



RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU

JOURNÉE TECHNIQUE D'INFORMATION ET D'ÉCHANGES

28 mai 2009
à VEIGY-FONCENEX (74)

PRESERVATION ET RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU

Jean-René Malavoi

Pôle hydroécologie cours d'eau



COMMENT RESTAURER ?



BIOTEC
Biologie appliquée sari

65-67, cours de la Liberté – 69003 LYON
Tél. : 04 78 14 06 06 – Fax : 04 78 14 06 07
E-mail : biotec@biotec.fr



Jean-René MALAVOI
Ingénieur Conseil

207, rue de l'Église – 01600 PARCIEUX
Tél. : 04 37 92 97 04 – Fax : 04 37 92 97 04
E-mail : jr.malavoi@wanadoo.fr



**eau
seine**
NORMANDIE

MANUEL DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU

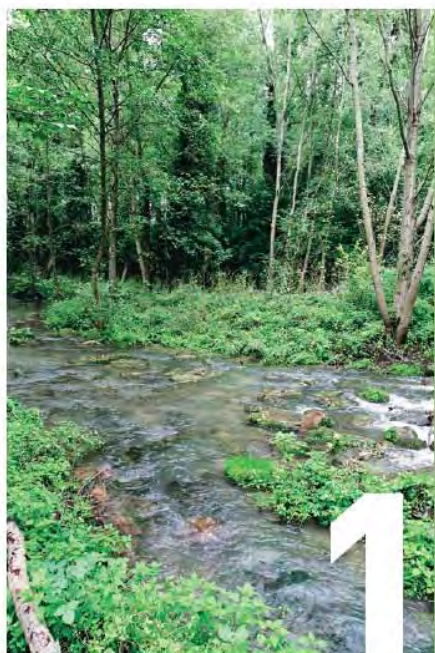


**ENSEMBLE
DONNONS
VIE À L'EAU**

Agence de l'eau

Objectif du manuel : se poser les bonnes questions

- *A quel type de cours d'eau ai-je affaire ?*
- *Quelles interventions humaines a-t-il subies ?*
- *Quels sont les dysfonctionnements induits ?*
- *La situation est-elle réversible ?*
- *Que puis-je espérer recréer à partir de cette situation ?*
- *Quel est le type d'intervention possible parmi les différentes techniques de restauration existantes ?*
- *Le cours d'eau peut-il se restaurer lui-même ?*
- *Quels effets bénéfiques puis-je attendre des mesures proposées ?*
- *Quels risques ai-je de ne pas atteindre les objectifs de restauration ?*
- *Quelle est la période la plus favorable pour engager des travaux de restauration ?*
- *Quels sont les indicateurs de suivi de la réalisation proposée à mettre en place ?*



Première partie

Postulats et principes généraux des opérations de restauration

5

Contexte et objectifs

6

Pourquoi ce manuel

6

Limites du manuel

6

Bases de la restauration biologique et fonctionnelle des cours d'eau

9

Typologie géodynamique fonctionnelle des cours d'eau

9

Concepts généraux de restauration et niveaux d'ambition

13

Evaluation a priori de l'efficience probable
d'un projet de restauration

17

Etudes préalables et éléments de suivi

19

Contenu de l'étude préalable

19

Contenu de l'étude de suivi

20

Etapes clés d'une opération de restauration de cours d'eau

21



Deuxième partie

les principaux dysfonctionnements à l'origine des opérations de restauration

23

Les principales interventions humaines et leurs dysfonctionnements associés

24

Couverture et enterrement de cours d'eau	25
Déplacement de cours d'eau	26
Rescindement de méandres - Rectification	27
Recalibrage	28
Suppression de la ripisylve	30
Protection des berges	33
Endiguement et merlons de curage	34
Seuils / ouvrages transversaux	36
Etangs implantés sur un cours d'eau	39
Extractions de granulats	40



Typologie des opérations de restauration et éléments techniques

→ Petits aménagements piscicoles (<i>fiche 1</i>)	3
→ Création d'une ripisylve (<i>fiche 2</i>)	7
→ Epis (<i>fiche 3</i>)	11
→ Bacs et risbermes alternés (<i>fiche 4</i>)	19
→ Reconstitution du matelas alluvial (<i>fiche 5</i>)	23
→ Seuils et rampes (<i>fiche 6</i>)	27
→ Reconnexion d'annexes hydrauliques (hors suppression de digues) (<i>fiche 7</i>)	31
→ Arasement/dérasement de seuils (<i>fiche 8</i>)	43
→ Suppression des contraintes latérales (<i>fiche 9</i>)	49
→ Remise à ciel ouvert de cours d'eau (<i>fiche 10</i>)	55
→ Modification de la géométrie du lit mineur/moyen (augmentation limitée de l'emprise) (<i>fiche 11</i>)	61
→ Diversification de berges sur grands cours d'eau navigués (<i>fiche 12</i>)	67
→ Suppression des digues, élargissement de l'intra-digues (<i>fiche 13</i>)	75
→ Suppression d'étangs (<i>fiche 14</i>)	81
→ Reméandrage ou recréation de cours d'eau (<i>fiche 15</i>)	85
Travaux en limite des opérations de restauration	93
Mesures de limitation des impacts lors des opérations de restauration	99

CONSTAT (À RETARDEMENT...)

UN BON FONCTIONNEMENT HYDROMORPHOLOGIQUE

EST INDISPENSABLE À UN BON ÉTAT ÉCOLOGIQUE

*Dis Raymonde,
C'est quoi
un bon
fonctionnement
hydro-
morphologique ?*

*C'est très simple
Robert !*





- a) Des faciès d'écoulement diversifiés
- b) Des berges non protégées
- c) Des bancs alluviaux mobiles
- d) Une ripisylve fournie et variée
- e) Un corridor fluvial boisé
- f) Des annexes hydrauliques

**+ UNE BONNE
CONTINUITÉ**

**Ces éléments
traduisent une
dynamique fluviale
naturelle dont
la restauration
hydromorphologique
doit tenter de se
rapprocher**

IMPACTS DE LA CHENALISATION

ETUDES

*gestion des milieux
aquatiques*

14

Impacts écologiques de la chenalisation des rivières

Jean-Gabriel Wasson, Jean-René Malavoi,
Laurence Maridet, Yves Souchon, Léna Paulin



Cemagref
EDITIONS



STRATEGIE D'INTERVENTION DE L'AGENCE DE L'EAU SUR LES SEUILS EN RIVIERE



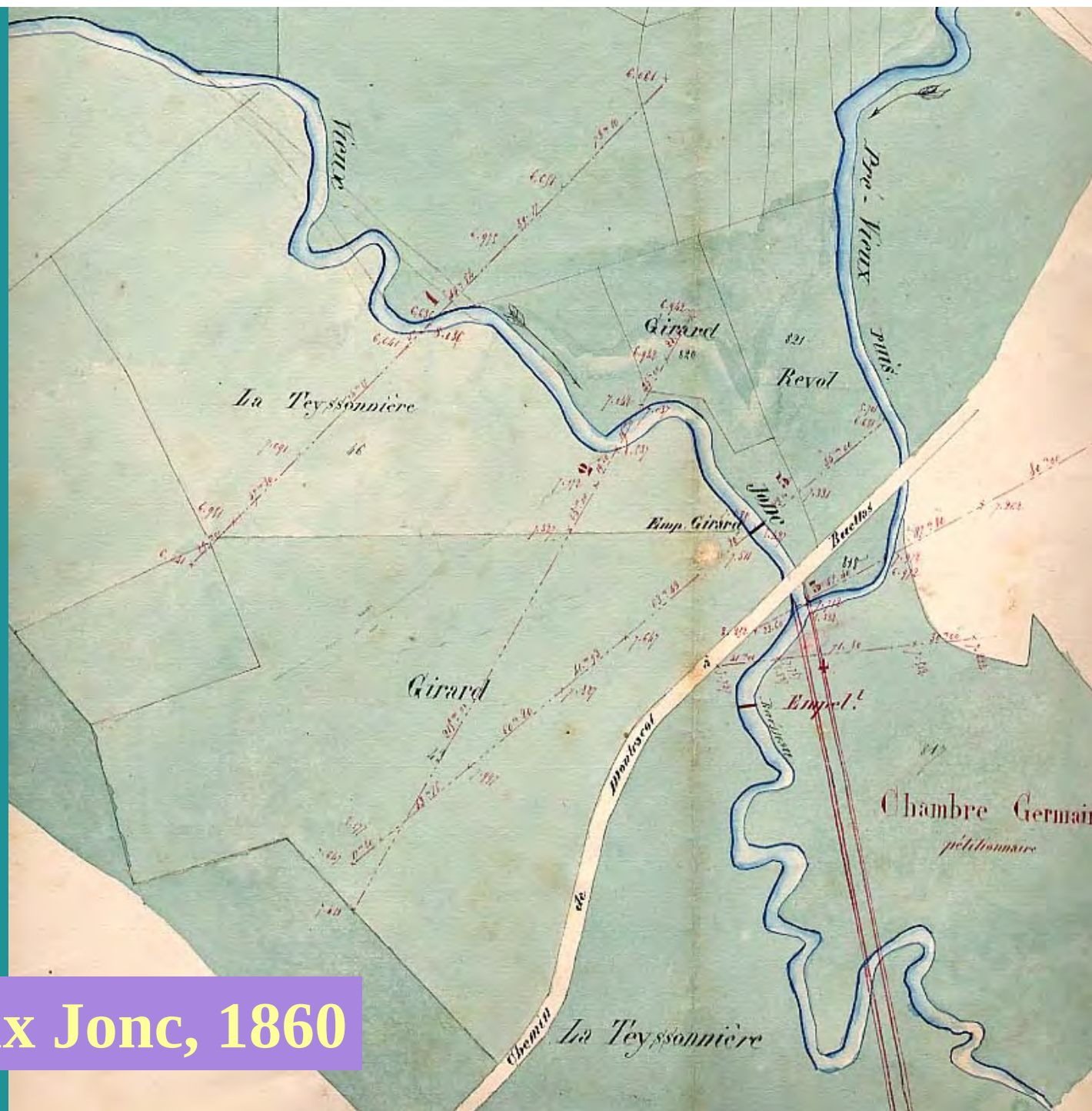
Jean-René MALAVOI
Ingénieur conseil

AFF02011

30/08/03

On n'a
pas attendu
le
20ème
siècle
pour
chenaliser
les cours
d'eau...

Vieux Jonc, 1860



Projet Polonceau 1844

DÉPARTEMENT DU JURA.

PROJETS

DE RÉGULARISATION ET D'ENDIGUEMENT

DE LA LOUE ET DU DOUBS.

CHAPITRE PREMIER.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES ET PRÉLIMINAIRES SUR LES CAUSES DES RAVAGES
PRODUITS PAR LES RIVIÈRES ET LES TORRENTS, ET SUR LES MEILLEURS
MOYENS À EMPLOYER POUR Y REMÉDIER.

Les causes ordinaires de l'inconstance du cours des rivières à pentes rapides et des torrents, ainsi que des dommages qu'éprouvent les propriétés riveraines, sont les sinuosités trop prononcées de leurs lits et les réactions qu'elles déterminent; les variations de leurs largeurs et profondeurs, produites par les inégalités de résistance de leurs lits et les irrégularités de leurs pentes.

Causes des irrégularités du cours des rivières à pentes rapides.

Pour remédier aux inconvénients qui résultent de ces causes, il faut, selon nous, 1° faire disparaître, par un tracé de direction en grandes courbes, les sinuosités de petit rayon et les angles d'incidence qu'elles produisent en rejetant le courant successivement d'une rive à l'autre;

Moyen d'y remédier.

PLAN D'ENSEMBLE DES VALLEES

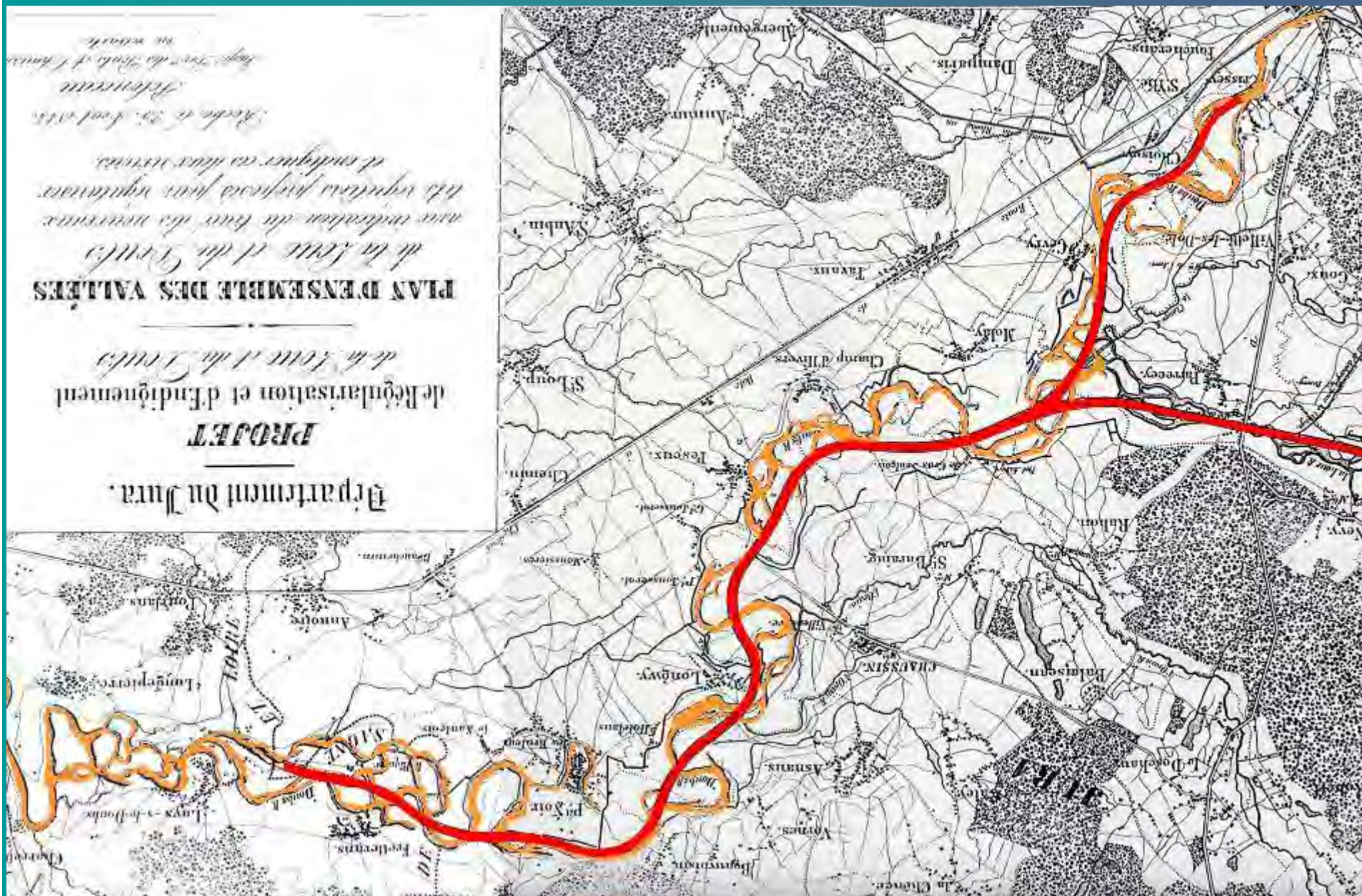
de Régularisation et d'Endiguement
de la Tour et de l'Oratoire

REPORT

Également du Jura.

de la Seine et du Centre
 nous indiquent du haut des montagnes
 les vallées profondes pour y planter
 et enlever ces deux versets

de la Seine et du Centre
 nous indiquent du haut des montagnes
 les vallées profondes pour y planter
 et enlever ces deux versets



1882



...mais la plupart des travaux de chenalisation se sont faits dans les années 50-80, dans un objectif agricole

II - LES PROBLEMES DE LA VEYLE -

La VEYLE pose des problèmes importants et divers dûs à un manque total d'entretien depuis le début du siècle, manque d'entretien qui se traduit maintenant par un envasement général du lit de la rivière. Des souches en surplomb, des arbres couchés, des branches baignant dans les hautes eaux et des bancs alluvionnaires souvent couverts de roseaux sont autant d'éléments à l'origine de submersions fréquentes fort étendues et donc grandement préjudiciables à un nombre important d'agriculteurs.

Cette situation évidemment néfaste sur l'émissaire principal se retrouve à un degré à peine atténué sur les affluents ce qui a conduit à envisager un aménagement général du réseau hydraulique.

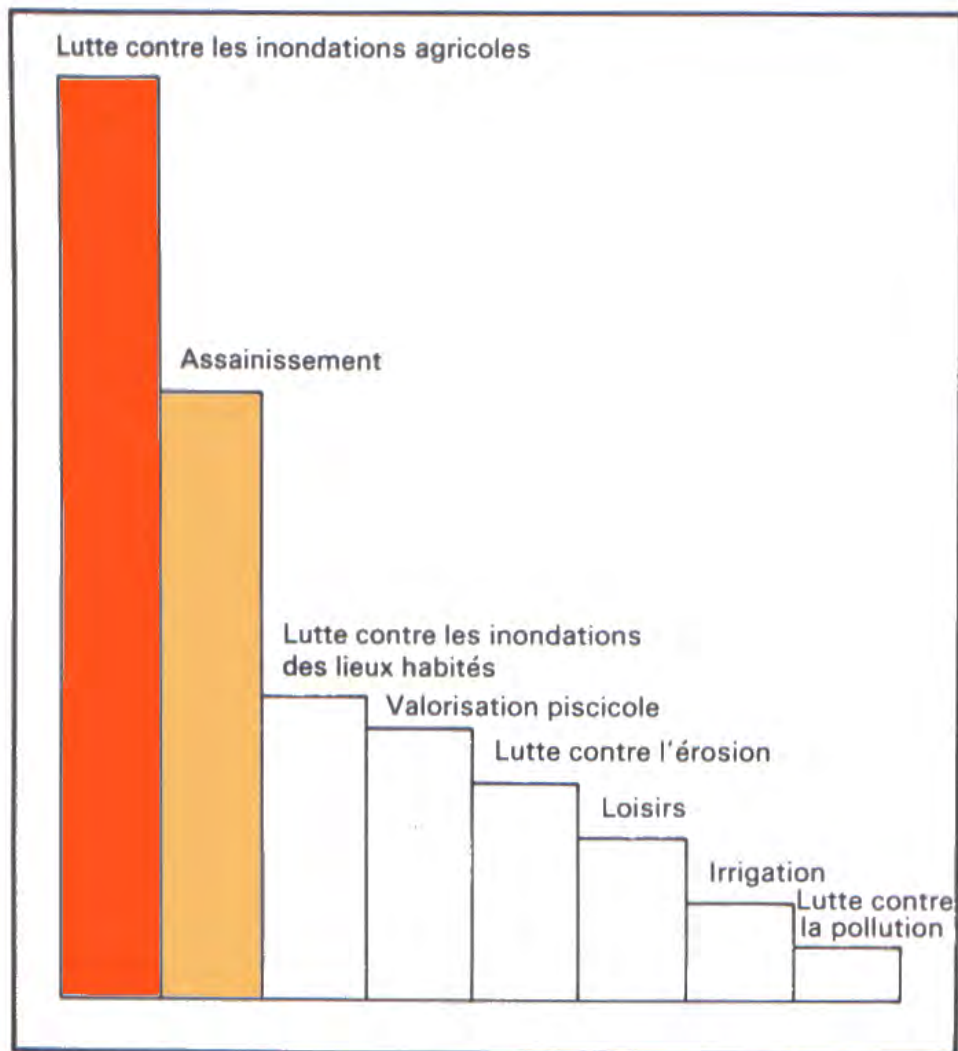
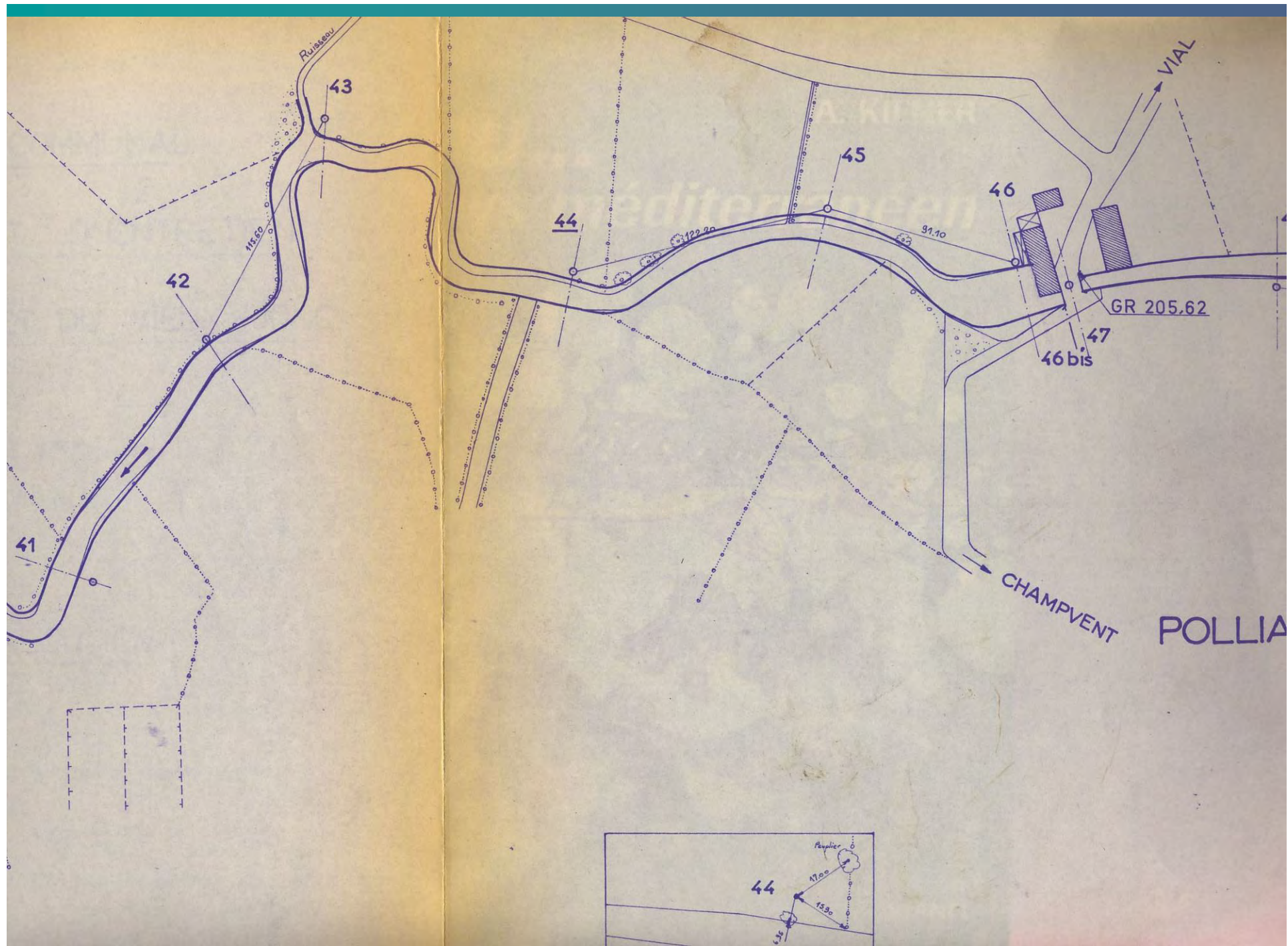


Figure 2. – Principaux objectifs des aménagements de cours d'eau (enquête CEMAGREF).

