutefois quelque peu à cause des résultats relativement serrés. On aboutit ainsi aux mêmes conclusions qu'au calcul précédent (nécessité du calcul d'impact).

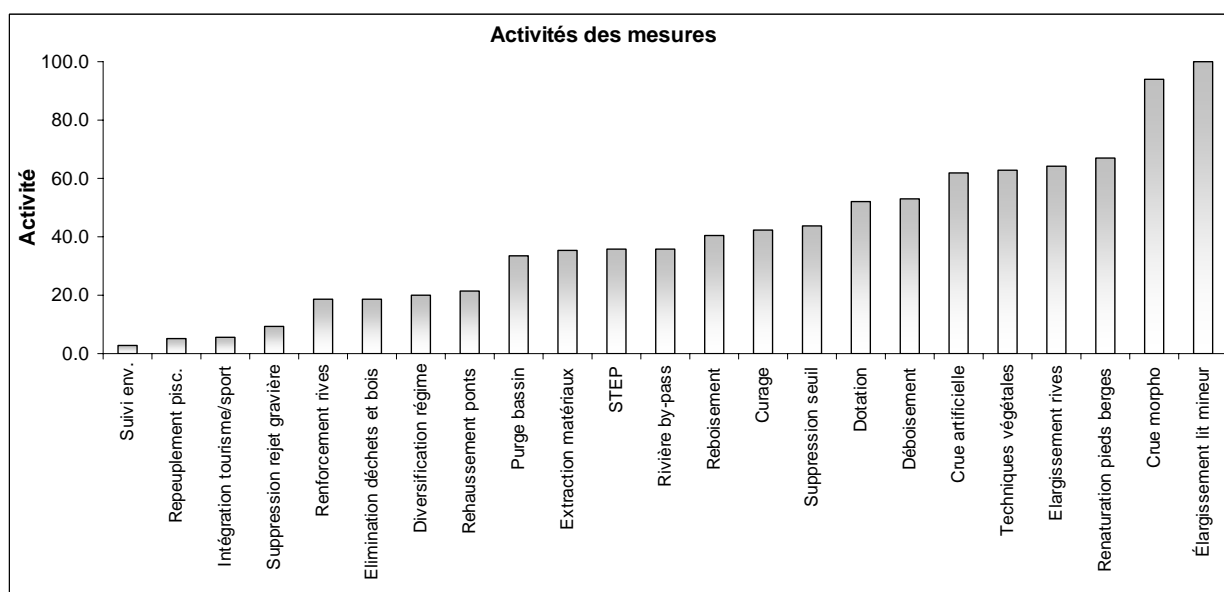


Figure 15 : Résultat tertiaire agrégé des mesures par ordre croissant d'importance

6.4. Résultats désagrégés des mesures (impact)

Les résultats désagrégés permettent de distinguer, pour chaque mesure, les effets positifs des effets négatifs. Le classement s'effectue ensuite selon le degré d'impact des mesures. L'impact est défini comme le taux d'activité positive auquel on soustrait le taux d'activité négative. Ces résultats tiennent compte du rayon d'action. Ces résultats doivent être vus comme un complément aux résultats agrégés. La pondération entre les trois dimensions est uniforme (33% pour chaque).

6.4.1. Résultat désagrégé pondéré des mesures (Figure 16)

Les lâchers d'eau, **curage** et **crue morphogène**, conjointement à l'augmentation de l'emprise globale de la rivière, **élargissement du lit mineur** et **élargissement des rives**, sont donnés comme mesure prioritaire. Ce résultat souligne l'importance de ces mesures pour les aspects sécuritaire et écologique. La **renaturation des pieds de berges** est une mesure essentiellement écologique qui tire profit des élargissements. La **STEP** présente un impact bénéfique tant pour les aspects écologiques (qualité de l'eau) que pour les aspects socio-économiques (qualité de la rivière comme élément touristique). La **dotation** est une mesure apparemment de seconde importance. Cette relative faiblesse lui vient de son rayon d'action fixé à 25% du tronçon étudié. Le calcul d'impact souligne d'abord les mesures qui ont un effet sur l'ensemble du tronçon. La **purge du bassin** amont apparaît très négative. Elle est modélisée seulement comme une conséquence sur la rivière. La retenue, pour laquelle elle est nécessaire, reste en dehors de l'espace de modélisation. La différence entre la **rivière de contournement** et la **suppression de seuil** n'est pas très importante. Les deux mesures permettent de restaurer la continuité longitudinale de la rivière. L'écologie donne une légère préférence à la suppression du seuil mais les aspects touristiques préfèrent la diversité offerte par une rivière de contournement. La suppression du seuil est préférée principalement pour des raisons de coûts. En conséquence, si l'exploitation d'un tel seuil peut supporter le coût de la rivière de contournement, alors la différence entre ces mesures peut s'annuler. Le **suivi environnemental** est également négatif. Ce résultat vient de sa modélisation financière uniquement (mesure non directement opérationnelle sur le processus écologique).

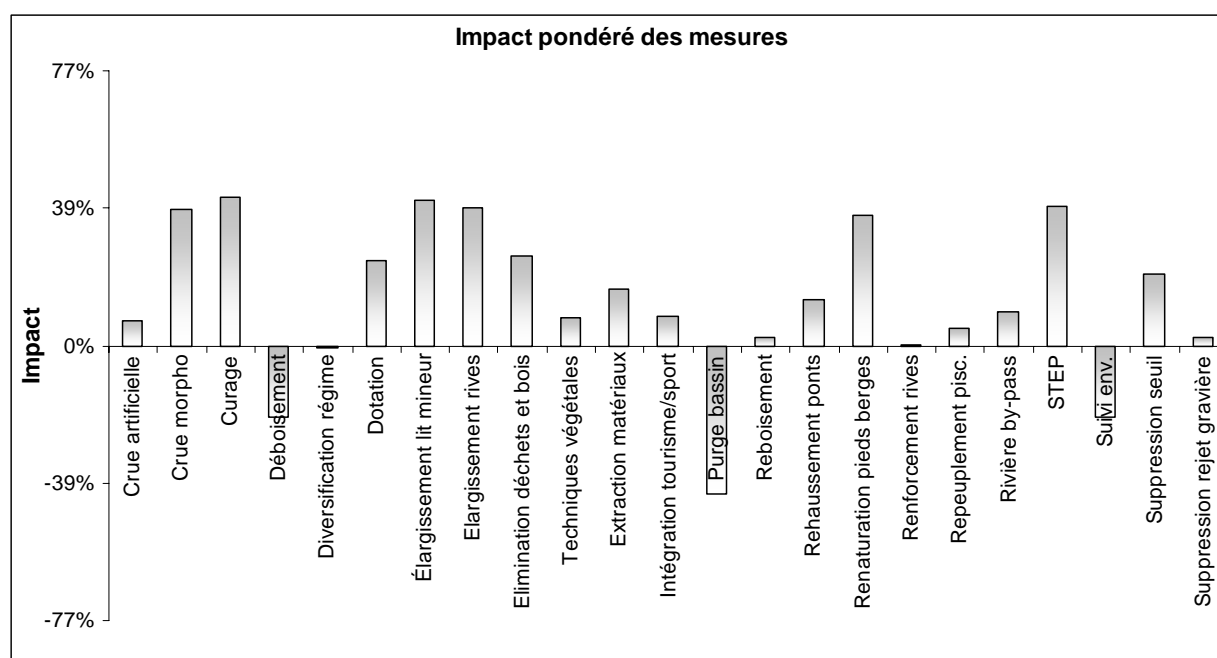


Figure 16 : Résultat désagrégé pondéré des mesures (Mesures 2)

6.4.2. Résultat désagrégé pondéré des mesures selon les facteurs réactifs (Figure 17)

Le calcul des mesures en considérant uniquement les facteurs les plus réactifs donne des impacts relatifs plus élevés mais les résultats restent similaires. Les lâchers d'eau avec le **curage** et la **crue morphogène** arrivent toujours en première position. L'**élargissement des rives** prend le dessus sur l'**élargissement du lit mineur** et la **renaturation des pieds des berges** garde la même importance. Relativement la **STEP** a gagné de la force. A cause du tourisme qui est un facteur très réactif, l'**intégration tourisme et sport** prend beaucoup d'influence mais reste une mesure de seconde importance. La **dotation** prend également beaucoup d'importance à cause des facteurs piscicoles très réactifs. Il est possible que les élargissements rendent inutiles les **renforcements des rives** (diminution du débit spécifique). Il est également probable, en cas d'élargissement, que la synergie entre les **renforcements**, la **renaturation** et l'emploi de **techniques végétales** permette de réduire les coûts spécifiques de chacun. La **diversification du régime hydraulique** obtient une valeur nul (impact positif équivalent à l'impact négatif). L'élargissement est une mesure plus efficace pour diversifier naturellement, par tressage de la rivière, le régime hydraulique plutôt que de le faire de manière artificielle par des mesures constructives.

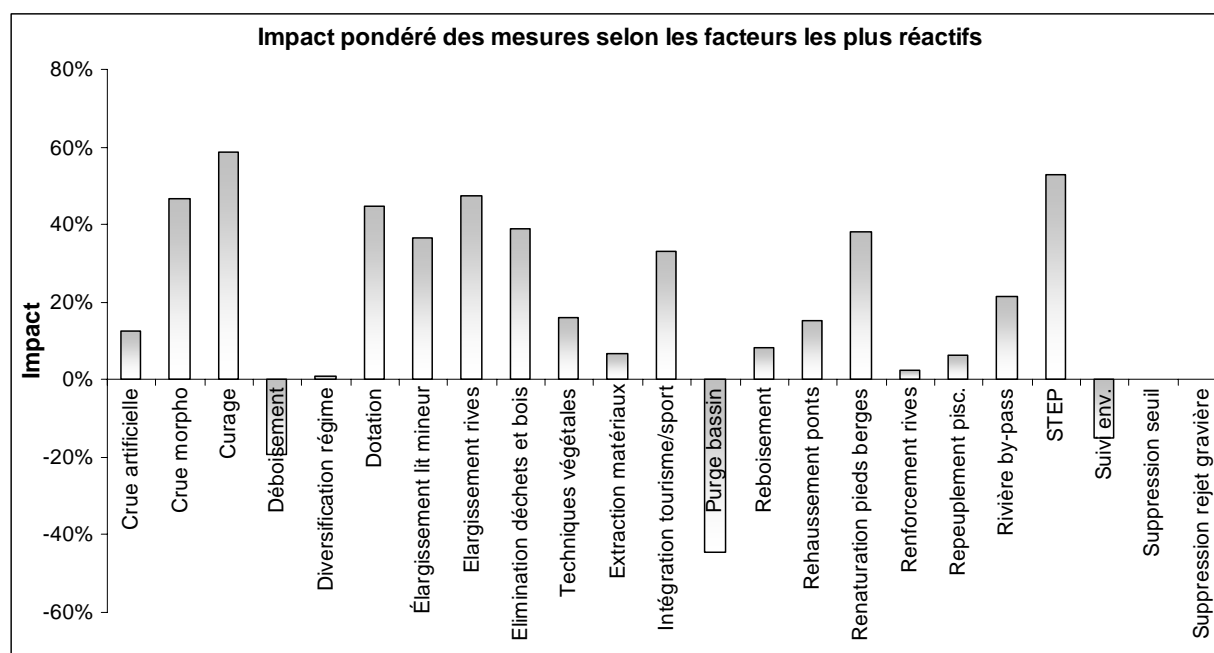


Figure 17 : Résultat désagrégé pondéré des mesures selon les facteurs les plus réactifs

6.5. Conclusion de l'application à la Dranse de Bagnes

A ce niveau de détail et pour l'ensemble de la rivière, deux groupes de mesures apparaissent prioritaires. Il s'agit tout d'abord de la restauration d'un régime de crue plus proche d'un régime naturel. Ce régime peut être restauré par des lâchers d'eau d'intensités et de durées différentes. Ces lâchers peuvent également être faits judicieusement de manière à minimiser les impacts négatifs pour la production d'énergie.

Le second groupe de mesures concerne la place donnée au réseau hydrographique. La restitution à la rivière d'une certaine largeur pour son profil hydraulique ainsi que pour son corridor terrestre permet de diversifier efficacement son régime hydraulique, d'enrichir son écotone et de développer une vie aquatique plus importante. L'emploi de techniques végétales, la renaturation des pieds de berge ainsi que le renforcement des rives doivent être considérés conjointement à ce groupe.

Ces deux groupes de mesures ont un impact fortement positif pour la sécurité vis-à-vis des crues.

L'intégration touristique et sportive est une mesure additionnelle, de dimension uniquement socio-économique. Elle permet de tirer profit de l'ensemble des mesures écologiques pour les exposer aux amateurs de nature revitalisée.

Le débit de dotation n'est pas une mesure globale ou semi-globale selon la configuration du réseau hydrographique (rayon d'action de la dotation posé à 25% du tronçon étudié dans cet exemple). En conséquence il a un effet écologique et social limité (aspect positif de cette mesure). Indépendamment de son rayon d'action, le débit de dotation présente un fort impact négatif pour les aspects économiques. Il semble a priori difficile d'imposer une telle mesure sans autre justification. Il apparaît ainsi plus raisonnable de favoriser des mesures ou groupe de mesures qui visent une amélioration au sens des six modules de l'analyse écomorphologique du cours d'eau tout en minimisant les pertes de production hydroélectrique des sociétés concernées.

7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La compréhension du fonctionnement d'un système complexe défaillant est nécessaire à l'élaboration de solutions adéquates. Par le biais d'un réseau qualitatif, la méthode développée permet de **comprendre le fonctionnement** du système, de **souligner les paramètres essentiels** et de **classer les mesures proposées** par ordre d'importance.

L'outil propose trois classements des mesures.

Le **premier classement** (feuille Mesures 1) se base sur l'activité des mesures. L'activité représente le taux d'influence sur le système. Les mesures peuvent apparaître selon leur ordre de numérotation ou selon leur ordre croissant.

Le **second classement** (feuille Mesures 2) se base sur l'impact des mesures. L'impact représente la différence entre le taux d'activité positive et le taux d'activité négative. La feuille « Mesures 2 » propose cinq graphes distincts. Ils représentent l'impact distinct des mesures selon les trois thèmes abordés (Sécurité, socio-économie et écologie), l'impact des mesures sur les trois thèmes considérés en commun (impact normé) ainsi que la somme pondérée des impacts distincts (impact pondéré). Ce dernier classement, pour les mesures proposées, est ensuite divisé sur plusieurs feuilles selon

le type	dotation
	exploitation
	construction
	autres
	curage / vidange
	tiers
le rayon d'action	100 %
	75 %
	50 %
	25 %.

Le **troisième classement** (feuille Réactives pondérées) est identique au second. Il se base toutefois non pas sur l'ensemble des facteurs mais uniquement sur les facteurs réactifs du système. Ceux-ci sont mis en évidence par une opération similaire au premier classement.

Les résultats sur la Dranse de Bagnes montrent des classements similaires. Cette redondance souligne la **stabilité de la méthode proposée**. Toutefois il faut remarquer que cette méthode ne fait que rendre explicite des résultats implicitement contenus dans les réseaux d'influence. A l'instar de tous les modèles, les résultats ne peuvent pas montrer ce qui n'a pas été fourni comme donnée au système. Ainsi la plus grande **attention** est requise pour l'élaboration des réseaux.

La qualité des résultats dépend en grande partie de la cohérence des réseaux. Ceux-ci doivent avoir, dans les trois dimensions explorées, le même degré de détail. Il demeure en l'état que la dimension écologique est plus exploitée. Cela correspond au souci actuel de donner un poids plus important à ces aspects. Le degré de détail est une question d'échelle. C'est pourquoi pour un réseau qui se situe à un niveau d'ensemble, les mesures locales ont peu de sens. Seul le développement d'un réseau de détail permet la considération des mesures purement locales. Il pourrait ainsi être proposé, comme développement futur, de définir, pour chaque

dimension, un **réseau de détail**. Les trois réseaux d'ensemble s'appliqueraient à toute la rivière et les trois réseaux de détail à des parties seulement. Les résultats finaux seraient la combinaison des résultats de détail du tronçon considéré aux résultats d'ensemble de la rivière étudiée. Il n'est cependant pas certain que ce niveau de résolution soit pertinent pour l'assainissement en général des cours d'eau valaisans.

