



Journée technique Veyre-Monton 12/06/2012

Réhabilitation de petits cours d'eau : les fondamentaux

M. BRAMARD ONEMA DiR4 Modifié J.F.LUQUET

Faut-il restaurer?

Pourquoi?

Pour qui?

Où, quand?

Comment?

A quel coût?

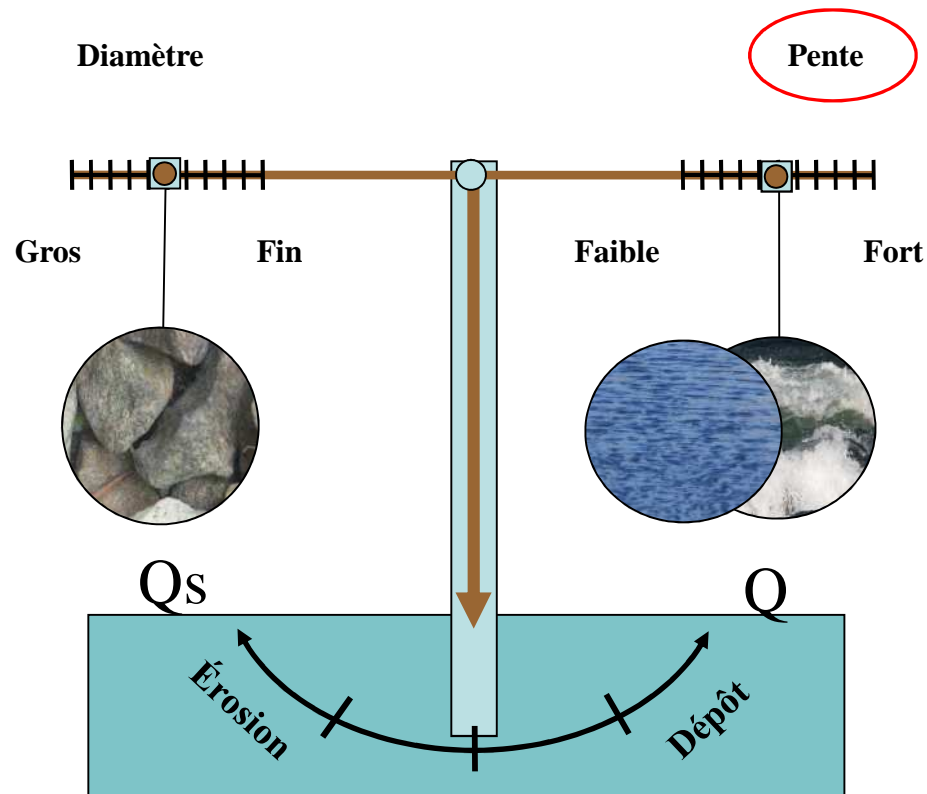
Les travaux et aménagements

Ce qui fonctionne

Ce qui ne fonctionne pas

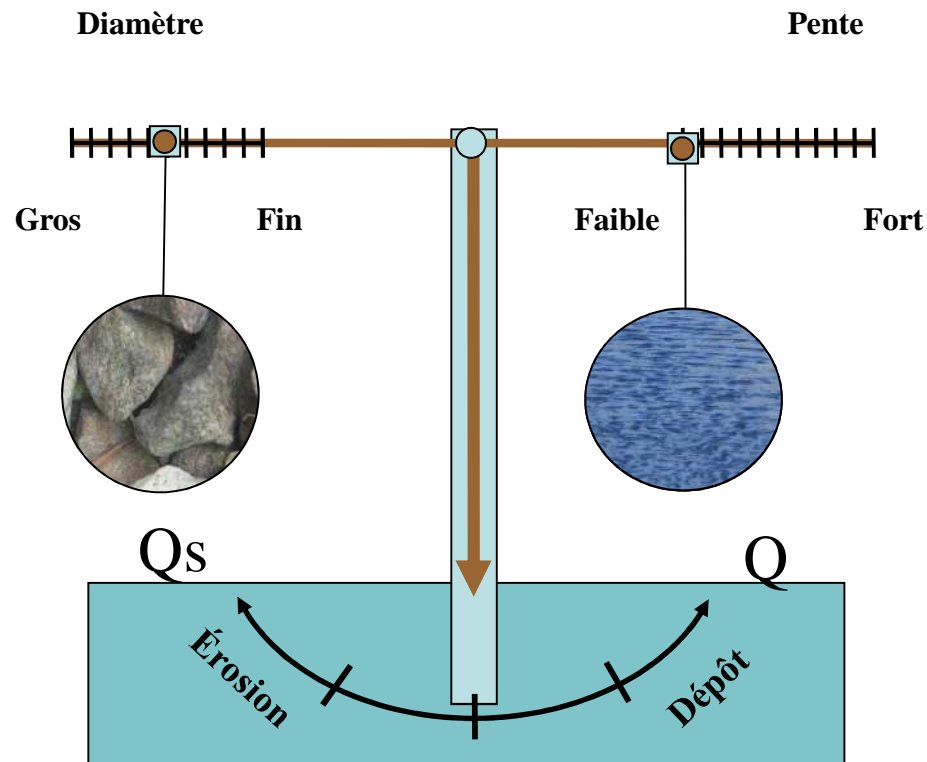
Ce qui est susceptible de fonctionner

Rappel de quelques règles en hydromorphologie



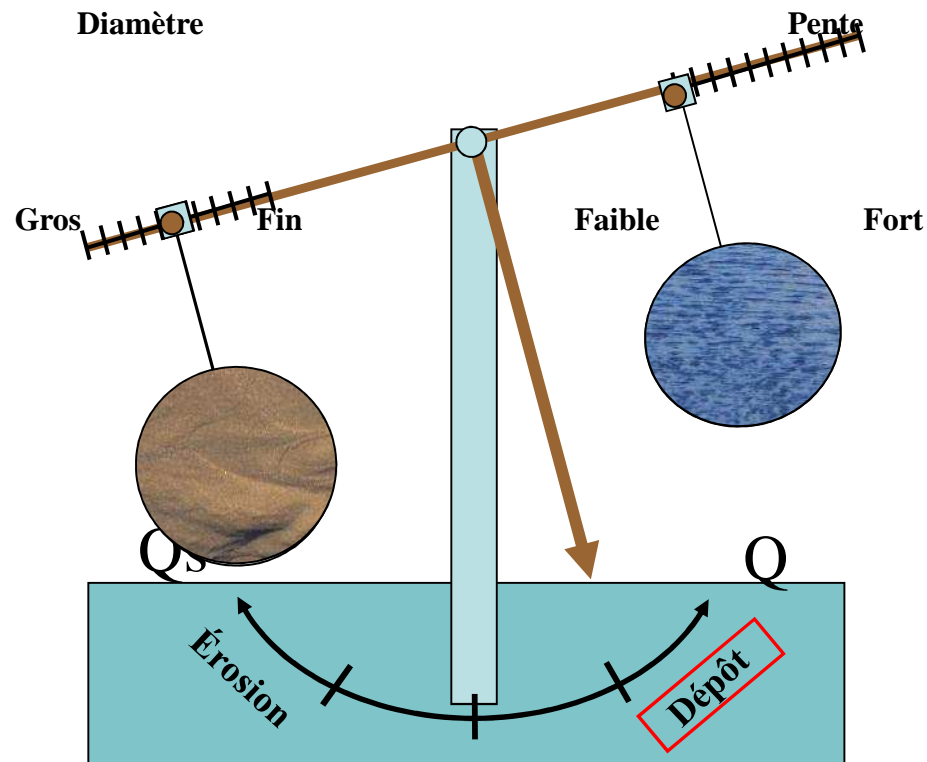
« Balance de Lane » : principe de l'équilibre dynamique (Lane 1955)