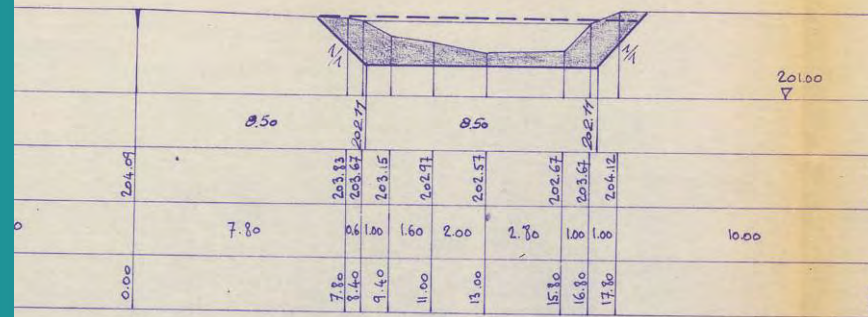
Augmentation des aménagements après 1945

- * ↑ sensibilité
- * ↓ entretien ↑ crues débordantes
- * développement intense du maïs
- * ↑ constructions en lit majeur
- * disponibilité en argent (30 glorieuses) : il faut dépenser
- * rémunération de maîtrise d'oeuvre (=au km de travaux)

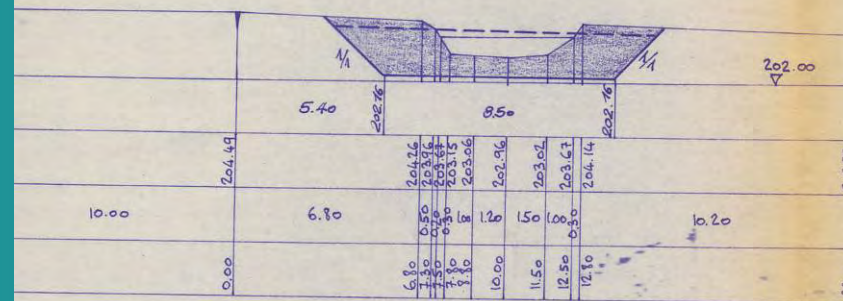
+ travaux connexes au remembrement



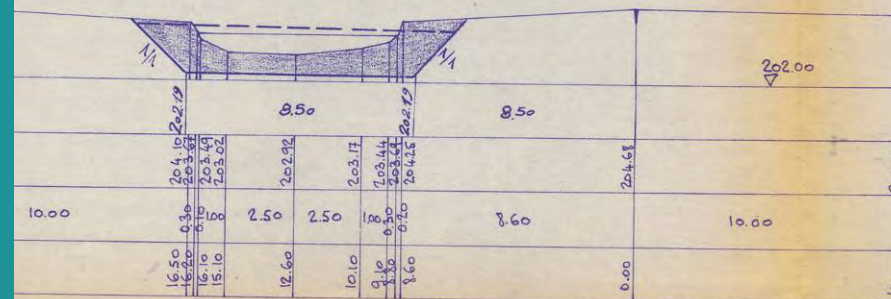
P. 43



P. 44



P. 45



Quelques exemples



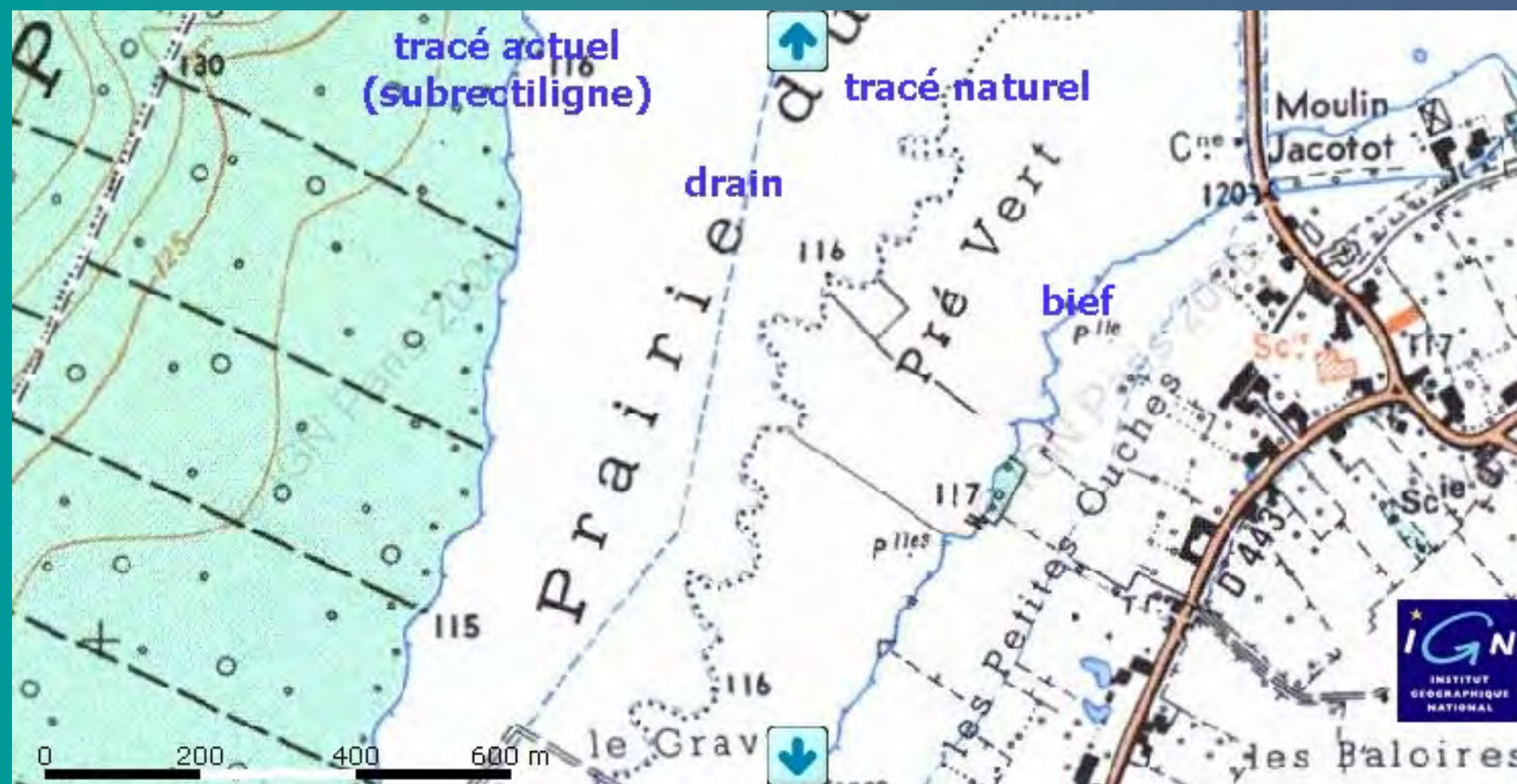
































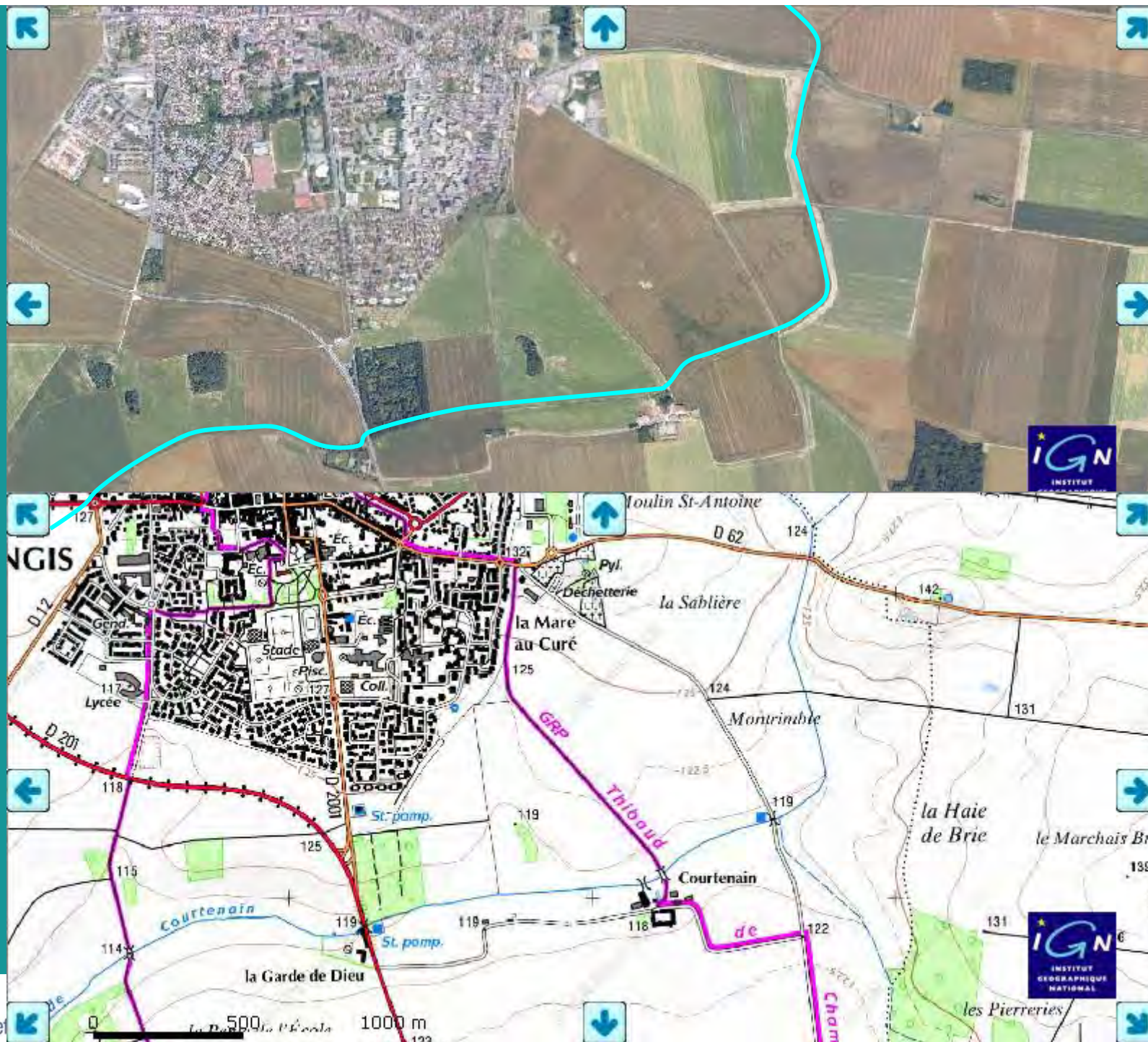


merlon de curage

merlon de curage

Petit
test

Où est
le
cours
d'eau ?



LES IMPACTS

Les impacts de la chenalisation dépendent :

- 1. du type de cours d'eau : style fluvial, puissance, granulométrie, régime hydrologique**
- 2. Du type d'aménagement réalisé**
- 3. Du cumul d'aménagements : beaucoup d'aménagements sont composite
-> impacts composites**
- 4. De la longueur aménagée**

IMPACTS PHYSIQUES

Il faut distinguer :

1. Les impacts au sein du segment touché et les impacts amont-aval
2. Les impacts immédiats et les impacts à long terme
3. Les impacts réversibles ou irréversibles

1. Modification de la section (largeur/profondeur)
recalibrage, rectification, curage

2. Modification de la longueur
rectification, rescindement

3. Modification des faciès d'écoulement
tous types
=> homogénéisation

4. Modification de la granulométrie du lit
recalibrage, rectification, curage, endiguement
=> homogénéisation + aug. fines

5. Modification des vitesses et profondeurs

tous types

Augmentation ou réduction selon les travaux réalisés

6. Modification des hydrogrammes

endiguements, rectification, rescindements, recalibrages

en général, augmentation des inondations en aval

IMPACTS ECOLOGIQUES

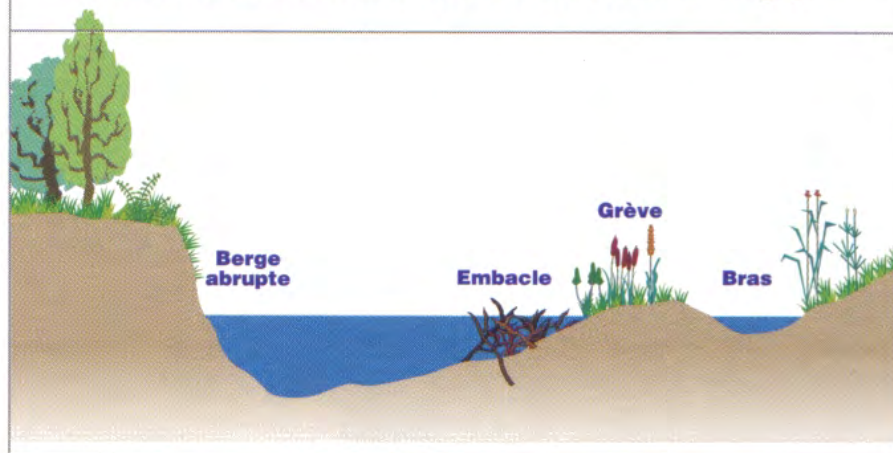
Il faut distinguer :

- 1. Les impacts directs : liés aux travaux**
- 2. Les impacts indirects liés à la modification des processus géodynamiques et de la morphologie**

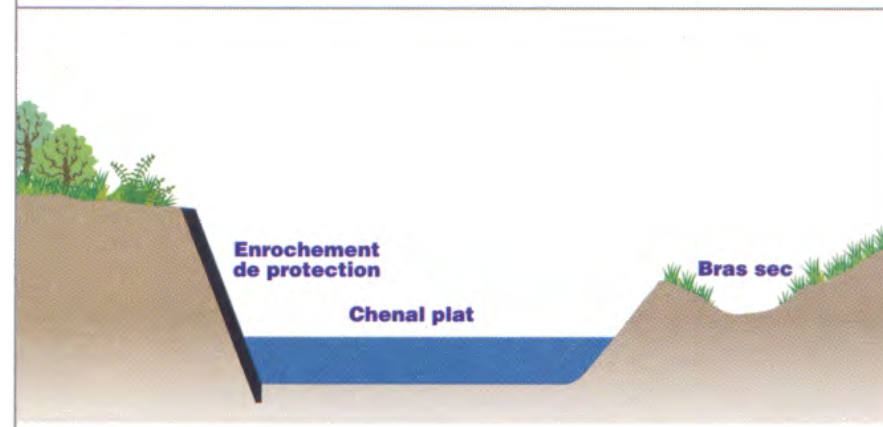
- 1. Homogénéisation des faciès d'écoulement**
= homogénéisation des habitats
=> baisse de la diversité biologique
- 2. Modification des vitesses/profondeurs**
augmentation des vitesses en crue
réduction des profondeurs en étiage
= conditions critiques
- 3. Modification de la granulométrie du lit**
=> modification des peuplements
poissons, invertébrés, végétaux,

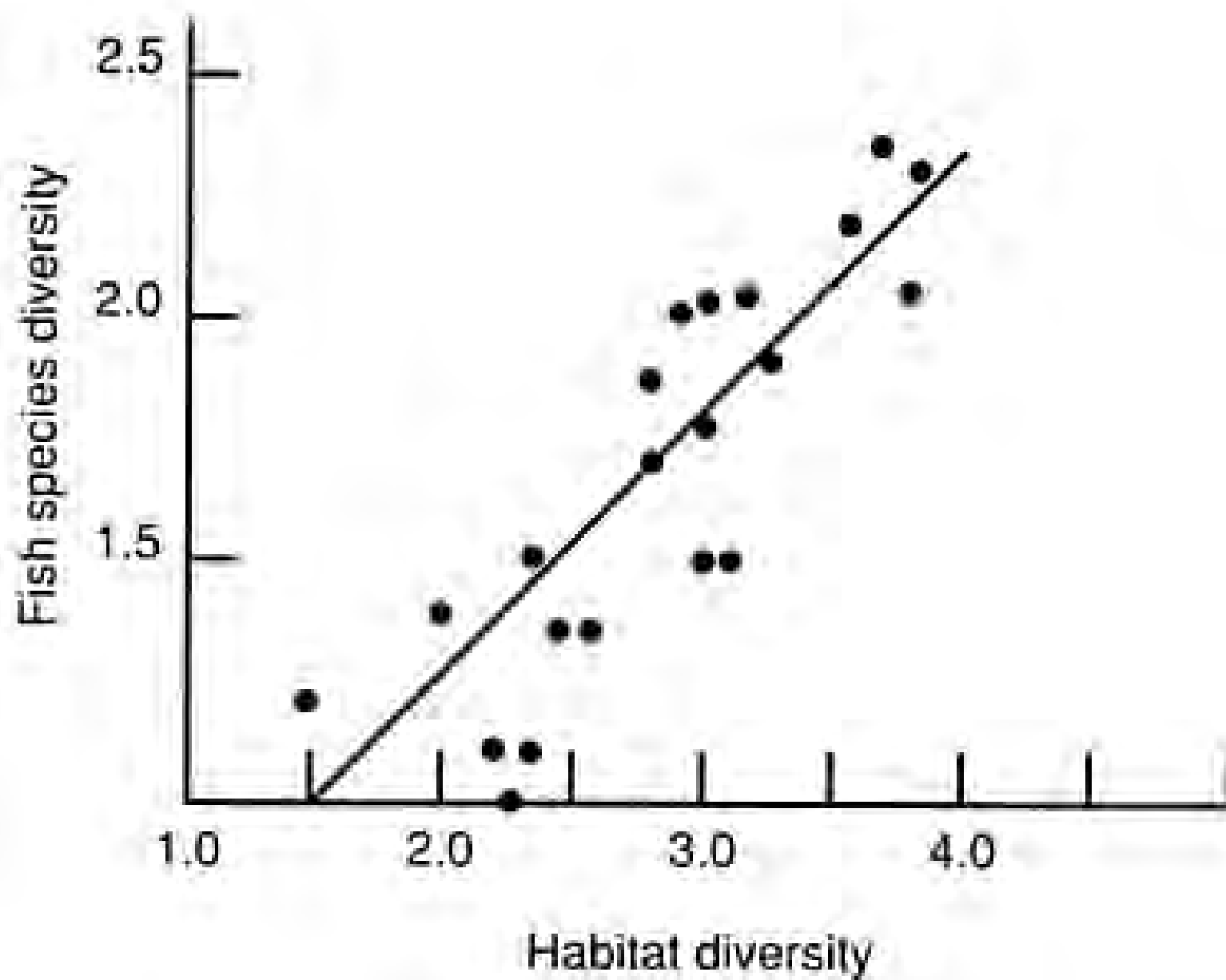
Impacts physiques et écologiques

Rivière naturelle : une grande diversité écologique



Rivière rectifiée : le milieu est uniformisé





Rivière de basse énergie de l'Iowa	SCARNECCHIA (1988)	5 ans	Réduction de 30% de la richesse spécifique des peuplements de poissons
Rivières du nord du Missouri	CONGDOM (1986)		Diminution de 61% du nombre d'espèces de poissons, de 82% de la productivité et de 86% de la croissance de poissons exploitables
Cours d'eau de basse énergie du Mississippi et Alabama	ARNER et al. (1976)	3 ans	Densité de plancton en moyenne 2 fois plus importante dans la portion chenalisée ; la diversité diminuée. La diversité des macroinvertébrés est de 70% inférieur. Modification de la nature des peuplements piscicoles
		52 ans	Densité de plancton en moyenne 2 fois moins importante dans la portion chenalisée et la diversité diminue. Diminution de 50% de la diversité des macroinvertébrés et de 80 % de la biomasse piscicole et modification de la nature du peuplement.
Cours d'eau du Nord de la Caroline	TARPLEE et al. (1971)		La biomasse de poissons représente 32% de celle de la station témoin. Réduction de 75% du nombre de poissons pêchables, et de 79 % en volume et 28 % en richesse spécifique pour les invertébrés,
Rivière de faible énergie de l' Ontario	PORTT et al. (1986)	12 ans	Chute de 50 % de la densité et de 76 % de la biomasse de poissons. Le poids moyen des individus est 2 fois moins important.
Yankee Fork, Idaho Caroline du Nord	BROOKES (1988)	30 ans	97% moins productive que les sections naturelles (même cours d'eau)
		40 ans	Population de poissons 80% en dessous du niveau normal
Blackwater River, Missouri		50 ans	Production de poissons réduite de 77%
South Fork, Coeur d'Alene River		77 ans	Production de poissons réduite de 99%

Problème particulier de la ripisylve

Rôle écologique majeur

- racines = abris
- feuillage = ombrage et réduction des T°
= litière, = insectes etc.