Enfin les mesures sont perçues par le système comme des actions totalement indépendantes. La prise en compte des **synergies des mesures** entre elles rajoute un degré de complexité qui n'est pas considéré. Cette prise en compte pourrait également faire l'objet d'un développement futur.

8. BIBLIOGRAPHIE

BD-Eaux. 2003. " *Diagnostic environnement des cours d'eau* ", Service des Forces Hydrauliques, Canton du Valais, Sion

CEVAP. 2005. " *Rapport d'Assainissement, Drance de Bagnes* ", Mandat Assainissement et Purges, Rapport provisoire, Service des Forces Hydrauliques du Valais, Canton du Valais, Sion

Gomez, P. und Probst, G. 1995. "Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens", Paul Haupt Verlag, Berne, Switzerland.

Heller, P., Pellaud, M., Civier, H. et de Pourtalès, T. 2005. " *Synergies possibles pour des aménagements à buts multiple* ", 1^{er} rapport annuel 2004, volet B, projet CTI, Laboratoire de Constructions Hydraulique, EPFL, Lausanne.

Heller, P. 2005. " *Analyse et objectifs de gestion d'un aménagement hydraulique fluvial à buts multiples* ", Conférence de Martigny sur la recherche appliquée en relation avec la troisième correction du Rhône, Communication N°21, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, EPFL, 9 juin, Lausanne.

Schleiss, A. 2001. "Conception intégrée et impact des aménagements, Solutions et mesures techniques pour réduire les effets nuisibles ", Cycle d'études postgrades en aménagements hydrauliques, module 2, sous-module 2.2, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, EPFL, Lausanne.

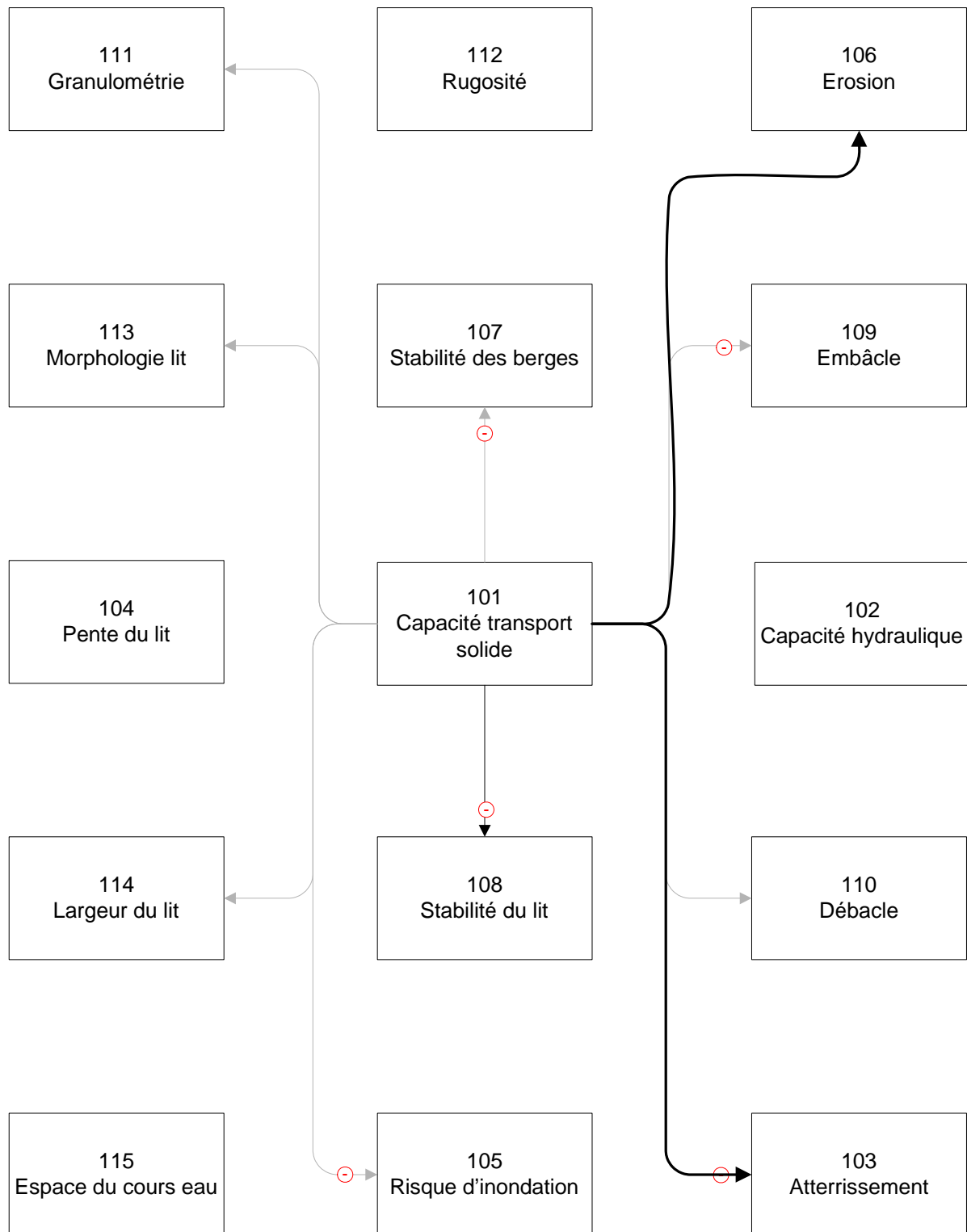
9. LOGICIEL PACEVS

Le logiciel PACEVs, développé par le Laboratoire de Constructions Hydrauliques de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, est propriété économique du Canton du Valais. Toutefois, à des fins d'utilisation non commerciale, ce logiciel peut être téléchargé sur le site internet du LCH à l'adresse :

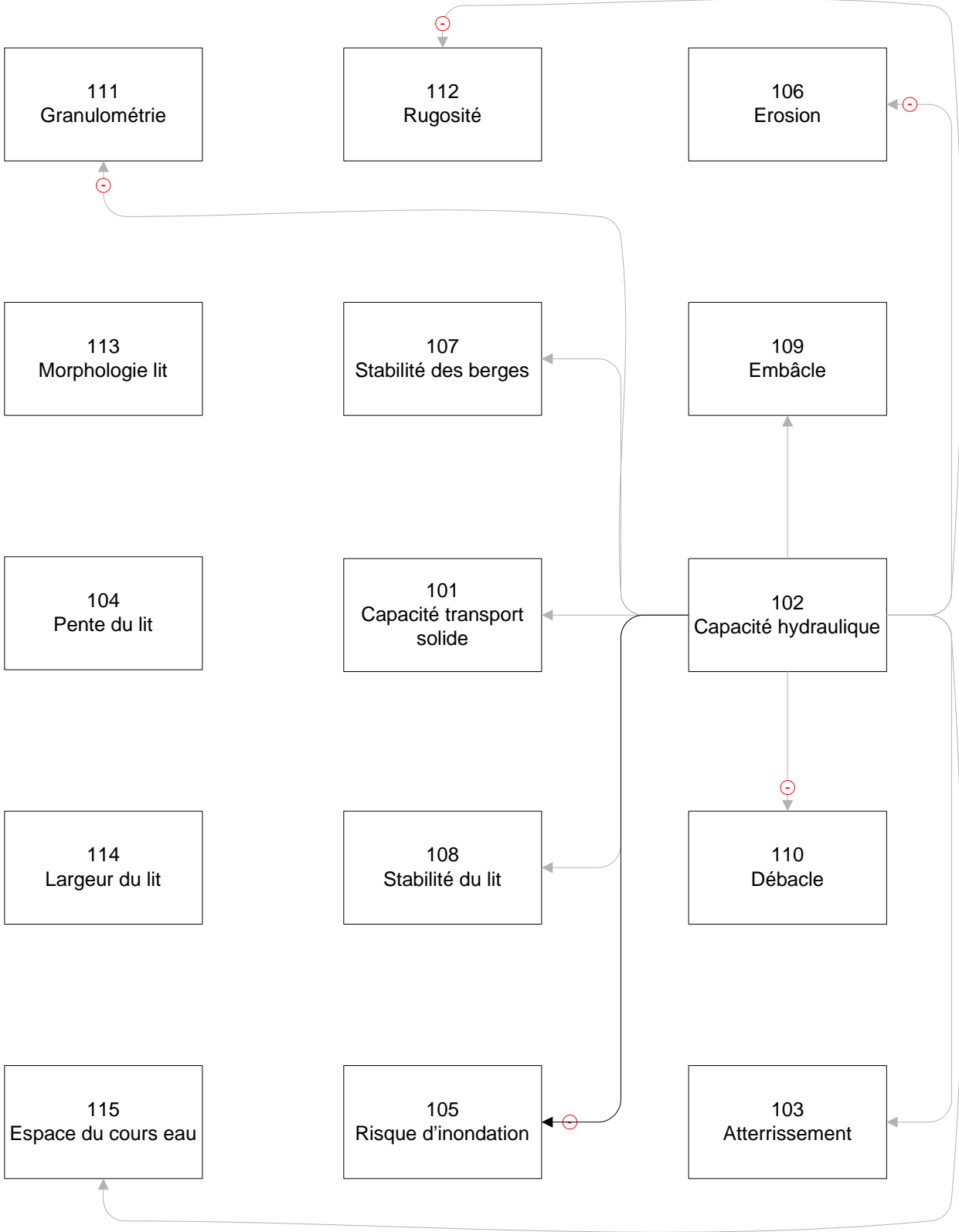
<http://lchwww.epfl.ch/> sous la rubrique Services/Logiciels/