Rappel de quelques règles en hydromorphologie



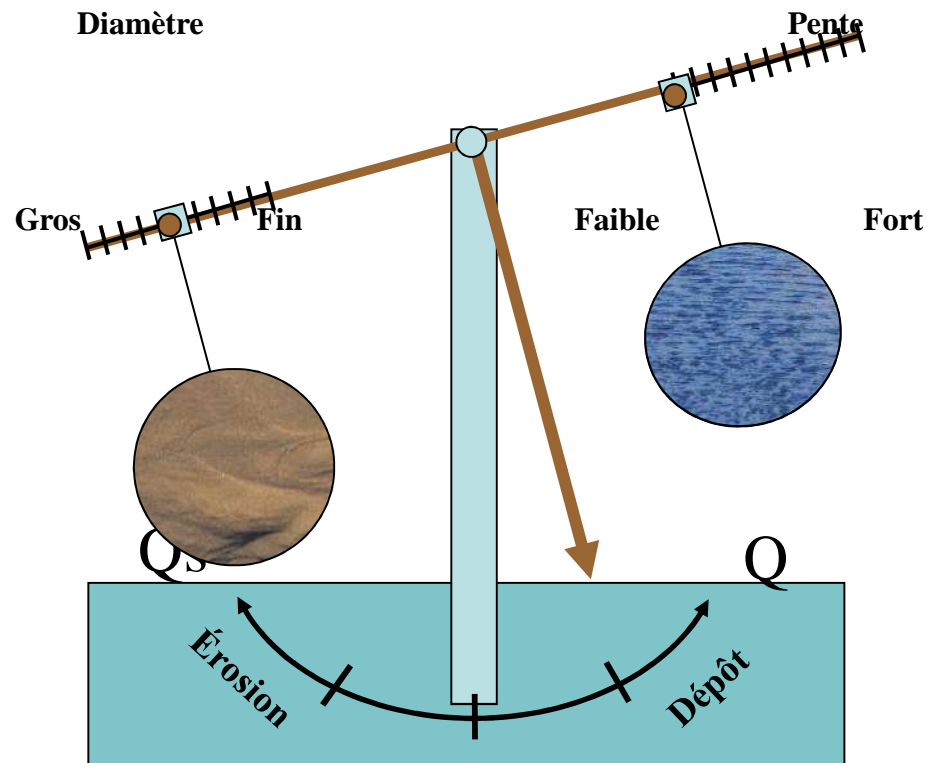
« Balance de Lane » : principe de l'équilibre dynamique (Lane 1955)

Rappel de quelques règles en hydromorphologie



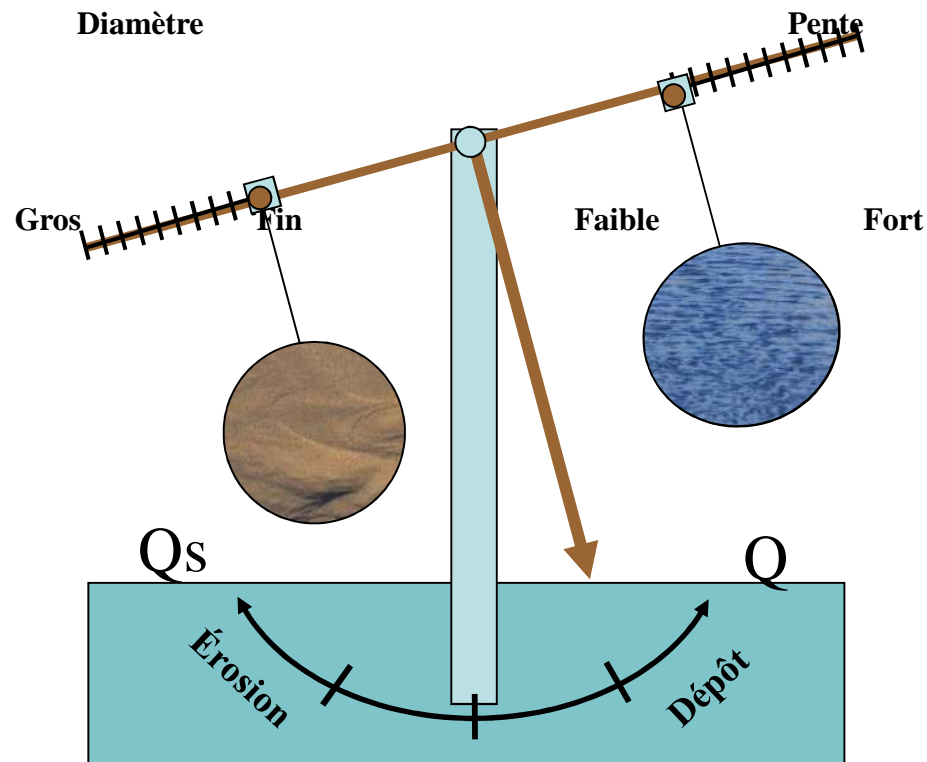
« Balance de Lane » : principe de l'équilibre dynamique (Lane 1955)

Rappel de quelques règles en hydromorphologie



« Balance de Lane » : principe de l'équilibre dynamique (Lane 1955)

Rappel de quelques règles en hydromorphologie



« Balance de Lane » : principe de l'équilibre dynamique (Lane 1955)



Principales **variables de contrôle** (*Schum SA, 1977, The fluvial system. New York, Wiley and Sons*) sont imposées par la géographie : formes de la vallée (surtout la pente du cours d'eau) et pluviométrie :

Ce sont : - **débit liquide** - **débit solide.**

à l'échelle du **bassin versant**

Le débit solide, étroitement dépendant du débit liquide, **s'auto-ajuste avec la pente.**

Variables de contrôle secondaires :

- boisement du BV
- couverture végétale des berges
- nature des matériaux disponibles dans le lit et les berges (granulométrie et tenue mécanique)

Rappel de quelques règles en hydromorphologie

Rappel de quelques règles en hydromorphologie

Principales **variables de réponse** (ou *variables d'ajustement*) :

- pente du fond,
- taille des sédiments transportés
- sinuosité (amplitude et longueur d'onde des méandres)
- largeur
- profondeur du lit.

Elles sont **interdépendantes** et perceptibles à l'échelle du tronçon :

(pente, **granulométrie**, largeur, profondeur, longueur et amplitude des méandres...)



Rappel de quelques règles en hydromorphologie

Certaines atteintes aux cours d'eau ne peuvent trouver une réponse efficace et durable qu'à l'échelle du bassin versant ou du lit majeur (imperméabilisation des sols, lessivage des sols nus, prélèvements d'eau etc.)

Avant d'envisager une restauration morphologique des cours d'eau (lit mineur), « il faut » lever les contraintes bassin versant, lit majeur....

Toute intervention sur un des compartiments de la morphologie a des répercussions sur les autres :

Si on bloque une érosion en berge, l'énergie (et l'érosion) est reportée au fond du lit

Si on bloque l'érosion du fond du lit, l'énergie (et l'érosion) est reportée en berges

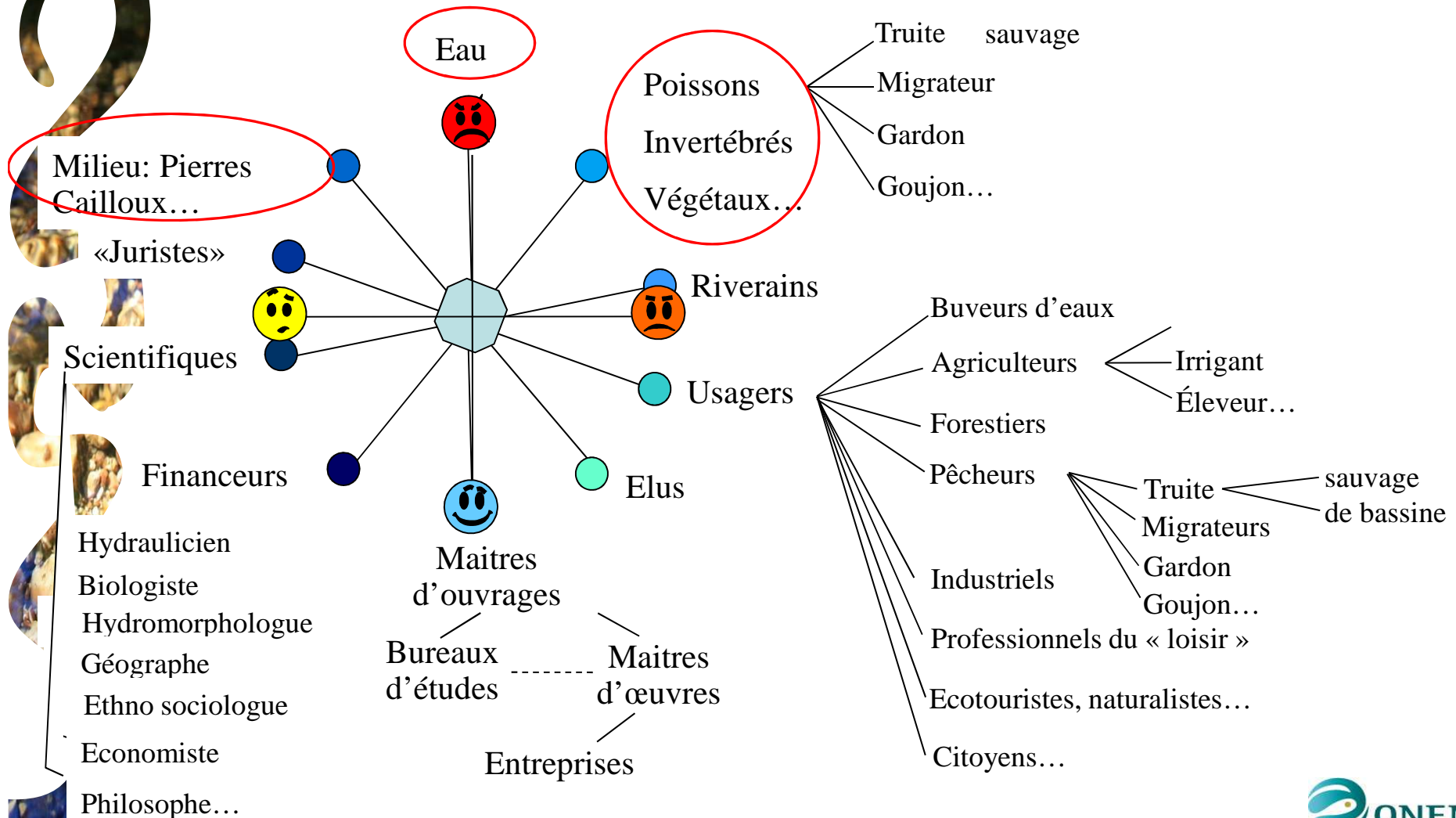
Si on bloque l'érosion des berges et du lit, l'énergie (et l'érosion) est reportée vers l'aval