Or la plupart des travaux nécessitent une coupe de la ripisylve

Suppression ripisylve



IMPACTS DES EXTRACTIONS

En lit mineur puis en lit majeur

Processus simplifié : l'équilibre dynamique

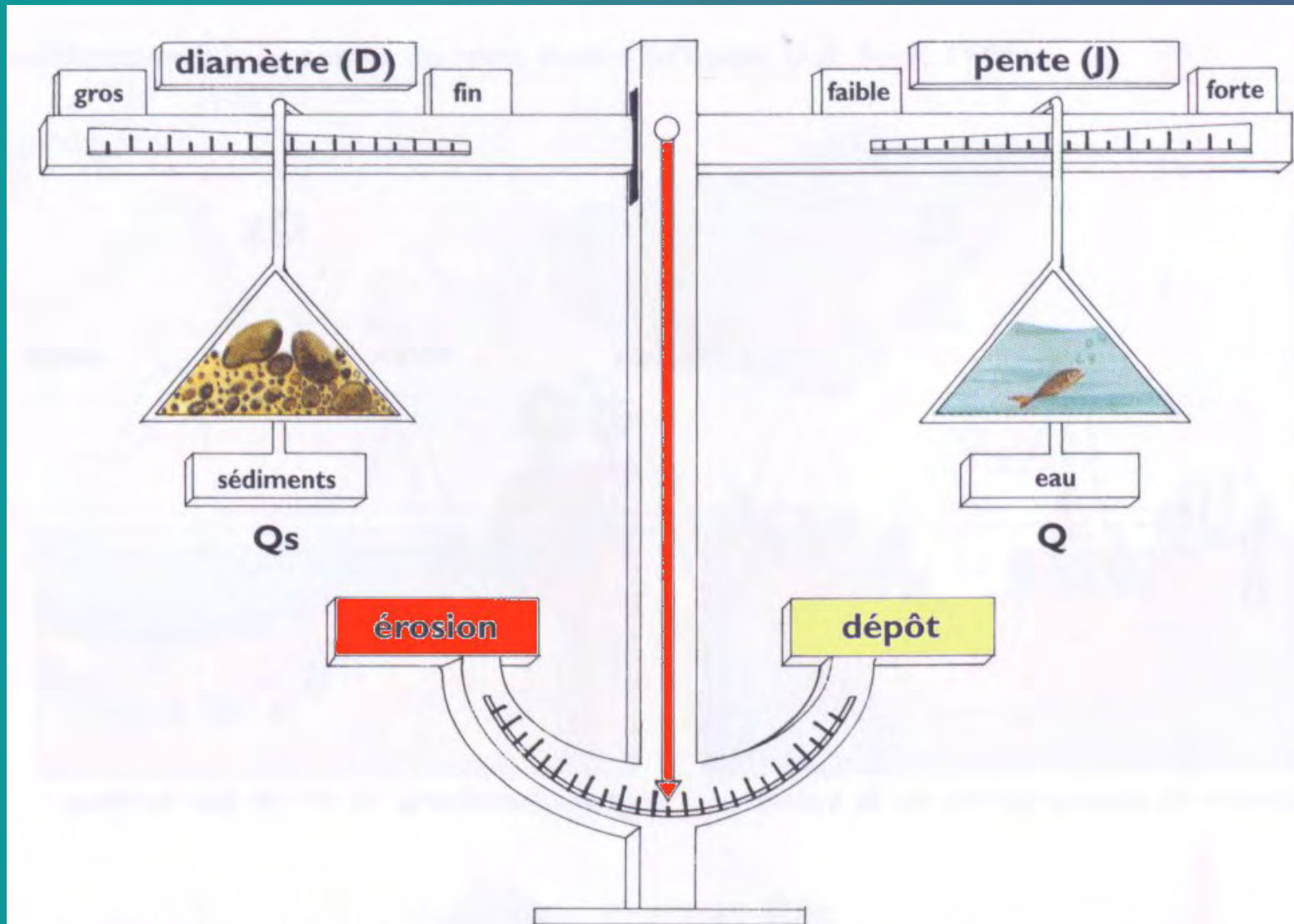
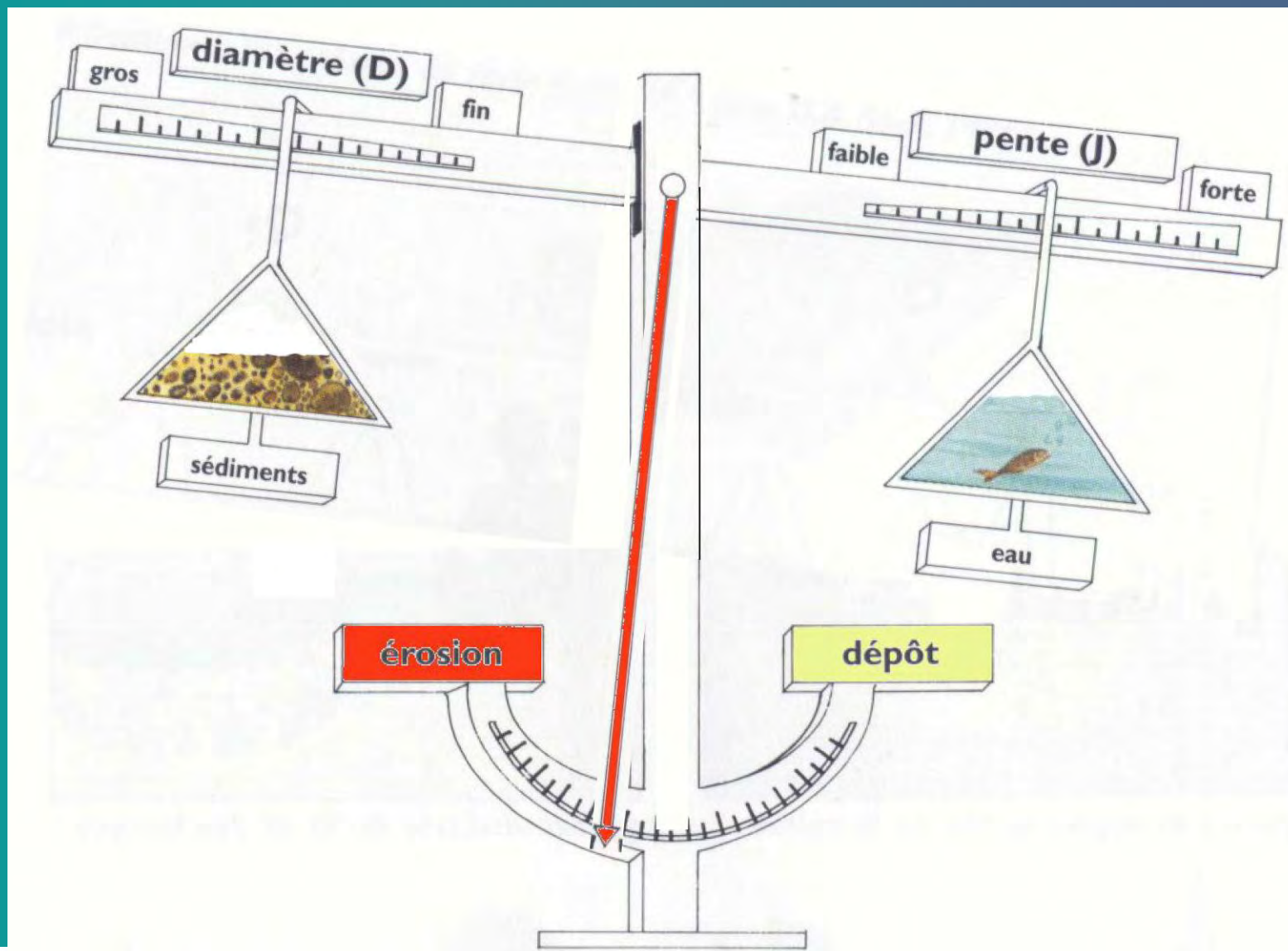
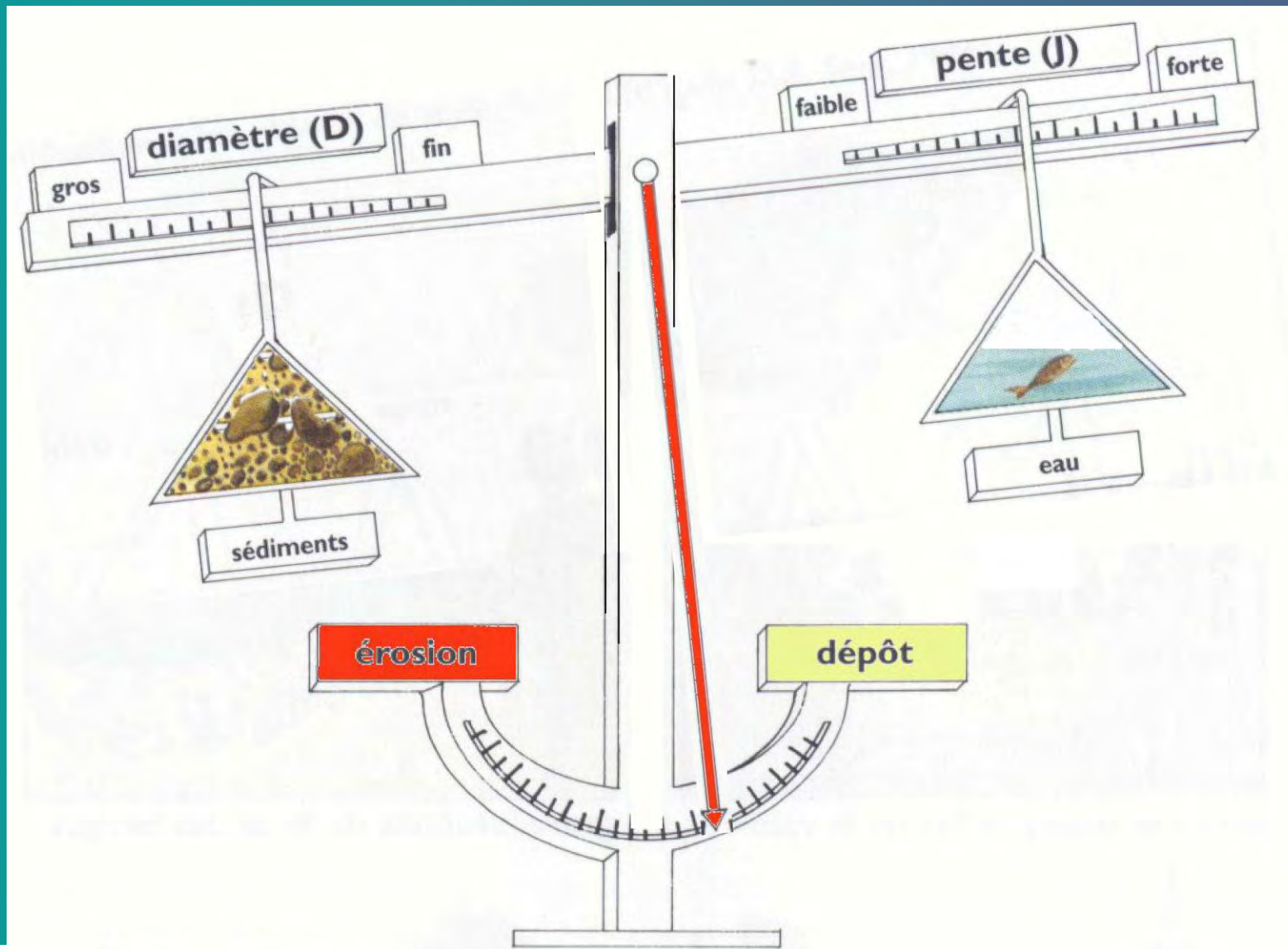
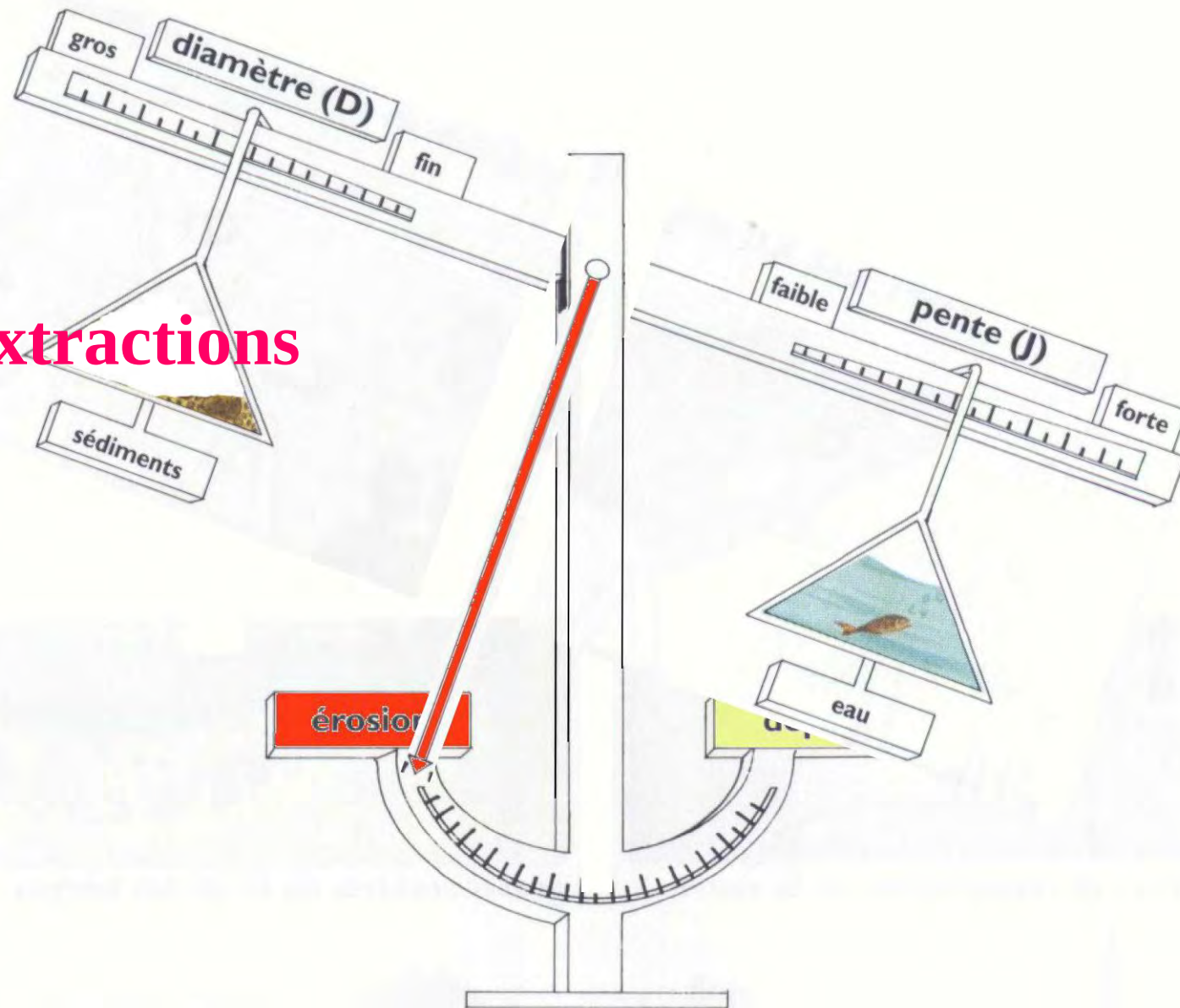


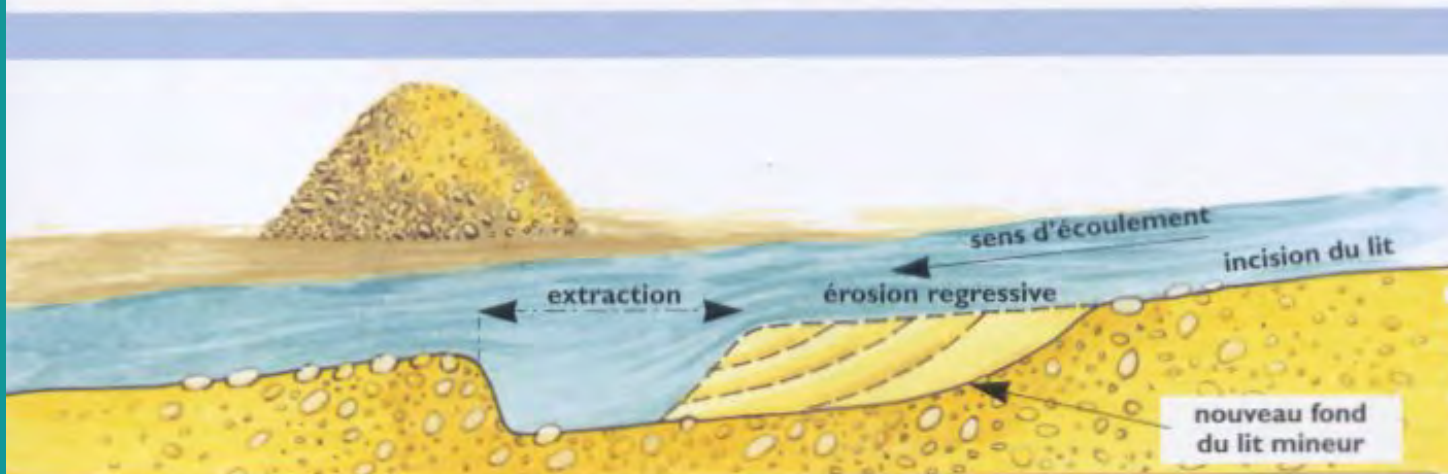
Figure 4. Principe de l'équilibre dynamique. D'après Lane, 1955.





extractions







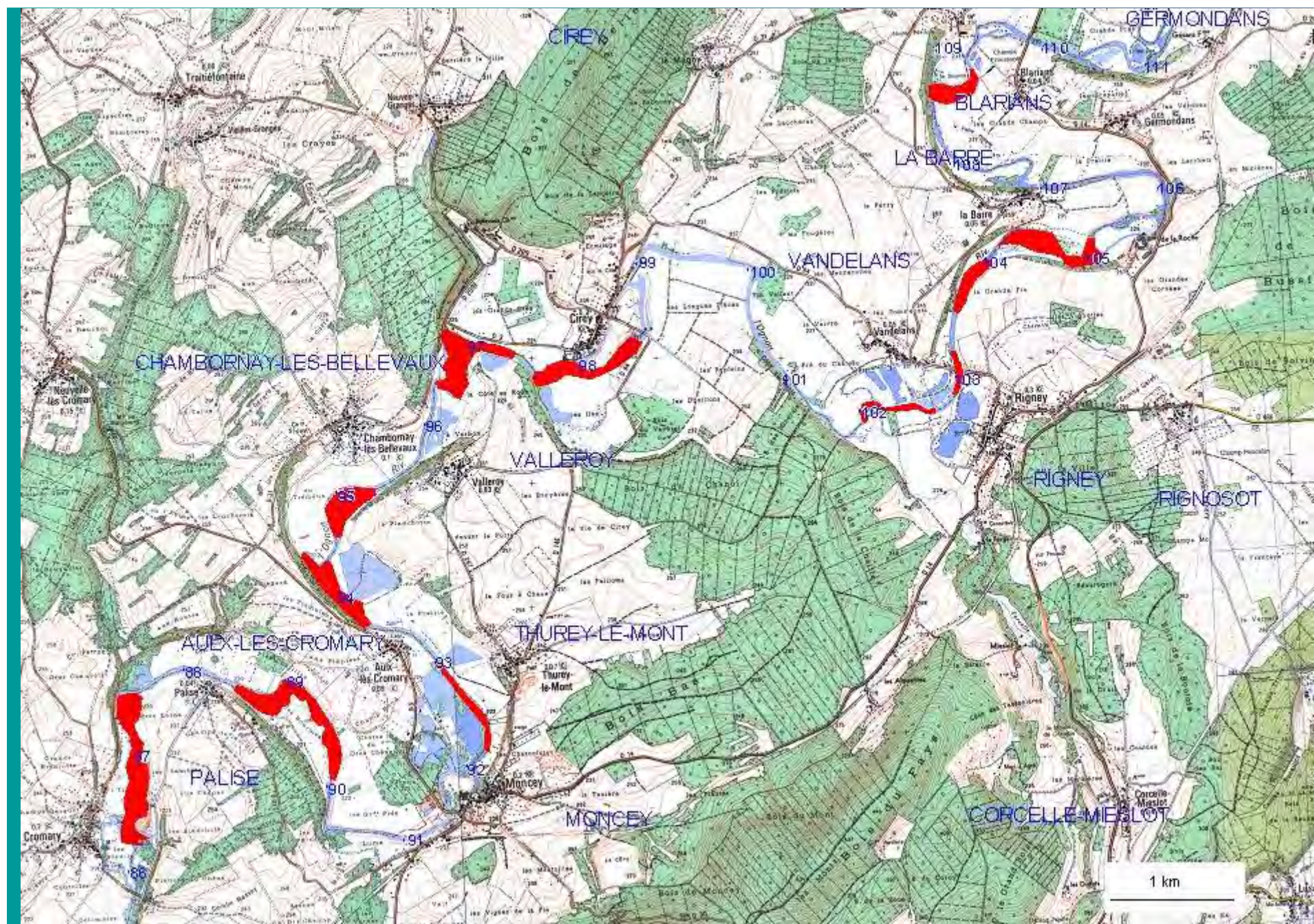


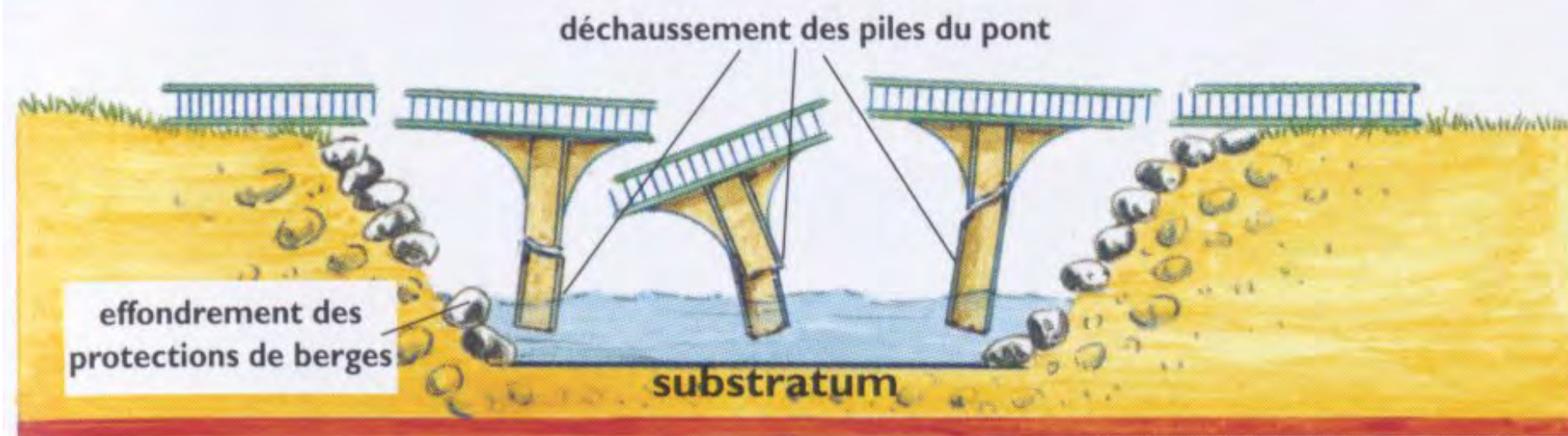
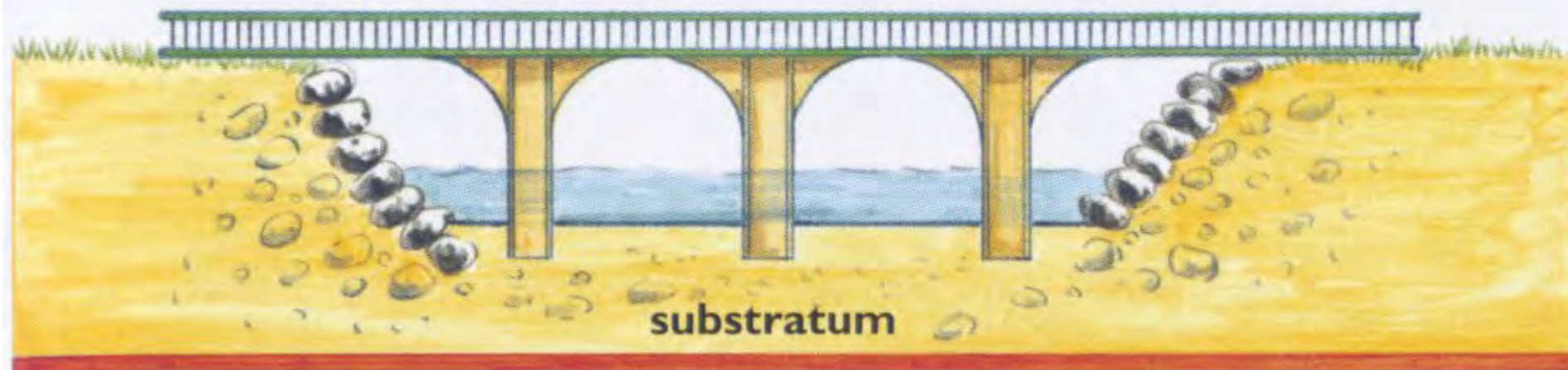