10. ANNEXES

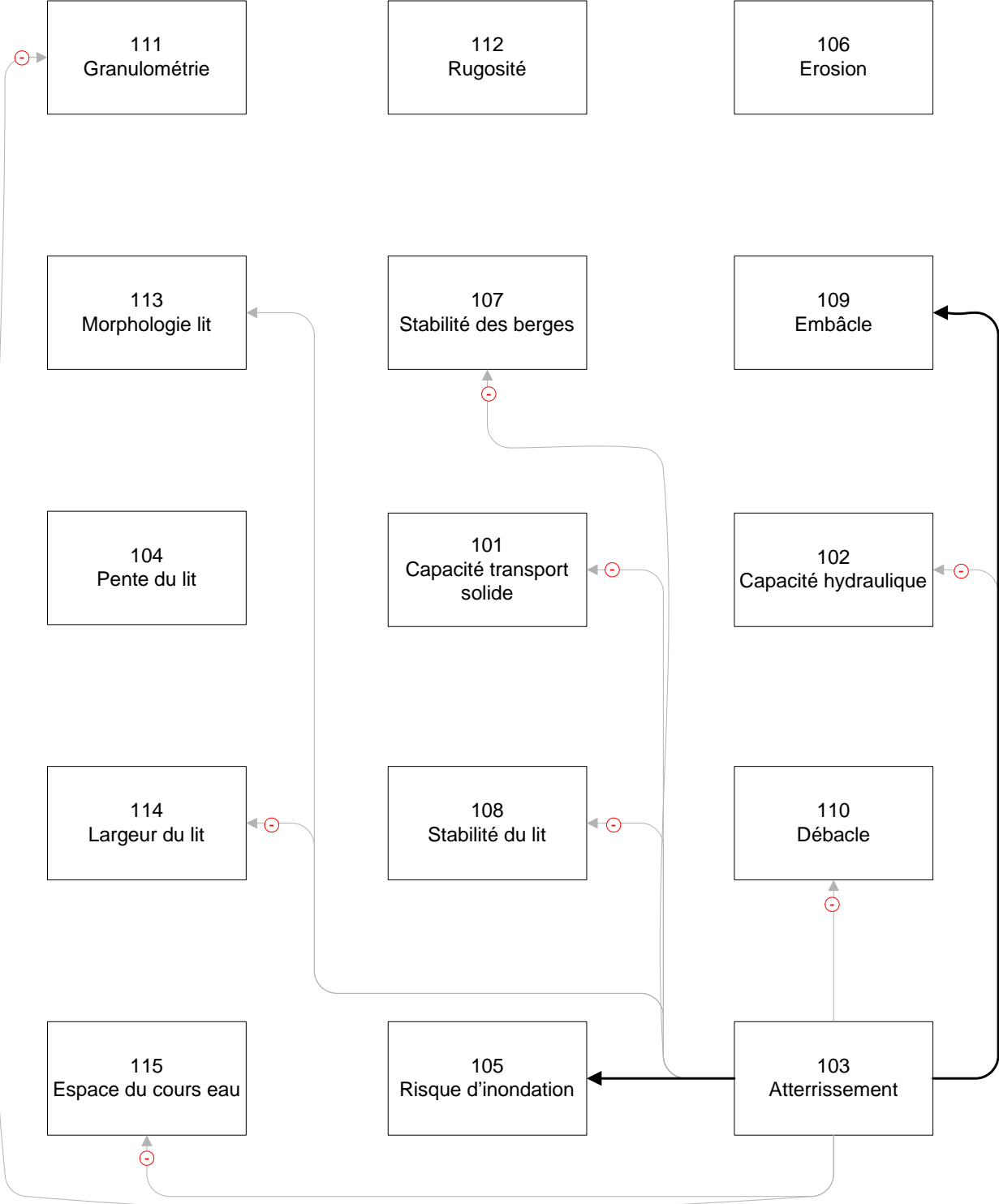
10.1. Réseau sécuritaire : facteur 101



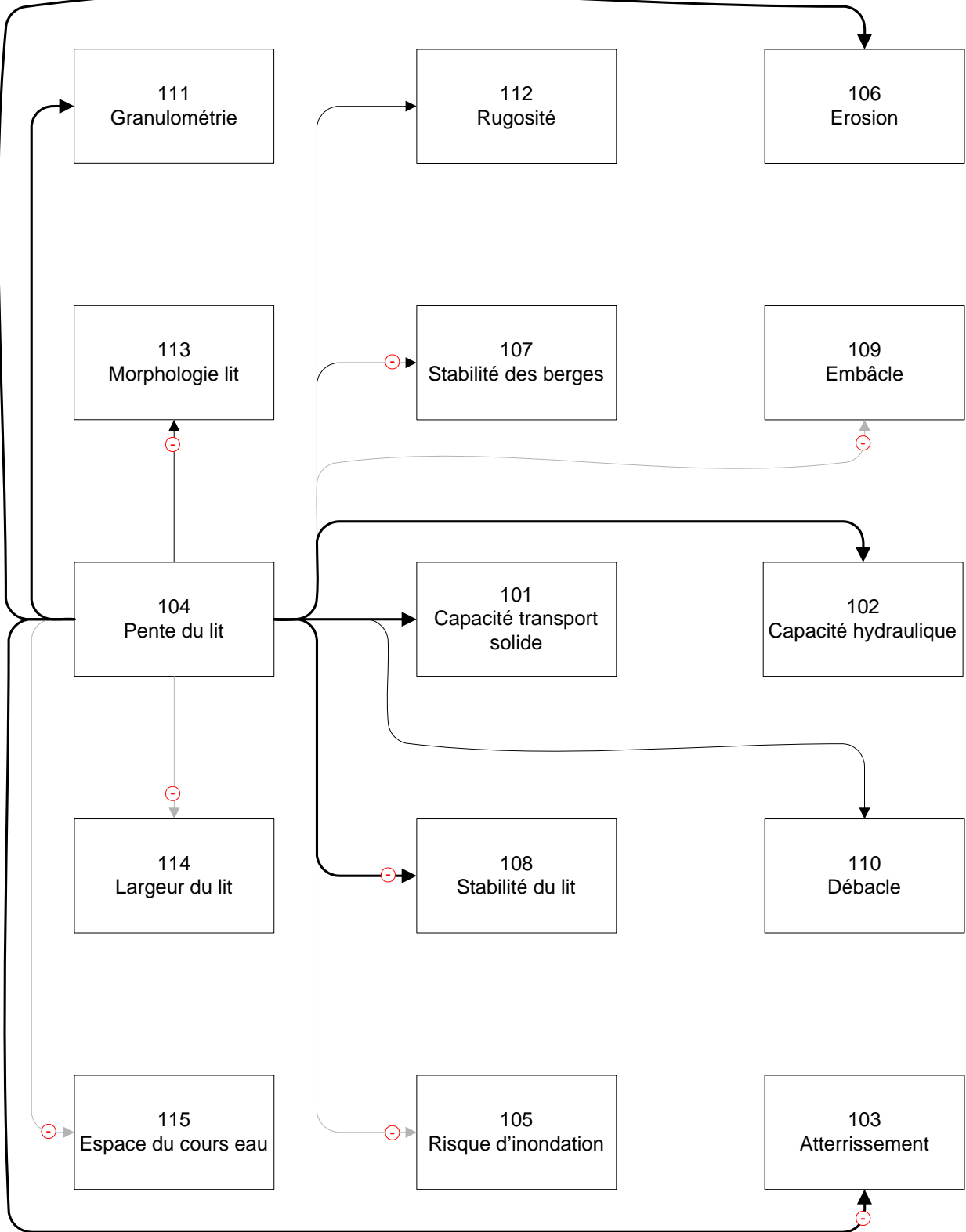
10.2. Réseau sécuritaire : facteur 102



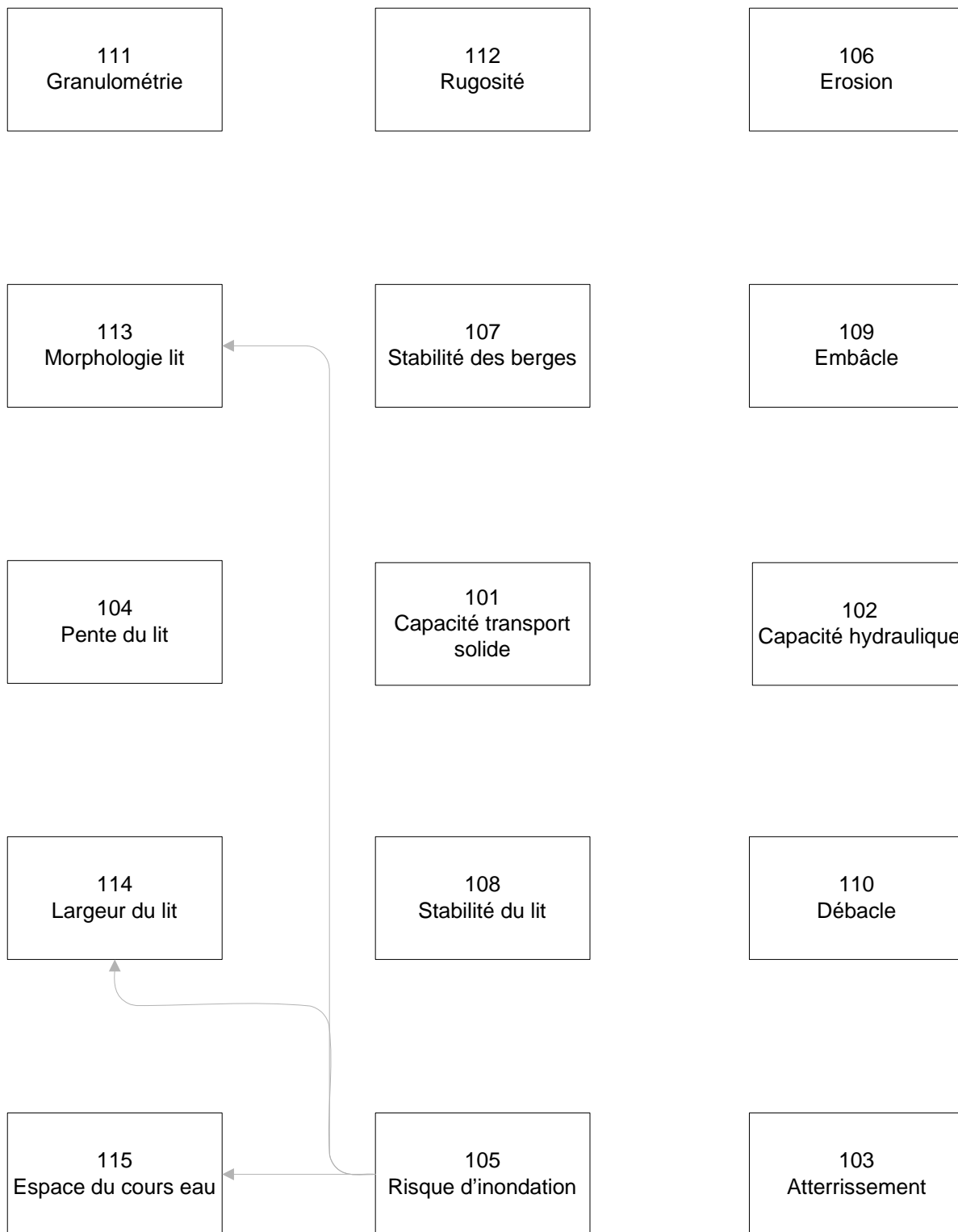
10.3. Réseau sécuritaire : facteur 103



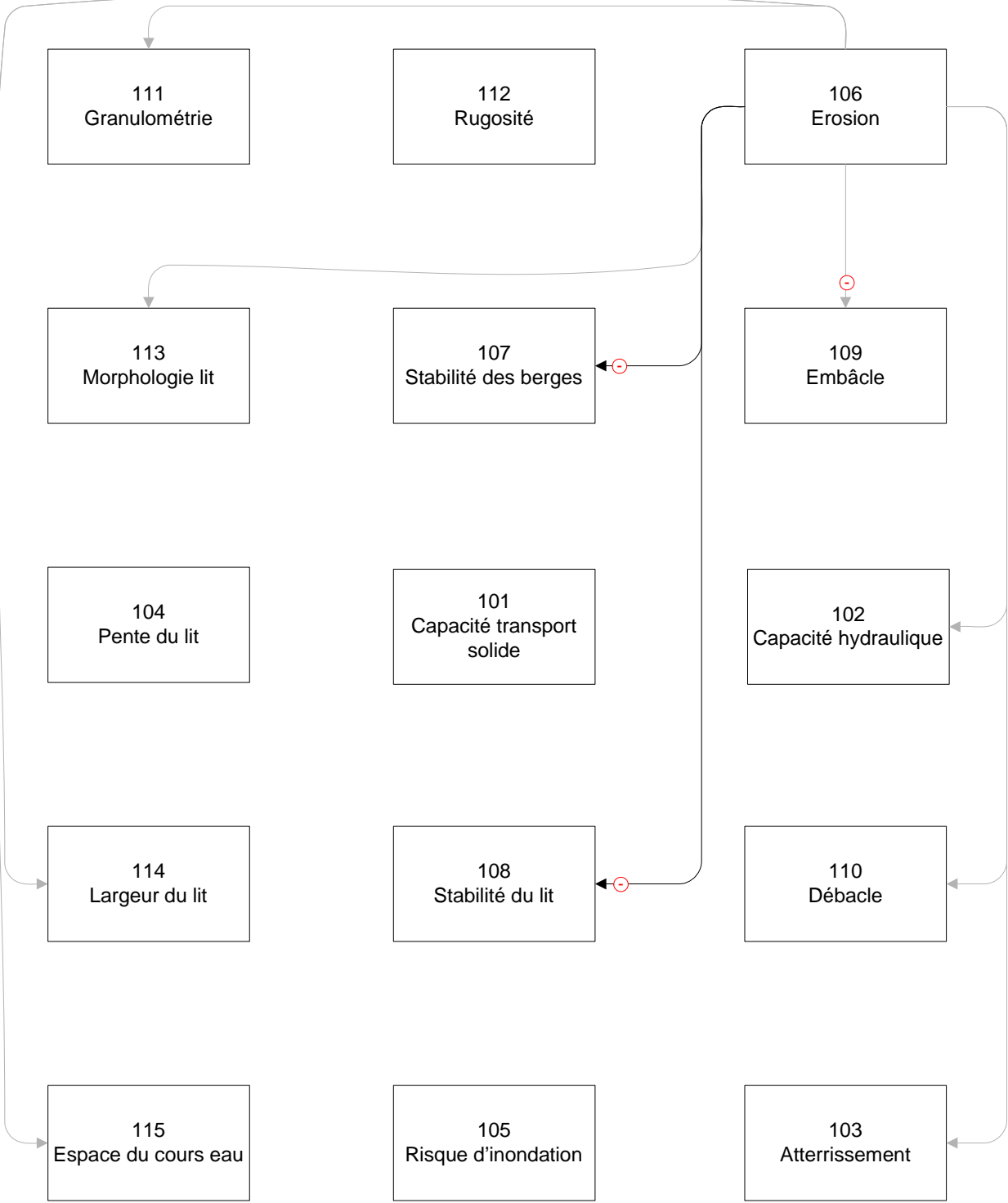
10.4. Réseau sécuritaire : facteur 104



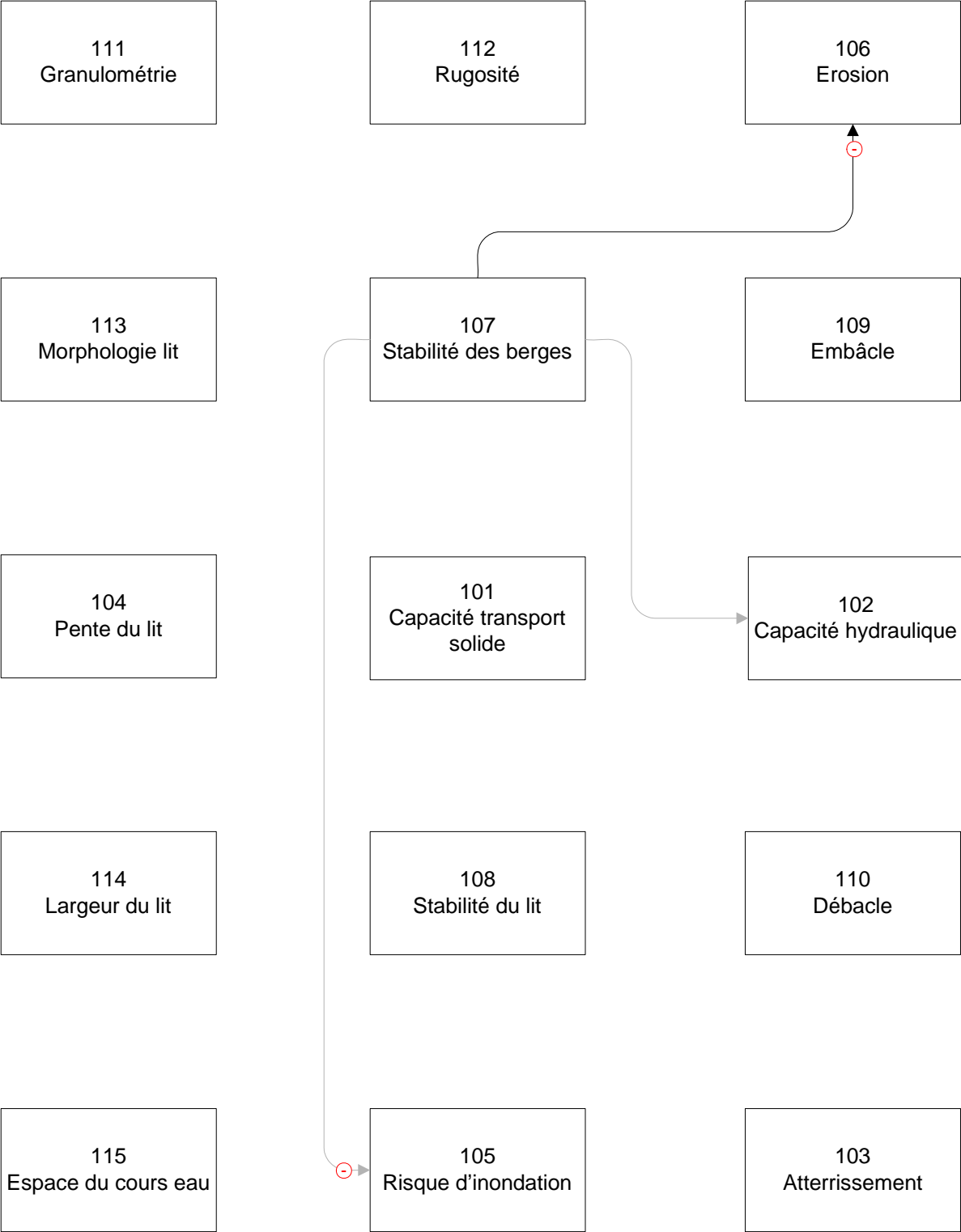
10.5. Réseau sécuritaire : facteur 105



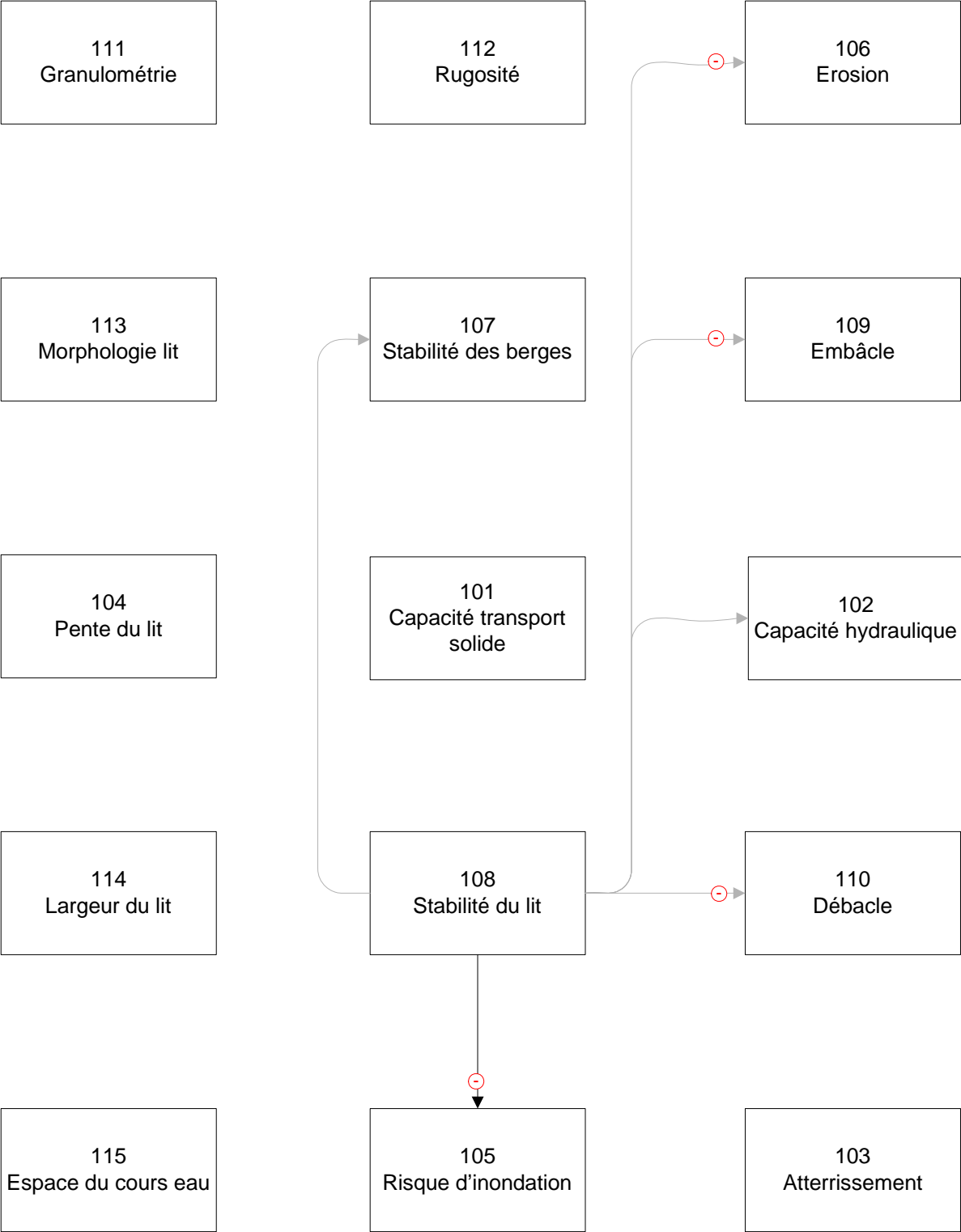