« On ne soumet la nature qu'en lui obéissant »

Bacon 1561-1626

En petit cours d'eau, ce sont presque exclusivement les sédiments grossiers (transportés par charriage) qui contribuent aux formes naturelles du lit mineur

Programme de restauration : Pourquoi? Pour qui?



Comment établir un programme de restauration

Etablir EdL et diagnostic

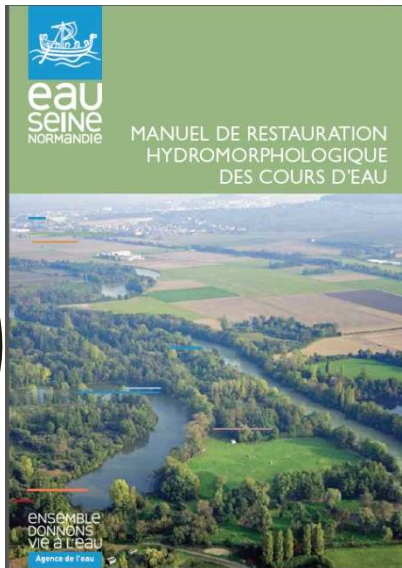
Utiliser ReX

Eviter compromis, être ambitieux

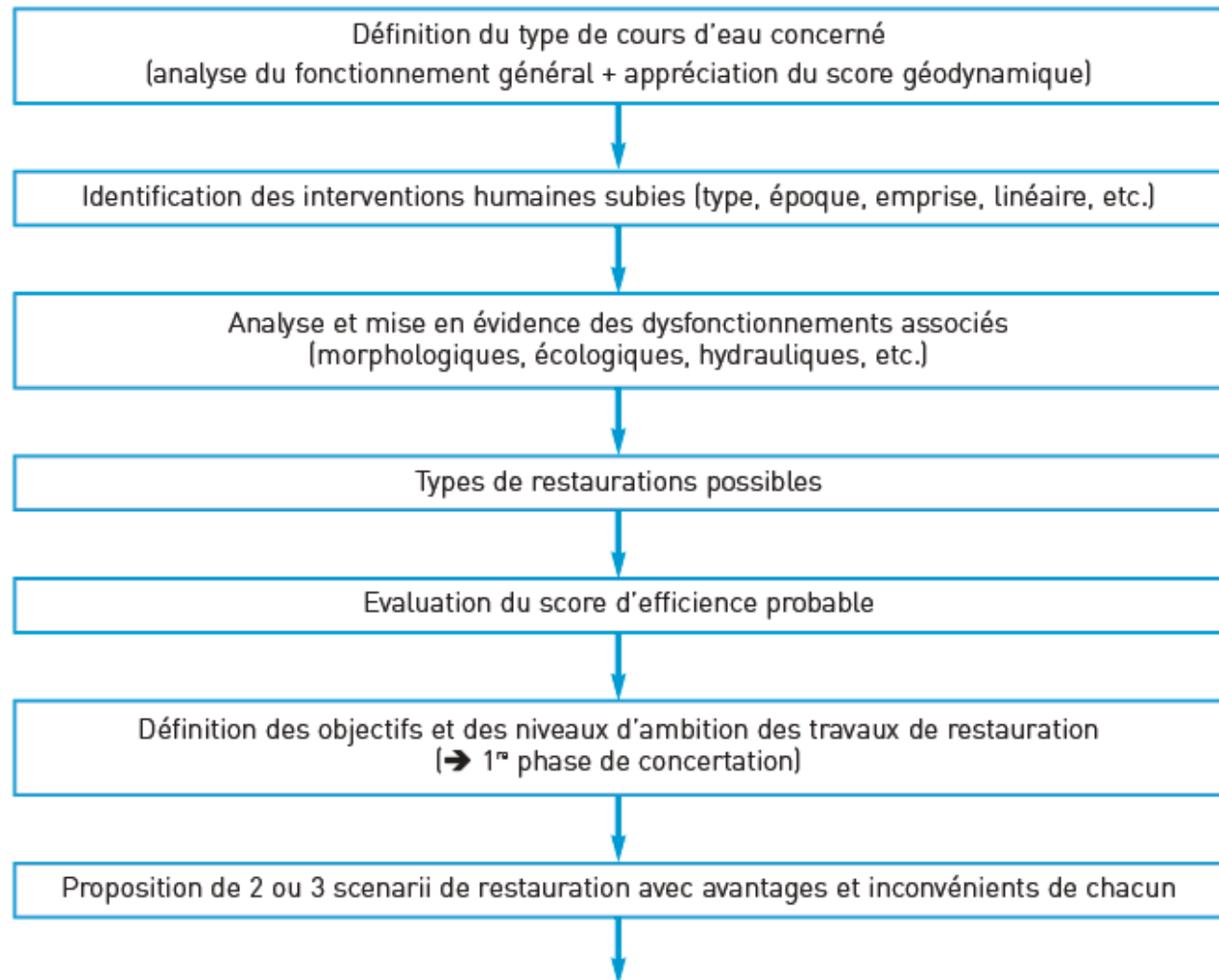
Choisir bonnes techniques

Etre innovant si besoin/possibilité

Anticiper sur évolutions



Comment établir un programme de restauration



ATTENTION aux compromis!

Ex.: arasement partiel avec équipement d'une passe à poissons et manœuvres de vannes (pour améliorer le transit sédimentaire)

Une analyse plus fine du projet fait souvent apparaître des contraintes ou besoins supplémentaires :

- équipements de surveillance et contrôle
- entretien des ouvrages fixes et mobiles
- entretien des berges amont et aval
- gestion des atterrissements et des érosions
- gestion qualité d'eau et espèces invasives
- mesures correctives
- mesures « d'accompagnement social »
- ...

Le gain écologique peut être assez réduit!

Les impacts résiduels doivent être compensés : recharge en granulats à l'aval (habitats, T° de l'eau...), effacement d'un autre ouvrage sur le même bassin...

Les bilans social et financier sont-ils satisfaisants?

Compromis acceptable???



Comment établir un programme 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
Métamorphose fluviale liée à l'incision du lit mineur	R1	Action à l'échelle globale indispensable. On peut en partie freiner la métamorphose « tressage – méandrage » par un entretien systématique de la végétation du lit moyen (bande active) pour éviter une fermeture trop rapide du milieu alluvial	
	R2		
	R3		
Disparition des substrats liée à l'incision du lit mineur	R1	Apport de matériaux (fiche 5) + structures de blocage (fiches 3 et 6)	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des alluvions de nature pétrographique et de granulométrie équivalente à celles que l'on devrait trouver sur le site à restaurer. - Régaler les alluvions pour ne pas trop réduire la section d'écoulement. - Plus le score physique est élevé, moins l'apport de matériaux sera nécessaire. - Attention à l'aggravation du déficit aval.
	R2	Apport de matériaux (fiche 5) + structures de blocage (fiches 3 et 6)	
	R3	Apport éventuel de matériaux (fiche 5) + structures de blocage (fiches 3 et 6) + espace de liberté	
Abaissement de la nappe lié à l'incision du lit mineur (cf. lit majeur)	R1	Mise en place de seuils (fiche 6)	<ul style="list-style-type: none"> - Attention aux impacts liés à la présence de seuils. - Plus le score physique est élevé, moins la hauteur des seuils sera importante.
	R2	Mise en place de seuils (fiche 6)	
	R3	Mise en place de seuils (fiche 6) + espace de liberté	

↑ **Figure 52** : Dysfonctionnement au sein du lit mineur ; incision. ≈

La restauration des cours d'eau Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie



Comment établir un programme de restauration

Restauration

La suppression ou la dérivation d'étangs sur cours d'eau

Supprimer des plans d'eau sur cours d'eau permet de rétablir la dynamique fluviale et la continuité écologique.