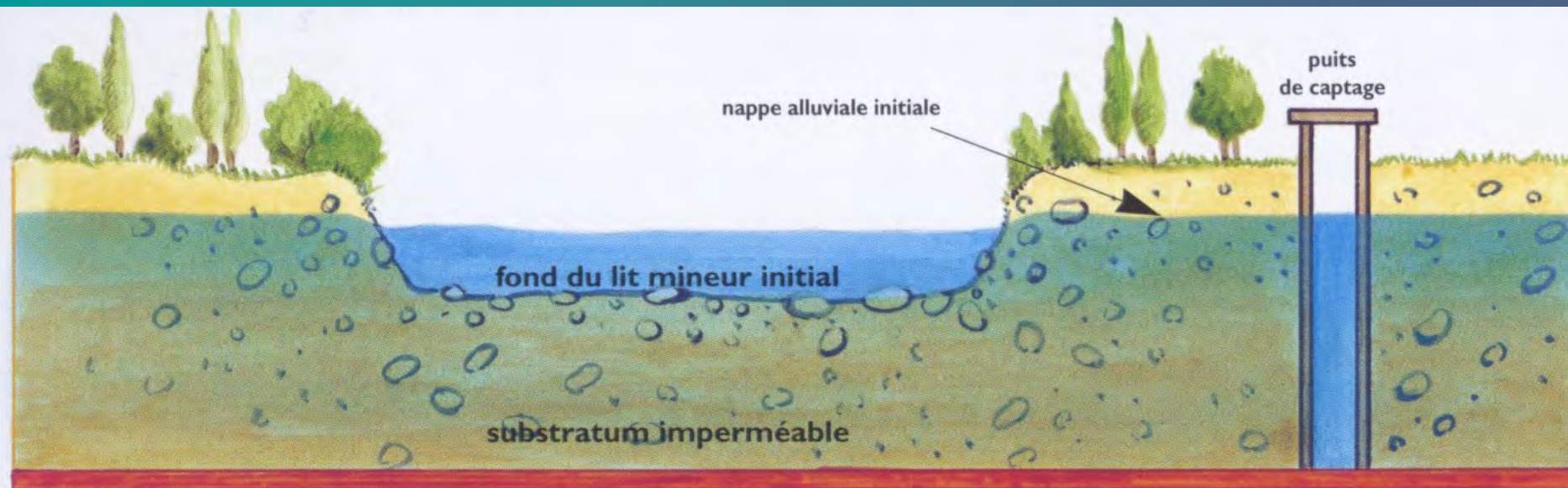
68-PR 1582 150.

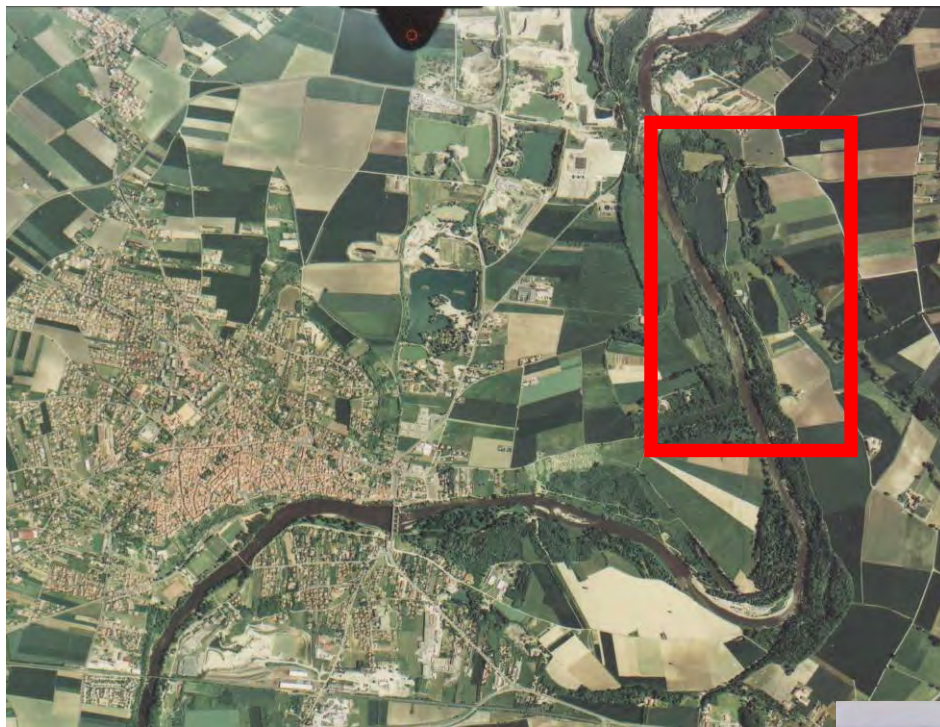
478











Pont du Château





IMPACTS DES SEUILS

(étude AELB : Malavoi, Area, 2003)

Les seuils en rivière ont des effets physiques à 3 niveaux

- Ils modifient les flux liquides, solides, biologiques
 - Ils ont un effet retenue
 - Ils ont un effet « point dur »

Ces effets physiques ont des impacts

- Des impacts physiques
- Des impacts écologiques





Érosion progressive

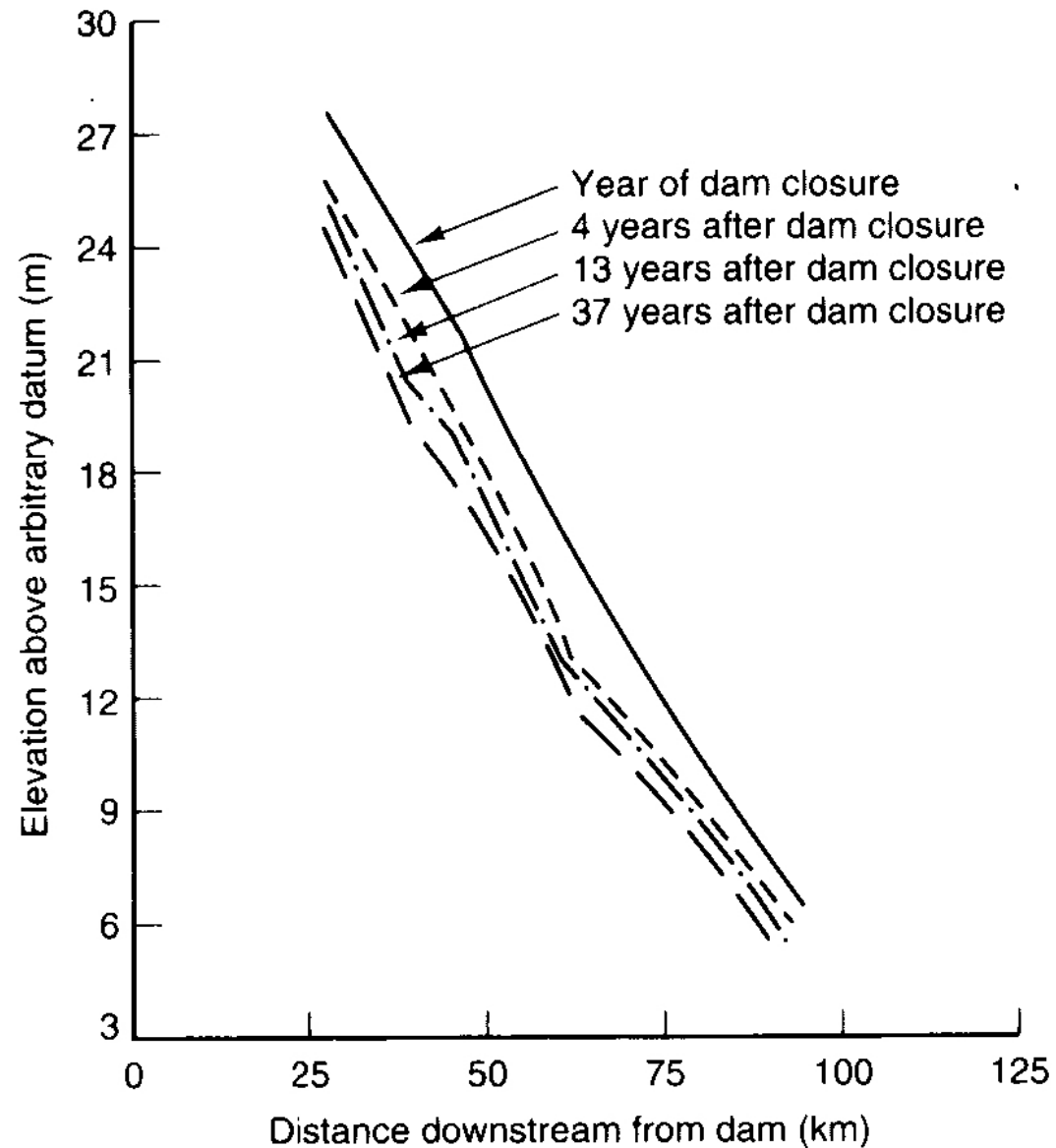
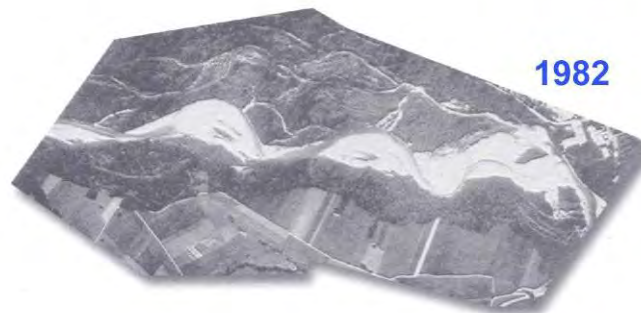
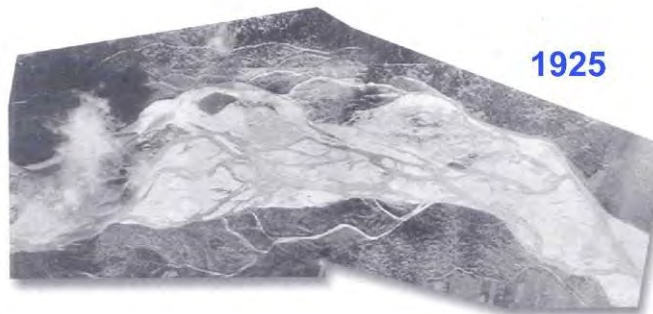
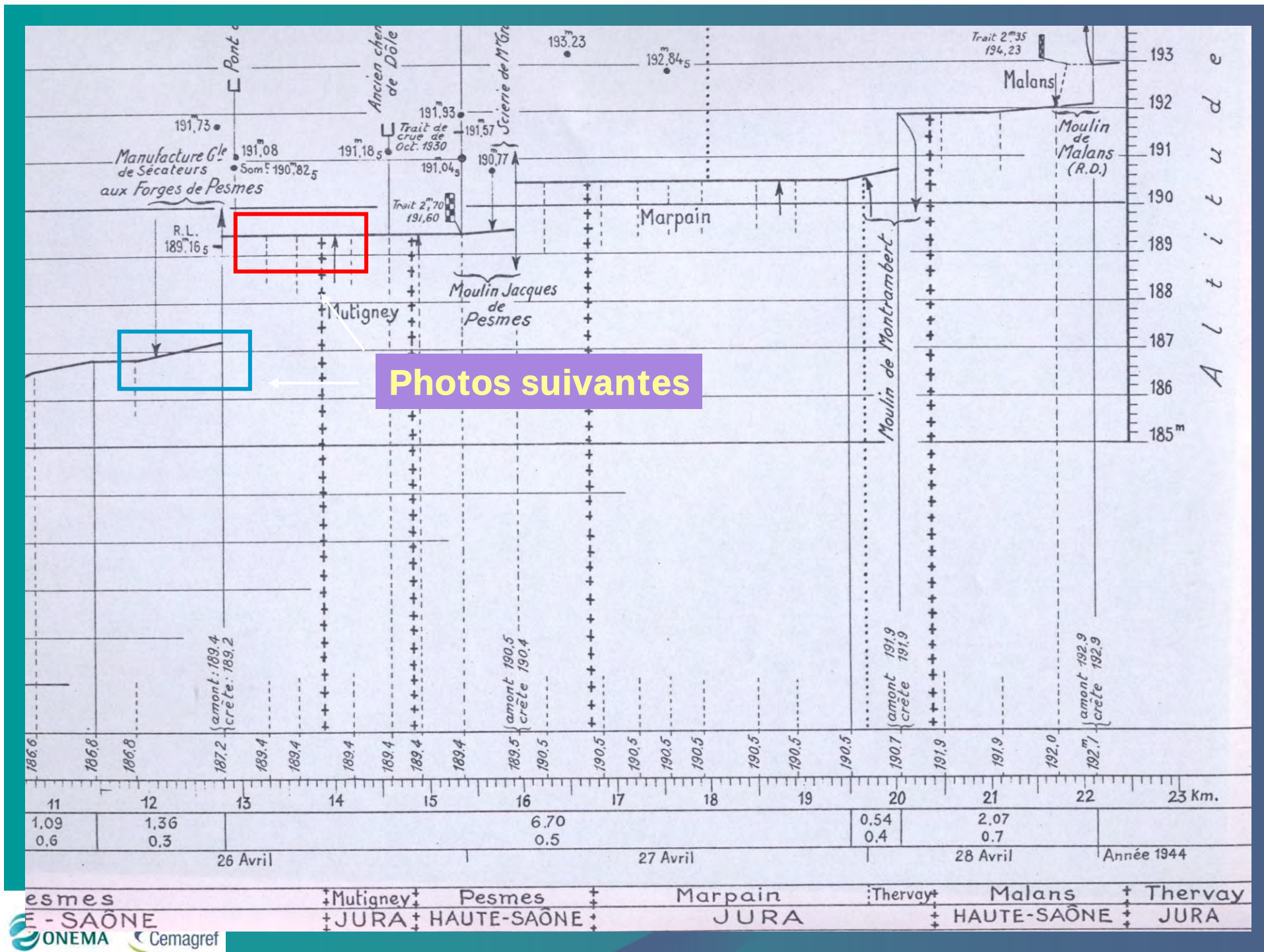


Fig 7.2 Longitudinal profile of Colorado River downstream from Parker Dam at dam closure and 4, 13 and 37 years later. (Source: Williams and Wolman, 1984.)

Métamorphose fluviale (l'Isar)





secteur naturel



Amont de seuil



secteur naturel



Amont de seuil



NIVEAU TYPOLOGIQUE	(Sup) Zone à Truite (Inf)				Zone à Ombre		Zone à Barbeau		Zone à Brême
	B0-B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
TYPE DE MILIEU	Sources et ruisselets Secteur non ou peu piscicole	Ruisseaux issus de sources d'altitude	Ruisseaux monta- gnards	Petites rivières froides	Rivières de prémon- tagne	Rivières fraîches	Cours d'eau de plaine aux eaux plus chaudes	Grands cours d'eau de plaine	Bras morts Noues - Grands cours d'eau lents et chauds
OMBLE DE FONTAINE									
CHABOT									
TRUITE									
VAIRON									
LOCHE FRANCHE									
OMBRE COMMUN									
GOUJON									
CHEVAINE									
HOTU									
LOTTE									
VANDOISE									
SPIRLIN									
BARBEAU									
PERCHE									
BROCHET									
BOUVIERE									
GARDON									
TANCHE									
CARPE									
GREMILLE									
ABLETTE									
SANDRE									
PERCHE-SOLEIL									
BREME									
BREME BORDELIERE									
ROTENGLE									
POISSON-CHAT									
BLACK-BASS									



Espèce centrale
Abondance optimale



espèce intermédiaire
Abondance moyenne



Espèce marginale
Abondance faible

Tableau 2 – La composition des peuplements ichtyologiques potentiels associés aux types de cours d'eau
(d'après VERNEAUX, 1981)

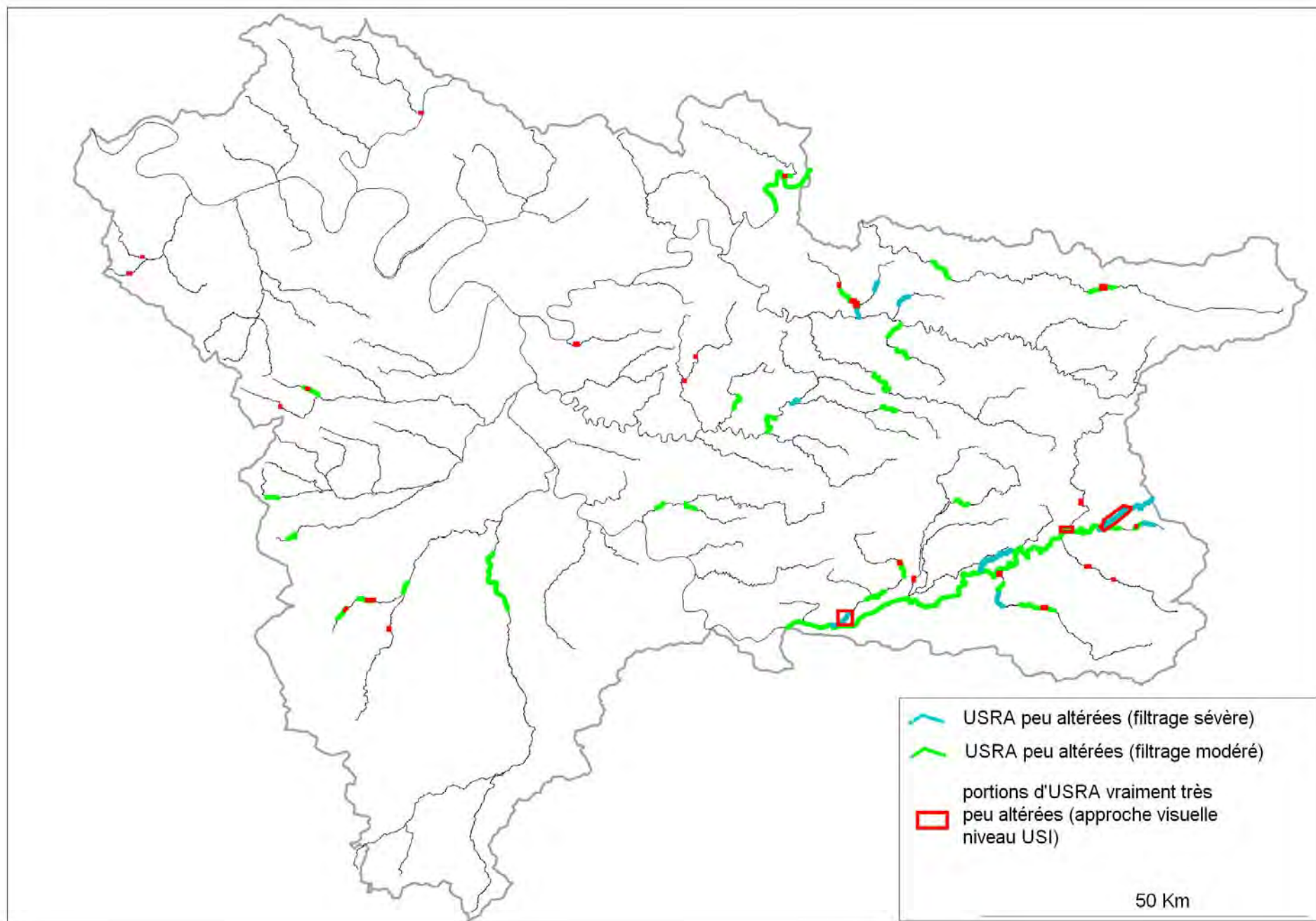
Concepts généraux de la restauration hydromorphologique

Trois grandes catégories d'actions sur un cours d'eau
visant à préserver ou à restaurer un bon
fonctionnement morpho-écologique :

si le fonctionnement morpho-écologique
est encore bon :

⇒ préservation : catégorie P.

*Il s'agira le plus souvent d'opérations de sensibilisation
ou de maîtrise foncière de secteurs menacés par une
pression anthropique latente.*



**si le fonctionnement morpho-écologique est
légèrement dégradé mais encore correct :**

**⇒ limitation des dysfonctionnements futurs :
catégorie L.**

si l'état est dégradé :
⇒ restauration : catégorie R.

Catégorie R :
3 niveaux d'objectifs de restauration
= 3 niveaux d'ambition

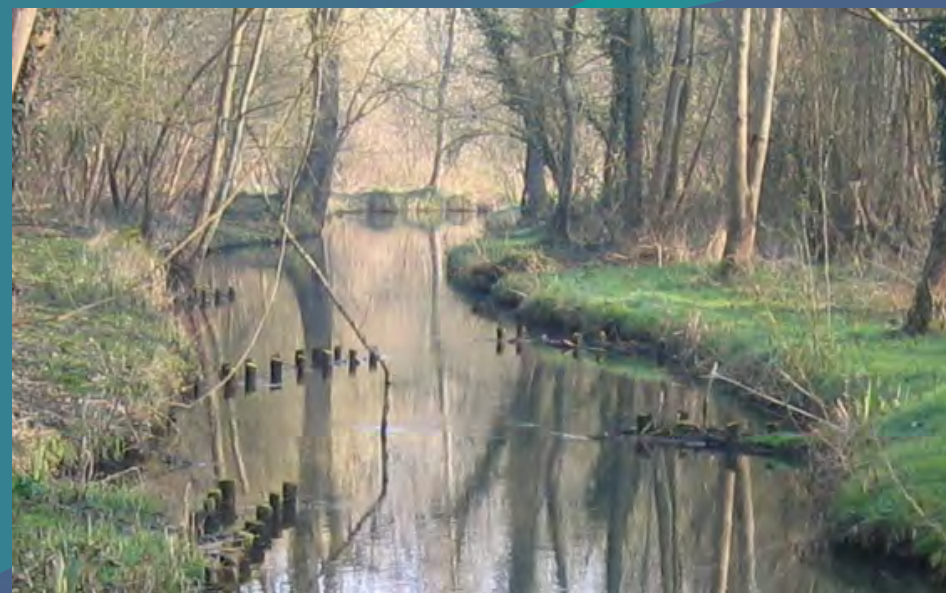
niveau R1

- **restauration d'un compartiment de l'hydrosystème, souvent piscicole, dans un contexte où l'on ne peut réaliser une véritable opération de restauration fonctionnelle.**
- **peut être mis en œuvre dans l'emprise actuelle du lit mineur.**
- **surtout utilisé en zone urbaine ou péri-urbaine, où les contraintes foncières sont importantes;**



R1

Pas assez de puissance



niveau R2

- objectif de restauration fonctionnelle plus globale.
L'amélioration de tous les compartiments aquatiques et rivulaires est visée : transport solide, habitat aquatique, nappe alluviale, ripisylve.
- Ce niveau nécessite une emprise foncière plus importante (de 2 à 10 fois la largeur du lit mineur avant restauration). Il peut être atteint par exemple par un léger reméandrage pour un cours d'eau rectifié, par un écartement des digues pour un cours d'eau fortement endigué, par la "remise" à ciel ouvert d'un lit de cours d'eau couvert, etc.