10.6. Réseau sécuritaire : facteur 106



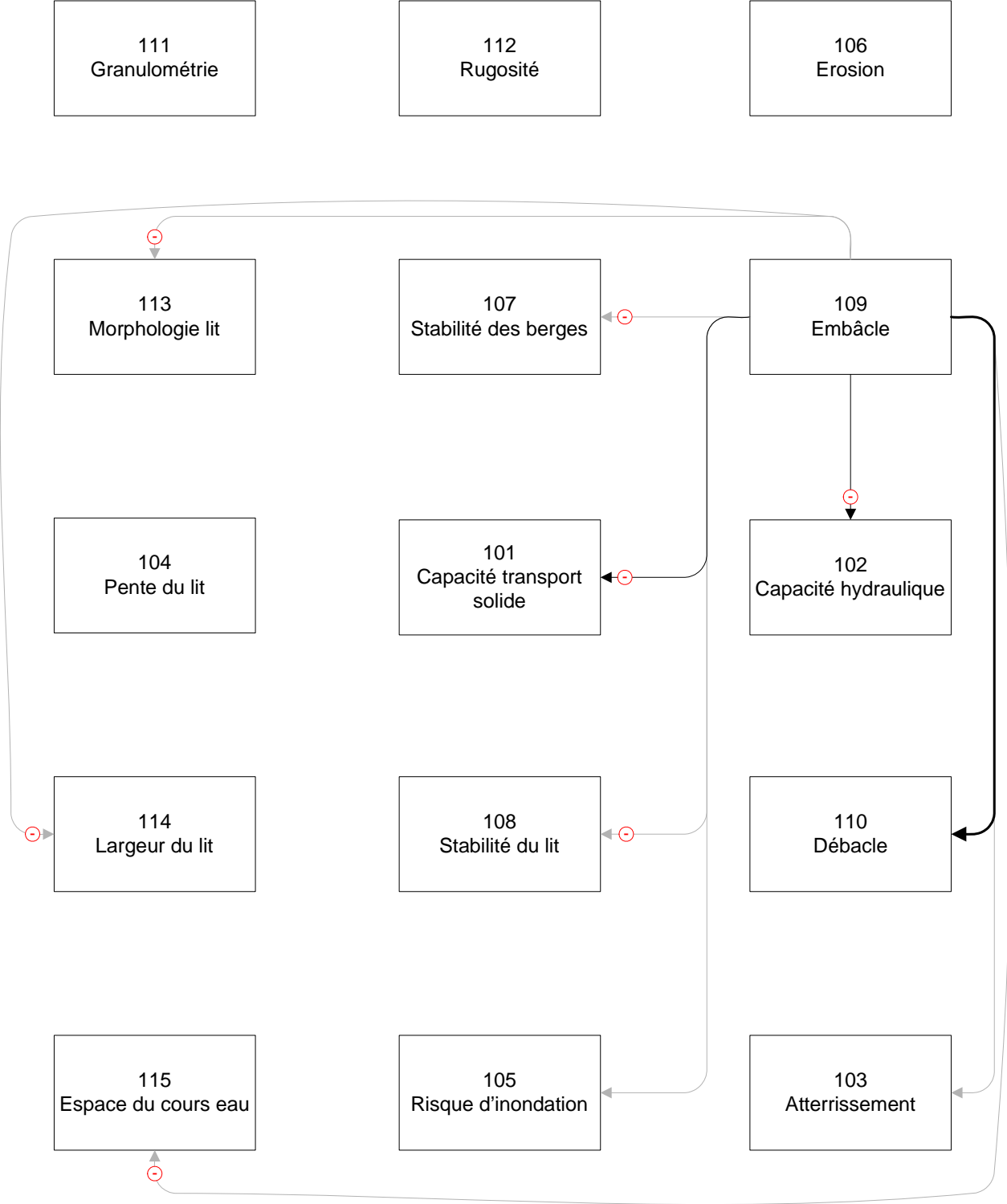
10.7. Réseau sécuritaire : facteur 107



10.8. Réseau sécuritaire : facteur 108



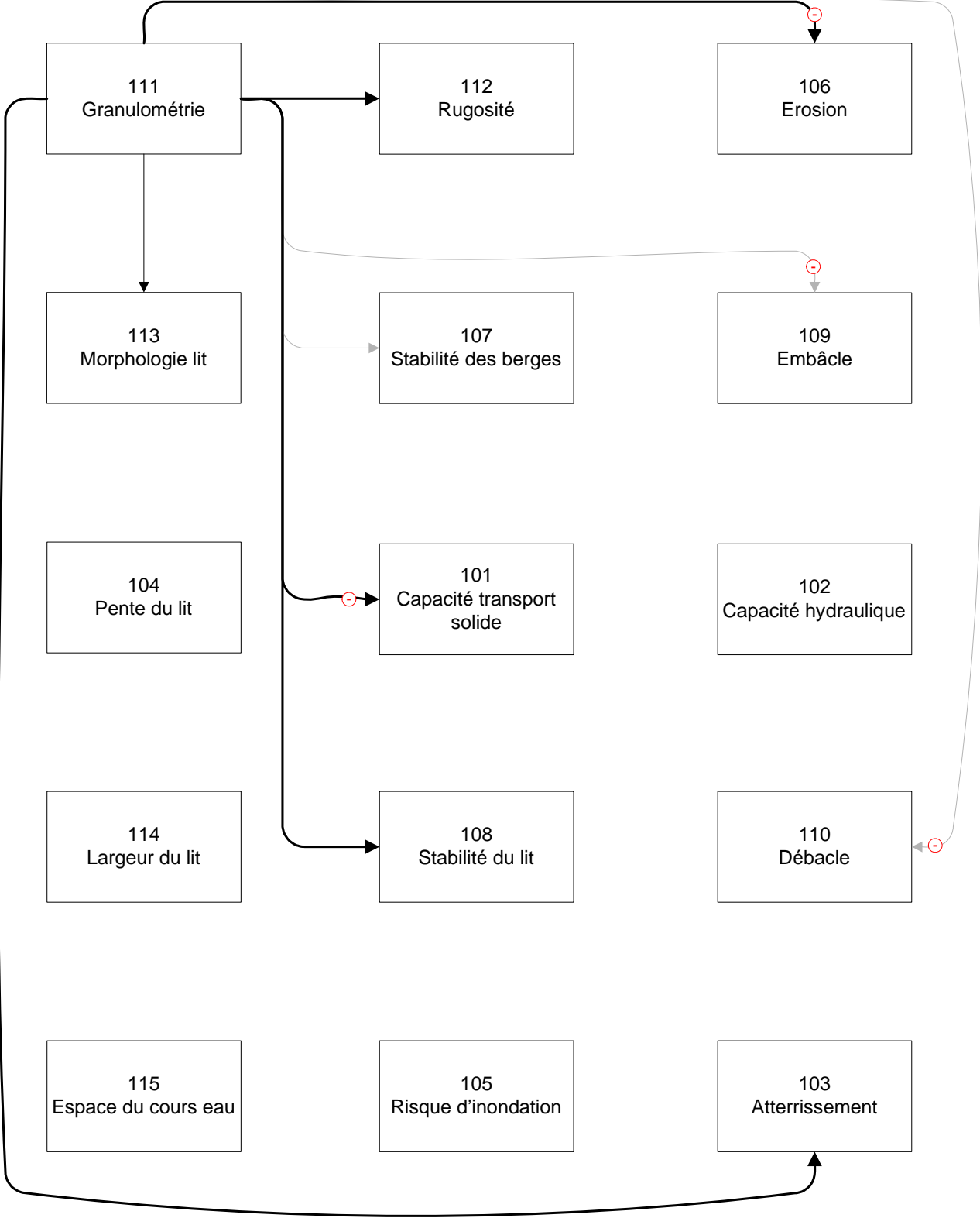
10.9. Réseau sécuritaire : facteur 109



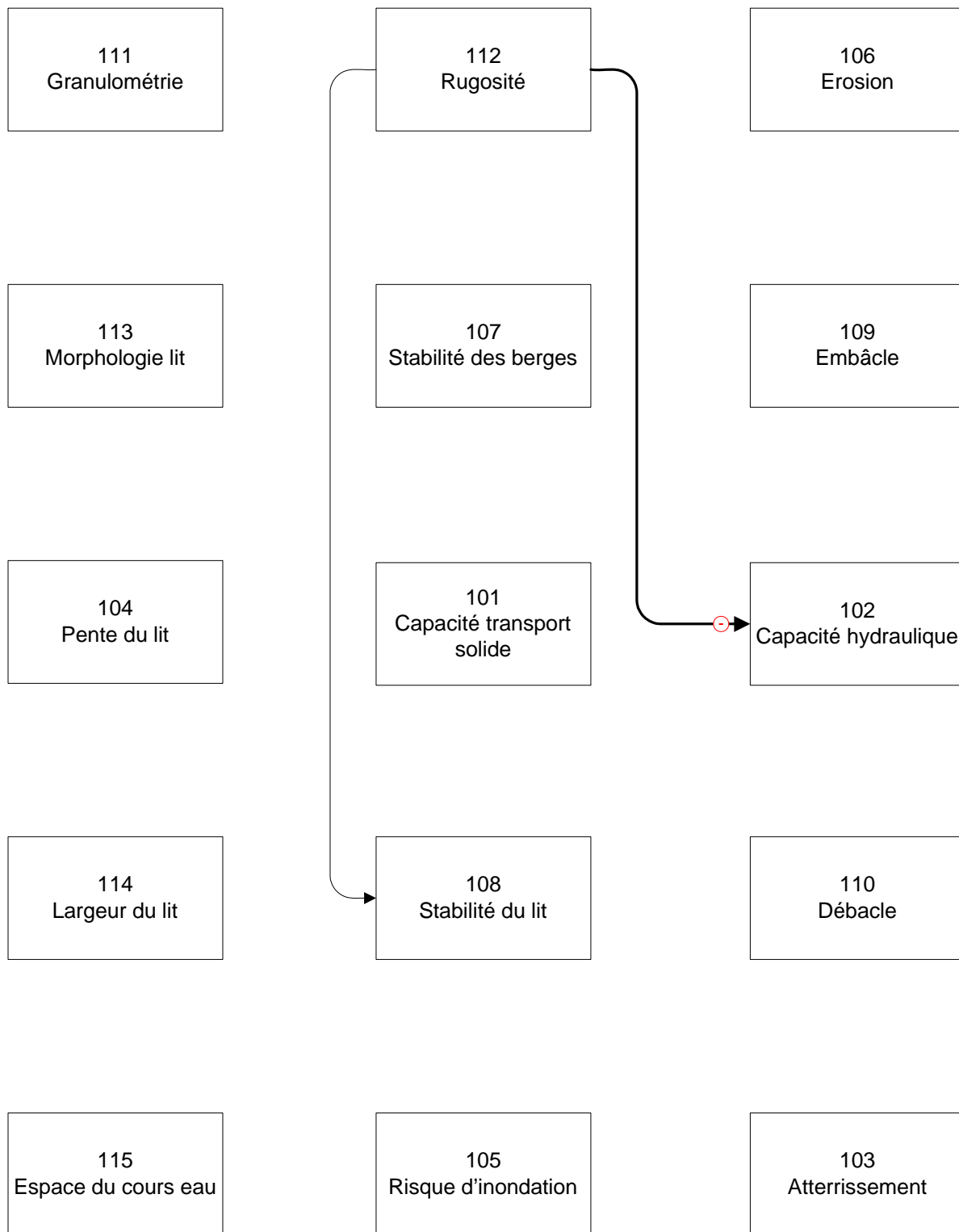
10.10. Réseau sécuritaire : facteur 110



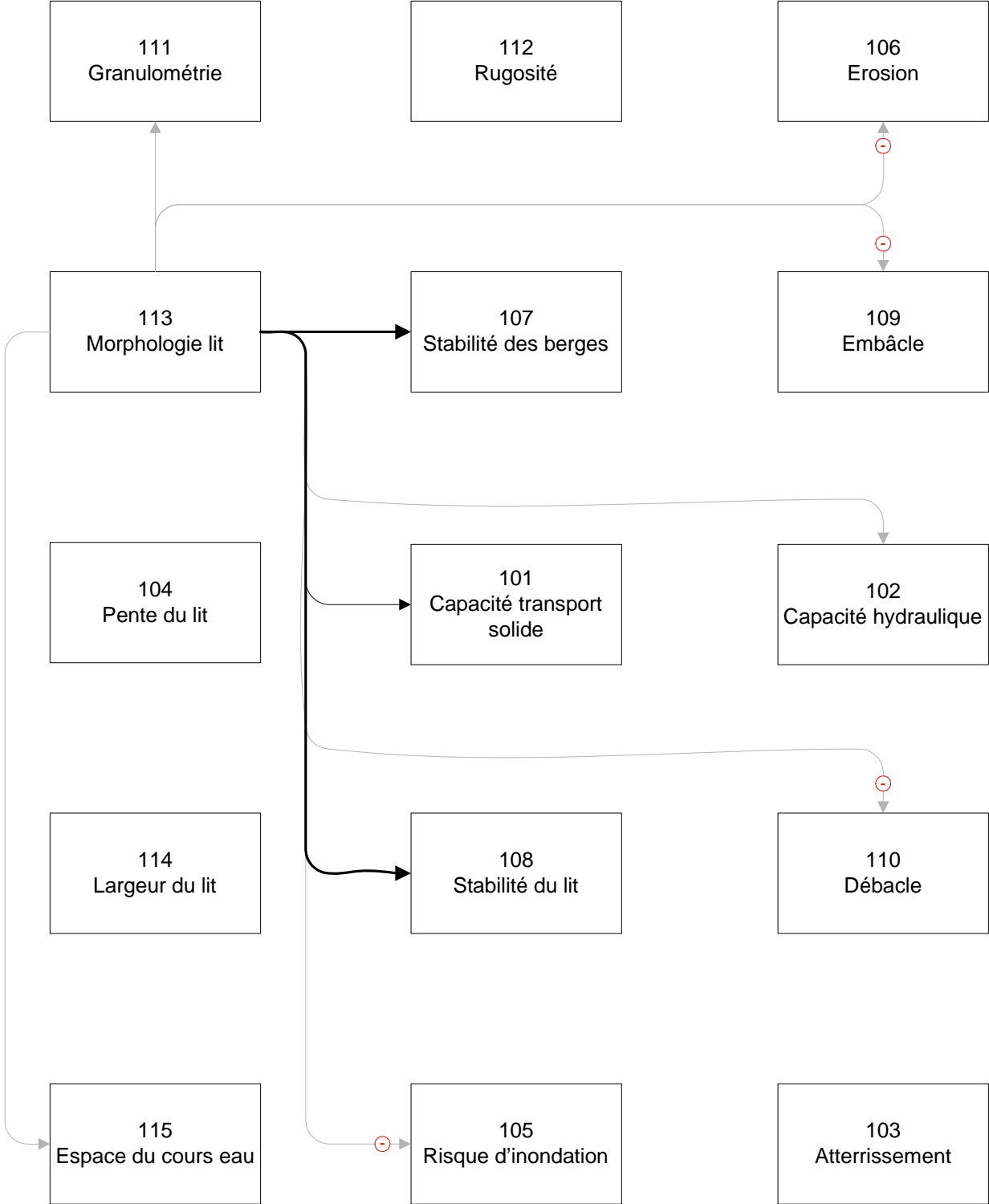
10.11. Réseau sécuritaire : facteur 111