Les objectifs

Objectifs hydromorphologiques

- Restaurer la pente et le profil en long du cours d'eau.
- Réactiver la dynamique du cours d'eau par la reprise du transport solide et la recréation de zones préférentielles d'érosion et de dépôts.
- Diversifier les écoulements et les habitats du lit mineur : profondeurs, vitesses, substrats (réapparition de zones de substrats plus grossiers : graviers, blocs).
- Diversifier les profils en travers.
- Restaurer le régime des eaux.

Objectifs écologiques

- Restaurer des écosystèmes d'eau courante et assurer le retour d'espèces aquatiques typiques au dépend des espèces d'étang.
- Améliorer la libre circulation des espèces aquatiques (poissons, écrevisses...).
- Permettre le brassage génétique des populations reconnectées.

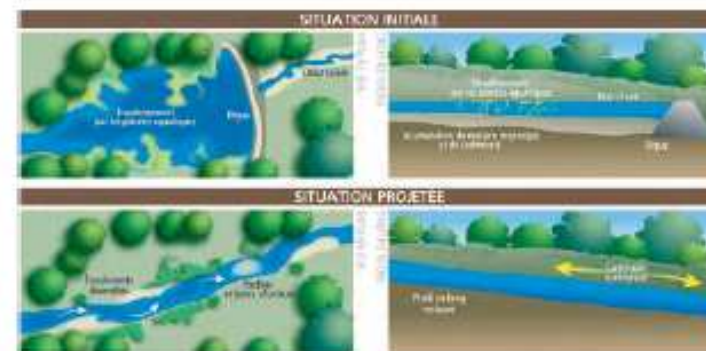
- Reconquérir des zones humides fonctionnelles et d'intérêt écologique dans l'emprise de l'ancienne retenue et bien souvent en aval.
- Améliorer les capacités auto-épurations par la présence d'échanges entre la zone hyporhéale et la surface.
- Éliminer, en cas d'effacement total, les nuisances liées à la retenue (eutrophication, réchauffement de l'eau, évaporation, etc.).

Autres gains attendus

- Valoriser le paysage et les activités récréatives aux abords et dans le lit de la rivière.

Réponses à quelques idées reçues

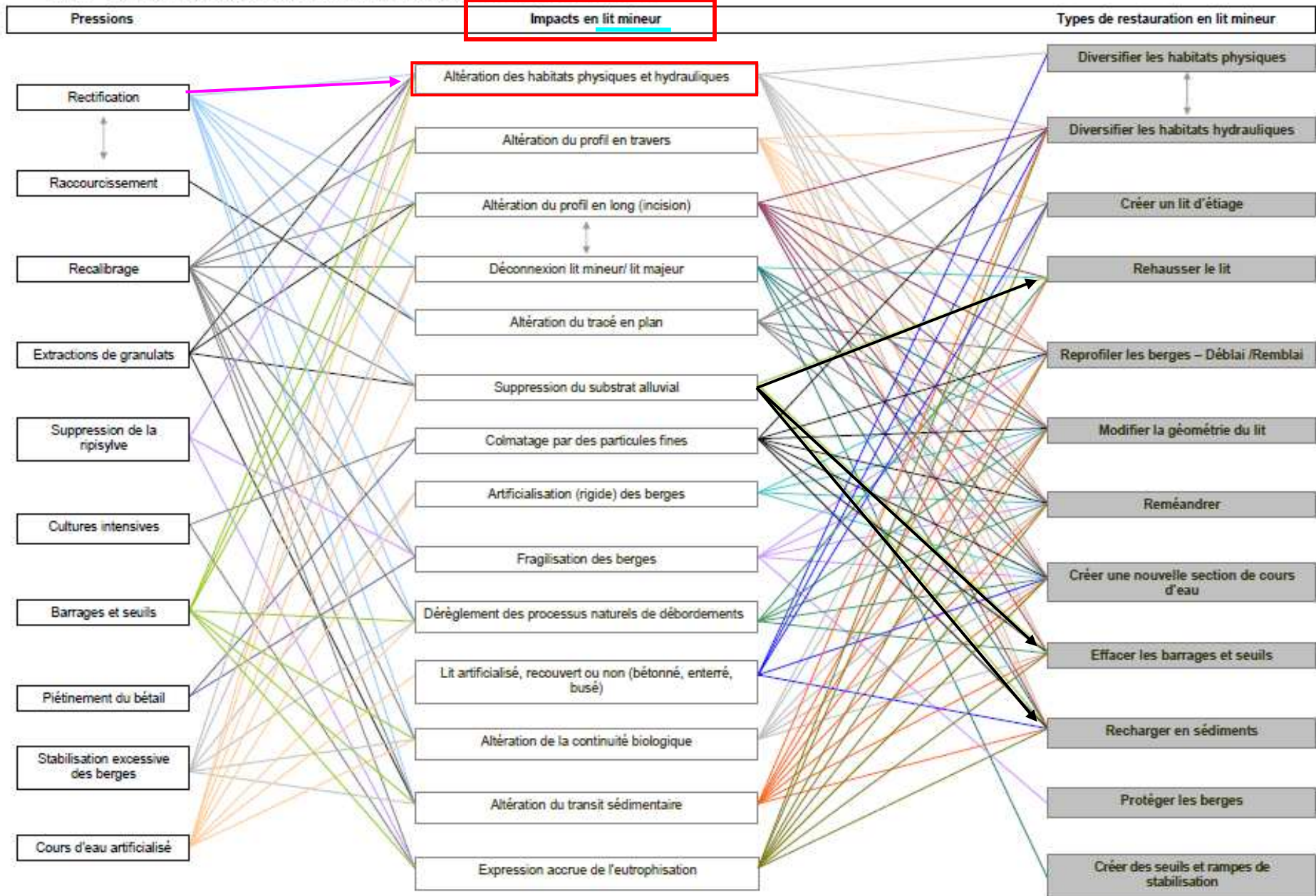
Moyennant des précautions particulières pendant la phase de travaux sur la gestion des fines, l'effacement de l'étang n'augmente pas le risque de minotage du mur d'eau





Comment établir un programme de restauration

Figure 6. Relations entre les pressions, les impacts en lit mineur et les techniques de restauration hydromorphologique préconisées.



Fiche 5. Reprofiler les berges (déblai / remblai)								Cible : Pressions		
R2	Co	Qb	Qpc	M	Hy	C/E	Fo	P		
Ensemble des impacts ciblés par cette technique										
<ul style="list-style-type: none"> Altération des profils en long et en travers Artificialisation ou fragilisation des berges Expression de l'eutrophisation Colmatage Altération des habitats physiques et hydrauliques Altération du tracé en plan Altération de la continuité sédimentaire 										

Fiche 7. Reméandrer								Cible : Pressions		
R3	Co	Qb	Qpc	M	Hy	C/E	Fo	P		
Ensemble des impacts ciblés par cette technique										
<ul style="list-style-type: none"> Altération du tracé en plan Déconnexion lit majeur/ lit mineur Dérèglement des processus naturels de débordements Artificialisation des berges Altération des profils en long et en travers Altération des habitats physiques et hydrauliques Altération de la continuité écologique Colmatage Expression de l'eutrophisation 										

Fiche 8. Créer une nouvelle section de cours d'eau								Cible : Pressions		
R3	Co	Qb	Qpc	M	Hy	C/E	Fo	P		
Ensemble des impacts ciblés par cette technique										
<ul style="list-style-type: none"> Artificialisation du lit (bétonné, busé ou enterré) Altération des habitats physiques et hydrauliques Altération du tracé en plan Altération des profils en long et en travers Altération de la continuité écologique Dérèglement des processus naturels de débordements Déconnexion lit majeur/ lit mineur Colmatage Expression de l'eutrophisation Artificialisation des berges 										