R2 L'Isar à Munich (Binder, 2006)



before



after



R2 : L'Enz à Pforzheim (Handbuch Wasser 2, 1995)





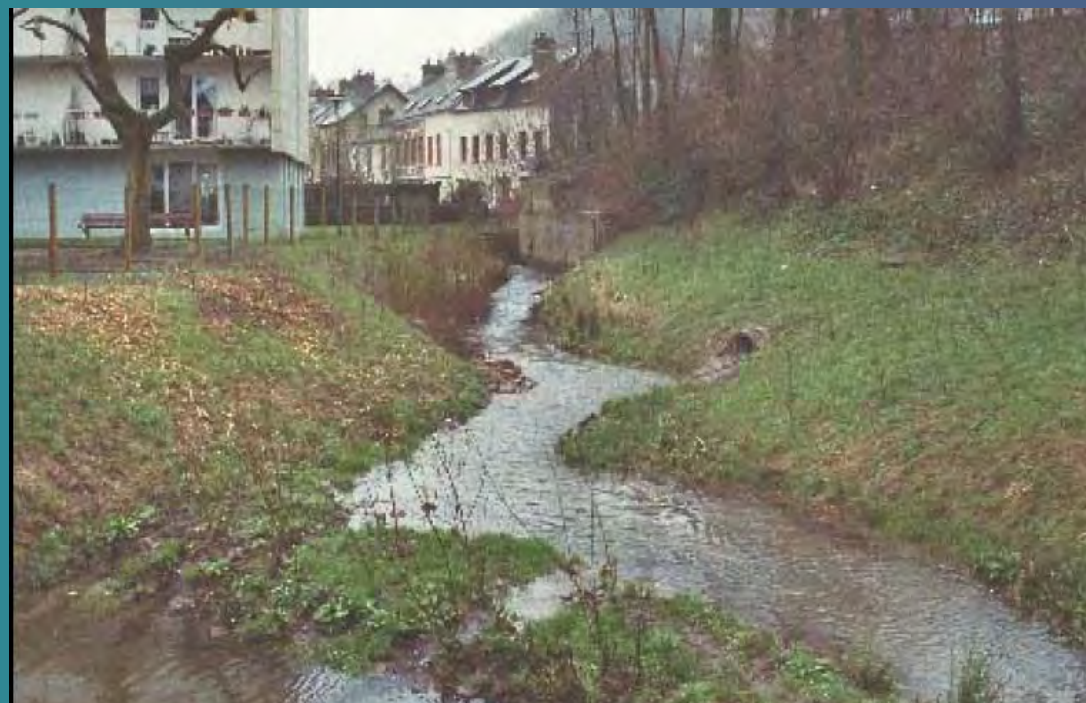
R2 : L'Alb (Handbuch Wasserbau, 1992)



R2 : (photos Biotec)



R2 : Le Bolbec (76)



R2 un peu trop rigoureux...



niveau R3

- **niveau R2 + espace de mobilité ou de fonctionnalité.**
- **restauration fonctionnelle totale de l'hydrosystème y compris de la dynamique d'érosion et du corridor fluvial.**
- **emprise nécessaire : minimum 10 fois la largeur du lit mineur avant restauration.**

R3 : la Wandse (Glitz, 1983)



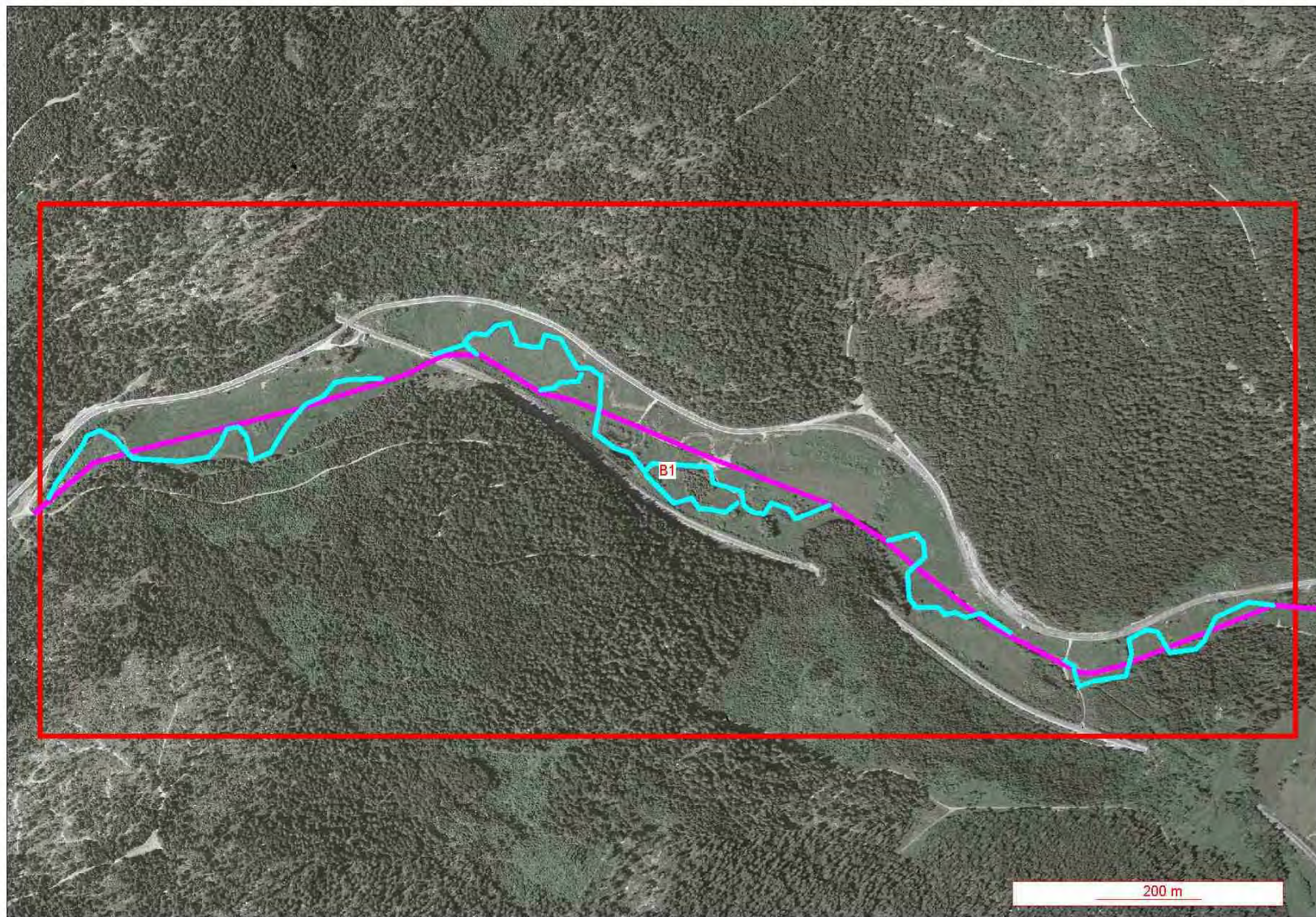


R3 : La Sulzbächle avant et après restauration (1990) (Handbuch Wasserbau, 1992)

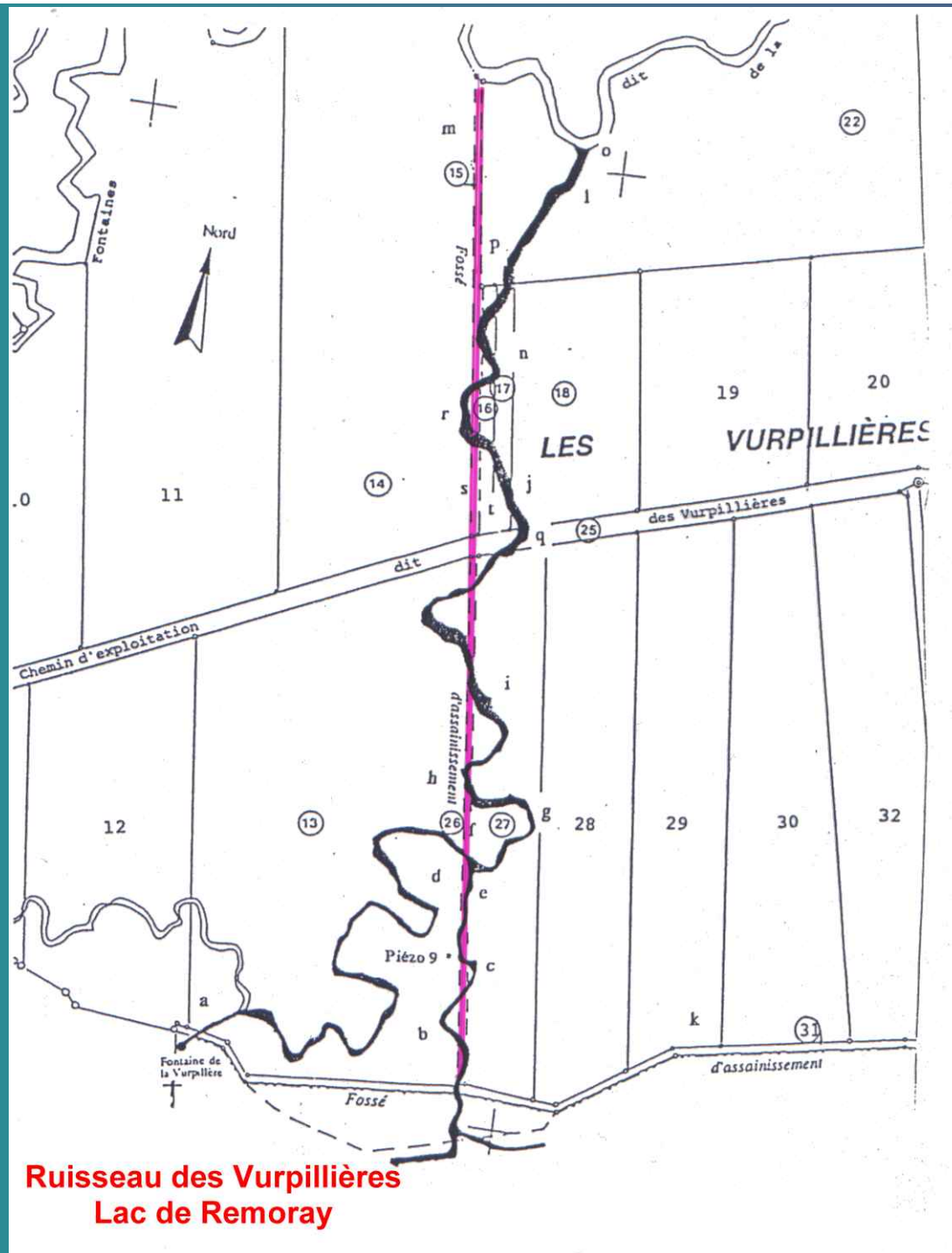


des sites pilotes Français (1996)

R3 le Drugeon



R3 : le ruisseau des Vurpillières





R1



R3

POSTULAT GÉODYNAMIQUE

- plus un cours d'eau est puissant
- plus ses berges sont facilement érodables
- plus les apports solides sont importants

	1	2	3	4
Puissance – W	$< 10 \text{ W/m}^2$	10-30 W/m^2	30-100 W/m^2	$> 100 \text{ W/m}^2$
Erodabilité des berges – B	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Potentiel d'apports solides – A	Nul	Faible	Moyen	Fort

- meilleure est la garantie de réponse positive du système
- plus rapides sont les résultats
- plus pérennes sont les bénéfices écologiques de la restauration

la puissance = produit pente/débit

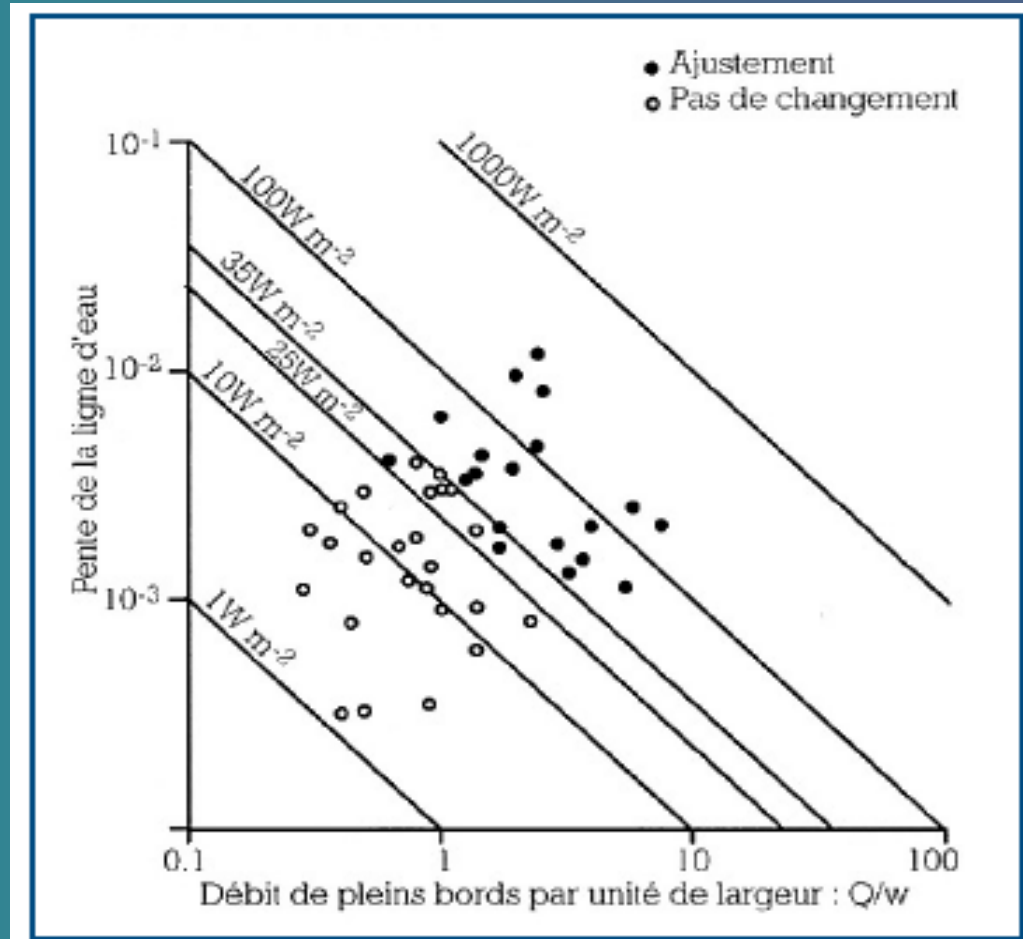
Puissance brute

$$\Omega = \gamma QJ \quad (\text{en watts/m})$$

Puissance spécifique

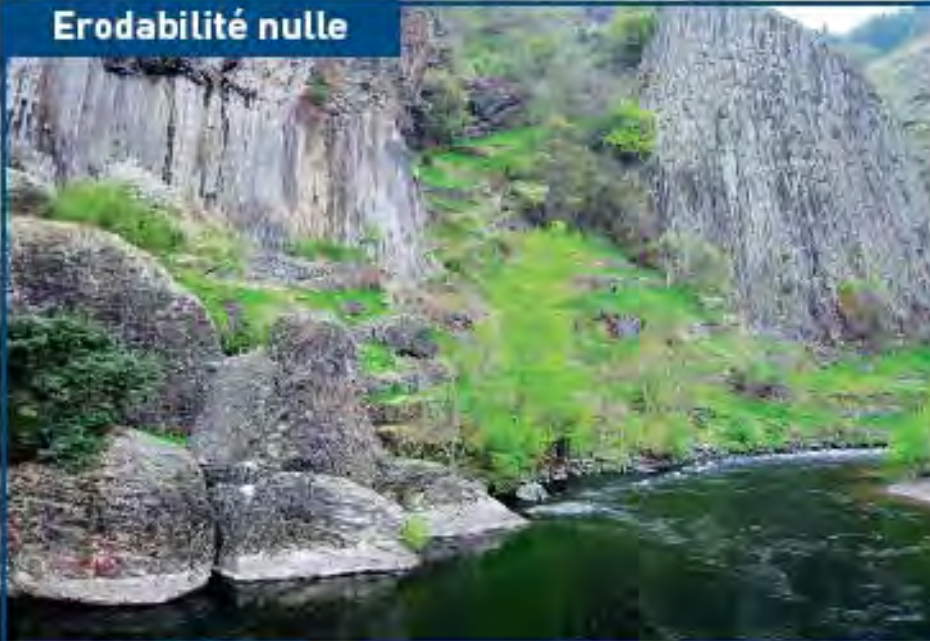
$$\omega = \Omega/l \quad (\text{en watts/m}^2)$$

où γ est le poids volumique de l'eau (9810 N/m³), Q le débit (m³/s), J la pente de la ligne d'énergie en m/m, l la largeur du lit pour le débit utilisé (m)



L'érodabilité des berges

Erodabilité nulle



Erodabilité faible



Erodabilité moyenne

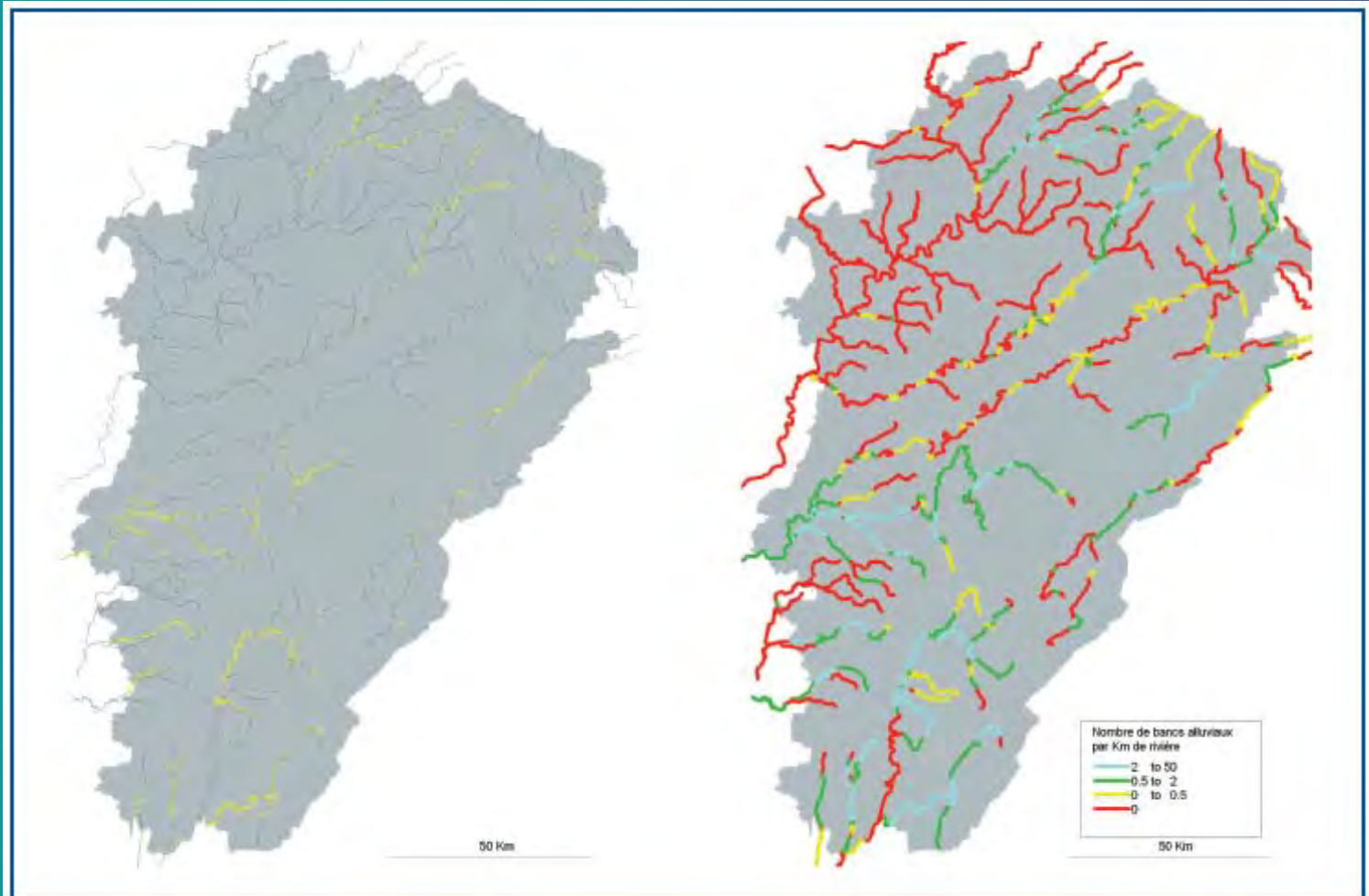


Erodabilité forte





les apports solides



Exemple extrême : rôle des apports solides



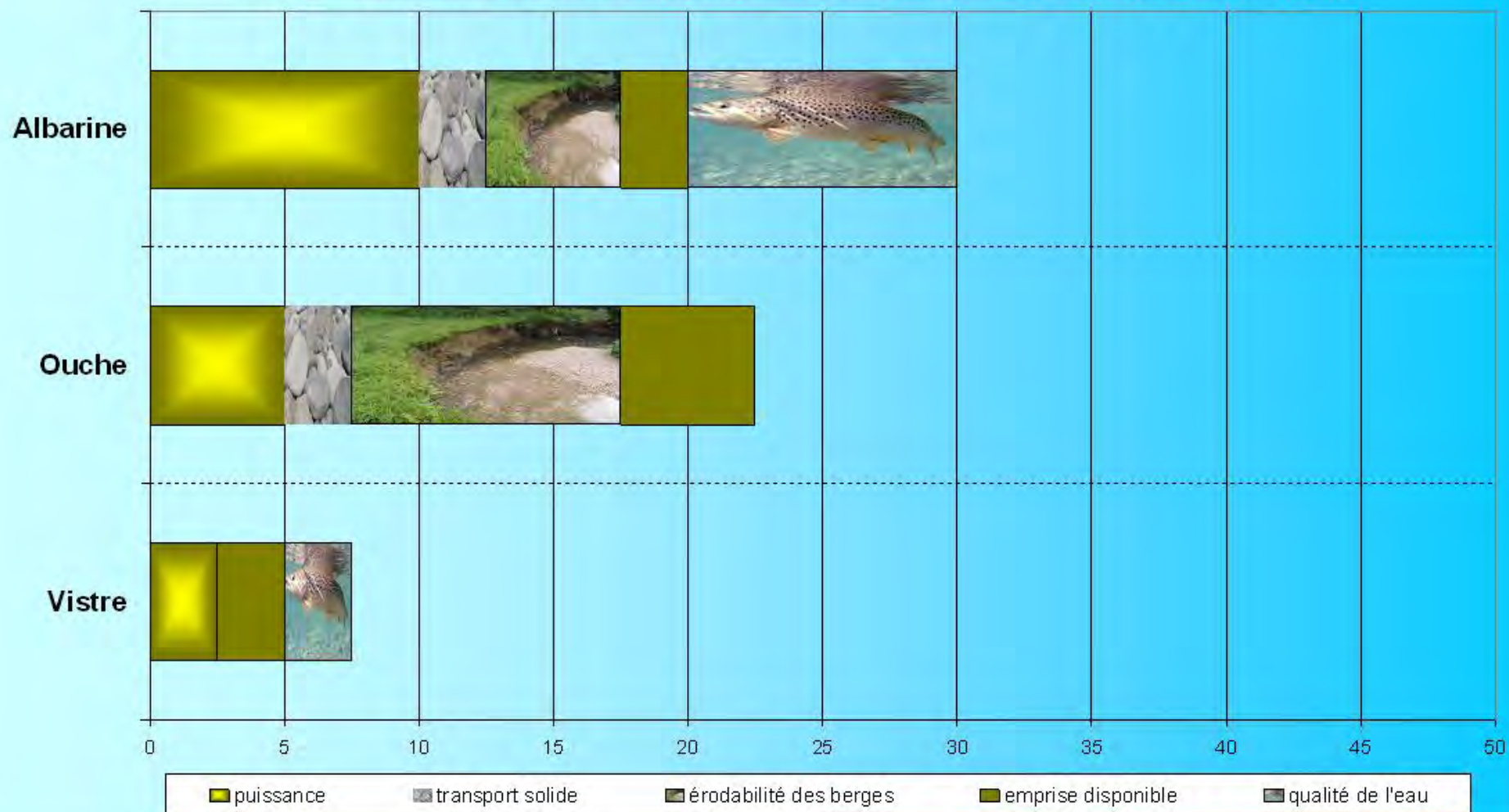
GRILLE D'EVALUATION DE L'EFFICIENCE PROBABLE D'UN PROJET