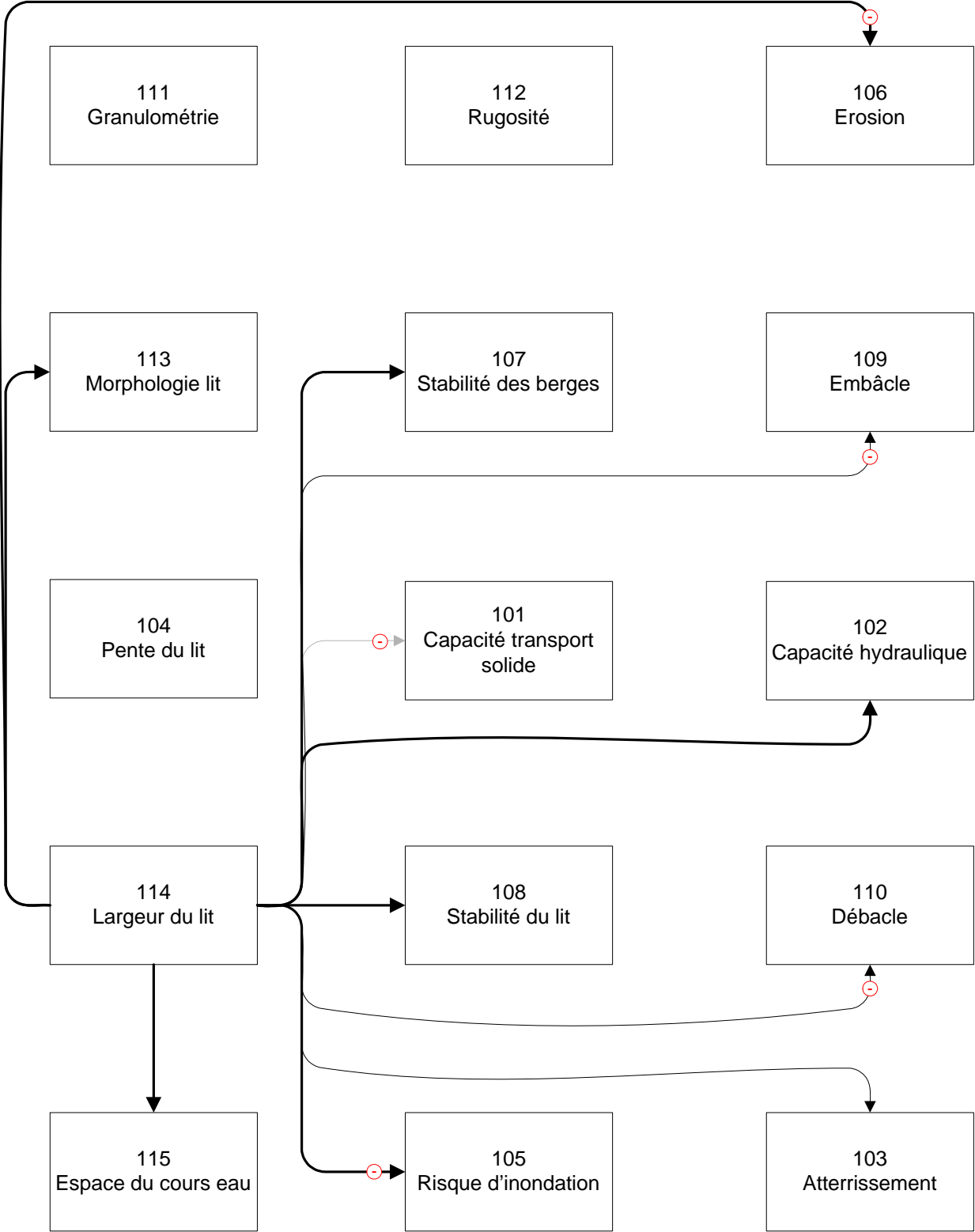
10.12. Réseau sécuritaire : facteur 112



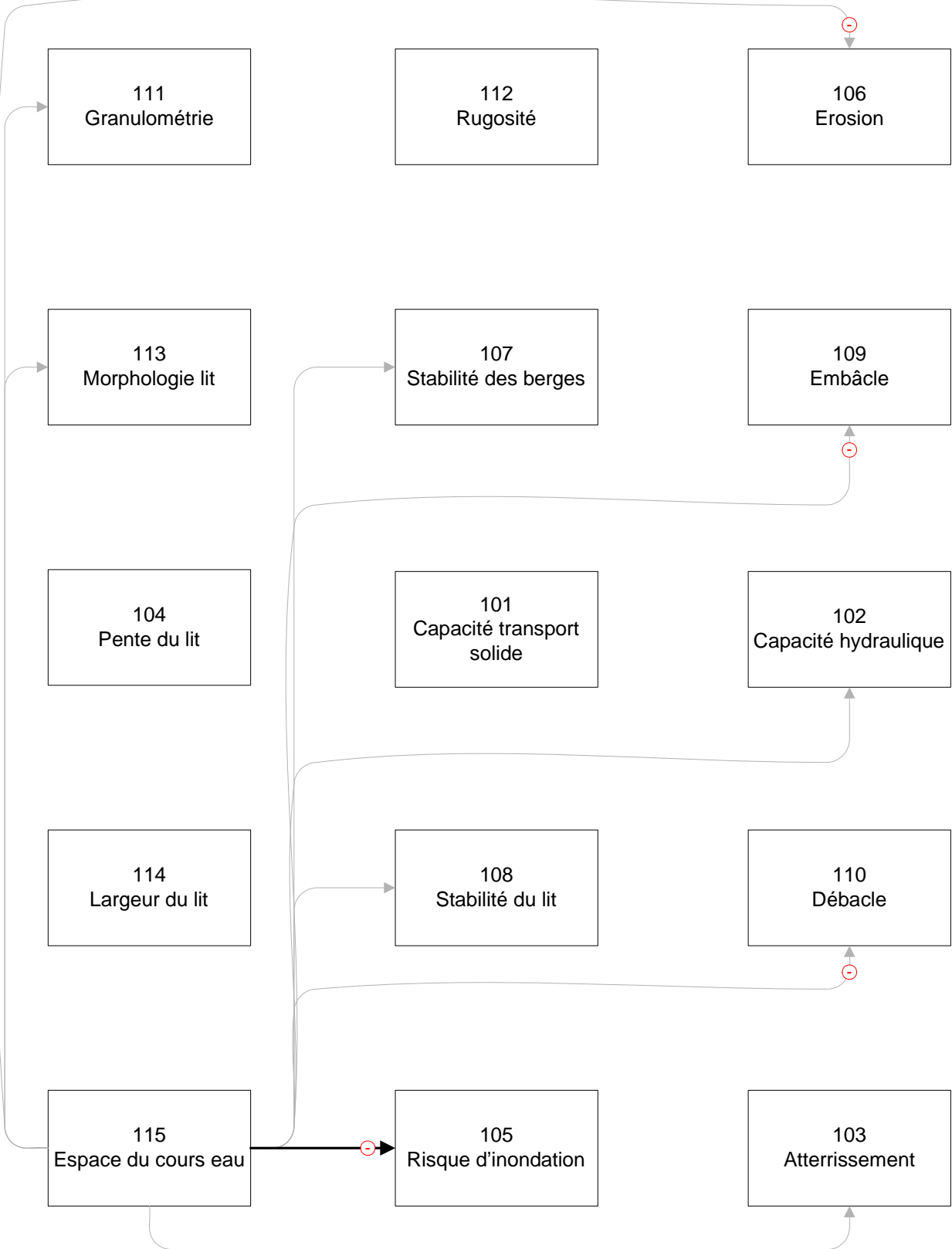
10.13. Réseau sécuritaire : facteur 113



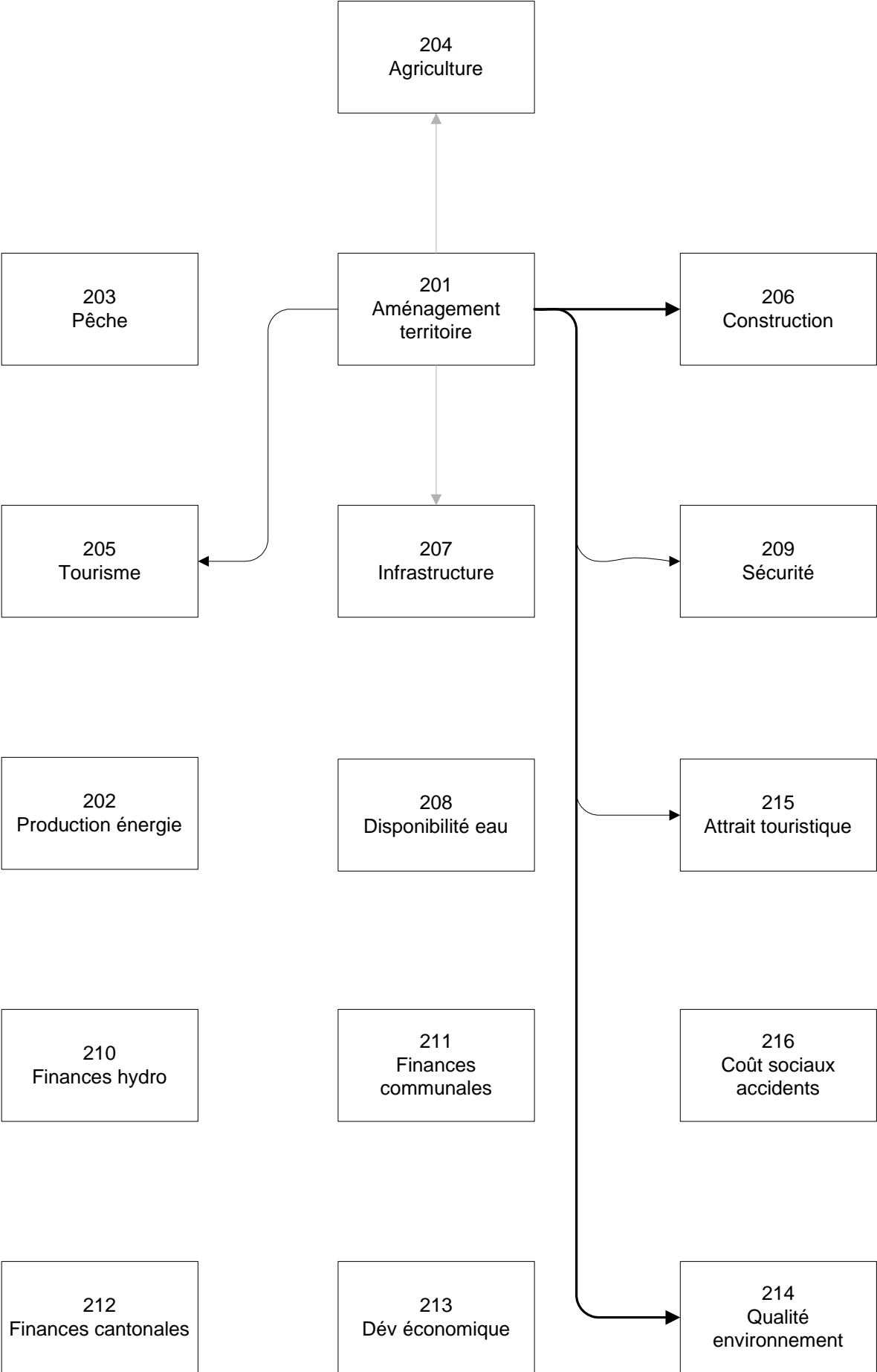
10.14. Réseau sécuritaire : facteur 114



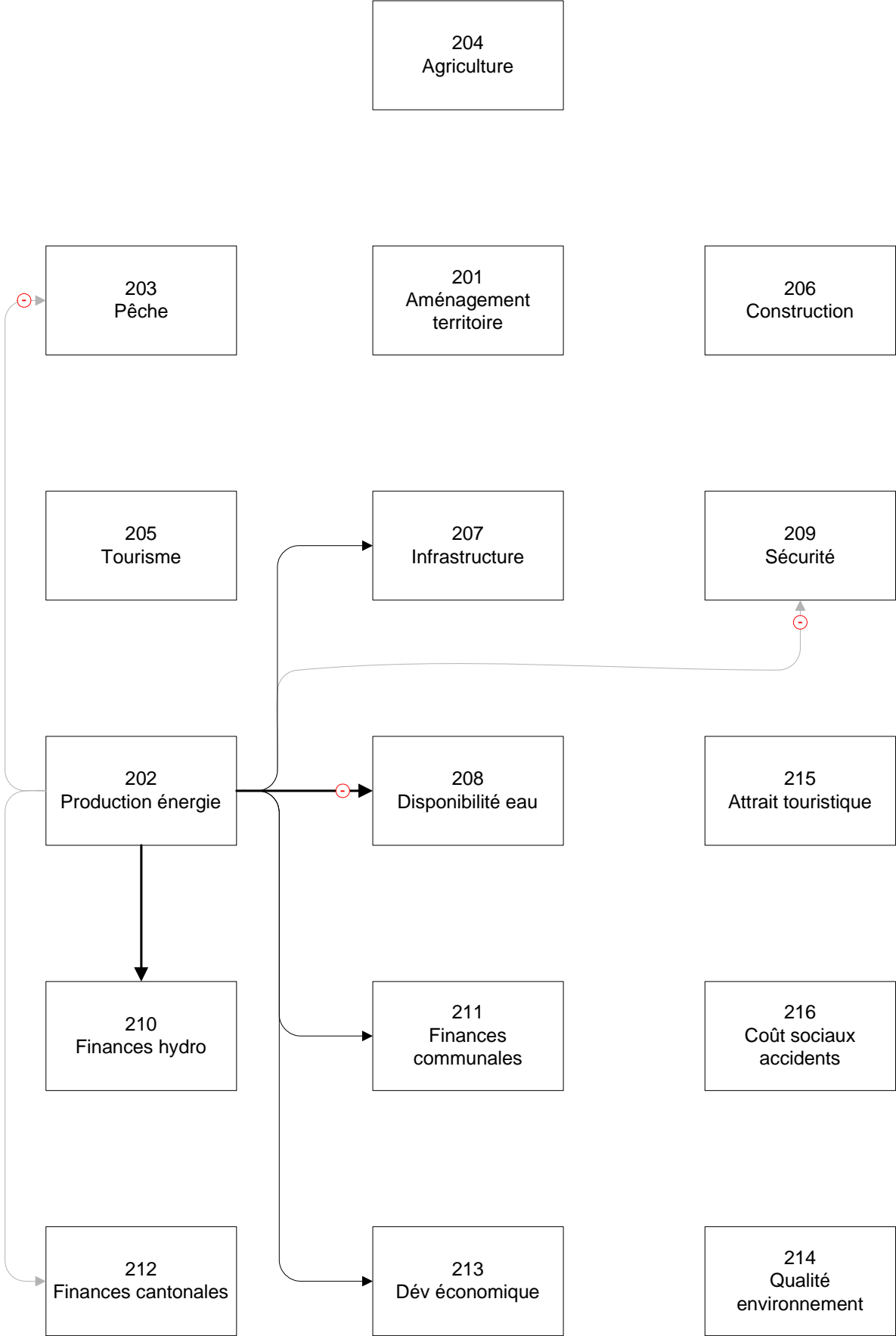
10.15. Réseau sécuritaire : facteur 115



10.16. Réseau socio-économique : facteur 201



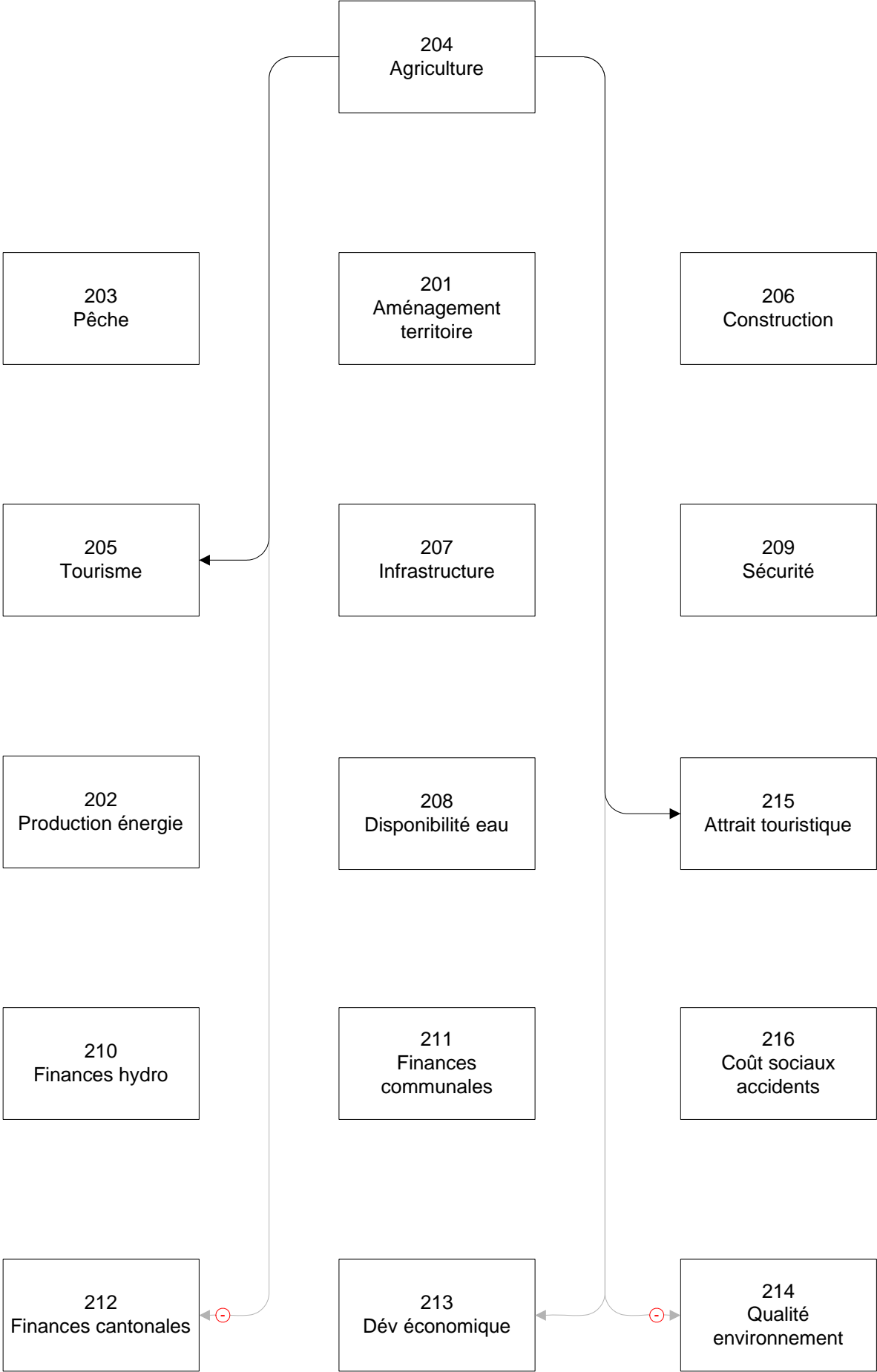
10.17. Réseau socio-économique : facteur 202