Fiche 6. Modifier la géométrie du lit								Cible : Pressions		
R3	Co	Qb	Qpc	Qh	Hy	C/E	Fo	P		
Ensemble des impacts ciblés par cette technique										
<ul style="list-style-type: none"> Altération des profils en long et en travers Déconnexion lit majeur/ lit mineur Dérèglement des processus naturels de débordements Altération des habitats physiques et hydrauliques Altération de la continuité écologique Artificialisation des berges Colmatage Expression de l'eutrophisation Altération du tracé en plan 										

Pression(s). Extraction de granulats. Barrages et seuils. Curage. Recalibrage. Rectification. Stabilisation des berges.									
Impact(s) hydromorphologique(s). Altération du profil en long (incision, érosion progressive et régressive). Déconnexion lit majeur/ lit mineur. Fragilisation des berges. Dérèglement des processus naturels de débordements.									
Objectif opérationnel n°2. Bloquer ou compenser l'incision du lit									
<i>Enjeu(x) globaux associés. Rééquilibrage des processus naturels de débordement, conservation ou amélioration de la qualité biologique et de la qualité physico chimique de l'eau.</i>									

Fiche 9. Effacer les barrages et seuils								Cible : Pressions		
R3	Co	Qb	Qpc	M	Hy	C/E	Fo	P		
Ensemble des impacts ciblés par cette technique										
<ul style="list-style-type: none"> Altération de la continuité écologique Altération des habitats physiques et hydrauliques Expression de l'eutrophisation Colmatage Altération des profils en long et en travers Dérèglement des processus naturels de débordements 										

Fiche 4. Rehausser le lit								Cible : Impacts		
R2	Co	Qb	Qpc	M	Hy	C/E	Fo	P		
Ensemble des impacts ciblés par cette technique										
<ul style="list-style-type: none"> Altération du profil en long Déconnexion lit majeur/ lit mineur Altération de la continuité écologique Dérèglement des processus naturels de débordements Suppression du substrat alluvial Fragilisation des berges Altération des habitats hydrauliques 										

Fiche 12. Créer des seuils et rampes de stabilisation								Cible : Impacts		
R1	Co	Qb	Qpc	M	Hy	C/E	Fo	P		
Ensemble des impacts ciblés par cette technique										
<ul style="list-style-type: none"> Altération du profil en long (incision, érosion progressive) 										

Fiche 10. Recharger en sédiments								Cible : Impacts		
R2	Co	Qb	Qpc	M	Hy	C/E	Fo	P		
Ensemble des impacts ciblés par cette technique										
<ul style="list-style-type: none"> Suppression du substrat alluvial Altération du transit sédimentaire Altération du profil en long (incision) Artificialisation du lit (bétonné, busé ou enterré) Altération des habitats physiques et hydrauliques Expression de l'eutrophisation Colmatage Altération du profil en travers 										

- Partiellement efficace
- - - → Efficace mais surdimensionnée par rapport à l'objectif opérationnel (rapport coût/efficacité élevé)
- ■ ▶ Efficace mais contraire à la dynamique naturelle du cours d'eau (à utiliser en dernier recours)





Certains outils apportent une réponse unique et souvent partielle à un problème donné.
D'autres outils apportent une réponse multiple et plus globale aux différentes altérations du milieu aquatique.

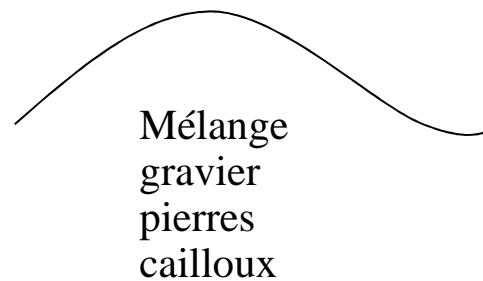
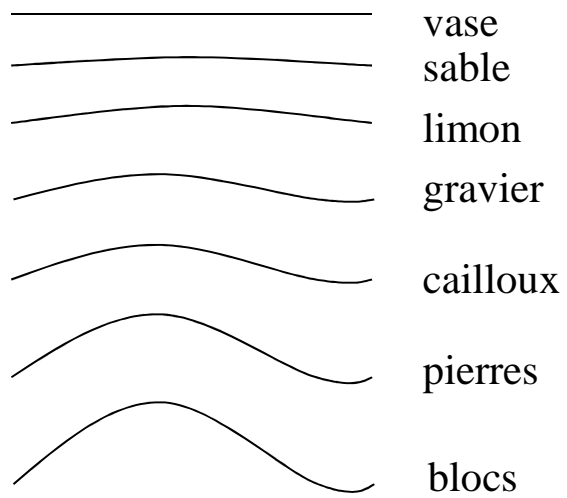


Reméandrage, seuil, pied de talus, réhabilitation de source, création de lit d'étiage, gué, abris piscicoles....

Recharge en granulats
: le « couteau suisse »
de l'aménageur

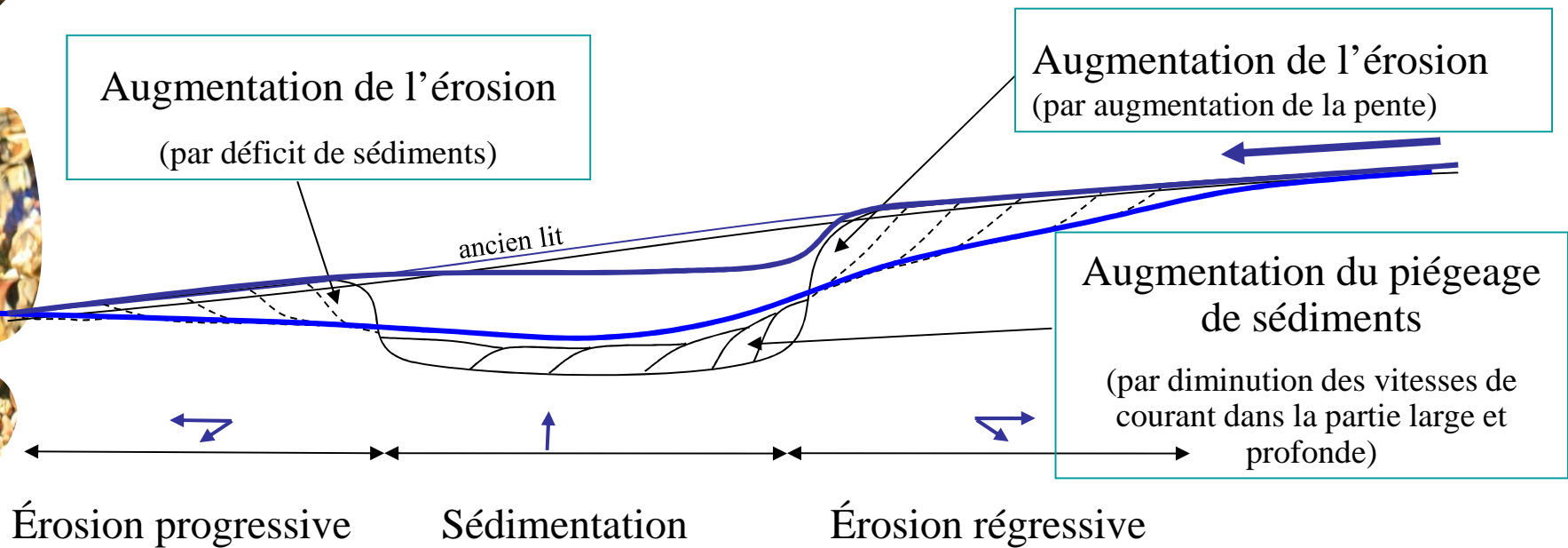


Plus le substrat employé pour la recharge en granulats est hétérogène, plus il offre une résistance (relative) à l'érosion, et une diversité de faciès d'écoulements et d'habitats...



Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

Exemple : extraction de granulats → enfoncement du lit de la rivière

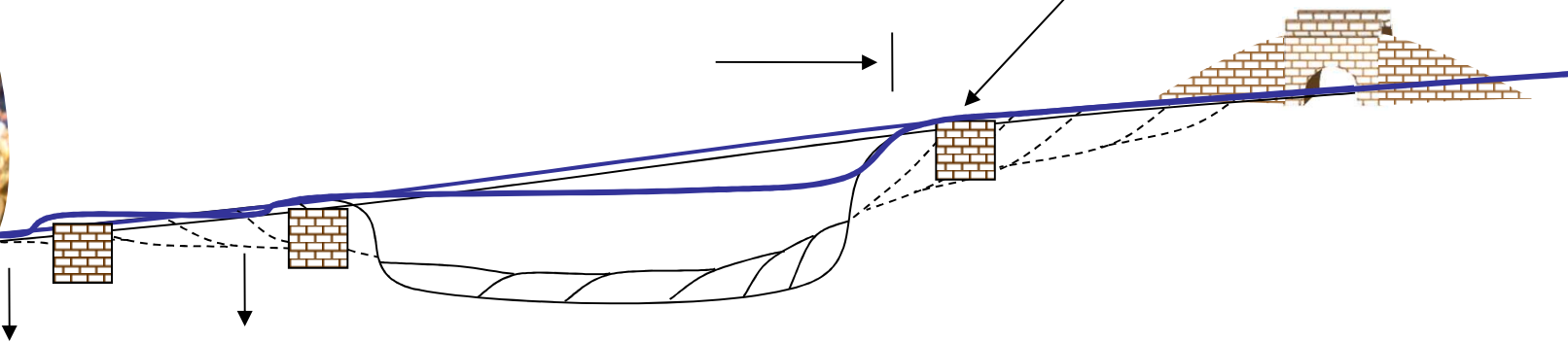


Le cours d'eau essaie de se rapprocher de son profil en long naturel

Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

Exemple : extraction de granulats : élargissement et enfoncement du lit de la rivière, ou augmentation de gabarit en petit cours d'eau.

Si enjeux à l'amont le nécessitent, un seuil noyé peut suffire à bloquer l'érosion régressive



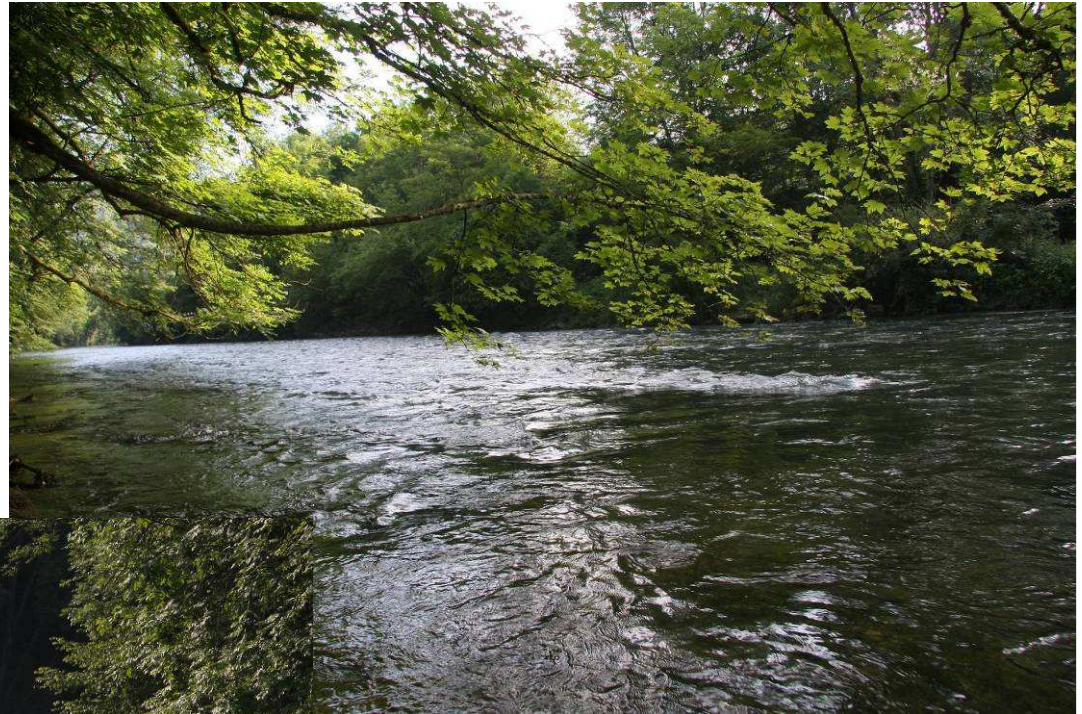
Mais face à une érosion progressive liée au déficit de sédiment, des seuils noyés n'empêcheront pas l'incision à l'aval

Des seuils dénoyés peuvent freiner temporairement la dévalaison des sédiments, mais en accentuant le déficit de la portion plus aval, et entraînant localement une forte artificialisation du milieu (sédimentation et pertes d'habitats piscicoles etc.)

Les erreurs de diagnostic érosion progressive/ régressive sont fréquentes et conduisent souvent à l'emploi de solutions inadaptées.

Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

Sans seuil, un radier
de plus **d'un hectare**



Seuil sur le même cours d'eau, un
peu plus à l'aval: les habitats
d'écoulements rapides sont réduits
à environ **200 m²**

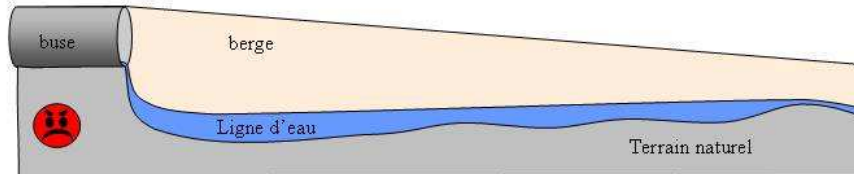


Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

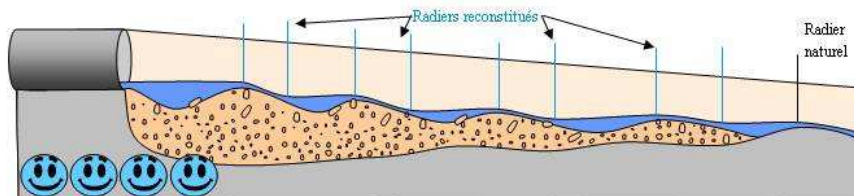
croquis 4 : aménagements pour le franchissement de seuils



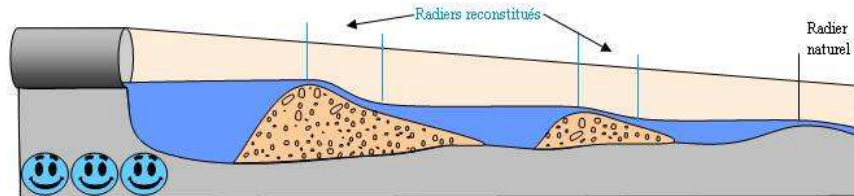
croquis 4-1 : incision à l'aval d'une buse ou d'un pont avec obstacle à la continuité biologique



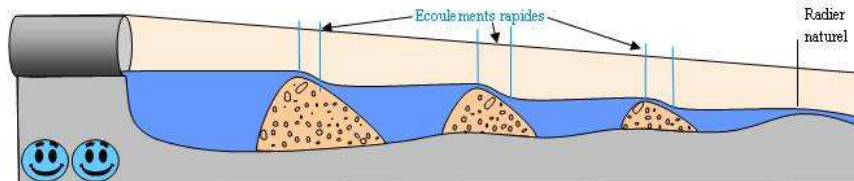
croquis 4-2 : restauration d'un profil naturel par recharge en matériaux



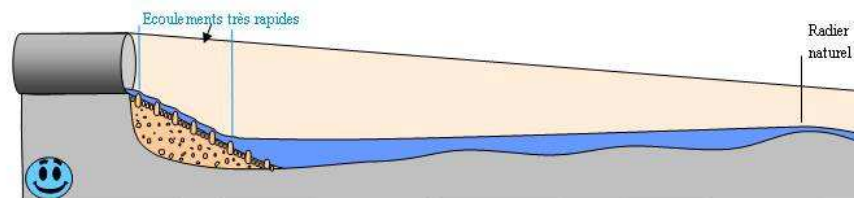
croquis 4-3 : installation de seuils-radiers



croquis 4-4 : installation de seuils noyés



croquis 4-5 : installation d'une rampe en enrochements

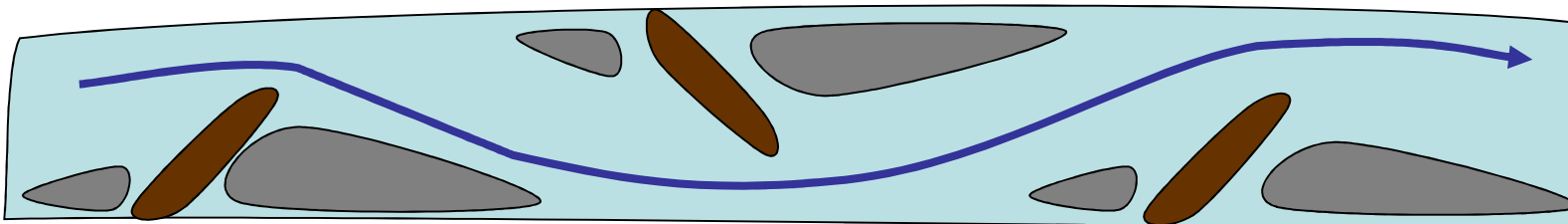


Privilégier la solution la plus bénéfique pour le milieu

En priorité aménagements souples qui s'ajustent aux évolutions morphologiques du cours d'eau

Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

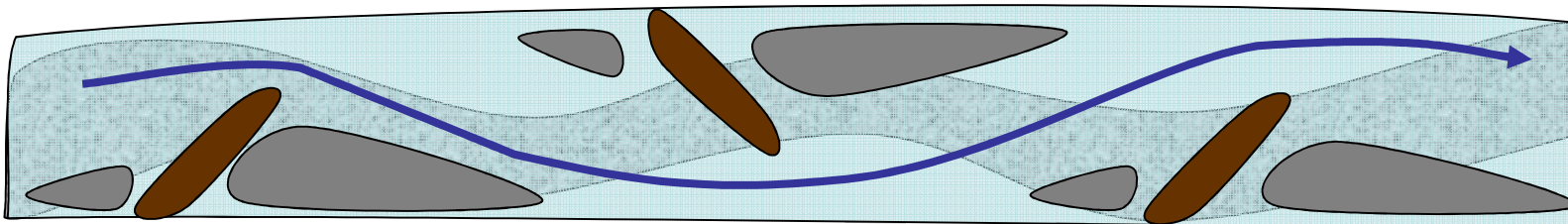
Recréer un lit d'étiage sur un cours d'eau sur-élargi



Pour atteindre cet objectif, la technique des épis est souvent utilisée.

Employée seule, cette technique offre des résultats souvent très décevants (selon l'énergie du cours d'eau, le transport sédimentaire, la nature du sur-élargissement, la hauteur des berges).

Si le sur-élargissement est la conséquence d'un piétinement par du bétail ou d'une mauvaise gestion de la ripisylve..., des granulats grossiers sont encore présents sous les sédiments fins.



Mais les granulats ont été généralement assez dispersés et le positionnement des épis ne permettra d'en refaire apparaître qu'une portion limitée



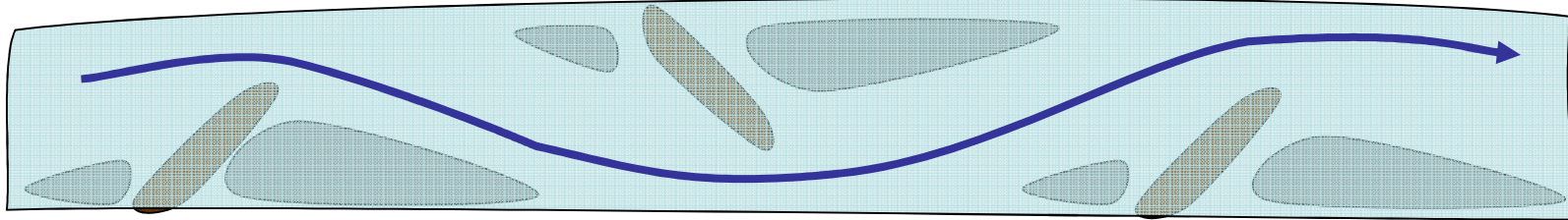
Sur-élargissement dû à une suppression de ripisylve et piétinement de bovins : berges basses



Sur-élargissement dû à un recalibrage (granulo 20 – 30 ans après travaux) : berges hautes



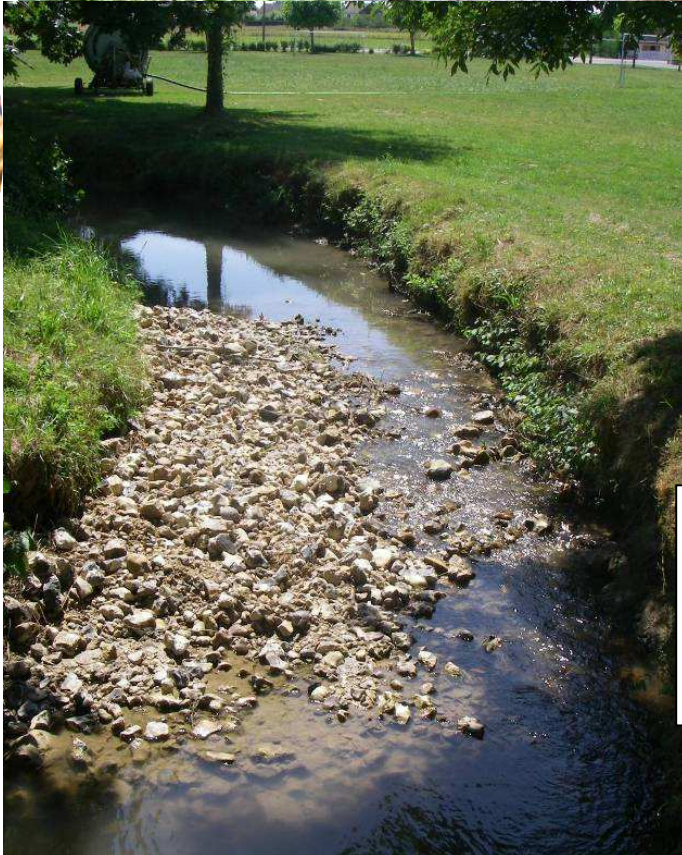
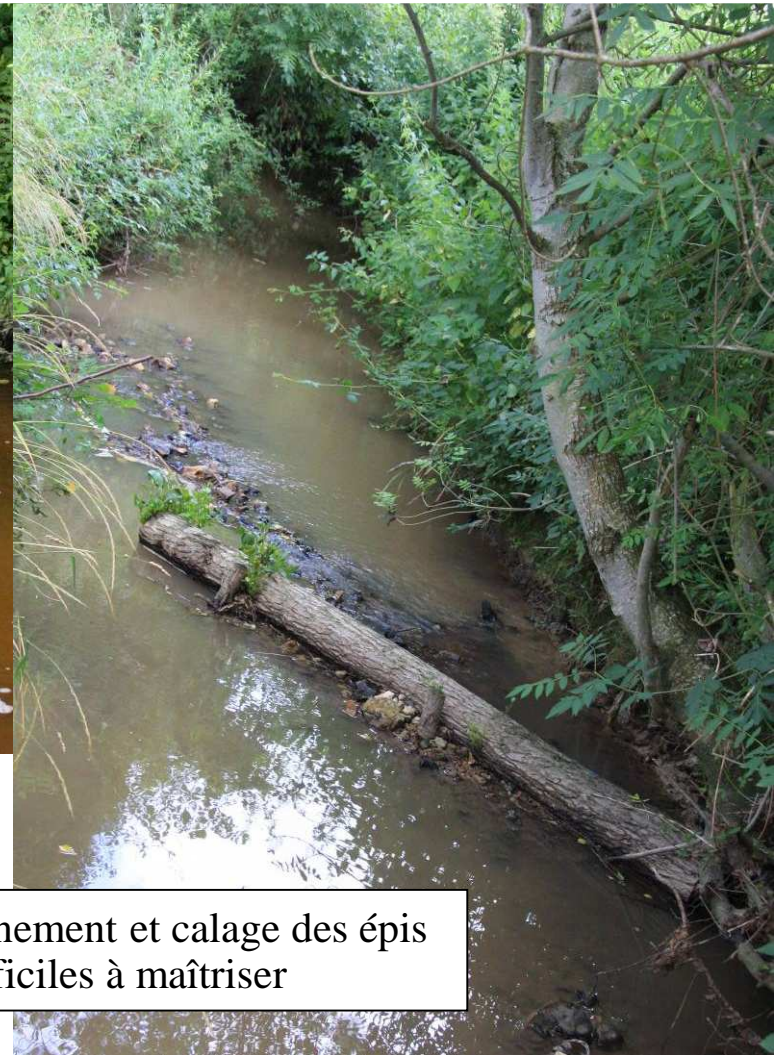
Si le surélargissement est la conséquence d'un recalibrage, les granulats grossiers sont généralement absents



Si les épis sont suffisamment bien dimensionnés pour avoir un effet d'accélération du courant, ils entraîneront une sédimentation en rive, et un phénomène d'incision plus ou moins prononcé (selon la nature des sols) dans le chenal principal.