Efficiency = function

- *des caractéristiques géodynamiques*
 - *de l'emprise possible*
 - *de la qualité de l'eau*

Note	0	2.5	5	10
Paramètre				
Puissance spécifique	<10 W/m ²	10-30 W/m ²	30-100 W/m ²	> 100 W/m ²
Erodabilité des berges	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Potentiel d'apports solides	Nul	Faible	Moyen	Fort
Emprise disponible	1 largeur de lit	1 à 3 L	3 à 10 L	> 10 L
Qualité de l'eau	Mauvaise	Médiocre	Passable	Bonne

NOTE D'EFFICIENCE MAXIMALE PROBABLE D'UN PROJET DE RESTAURATION





ATTENTION



Cette approche ne doit pas amener à ne financer que les opérations présentant les meilleurs scores. Tous les cours d'eau dégradés méritent une restauration. La prise de décision finale reposera donc sur des critères complémentaires au seul score d'efficacité probable, tels que l'existence d'approches globales de gestion (Sage³, contrat de rivière), la présence de fortes volontés locales, etc.



■ Détermination de la longueur minimale pertinente

Dans le même esprit, il est important de vérifier si le linéaire concerné par le projet est pertinent par rapport à la taille du cours d'eau, par rapport au niveau d'objectif et enfin par rapport au niveau d'ambition souhaité.

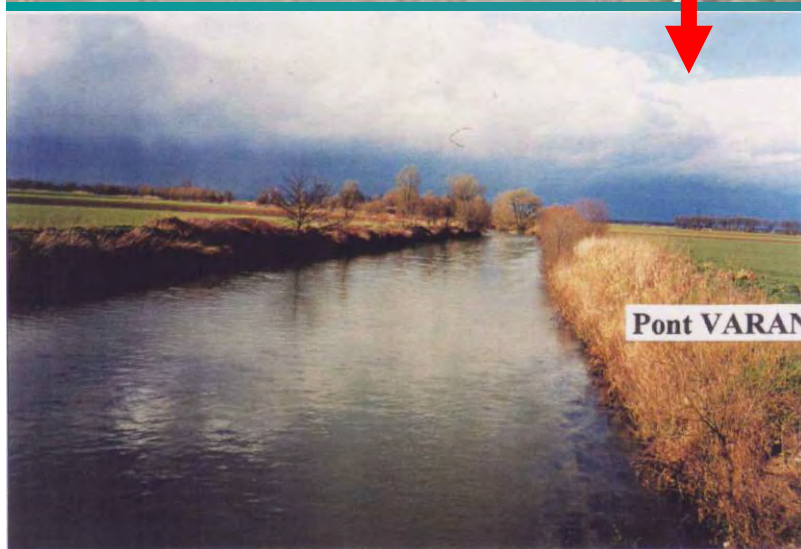
Ainsi, une restauration de 100 m de rivière, qu'elle soit de niveau R1 ou R3, n'a que peu d'intérêt d'un point de vue biologique, sauf très localement, pour un cours d'eau dont la largeur est supérieure à 10 m. Par contre, pour un cours d'eau dont la largeur est de 2 m, une telle restauration peut produire des effets positifs significatifs à l'échelle d'un tronçon.

Nous proposons donc une grille sommaire d'évaluation de la pertinence d'une opération de restauration de cours d'eau sur la base de la proportionnalité linéaire restauré/ largeur du cours d'eau :

- **linéaire inférieur à environ 20 fois la largeur** : effet généralement uniquement local. Opération qui peut avoir éventuellement un intérêt en traversée urbaine couplé à un objectif paysager ; peut se justifier aussi pour des opérations pilotes destinées à devenir des « vitrines » locales de ce qui peut se faire en matière de restauration (objectif de sensibilisation) ; peut se justifier enfin pour la restauration d'un habitat particulier d'une espèce patrimoniale (zone de reproduction notamment), qui peut se traduire par un effet positif bien au-delà du simple secteur restauré ;
- **linéaire compris entre 20 et 100 fois la largeur du cours d'eau** : l'effet reste local mais on se rapproche de dimensions pertinentes à l'échelle d'un tronçon de cours d'eau ;
- **linéaire supérieur à 100 fois la largeur** : on atteint des dimensions significatives vis-à-vis de la restauration de tronçons de cours d'eau.

Exemple : l'Ouche en aval de Dijon (environ 15 fois la largeur)





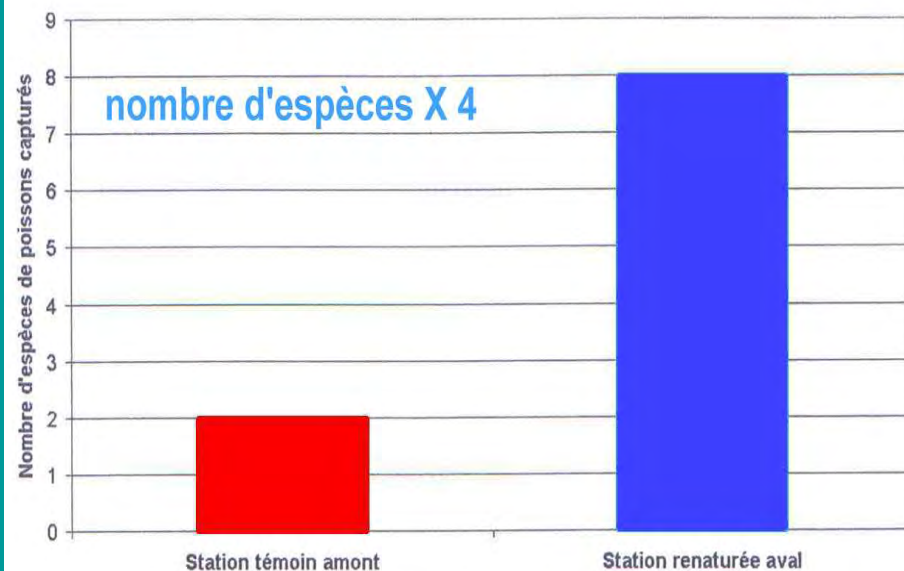


Figure 8 : Comparaison du nombre d'espèces de poissons capturés aux 2 stations d'étude.

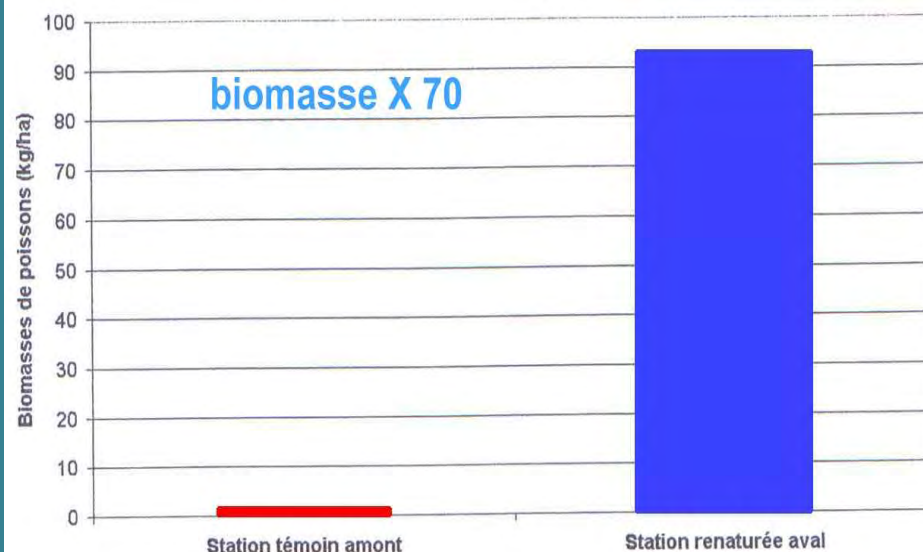


Figure 9 : Comparaison des abondances totales de poissons capturés sur l'Ouche.

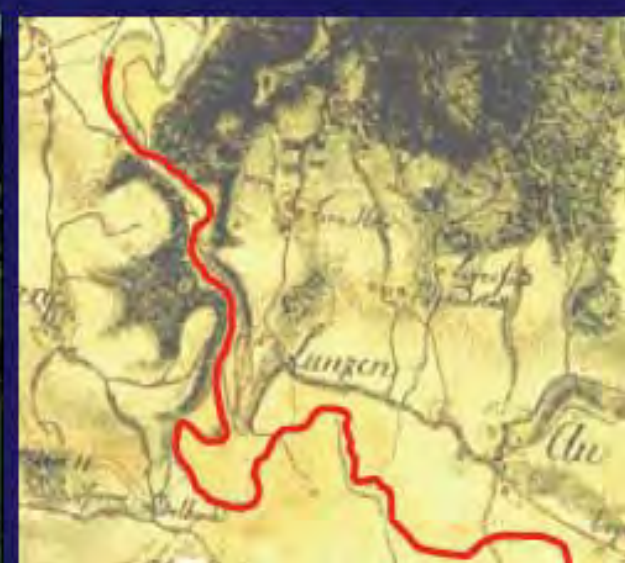
STATION	Nombre habitats prospectés	Espèce	Densité (ind./ha)	Biomasse (kg/ha)	Classe d'abondance
Station témoin amont	11	<i>Vairon</i>	144	0.1	P
Station témoin amont	11	<i>Chevaine</i>	862	0.6	P
Station témoin amont	11	<i>Ecrevisse américaine</i>	96	0.6	
Station témoin amont		TOTAL	1102	1.3	
Station renaturée aval	15	<i>Vairon</i>	393	0.4	1
Station renaturée aval	15	<i>Loche</i>	1769	4.9	2
Station renaturée aval	15	<i>Epinoche</i>	98	0.2	4
Station renaturée aval	15	<i>Blageon</i>	98	0.3	1
Station renaturée aval	15	<i>Chevaine</i>	8501	86.6	4
Station renaturée aval	15	<i>Goujon</i>	49	0.2	1
Station renaturée aval	15	<i>Gardon</i>	49	0.0	P
Station renaturée aval	15	<i>Ablette</i>	246	0.4	1
Station renaturée aval		TOTAL	11204	93.0	

Restructuring of the River Melk 1985-1990

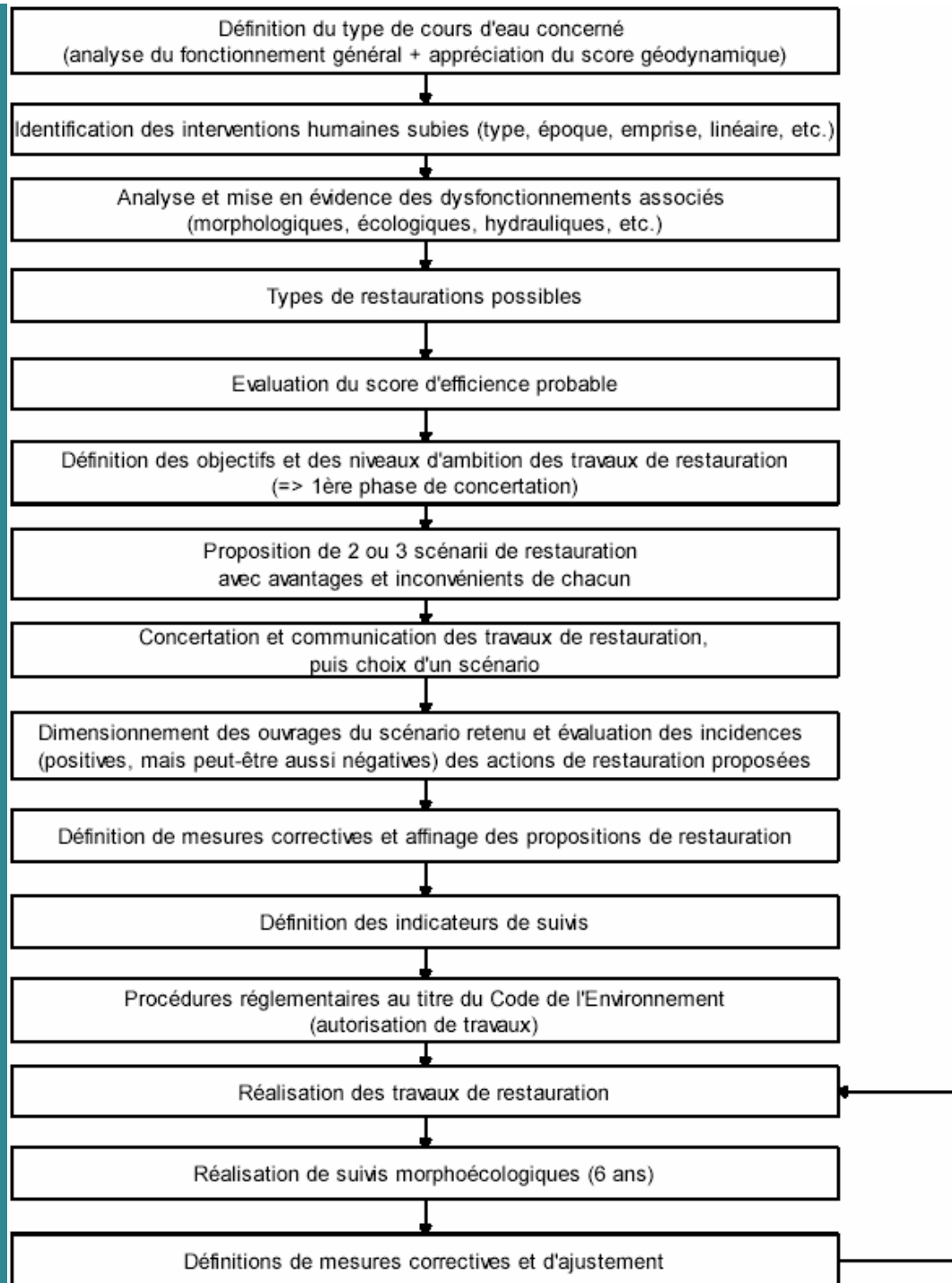


www.boku.ac.at/hfa

Number of self-sustaining fish species



Avant toute chose une étude préalable



Contenu de l'étude préalable

Une étude préalable à un projet de restauration devrait a minima contenir les éléments suivants :

- **analyse du fonctionnement géodynamique et écologique** du tronçon géomorphologique homogène concerné ;
- **appréciation de l'état de dégradation de ce fonctionnement** sur le linéaire directement touché par les travaux de restauration ;
- **évaluation du contexte socio-politique et foncier** (évaluation de la demande locale ou collective de restauration, des disponibilités foncières envisageables, etc.) ;
- **évaluation a priori de l'efficience des travaux** (appréciation du score d'efficience probable) ;
- **identification des objectifs et du niveau d'ambition de l'opération de restauration envisagée.**

Contenu de l'étude de suivi

L'objectif d'un suivi des travaux de restauration est double :

- analyser l'ensemble des impacts positifs (ou négatifs) immédiats ou à plus long terme des travaux réalisés ;
- proposer des mesures correctives en cas de résultats peu probants voire négatifs.

Il s'agit donc de répondre à deux types de questions :

- quels sont les processus géodynamiques et les caractéristiques géomorphologiques qui ont été restaurés suite à la réalisation des travaux (taux d'érosion latérale, transport solide, stabilisation du fond du lit, diversification des écoulements, etc.) ?
- cette restauration hydromorphologique s'est-elle traduite par une amélioration notable du fonctionnement écologique des lits mineur, moyen et majeur ?

Pour répondre à ces deux questions, un certain nombre de mesures doivent être réalisées :

- des mesures « *géomorphologiques* » qui permettront de quantifier :
 - les taux d'érosion latérale, l'évolution du profil en long, les phénomènes d'alluvionnement, les relations avec la nappe alluviale, la diversification des écoulements (faciès) ;
- des mesures « *écologiques* » qui apporteront des éléments concernant l'amélioration :
 - du fonctionnement du lit mineur (état des biocénoses aquatiques, amélioration de la qualité physico-chimique) ;
 - du fonctionnement du lit moyen (qualité écologique des bancs alluviaux) ;

■ Suivi géomorphologique

Le pas de temps du suivi géomorphologique sera au minimum de **3 ans, après une campagne initiale avant travaux** (soit 3 campagnes sur 6 ans : état initial, état n+3, état n+6). Toutefois, si une crue de fréquence supérieure à 5 ans se produit dans l'intervalle, une campagne exceptionnelle pourra être réalisée dans l'intervalle.

L'emprise du suivi correspondra à la zone restaurée augmentée d'une longueur minimale équivalente à $10 \times$ la largeur du lit en amont (sauf en cas de dérasement de seuil où l'on visera $50 \times$ la largeur du lit) et de $50 \times$ la largeur en aval (ordres de grandeur empiriques qui devraient permettre une bonne appréciation de l'évolution géomorphologique du secteur concerné) :

- cartographie des faciès d'écoulement ;
- lever d'un profil en long : ligne d'eau d'étiage + 1 point en fond de lit (point le plus bas du lit sur un profil en travers), avec une densité des points relevés égale à 1 point/largeur de lit ;
- lever de profils en travers (densité des profils relevés égale à 1 profil/3 largeurs de lit mineur) ;
- mesures granulométriques : 1 échantillon/5 largeurs de lit mineur, si possible sur des faciès tels que *radier* ou *plat*).

■ Suivi écologique

Le pas de temps du suivi écologique sera au minimum de **3 ans, après une campagne initiale avant travaux** :

- **lit mineur** : pêches électriques (méthode De Lury, pêche par ambiance, etc.), inventaires hydrobiologiques (protocole DCE) ;
- **lit moyen** (bancs alluviaux non ou peu végétalisés) : inventaire faunistique et floristique des bancs alluviaux ;
- **lit majeur** (si concerné par les travaux) : cartographie de l'occupation des sols du corridor alluvial (dans l'espace de mobilité et de fonctionnalité), inventaire floristique et faunistique des milieux terrestres, inventaire floristique et faunistique des annexes hydrauliques restaurées (partie en eau et partie terrestre).

Fiches « restauration »

Tableaux de synthèse

par type de dysfonctionnement pour aider au choix des techniques de restauration

Type de dysfonctionnement	Niveau d'ambition souhaité R1 à R3	Familles de travaux envisageables à l'échelle locale	Remarques et précautions à prendre
Réduction de la profondeur d'eau à l'étiage	R1	Réduction de la largeur du lit d'étiage par toute structure hydraulique permettant de concentrer l'écoulement d'étiage dans un lit mieux dimensionné, garantissant à minima des profondeurs de l'ordre de 30-40 cm (fiches 3, 4 et 11)	- Plus le score physique est élevé et plus la restauration pourra être passive - Le dimensionnement et le positionnement des structures hydrauliques doivent tenir compte de paramètres géomorphologiques : quelle est la profondeur moyenne visée et pour quel débit (étiage sévère, étiage moyen, module, etc.) ? Quel est l'objectif : simple réhausse de la lame d'eau, réhausse concomitante de la nappe d'accompagnement, etc. ? Quelles doivent être la taille, la forme, la nature des structures pour résister à la puissance hydraulique du cours d'eau ? - et de paramètres écologiques : s'agit-il d'une recherche de l'amélioration de l'habitat ? D'une amélioration de la franchissabilité d'un secteur par différentes espèces, etc. ?
	R2	Reconstruction d'un lit d'étiage et d'un lit moyen (bancs alluviaux ou risbermes artificielles [fiches 4 et 11]), écartement des digues si elles sont trop près du cours d'eau (fiche 13), reméandrage (fiche 15)	
	R3	Idem R2 + espace de fonctionnalité (fiches 4, 11, 13 et 15)	

Quelques exemples de fiches

Fiche « simple »

Bancs et risbermes alternés

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNÉS

Homogénéisation des faciès, faibles profondeurs à l'étiage, absence de bancs alluviaux

NIVEAU D'AMBITION

R1-R2

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous mais les bancs alternés se formeront plus ou moins naturellement sur des cours d'eau à transport solide moyen à fort. Les risbermes artificielles sont à recommander sur les cours d'eau à faible transport solide



Généralités

Contexte d'application

La recréation de bancs alluviaux alternés « naturels » ou de risbermes artificielles est une technique intéressante dans un contexte de lit rectiligne ou quasi-rectiligne présentant une grande homogénéité des faciès d'écoulement (PLAT dominant) ainsi que de faibles profondeurs en étiage (étalement de la lame d'eau). L'objectif poursuivi est donc à la fois d'améliorer la diversité des écoulements du lit mineur et d'en augmenter la profondeur si celle-ci est insuffisante mais aussi de recréer des habitats rivulaires se rapprochant de ceux que l'on trouve sur les bancs alluviaux naturels.