10.18. Réseau socio-économique : facteur 203



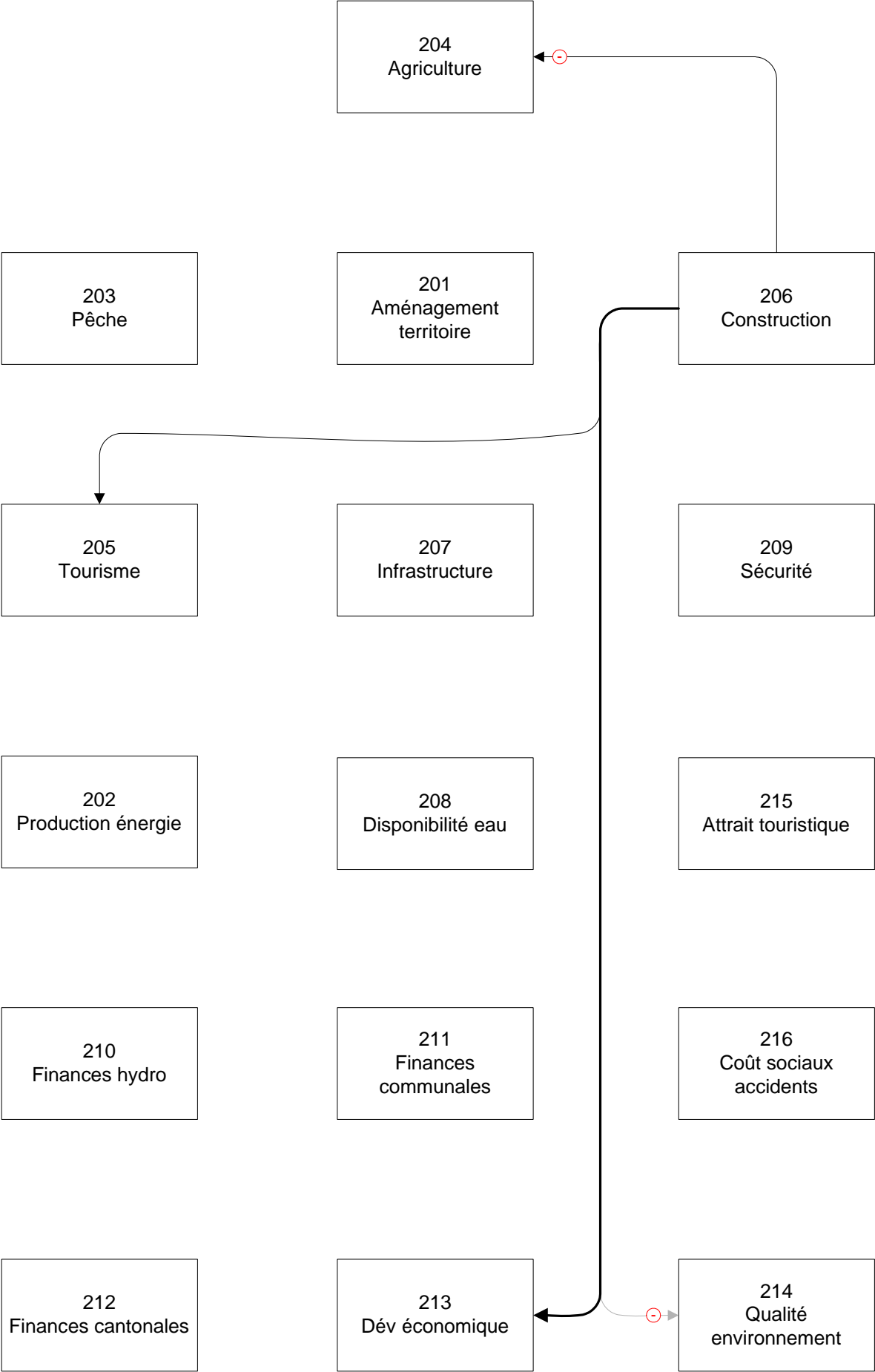
10.19. Réseau socio-économique : facteur 204



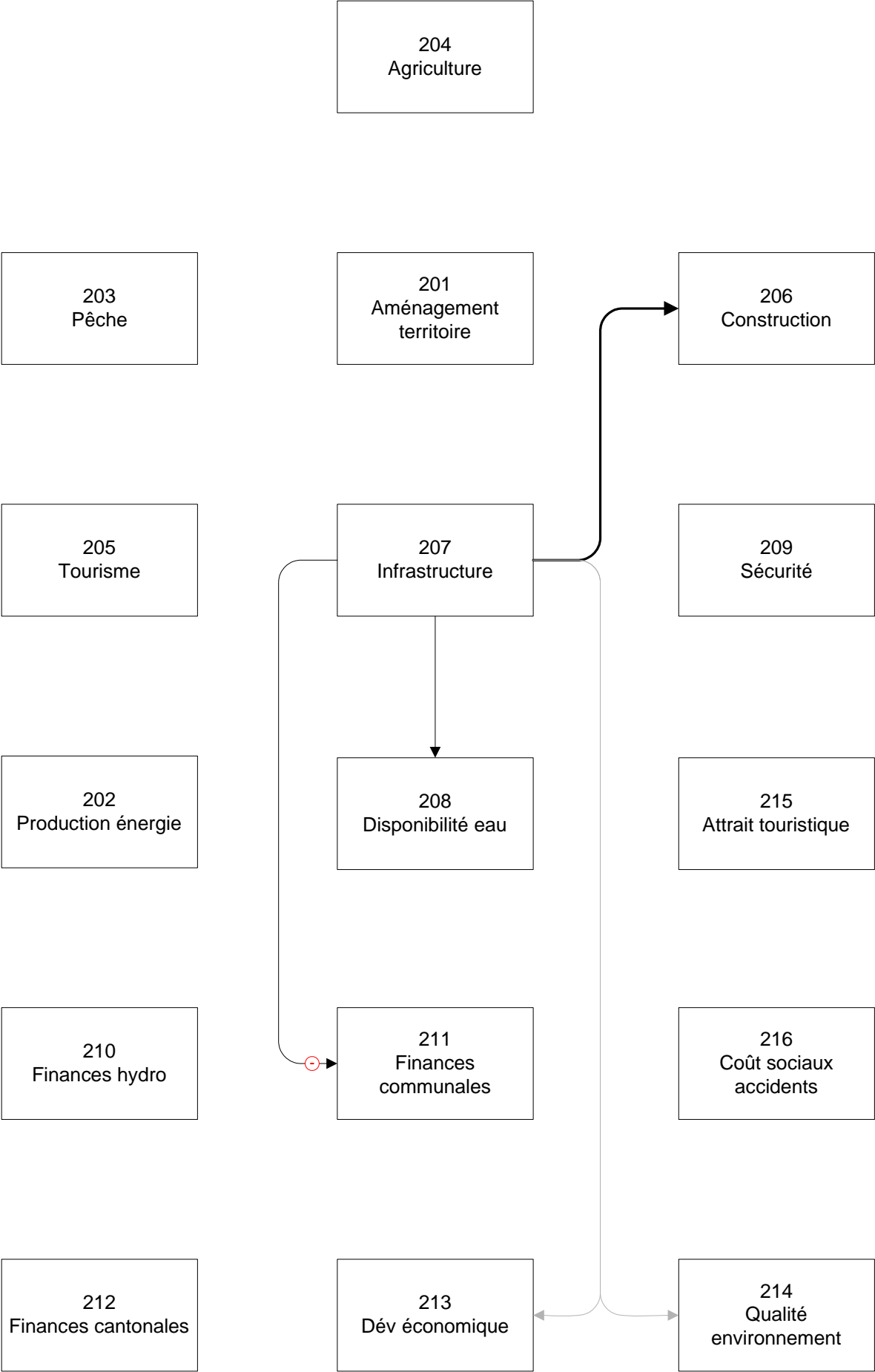
10.20. Réseau socio-économique : facteur 205



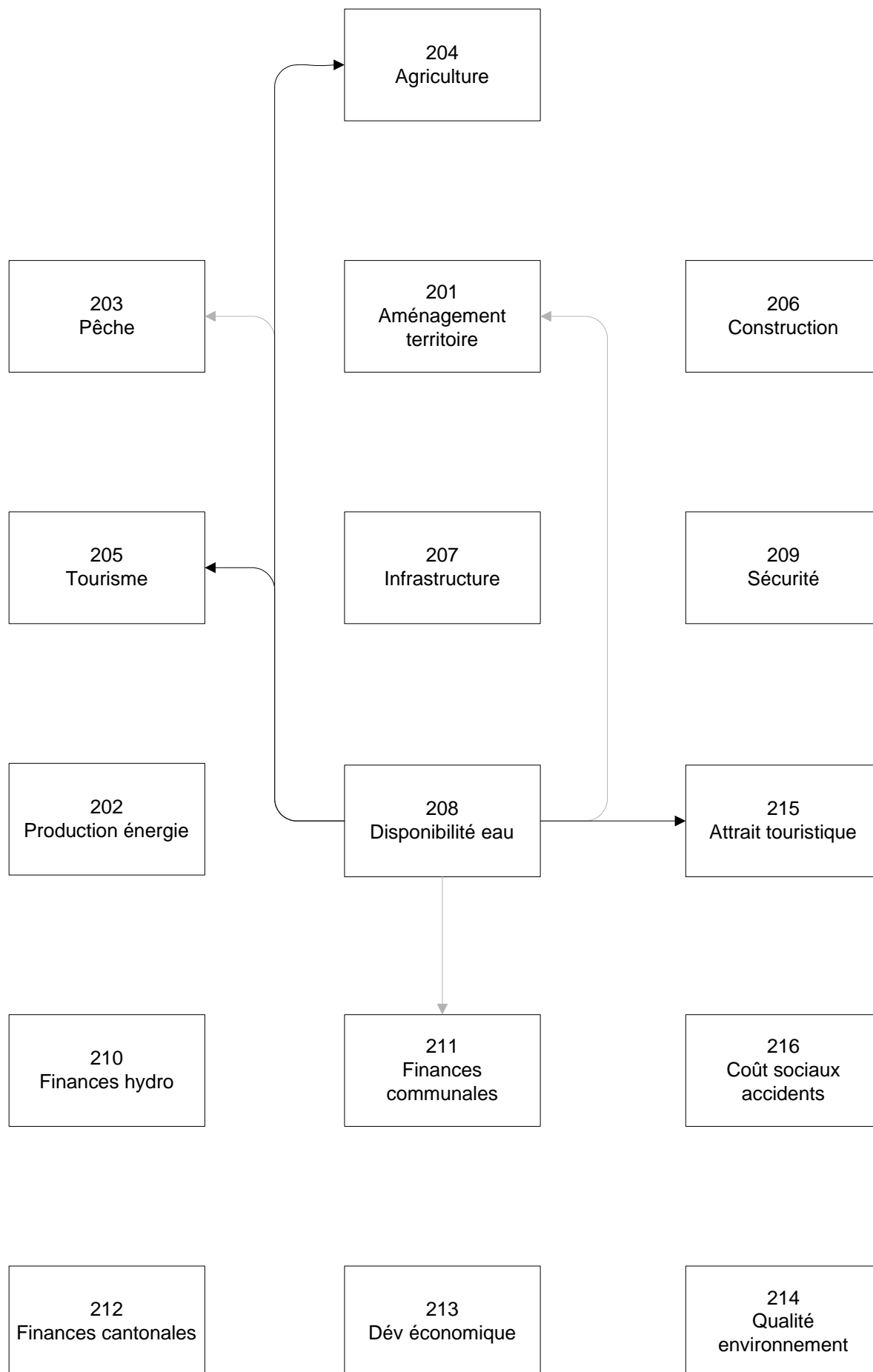
10.21. Réseau socio-économique : facteur 206



10.22. Réseau socio-économique : facteur 207



10.23. Réseau socio-économique : facteur 208



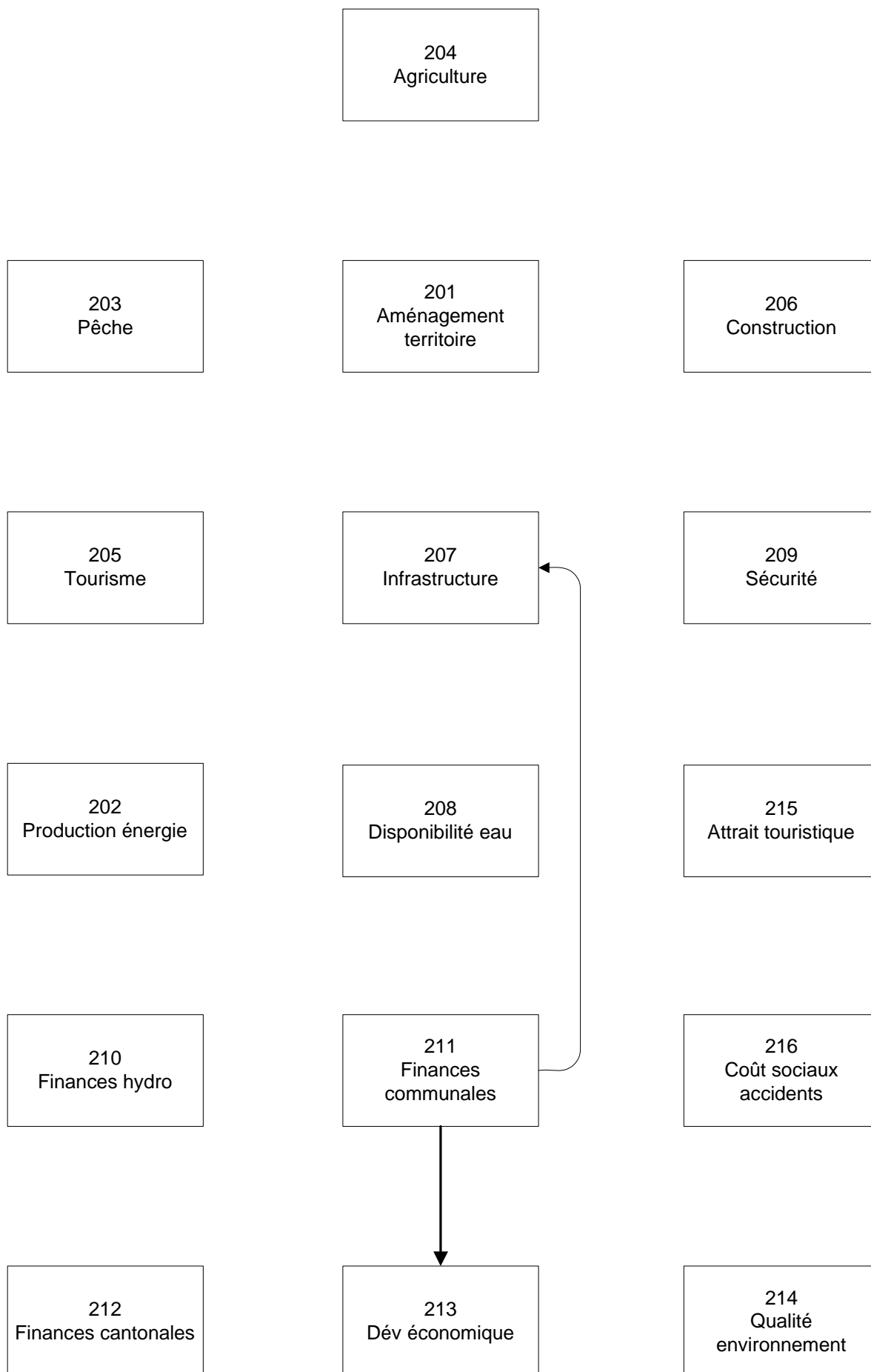
10.24. Réseau socio-économique : facteur 209



10.25. Réseau socio-économique : facteur 210



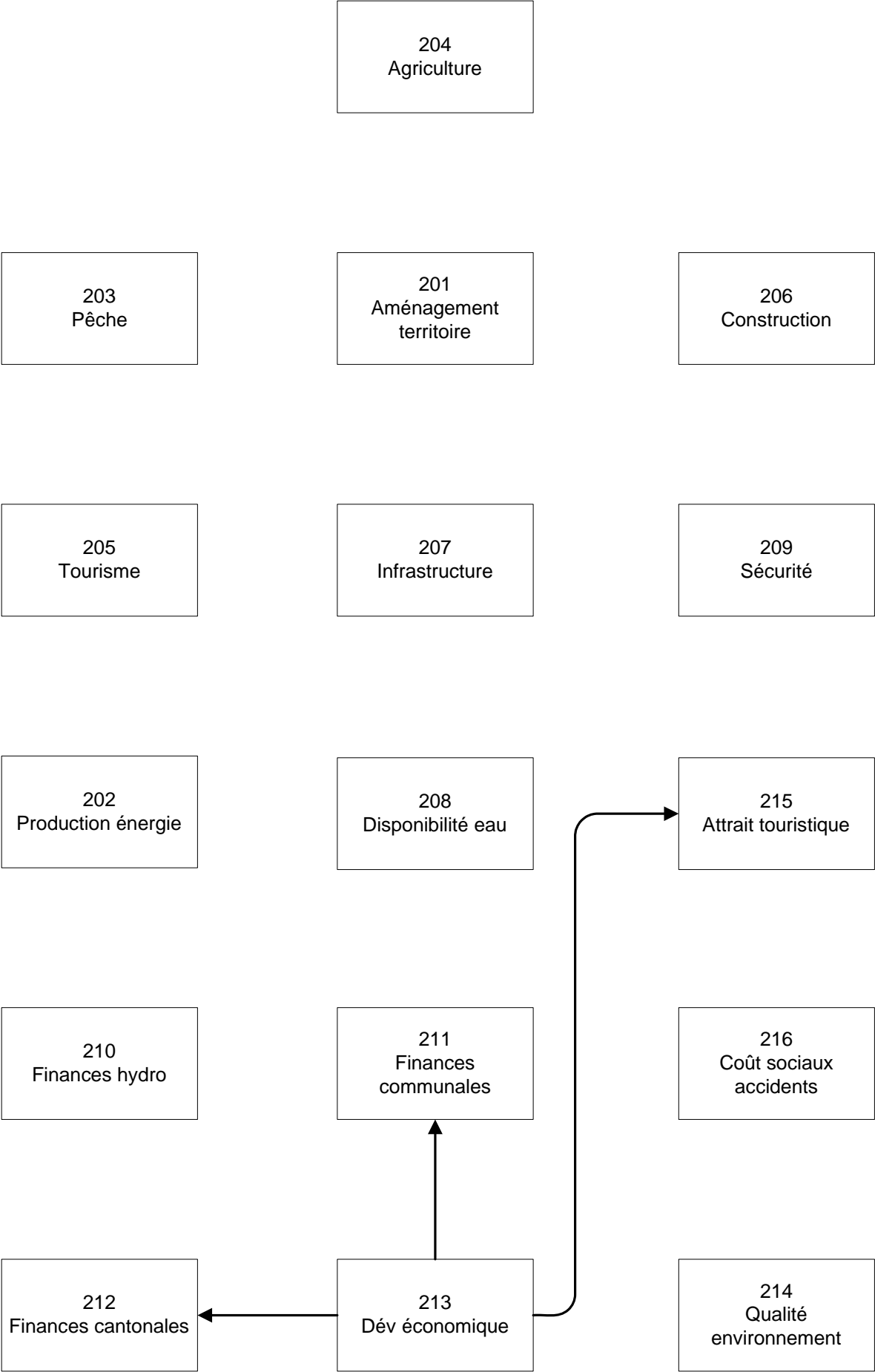
10.26. Réseau socio-économique : facteur 211



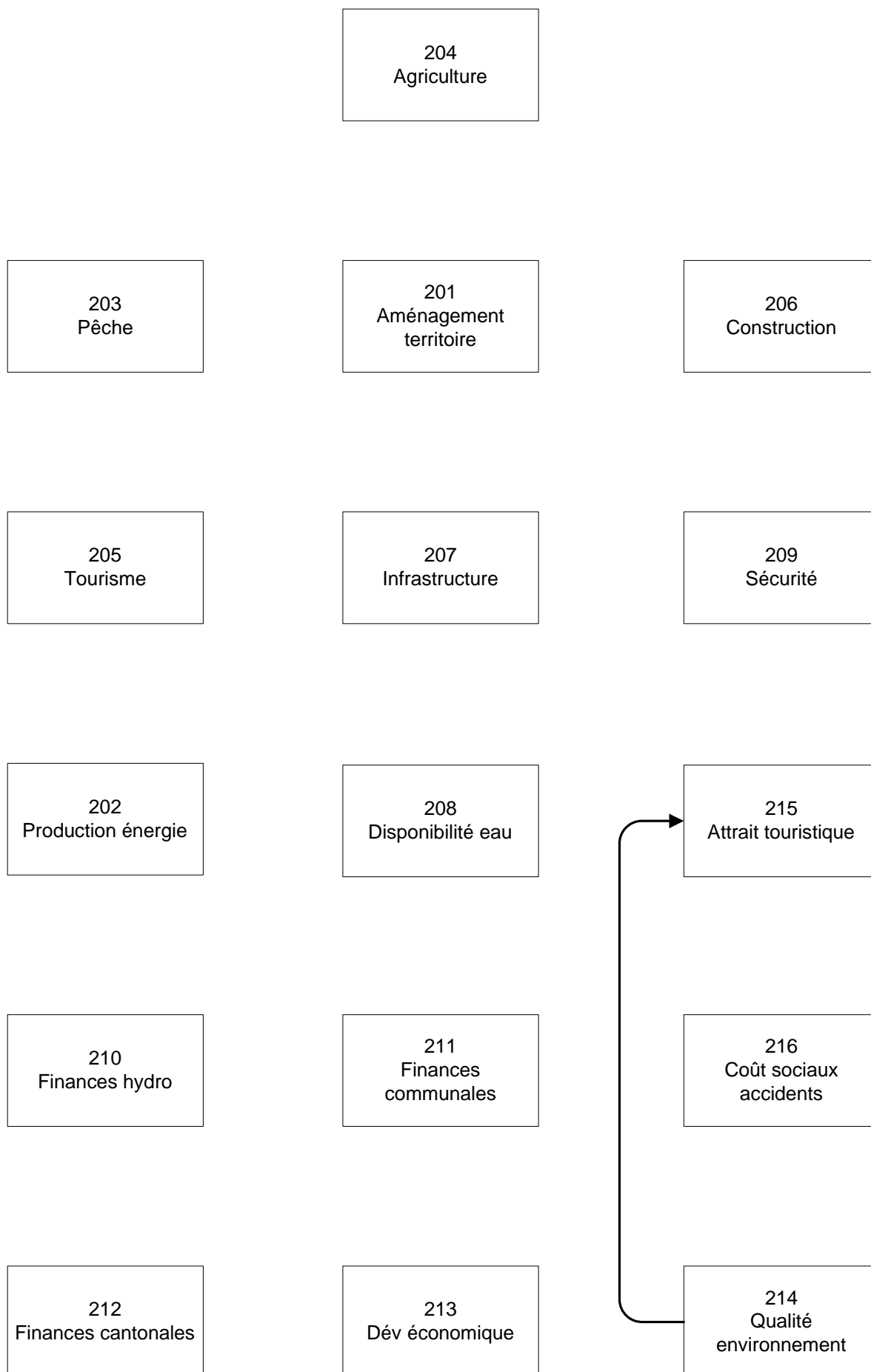
10.27. Réseau socio-économique : facteur 212



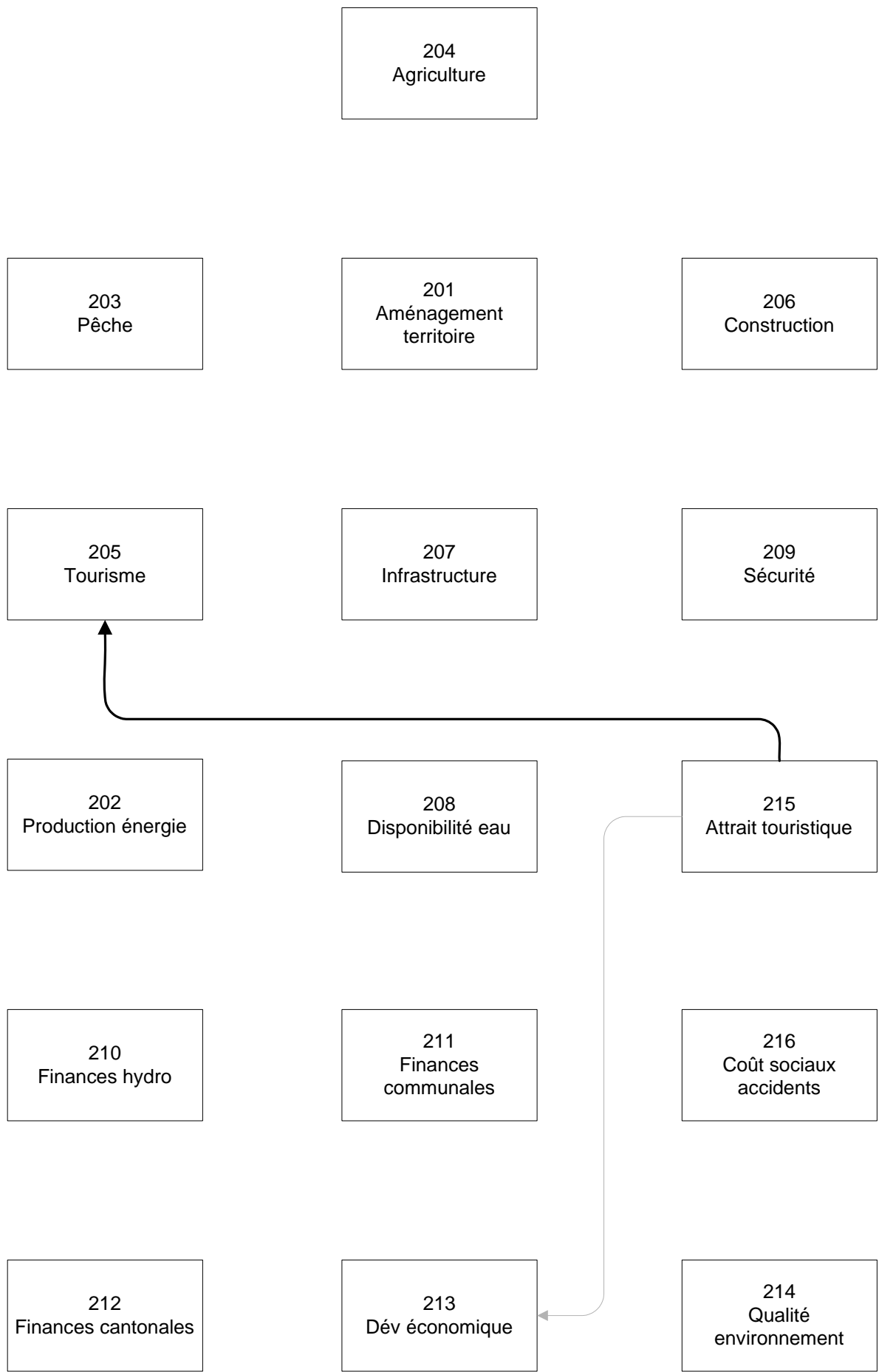
10.28. Réseau socio-économique : facteur 213



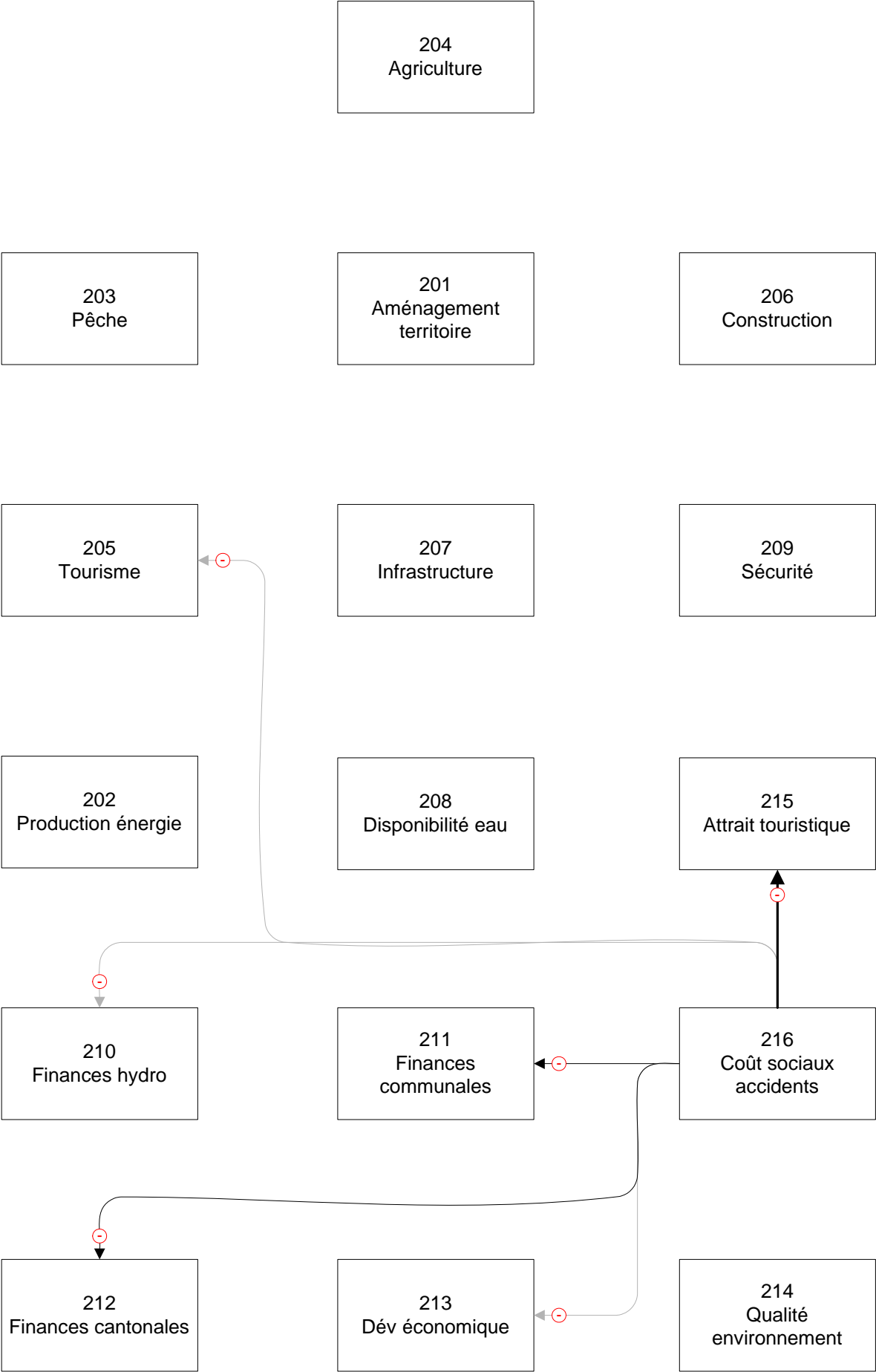
10.29. Réseau socio-économique : facteur 214