Principes généraux

La technique de restauration consiste à recréer des structures se rapprochant de la morphologie des bancs alluviaux alternés qui se développent sur les cours d'eau à transport solide moyen à fort. Sur ces cours d'eau, même sur des tronçons

naturellement ou artificiellement rectilignes, la migration des alluvions grossières se fait sous la forme caractéristique de **bancs alternés**.

Lorsque les berges sont érodables, ces bancs alternés favorisent l'érosion latérale et initient le développement de sinuosités, voire de méandres. Les expériences menées en laboratoire depuis plusieurs décennies sont tout à fait explicites.

Les bancs alluviaux alternés se développent dans des conditions naturelles ou en chenal expérimental selon un **schéma en plan très régulier** :

- leur 1/2 longueur d'onde est de l'ordre de 4 à 6 fois la largeur du lit mineur à pleins bords (L) ;
- leur longueur développée dans l'axe du chenal est elle aussi de 4 à 6 fois L ;
- leur largeur perpendiculairement à l'axe du chenal est comprise entre 0.5 et 1 L (le profil en travers est généralement plongeant de la rive convexe vers la rive concave).

Notons que ces bancs alluviaux peuvent être plus ou moins végétalisés selon l'hydraulicité récente du cours d'eau. Ils présentent ainsi des

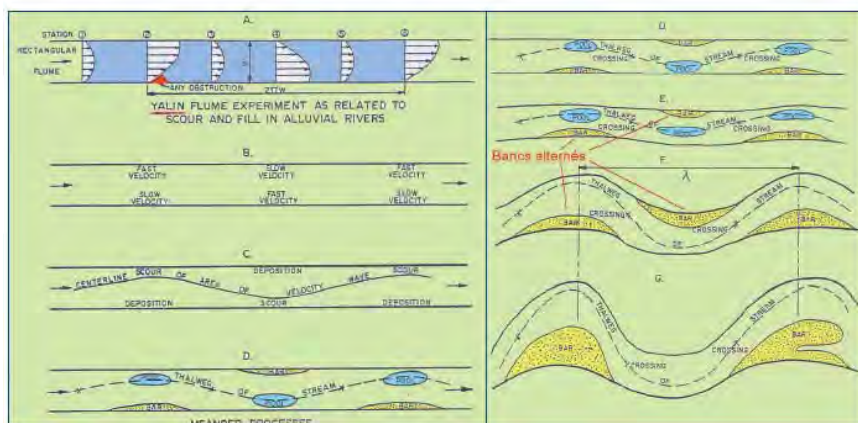


Figure 16 : Expérience de Yalin sur modèle réduit montrant le développement de bancs alternés puis de sinuosités (Yalin, 1972).



Figure 17 : Exemple de bancs alternés se développant naturellement sur l'Isère (38) rectifiée et endiguée (source : Géoportail, IGN).

milieux naturels rivulaires très évolutifs et extrêmement riches, depuis les alluvions purement minérales jusqu'à des fourrés de saules vieillissants, en passant par toutes les successions herbacées.

Préconisations

Les principes mis en œuvre de ces techniques seront très variables selon le score géodynamique du cours d'eau et particulièrement selon ses apports solides :

Apports solides moyens à forts

On pourra dans ce cas se « contenter » de créer des structures de blocages des alluvions en transit de type « série d'épis » (fiche 3). Si les zones de stockage d'alluvions grossières se situent très en amont du site à restaurer (à plusieurs « années de transport ») on pourra éventuellement amener les matériaux directement sur le site et les disposer au droit des structures de blocage.

Apports solides faibles

Si les apports naturels d'alluvions ne sont pas envisageables, il sera nécessaire de créer artificiellement des structures ressemblant aux bancs alternés naturels. On parlera ici de risbermes. Il est également indispensable d'adapter les ouvrages à la puissance du cours d'eau. Ainsi, plus la puissance du cours d'eau sera importante, et plus les aménagements devront être renforcés (par exemple au moyen d'enrochements, avec l'emploi de géotextiles tissés biodégradables en coco si les risbermes sont végétalisées, etc.).

Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

Analyse obligatoire des variables géodynamiques de transport solide, de puissance et d'érodabilité des berges vues plus haut, ceci de manière à déterminer d'emblée si la restauration sera passive ou active, simple avec la seule mise en place de dépôts graveleux ou très aboutie avec des risbermes totalement construites, voire végétalisées, etc.

Caractéristiques techniques à respecter

Le schéma ci-après (figure 18) présente une implantation typique de risbermes alternés dont les caractéristiques sont calquées sur celles des bancs alternés naturels.

Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

Risque d'augmentation de la fréquence des débordements

La réduction de la section d'écoulement par les structures peut à elle seule engendrer une augmentation de la fréquence des débordements. En milieu urbain ou périurbain, il sera donc nécessaire de modéliser les effets hydrauliques de cette réduction de capacité (modèle hydraulique simple monodimensionnel permettant de faire varier la rugosité du lit et/ou la section d'écoulement). Le vrai risque hydraulique dans les secteurs soumis à un enjeu « inondation » nous semble surtout lié à la nécessité d'entretien des bancs ou des risbermes pour éviter le développement d'une végétation trop dense qui conduirait à une réduction

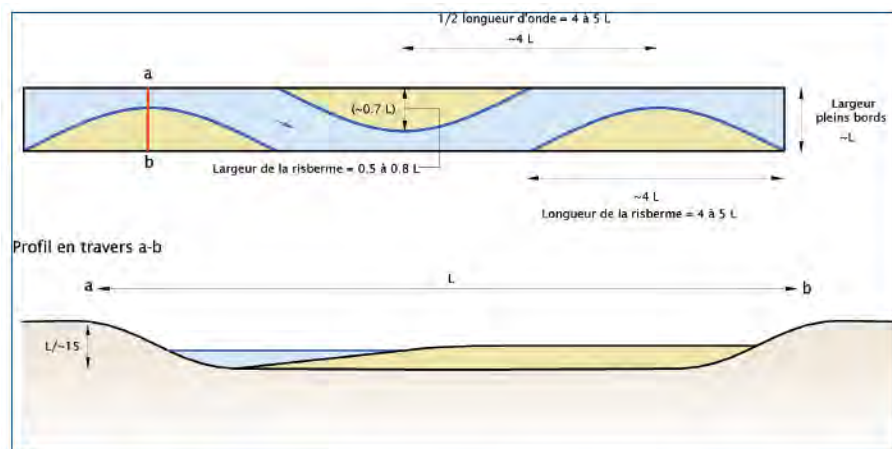


Figure 18 : Schéma type d'implantation de risbermes alternées (L est la largeur à pleins bords) (figure Malavoi-Biotec).

beaucoup plus significative de la capacité d'écoulement du lit mineur.

● Risque d'augmentation des érosions de berges

Si des bancs alternés ou des risbermes sont réalisés sur des tronçons de cours d'eau où l'emprise est limitée avec des enjeux humains forts de part et d'autre (niveau d'ambition de type R1), il faut veiller à ce que les ouvrages réalisés ne soient pas la cause d'érosion des berges par effet de « déflecteur » et de reméandrement engendré par les aménagements. Dans de telles situations, on pourra se limiter à des bancs alternés ou des risbermes de dimensions plus réduites et dont la largeur n'excèdera pas 0,3 L.

Dans de pareils cas, comme par rapport au risque « inondation », il faudra également veiller à limi-

ter le développement d'une végétation trop dense sur les ouvrages réalisés.

■ Mesures connexes facultatives

Sans objet.

■ Techniques alternatives

- Mise en œuvre d'un espace de mobilité élargi de manière à favoriser naturellement une « divagation » naturelle du lit d'étiage.
- Mise en place d'une série d'épis (fiche 3).
- Sur les cours d'eau à score géodynamique élevé, déversement de matériaux dans le lit et laisser faire pour reconstitution d'un matelas alluvial (fiche 5).

Fiche « complexe »

Reconnexion d'annexes hydrauliques (hors suppression de digues)

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Absence ou médiocrité des connexions entre le lit mineur et ses annexes hydrauliques

NIVEAU D'AMBICTION

R2 à R3

SCORE GÉODYNAMIQUE

Tous



Généralités

Contexte d'application

Les déconnexions, ou la médiocrité des connexions entre un lit mineur et ses annexes hydrauliques, peuvent avoir des impacts écologiques très importants. Ce sont en effet des **éléments majeurs de l'hydrosystème fluvial** en tant que zones de reproduction et de grossissement pour de nombreuses espèces de poissons et en tant que zones vitales pour d'encore plus nombreuses espèces d'insectes, de batraciens, d'amphibiens, d'oiseaux et de végétaux typiques de ces milieux fluviaux ou péri-fluviaux. La reconnexion entre le lit mineur et les annexes hydrauliques du lit majeur peut donc être une solution de restauration des fonctionnalités globales de l'hydrosystème.

Cependant, il est souvent tout à fait normal que les annexes hydrauliques disparaissent progressivement sous l'effet de processus géodynamiques (sédimentation) et écologiques (végétalisation). Elles s'estompent au fil des années ou des siècles selon le type de cours d'eau et leur « **disparition** » n'est pas nécessairement indicatrice d'un dysfonctionnement du système. Il est donc très important de se poser la question de la **réelle nécessité d'une restauration avant toute intervention**.

Principes généraux

La diversité des cas de figure de « déconnexion » d'annexes hydrauliques et la diversité des projets de restauration qui pourrait en découler est telle qu'il serait nécessaire de rédiger un guide dédié entièrement à ce sujet. L'objectif des préconisations proposées ici est plus modeste et vise essentiellement à fournir quelques éléments de réflexion et quelques orientations techniques aux gestionnaires désireux d'améliorer la fonctionnalité globale de leur hydrosystème.

Quelques éléments théoriques sur l'origine des annexes hydrauliques sont indispensables.

Les annexes hydrauliques

Les « annexes hydrauliques » correspondent généralement à d'anciens chenaux ou tracés de la rivière. Elles sont nommées selon les régions et selon leur niveau de déconnexion : mortes, noues, raies, baissières, lônes, boires, couasnes, etc. Leur « création » puis leur lente « disparition » sont dues à des processus géodynamiques naturels : recoupement de méandres, fermeture par l'amont puis par l'aval sous l'effet de dépôts alluvionnaires, comblement progressif par dépôt de matières en suspension et développement de la végétation, d'abord aquatique puis terrestre.



Figure 26 : Des annexes hydrauliques naturellement déconnectées à différents stades évolutifs sur un cours d'eau du bassin amazonien (source : Google Earth).

Il arrive que les recoupements soient artificiels (paragraphe sur les rescindements) pour accélérer l'écoulement, rectifier des parcelles dans le cadre d'un remembrement, etc., et que le comblement et la déconnexion de ces anciens chenaux soient accélérés par des interventions humaines directes (comblement par des matériaux inertes afin de mettre en culture plus rapidement) ou indirectes (incision du lit suite aux extractions, ce qui favorise la déconnexion et accélère le développement végétal et la sédimentation).

Typologie simplifiée

Nous proposons ici une « typologie » des annexes hydrauliques en remaniant légèrement la terminologie proposée dans les années 80 par l'équipe du PIREN Rhône (Roux et al., 1982).

NOTA

Ne sont présentées ici que les annexes hydrauliques « naturelles ». Sont exclus les fossés ou autres artefacts (gravières, étangs) qui peuvent aussi faire parfois l'objet de projets de (re)connexions.

Quatre grands types d'annexes hydrauliques peuvent être identifiés, certains pouvant être déclinés en sous-types. Ils sont présentés ci-dessous dans l'ordre décroissant de leur fréquence de connexion avec la rivière (photomontage figure 27, p. 33).

• **EUPOTAMON (EUPO)** : le chenal récemment recoupé communique avec le cours d'eau principal par l'aval et par l'amont, quel que soit le débit. Le fonctionnement hydraulique s'apparente un certain temps à celui d'un chenal secondaire.

• **PARAPOTAMON (PARA)** : le bras mort est connecté par l'une de ses extrémités, généralement par l'aval du fait du dépôt massif d'alluvions et de bois morts à l'entrée de l'ancien chenal.

3 stades évolutifs sont distingués :

- **PARA1** : connexion par l'aval quel que soit le débit et par l'amont en eaux moyennes ;
- **PARA2** : connexion par l'aval en eaux moyennes et par l'amont en hautes eaux ;
- **PARA3** : connexion par l'aval en hautes eaux et par l'amont en crue annuelle.

• **PLESIOPOTAMON (PLESIO)** : pas de connexion nette par l'aval ni par l'amont. Mise en eau lors de la crue annuelle.

• **PALEOPOTAMON (PALEO)** : le bras mort est complètement séparé du chenal. La mise en eau se produit lors des crues dépassant le débit de « pleins bords » (crue biennale et supérieure). 2 stades évolutifs :

- **PALEO1** : les restes d'un chenal, même très colmaté, sont visibles. Il y a continuité sur une certaine longueur.

– **PALEO2** : on n'observe plus que des petites dépressions discontinues.

• Quelques éléments complémentaires :

– ces différents stades évolutifs peuvent être plus ou moins alimentés par la nappe alluviale mais ce processus est très variable car fortement lié à la qualité des alluvions du lit majeur (perméabilité, transmissivité) ;

– chaque stade évolutif a son propre fonctionnement hydraulique, sédimentologique et, naturellement, écologique. Ainsi, la présence de « trous d'eau » déconnectés les uns des autres au sein de l'annexe, est une caractéristique naturelle d'un pléiopotamon ou d'un paléopotamon. Vouloir les reconnecter relève d'un objectif qui va plus loin qu'une restauration : par exemple la recherche d'un retour à un stade évolutif antérieur de type parapotamon 1 ;

– chaque stade évolutif présente un intérêt en termes de milieux et de richesse biologique. Même un paléopotamon avec des trous d'eau déconnectés les uns des autres.

Les photos page suivante illustrant cette typologie des annexes hydrauliques sont un photomontage réalisé à partir d'une photo initiale prise dans un environnement agricole (prairie), type fréquent d'occupation des sols dans les plaines alluviales françaises. Les stades évolutifs représentés ici illustrent donc une évolution liée à des processus naturels mais aussi à l'intervention humaine dans un objectif agricole (essartement progressif de la végétation).

Les **déconnexions artificielles** d'annexes hydrauliques ont généralement deux origines :

- causes directes : fermeture volontaire de ces annexes par des ouvrages (digues, protections de berges, vannes, etc.) particulièrement lorsque ces annexes sont elles-mêmes dues à des rescindements volontaires ;
- causes indirectes : fermeture ou assèchement accélérés de ces annexes suite à des processus d'incision, souvent eux-mêmes dus à des interventions humaines (endiguements, recalibrages, rescindements de méandres et surtout, extractions de matériaux alluvionnaires).

Préconisations

Etudes spécifiques

Etude préalable de faisabilité

L'étude préalable est fondamentale. Elle devrait être réalisée à l'échelle d'un **tronçon géomorphologique** (quelques kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres selon la taille du cours d'eau) et non à la seule échelle locale, comme c'est généralement le cas aujourd'hui.

Une étude préalable comprendra les deux éléments fondamentaux suivants :

- le diagnostic ;
- la détermination des objectifs de la restauration.



Figure 27 : Typologie simplifiée des annexes hydrauliques. Malavoi 2004, d'après Roux et al. (1982).



Figure 28 : Approche historique permettant d'évaluer l'âge des annexes (les « mortes » en Franche-Comté).

Le diagnostic

Ce diagnostic doit permettre notamment :

- de déterminer les causes de la déconnexion ou de l'assèchement de la ou des annexes hydrauliques du tronçon : causes naturelles/artificielles/mixtes.
- Une analyse historique géomorphologique, voire de biologie végétale, permettra éventuellement de connaître la date de rescindement de la sinuosité à l'origine de l'annexe et de déterminer le degré de « maturité » de celle-ci ;
- de mieux connaître la fréquence, la durée et les modalités de connexion actuelles entre la ou les annexes et le cours d'eau principal ;
- si possible d'évaluer la fréquence, la durée et les modalités de connexion « naturelles » ;
- d'évaluer l'impact écologique réel de cette ou de ces déconnexions (perte de zones de reproduction pour certaines espèces de poissons, perte d'habitat pour les biocénoses liées à ce type de milieu).
- La recherche d'indicateurs biologiques de fonctionnement des annexes peut être intéressante (ainsi, le peuplement piscicole de l'annexe est un indicateur du degré de connectivité ou la nature des formations végétales et leur stratification) ;
- de vérifier si les processus de création d'annexes hydrauliques sont toujours actifs sur le tronçon d'étude (c'est-à-dire une dynamique fluviale active dans un espace de mobilité préservé).

ATTENTION

Ce diagnostic doit permettre aussi de vérifier l'absence d'espèces patrimoniales ou protégées au sein de l'annexe que l'on souhaiterait restaurer. Leur présence pourrait se traduire par une impossibilité réglementaire de réaliser l'opération de restauration.

La détermination des objectifs de la restauration

Les différents éléments de diagnostic vus ci-dessus doivent conduire à une phase importante de réflexion sur les objectifs de la restauration de la ou des annexes hydrauliques du tronçon de cours d'eau considéré.

Jusqu'à ces dernières années, la plupart des projets, généralement portés par les fédérations de pêche et le Conseil Supérieur de la Pêche (aujourd'hui ONEMA), avaient pour objectif principal et parfois unique de restaurer des **frayères à brochets**. Il était en effet apparu que ce poisson carnassier à forte valeur halieutique était le principal perdant de la mauvaise fonctionnalité des annexes hydrauliques qui constituaient autrefois l'une des zones favorables pour sa reproduction.

On a donc longtemps restauré des « frayères à brochets » :

- en reconnectant les bras morts au cours d'eau principal, généralement par « curage » de la connexion aval (arasement des atterrissements, évacuation des embâcles) ;
- en recreusant et élargissant ces bras morts ;
- en supprimant une grande partie de la végétation arborée pour augmenter l'ensoleillement nécessaire à la croissance des embryons ;

Ces projets pionniers ont eu généralement des effets positifs sur les compartiments piscicoles. Par contre, leurs effets sur l'amélioration globale de ces annexes sont plus mitigés dans la mesure où les préconisations valables pour le brochet ne le sont pas nécessairement pour tous les éléments des biocénoses inféodées à ces bras morts (notamment la recherche d'une optimisation de l'ensoleillement).

Il apparaît aujourd'hui important de privilégier une restauration fonctionnelle globale.

Les maîtres d'ouvrage devront donc, dès les études préalables, se positionner sur les résultats recherchés :

- piscicoles et halieutiques :
 - amélioration du fonctionnement des frayères à brochet (nota : une frayère à brochet nécessite une inondabilité temporaire) ;
 - création ou restauration d'habitats lenticques et profonds pour les gros carnassiers (connexion permanente, avec un objectif « coin de pêche » assez affirmé) ;
 - essentiellement autres (écologie végétale, avifaune, entomofaune, batraciens, cynégétiques, etc.) ;
 - mixtes (restauration d'une fonctionnalité globale).
- De ce choix dépendront en grande partie les préconisations techniques.

● **Éléments nécessaires à l'avant-projet**

- Tracé en plan précis du secteur d'étude et photographies aériennes IGN, si possible sous SIG + photographies obliques prises à basse altitude.
- Profil en long du cours d'eau principal : fond + ligne d'eau d'étiage.
- Topographie fine des annexes à restaurer (profils en long et en travers) : fond alluvial grossier, surface des sédiments fins (limons, argiles, vases etc.). Localisation des « bouchons » (enchevêtrement de végétaux + alluvions).
- Modélisation des lignes d'eau pour la crue annuelle à la crue quinquennale (Q1 à Q5) du cours d'eau pour calage des cotes d'arasement ou de désenvasement.

- Granulométrie des sédiments constituant le fond et le remplissage des annexes.

● **Etudes de suivi**

Un document récent synthétise de manière quasi-exhaustive les études nécessaires au suivi des annexes hydrauliques (Dupieux, 2004). Nous y renvoyons donc le lecteur.

■ **Caractéristiques géomorphologiques à rechercher**

Elles reposent essentiellement sur :

- le type d'annexe à restaurer, identifié sur la base de la typologie sommaire présentée plus haut ;
- l'origine de la déconnexion ;
- les objectifs de la restauration.

D'une manière générale, ainsi que nous le préconisons dans la plupart des fiches techniques, la restauration « idéale » consiste le plus souvent à se rapprocher des caractéristiques hydromorphologiques et des processus de fonctionnement naturels.

● **Types d'annexes à restaurer**

Il est évident que plus la déconnexion de l'annexe sera récente (eupotamon → parapotamon), plus il sera aisé de la reconnecter, si tel est l'objectif des travaux. A priori, la reconnexion d'annexes de type paléopotamon ne devrait pas être envisagée.

● **Origine de la déconnexion**

Fermeture aval naturelle

Rappelons que la fermeture naturelle des annexes se fait initialement par l'amont, sous l'effet d'un dépôt alluvial important couplé à des amoncellements d'embâcles. Souvent en effet, pendant plusieurs années encore après le recoupement, un écoulement préférentiel de crue continue à transiter par l'ancien chenal recoupé, transportant des sédiments grossiers et des bois morts qui se déposent assez rapidement dans ce chenal abandonné.

Puis, au fil des années, la connexion aval se bouche aussi suite à des processus identiques : alluvionnement par contre-courant, dépôt d'embâcles. Dans ce cas de figure, si l'annexe est encore à un stade d'évolution de type parapotamon 1 ou 2, de simples travaux de débroussaillage couplés à quelques terrassements légers au niveau de la connexion aval peuvent permettre de reconnecter l'annexe au cours principal.

Se posera ensuite la question de la fréquence de reconnexion souhaitée qui orientera le niveau de terrassement au droit du bouchon alluvial (voir objectifs de la restauration).

Fermeture aval artificielle

Le cas le plus fréquent est la présence d'un ouvrage (digue, protection de berge, etc.) au niveau de la connexion aval, particulièrement lorsque les annexes elles-mêmes sont dues à des rescindements artificiels.

Dans ce cas, la simple ouverture de la structure au droit de l'ancienne connexion peut être suffisante pour restaurer les fonctionnalités de l'annexe (associée comme précédemment à des travaux de débroussaillages et de terrassements légers). Nota : ce n'est pas toujours facile dans la mesure où certaines digues ou protections de berges sont souvent surmontées d'une voie de communication.

Fermeture naturelle ou artificielle + incision du cours d'eau principal

Lorsque la différence de niveau altitudinal entre le fond « naturel » de l'annexe et le fond du cours d'eau est importante (de l'ordre de 1 à 1,5 m), suite à une incision du lit mineur notamment, la reconnexion « simple » par terrassement léger et enlèvement d'embâcles ne suffit plus.

Des travaux plus lourds de terrassement deviennent nécessaires :

- surcreusement à la jonction annexe/lit mineur ;
- surcreusement tout le long de l'annexe pour regagner des surfaces potentiellement submersibles [cote de surcreusement à déterminer selon la fréquence et la durée souhaitée de connexion et de submersion] ;
- éventuellement surélévation du lit mineur par des dépôts alluvionnaires (fiche 5) ou par la mise en place de seuils ou rampes (fiche 6), mais attention aux impacts qui peuvent être négatifs de telles interventions.



Figure 30 : Exemple d'annexe déconnectée sur cours d'eau incisé. Le fond de l'annexe (vue de face sur la photo) est perché à plus d'1m du niveau moyen des eaux.

➡ **NOTA**

Quel que soit le type de terrassements effectués, les matériaux de déblais devraient être remis dans le lit actif du cours d'eau. Il faut absolument éviter de créer des « remblais » tout le long de l'annexe reconnectée ou au droit de la jonction annexe/lit vif, ceci d'une part pour limiter la prolifération d'espèces végétales xénophytes et pour éviter de créer des obstacles aux écoulements (digues, merlons, etc.) entraînant de nouveaux dysfonctionnements.

● **Les objectifs de la restauration**

Restauration à vocation piscicole et halieutique

Deux grands types « d'objectifs piscicoles et halieutiques » sont identifiables :

- la restauration de frayères à brochets ;
- la restauration d'annexes à connexion permanente.

Restauration de frayères à brochet

Pour la restauration de frayères à brochet, nous renvoyons le lecteur à l'ouvrage de Chancerel (2003).

Les principes de restauration sont généralement les suivants :

- assurer la continuité hydraulique entre l'annexe et le cours d'eau, au moins une partie de l'année ;



Figure 29 : Exemples de documents nécessaires à l'avant-projet. a) Plan topographique, b) Photographie aérienne [Bdortho]. c) Couplage des 2 sous SIG, d) Vue oblique.

- araser les zones d'alluvionnements dans l'annexe pour étendre les surfaces inondables productives et les périodes d'inondabilité. Attention : l'inondabilité des frayères doit être temporaire (8 à 10 semaines en mars-avril). On peut chercher à se rapprocher d'un parapotamon 2 ou 3 ;
- ouvrir le milieu (élimination de la végétation arbustive et arborée en excès) pour favoriser le développement de la strate herbacée (support de ponte) et l'augmentation des températures en période d'incubation des œufs.

Restauration de connexions permanentes

On recherche ici une connexion permanente ou quasi-permanente avec le cours d'eau (type parapotamon 1). L'objectif est d'obtenir des habitats lenticques et profonds, plus ou moins ombragés, pour l'accueil d'une vaste gamme d'espèces/stades de poissons.

Restauration fonctionnelle globale

C'est ce type de restauration que nous préconisons ici.

Il doit être fondé sur une analyse pertinente et objective du caractère dysfonctionnel de la connexion ou de la mauvaise connexion entre les annexes et le cours d'eau.

Dans le cas où les annexes présenteront un degré de maturité normal et non aggravé par des interventions humaines, il faudra se poser la question de l'utilité de la « restauration » (faut-il restaurer un parapotamon ou un paléopotamon naturels ?). La réponse peut être positive si la dynamique fluviale du cours d'eau ne permet plus la recréation « naturelle » d'annexes hydrauliques (protections de berges, endiguements, etc.). Il peut être souhaitable dans ce cas de limiter le vieillissement de certaines annexes pour garantir l'existence de différents stades évolutifs sur le tronçon concerné. On tendra donc à conserver un certain nombre d'annexes au stade eupotamon, parapotamon 1 à 3, plésiopotamon, etc.



Figure 31 : Terrassements de berges d'annexes hydrauliques en pente élevée à gauche, offrant peu de place à la diversité biologique et variations de profils beaucoup plus doux à droite, devant permettre la reconstitution de séries végétales adaptées. ≡

Dans le cas d'un dysfonctionnement avéré (fermeture par un ouvrage, remblaiement, incision accélérée du lit mineur) des travaux de restauration fonctionnelle globale sont envisageables.

Pour une restauration fonctionnelle globale, les principes que l'on peut recommander font appel aux techniques d'aménagement par génie écologique qui préconisent notamment l'adaptation des formes des fonds et des berges de chaque annexe en fonction de son « idéal » écologique (le type fonctionnel duquel on essaiera de se rapprocher).

Dans ce sens, on visera à produire un remodelage varié des talus riverains (et si possible avec des pentes douces), une variation des profondeurs et un « chenal » d'écrêtement préférentiel pour éviter de piéger la faune piscicole à la décrue.

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

● Reconnexion amont ou reconnexion aval ?

Reconnexion amont

La reconnexion d'une annexe par son extrémité amont n'est a priori pas naturelle (on sait que les annexes se déconnectent prioritairement par l'amont). Sa mise en œuvre engendre de plus des études puis des travaux complexes afin d'optimiser :

- le dimensionnement de l'ouverture ;
- son orientation par rapport aux axes d'écoulement du cours d'eau principal.

En effet, une alimentation amont, notamment sur un cours d'eau à transport solide élevé, risque de se solder par une fermeture très rapide par suralluvionnement et dépôt d'embâcles. Un surdimensionnement peut se traduire par une reprise de l'annexe par le cours d'eau principal.

La reconnexion amont n'est donc a priori pas à conseiller, sauf, si nécessaire, sur les cours d'eau à faible score géodynamique.

Reconnexion aval

C'est le meilleur type de connexion puisqu'il se rapproche du fonctionnement naturel. Le risque de comblement par des sédiments et des branchages existera aussi, particulièrement sur les cours d'eau à forte charge alluviale, mais sera moins rapide que par l'amont. Il nécessitera néanmoins :

- soit des structures hydrauliques particulières permettant l'auto-curage naturel de la connexion (lépis, rétrécissement du lit mineur du cours d'eau principal au droit de la connexion). Nous déconseillons a priori cette méthode qui ajoute un aménagement hydraulique « lourd » ;
- soit un entretien régulier de la connexion (pas de temps à déterminer empiriquement sur la base d'un suivi sur quelques années).

● Période d'intervention

Il est important d'intervenir hors période de nidification ou de reproduction des espèces remarquables. Il faut procéder de cas en cas, mais généralement les travaux s'échelonnent entre la mi-août et novembre, afin de profiter des conditions de basses eaux sur bon nombre de cours d'eau. Chaque chantier devra être très ponctuel (d'une semaine à 2 mois maximum).

■ Mesures connexes obligatoires

Plantations, enherbement sur les parties terrassées exondées pour éviter la prolifération d'espèces végétales envahissantes.

■ Mesures connexes facultatives

Structures de régulation du niveau des eaux dans l'annexe.

■ Techniques alternatives

- Mise en œuvre d'un espace de mobilité afin de réinitier les processus de création d'annexes (solution à long terme : 50-150 ans).
- Rehausser le niveau du lit mineur du cours d'eau principal :
 - par la mise en œuvre d'un espace de mobilité et apport alluvial par érosion des berges ;
 - par la mise en place de seuils (à déconseiller car engendre d'autres impacts).
- Rajeunissement du processus de maturation de la végétation riveraine des annexes par des travaux d'entretien.

Exemple de reconnexion d'annexes hydrauliques en bordure de la Marne dans le département de la Marne



Figure 32 : Localisation des sites de restauration. a) Site de Matougues. b) Site de Récy. c) Site d'Ablancourt. d) Site de Soulanges (source : Géoportail, IGN). ≡

Problématique

Préconisé par le Schéma Départemental de Vocation Piscicole (PDVP) du département de la Marne, qui a été élaboré de 1985 à 1987 et approuvé en 1989, de nombreuses réhabilitations d'annexes hydrauliques ont été menées sur les principales rivières du département de la Marne, en particulier sur la Marne, la Saulx, l'Aube et l'Ornain. C'est ainsi que plus de 55 noues ont été reconnectées. Le présent exemple présente quelques-uns des travaux réalisés sur la Marne.

Objectifs des travaux de restauration envisagés

Les nombreux travaux menés, en cours ou projetés sur les noues du Département de la Marne, poursuivent des objectifs basés sur une attention particulière liée au peuplement piscicole mais fai-



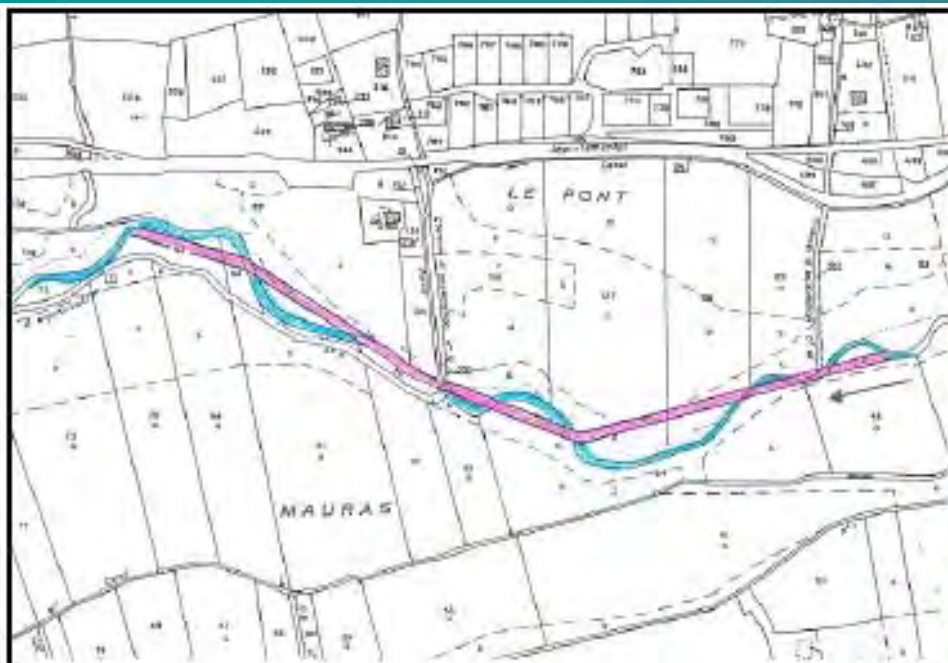
POUR EN SAVOIR PLUS

- Chancérel [2003]. **Le Brochet, biologie et gestion**. CSP. Coll. Mise au point
- Favre E. [2007]. **Les anciens bras fluviaux. Lônes, boires, noues, etc.** Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces naturels.
- Dupieux, [2004] **Elaboration d'un protocole commun de description et de suivi des Annexes Fluviales du programme Loire nature**. Programme Loire nature, mission scientifique

Quelques exemples

Niveau R3

Reméandrage : Le Colostre (04)



Reméandrage : Bief de Nanchez (39)



pôl Figure 160.

A gauche, localisation. A droite en haut, partie non restaurée et à droite en bas partie reméandrée (source : IGN et photos Malavoi-Biotec).

Suppression du barrage de Kernasquillec Léguer (22)

Restauration poussée
de l'ancienne retenue





Vue des travaux de labour en cours dans l'emprise de l'ancienne retenue sur la photo de gauche (09.05.2001) puis des prairies riveraines fraîchement reconstituées en bordure du Légier à droite (07.09.2001). Conception des aménagements de l'ancienne retenue et photos Biotec.

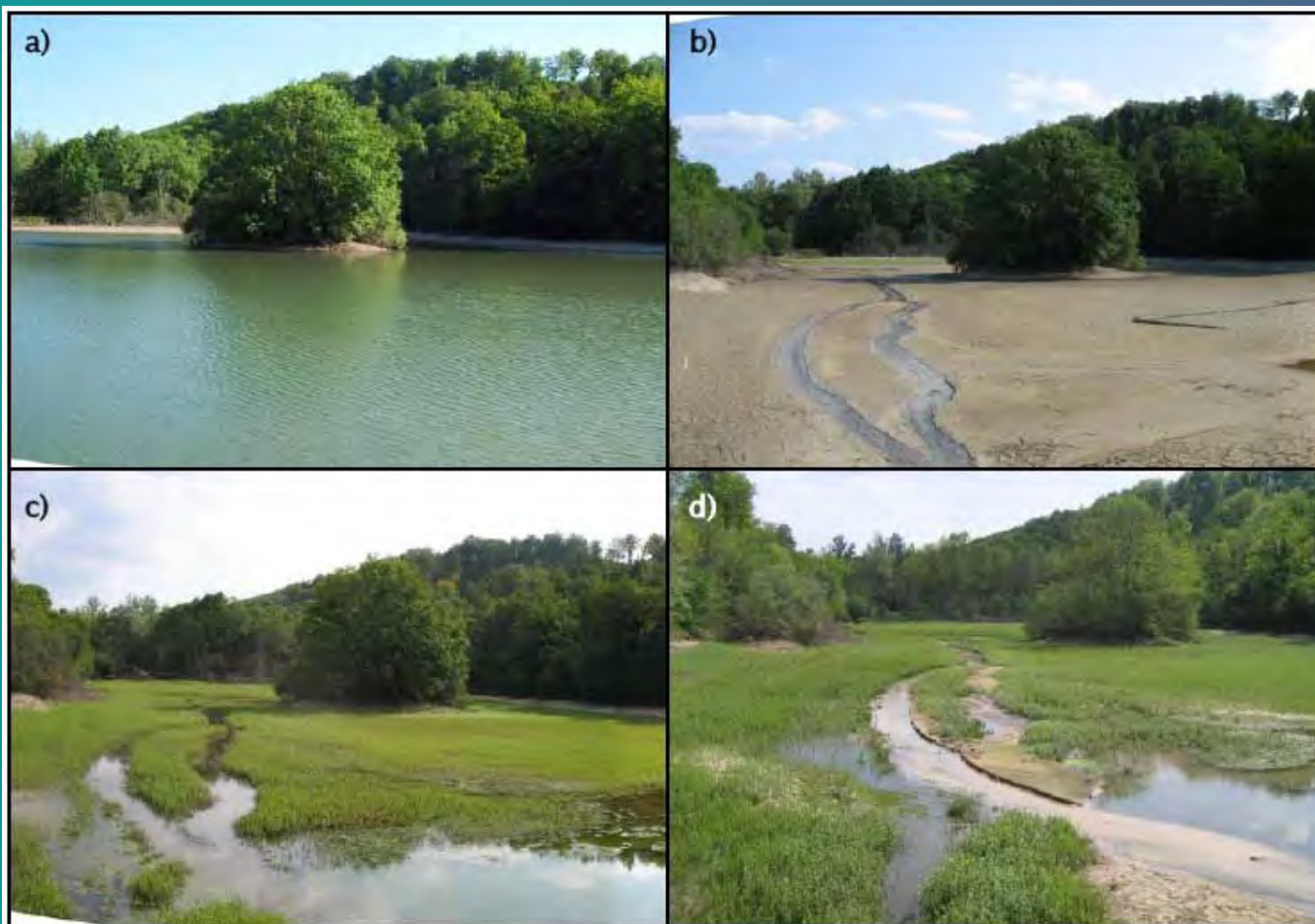


Illustrations de la diversité des milieux et des faciès retrouvés quatre ans après les travaux de réhabilitation (08.09.2005) de l'ancienne retenue (photos Biotec).

Suppression d'étangs

Ruisseau du Val des Choues (21)

Pas de restauration de la retenue



Suppression de barrage : St Etienne du Vigan, Allier (48)

Méthode « brutale »...
...mais efficace

(forte puissance, fort Qs)



Niveau R2

Reméandrage « léger »

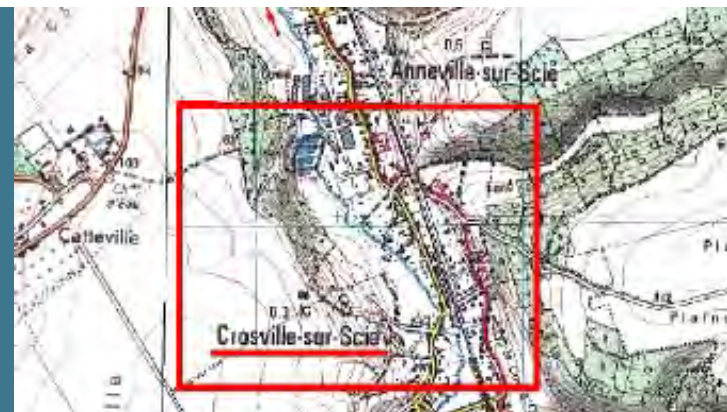
L'Orge (91)

Pb : remous de seuil



Apports d'alluvions

La Scie (76)



Suppression de merlons de curage

La Scie (76)



Mise en place d'épis : la Brenne (21)

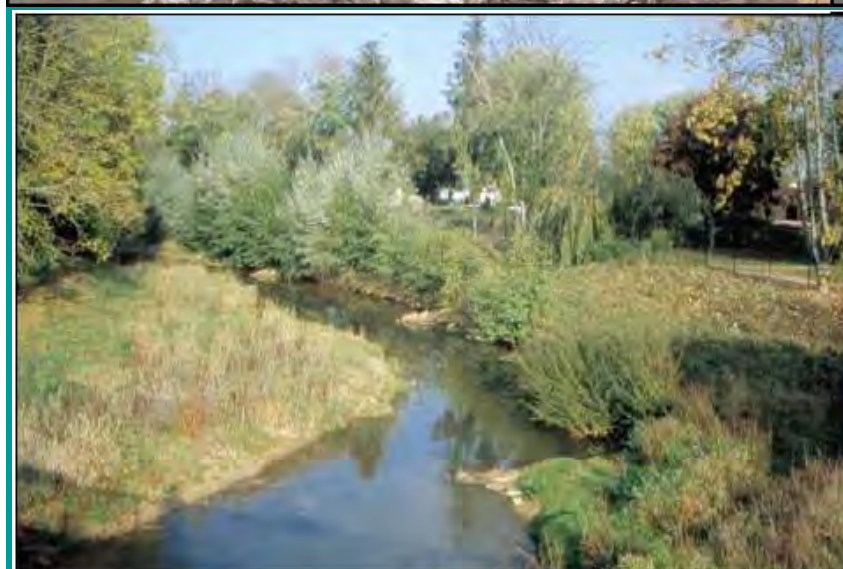
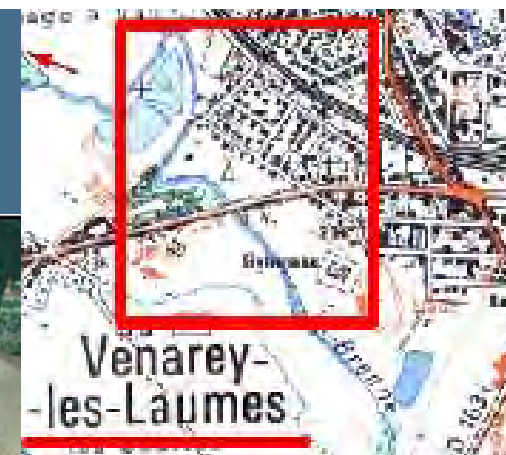


Figure 75.

Développement végétal quatre années après travaux (19.10.05), puis après cinq années et quelques travaux de gestion des boisements ligneux (30.05.06) (photos Biotec).

Remise à ciel ouvert : la Bièvre à Fresne (94)



REMEDES POSSIBLES AUX IMPACTS NEGATIFS DES SEUILS

Le bilan globalement négatif de l'impact des seuils amène à conclure que dans la plupart des situations, et en l'absence d'intérêt économique ou d'intérêt majeur sur le plan du patrimoine ou du paysage, la meilleure solution pour aller dans le sens des objectifs de la Directive Cadre Européenne sur l'EAU (DCE), consiste à supprimer le seuil (dérasement) ou au moins à en réduire considérablement la hauteur (arasement).



**Cf. Journée technique ARRA
« Ouvrages hydrauliques »
du 15 mai 2007**



CONCLUSION GÉNÉRALE

La restauration de milliers de kilomètres de cours d'eau fortement altérés est indispensable pour espérer retrouver d'ici 10 à 20 ans des hydrosystèmes fonctionnels.

Plus que les méthodes de restauration, qui commencent à atteindre un bon niveau technique après plus de 20 ans de pratique, c'est le contexte socio-politique et foncier qui semble aujourd'hui poser le plus de difficultés quant à la mise en œuvre « en routine » d'opérations de restauration de cours d'eau.

Raison de cette situation :
très peu de Maîtres d'Ouvrage publics sont
aujourd'hui tentés par une démarche de restauration

- **Parce qu'ils sont souvent relativement satisfaits de l'état actuel des cours d'eau (plus de débordement, plus d'érosion, paysage rectiligne qui « fait propre » etc.)**
- **Parce qu'ils ne voient pas l'intérêt de remettre en question des aménagements hydrauliques souvent récents (30-40 ans) qui avaient été bien argumentés à l'époque par les services de l'Etat qui en étaient les prescripteurs et souvent les Maîtres d'œuvre (réduction des inondations, notamment des terres agricoles)**

- Parce que cela coûte cher politiquement de vouloir revenir à un état plus naturel qui se traduirait par une perte de « confort » pour les riverains immédiats, notamment agriculteurs.
- Parce que cela coûte cher financièrement, même si des subventions importantes peuvent être apportées (d'autant que certains syndicats n'ont encore pas fini de payer les intérêts des emprunts liés aux travaux des années 60 !!!)

Parce que, enfin, l'argumentaire autour de l'intérêt de la restauration hydromorphologique des cours d'eau est insuffisamment développé et difficile à faire passer, notamment auprès de non scientifiques.

**Il ne suffit pas de dire (c'est même déconseillé...)
« c'est une Directive européenne qui nous oblige à... ».**

De fortes actions de sensibilisation et de communication sont donc nécessaires, au cas par cas, pour convaincre les partenaires, riverains, propriétaires fonciers, exploitants agricoles du bien fondé de cette démarche iconoclaste.

C'est un poste budgétaire à prendre sérieusement en compte dans toute opération de restauration.

Il nous paraît notamment FONDAMENTAL de consacrer les 5 à 10 prochaines années à des projets pilotes de restauration qui auraient pour vocation majeure, outre l'amélioration réelle de l'état écologique des cours d'eau concernés, de servir de « vitrine » à ce qui pourrait être fait au cours des 20 prochaines années en matière de restauration hydromorphologique.

Ces « vitrines » devront être réparties sur l'ensemble du territoire pour que de nombreux élus et gestionnaires puissent y avoir accès facilement.

Elles devront être conçues comme des supports de communication, et, si possible, présentées aux autres élus par les élus du secteur eux-mêmes, convaincus (nous l'espérons) du bien fondé des démarches de restauration entreprises.

**Nous ne sommes pas les seuls
à remettre en question
des aménagements passés...**

Années 60



Année 2005



Année 2015 ?