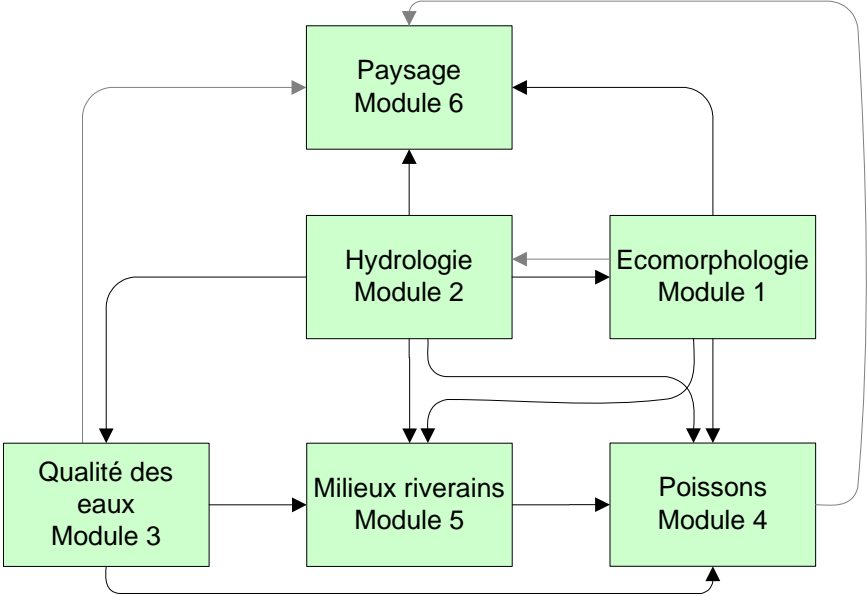
10.30. Réseau socio-économique : facteur 215



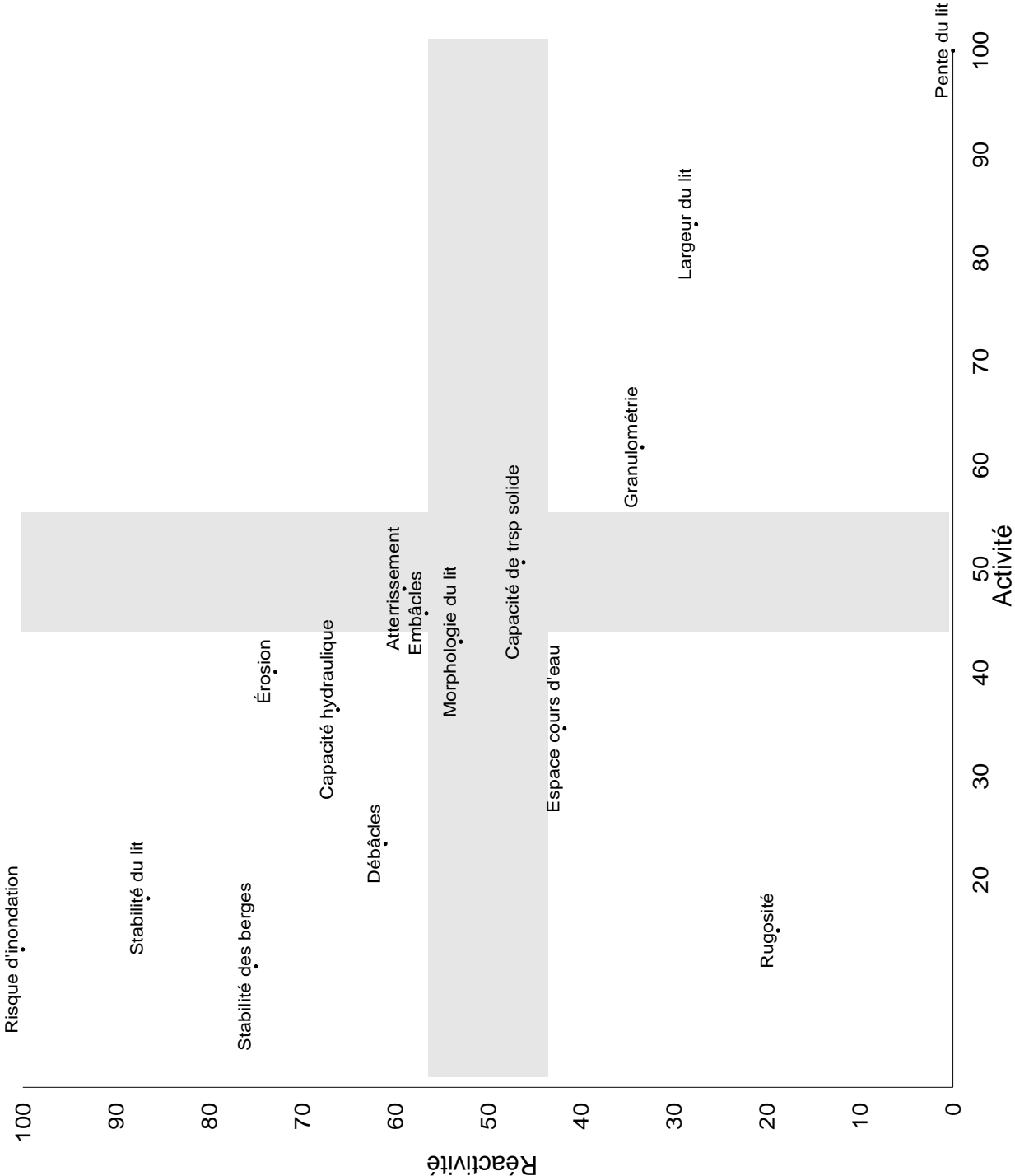
10.31. Réseau socio-économique : facteur 216



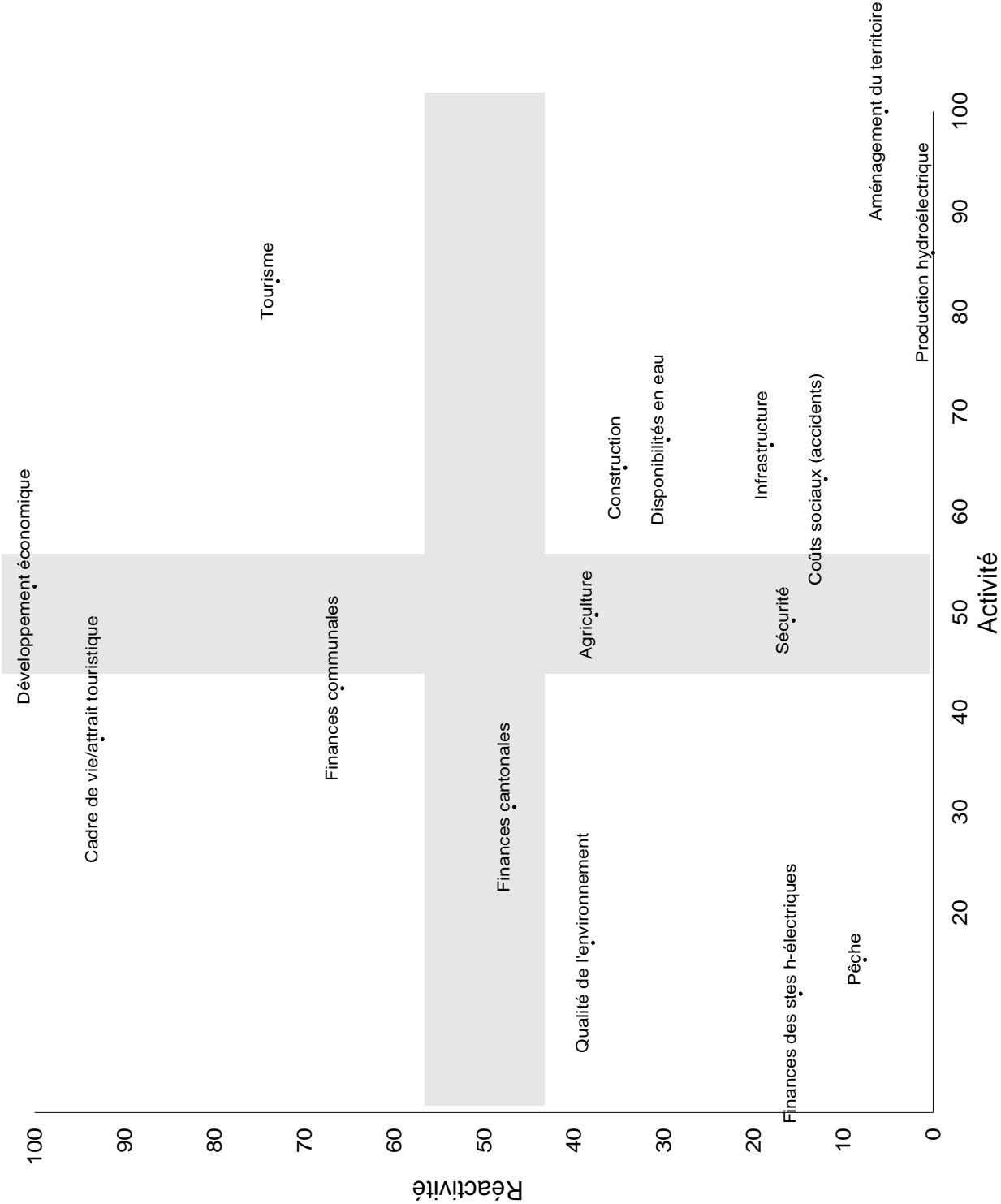
10.32. Réseau écologique : six module de la BD - Eaux



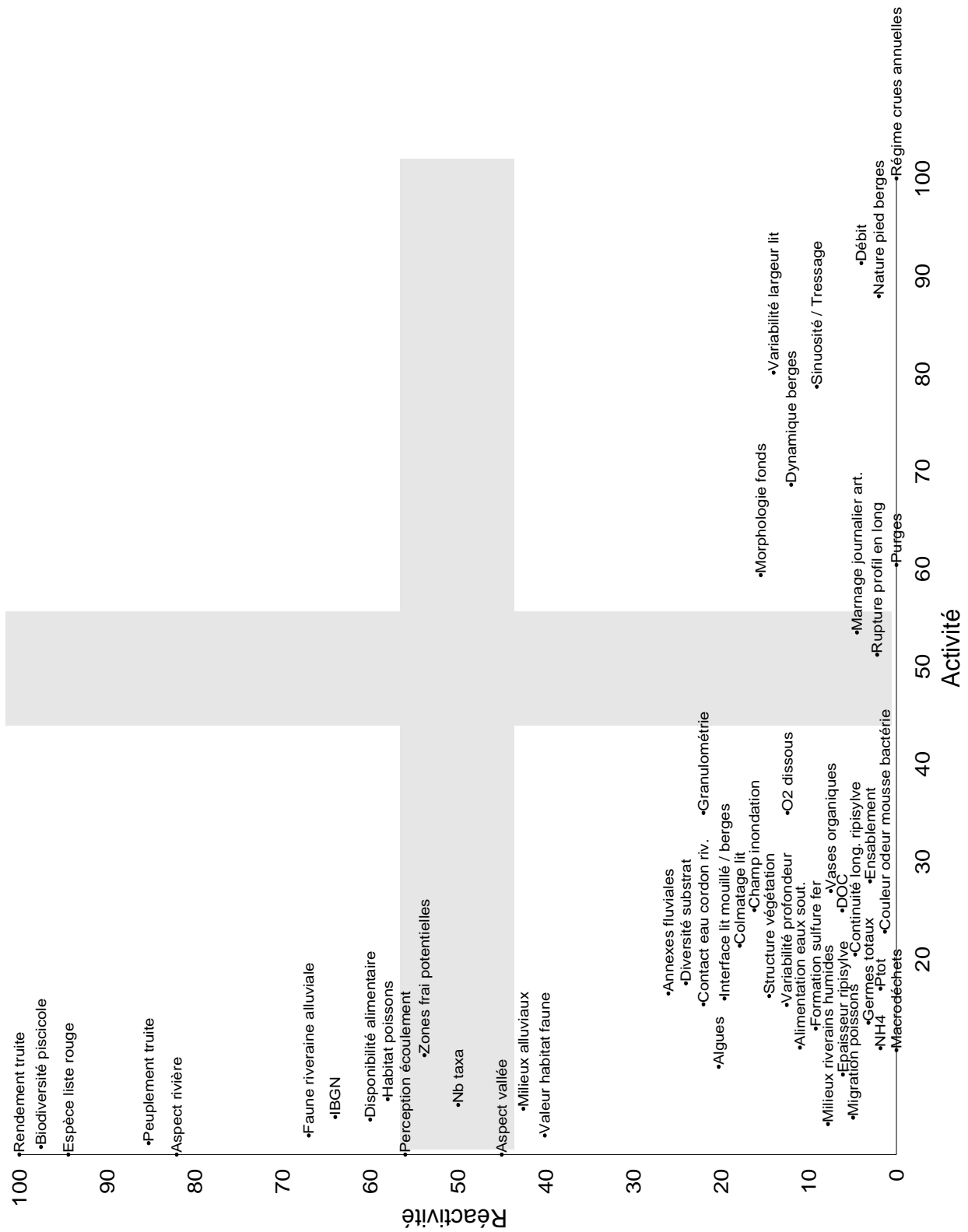
10.33. Graphe d'influence des facteurs sécuritaires



10.34. Graphe d'influence des facteurs socio-économiques



10.35. Graphe d'influence des facteurs environnementaux



- N° 21 2005 Conférence sur la recherche appliquée en relation avec la troisième correction du Rhône - Nouveaux développements dans la gestion des crues
- N° 22 2005 INTERREG IIIB - Projet ALPRESERV. Conférence sur la problématique de la sédimentation dans les réservoirs - Gestion durable des sédiments dans les réservoirs alpins
- N° 23 2005 Master of Advanced Studies (MAS) in hydraulic schemes
Collection des articles des travaux de diplôme
- N° 24 2006 S. Sayah
Efficiency of brushwood fences in shore protection against wind-wave induced erosion
- N° 25 2006 P. Manso
The influence of pool geometry and induced flow patterns in rock scour by high-velocity plunging jets
- N° 26 2006 M. Andaroodi
Standardization of civil engineering works of small high-head hydropower plants and development of an optimization tool
- N° 27 2006 Symposium érosion et protection des rives lacustres
Bases de dimensionnement des mesures de protection des rives lacustres
- N° 28 2007 A. Vela Giró
Bank protection at the outer side of curved channels by an undulated concrete wall
- N° 29 2007 F. Jordan
Modèle de prévision et de gestion des crues - Optimisation des opérations des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue
- N° 30 2007 P. Heller
Méthodologie pour la conception et la gestion des aménagements hydrauliques à buts multiples
- N° 31 2007 P. Heller
Analyse qualitative des systèmes complexes à l'aide de la méthode de Gomez & Probst



ISSN 1661-1179

Prof. Dr A. Schleiss
Laboratoire de constructions hydrauliques - LCH
EPFL, Bât. GC, Station 18, CH-1015 Lausanne
<http://lchwww.epfl.ch>
e-mail: secretariat.lch@epfl.ch