Non accompagnés d'une reconstitution de matelas alluvial et des habitats pour la faune, le gain écologique apparaît très faible!





Dimensionnement et calage des épis rigides difficiles à maîtriser

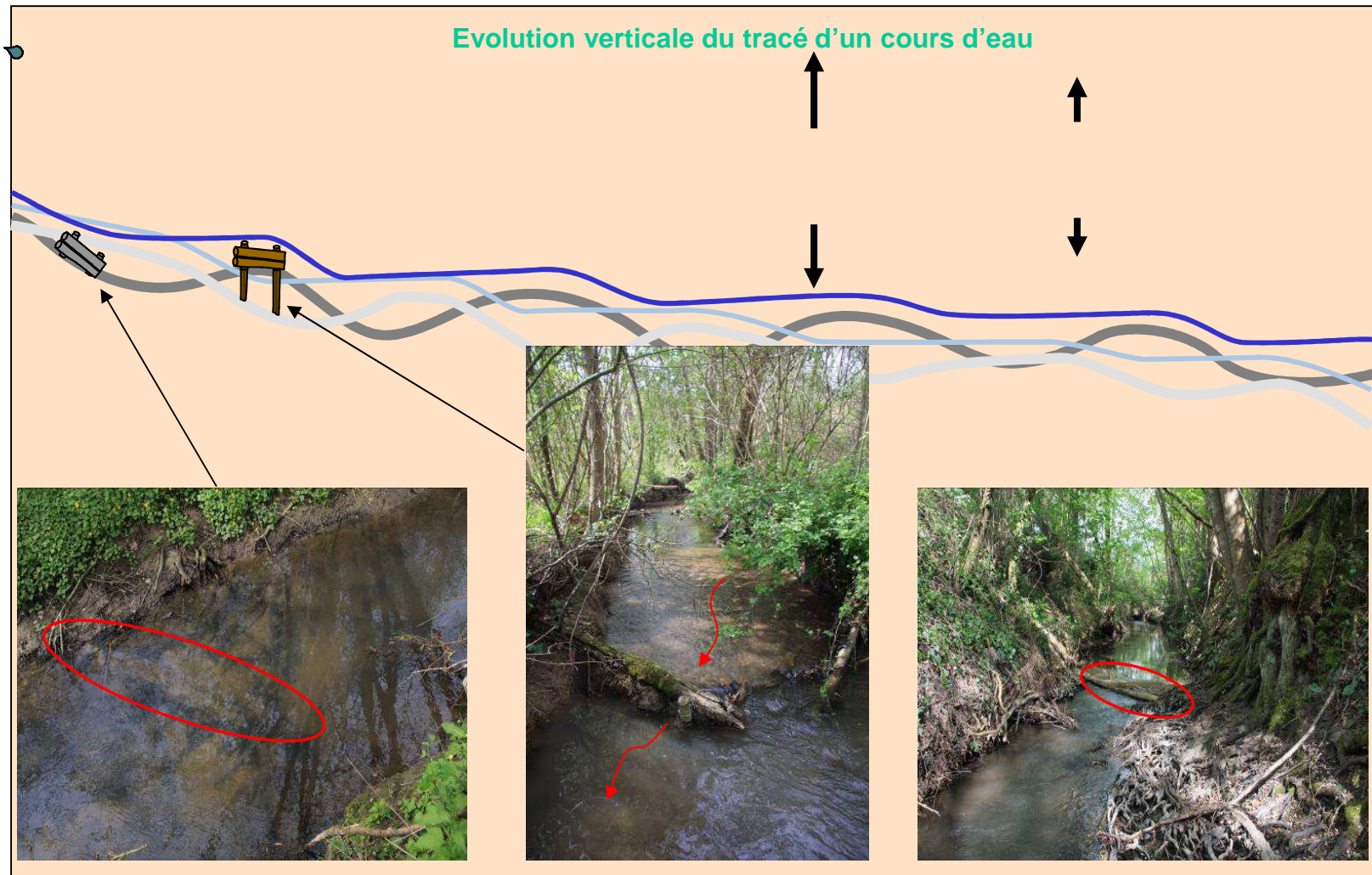
Epis en technique souple (recharge en granulats) s'ajustent naturellement par le cours d'eau.

(si le matelas alluvial a disparu, il faut également le reconstituer)

Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

Sous l'action des débits liquides et solides, le cours d'eau se déplace verticalement dans son lit mineur (succession fosses-radiers)

Les structures rigides ancrées en fond et en berges sont à éviter



Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

Avant travaux : érosion en rive concave, matelas alluvial absent ou de très faible granulométrie (conséquences curage, recalibrage)...

Les choix des techniques de restauration doivent être réfléchis pour une action efficace et durable.

Une érosion en berge peut être bloquée, ralentie, ou laissée en évolution libre...

Conséquences différentes pour la berge et pour le fond du lit

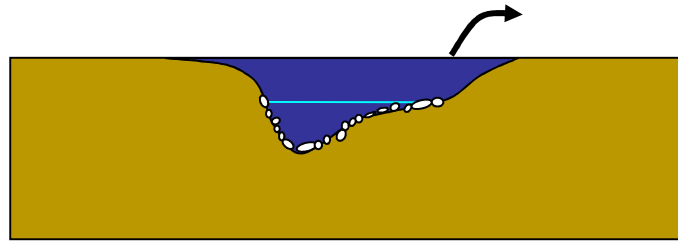
Technique rigide

Technique souple

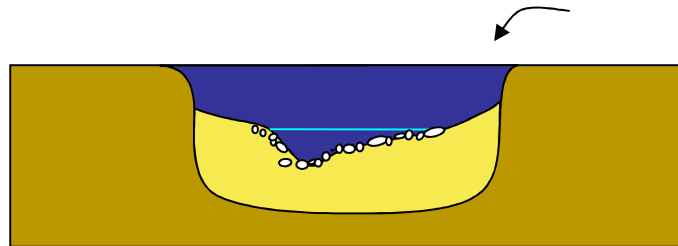
Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

Modifications du gabarit

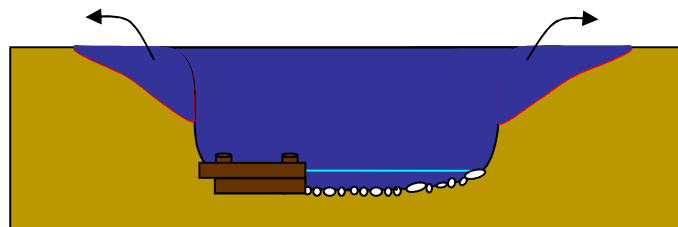
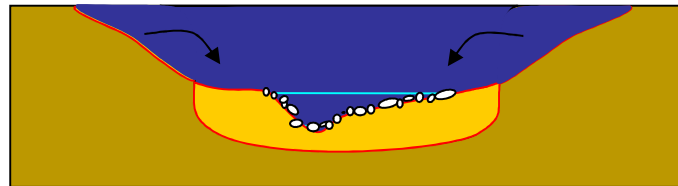
Cours d'eau naturel
: Débit de plein
bord : Q2



Cours d'eau recalibré :
DPB = Q5, Q10...



Retalutage de berges



Bien évaluer les
conséquences des
opérations de
retalutage des berges

Remblais =
réduction du gabarit
et du DPB

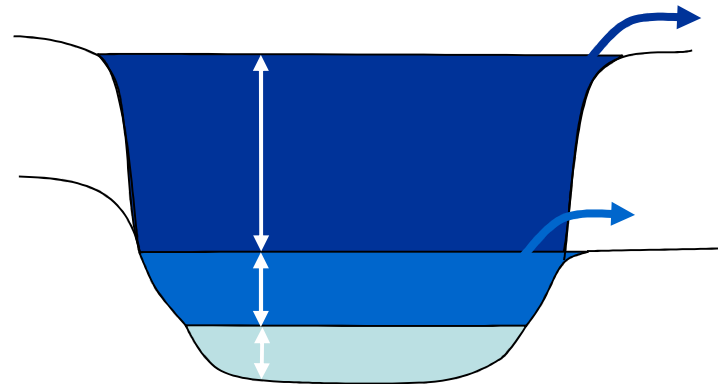
Déblais / Remblais =
conservation du DPB

Déblais =
augmentation du DPB



Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

Redessiner un lit de cours d'eau (reméandrage, remise en fond de talweg...)



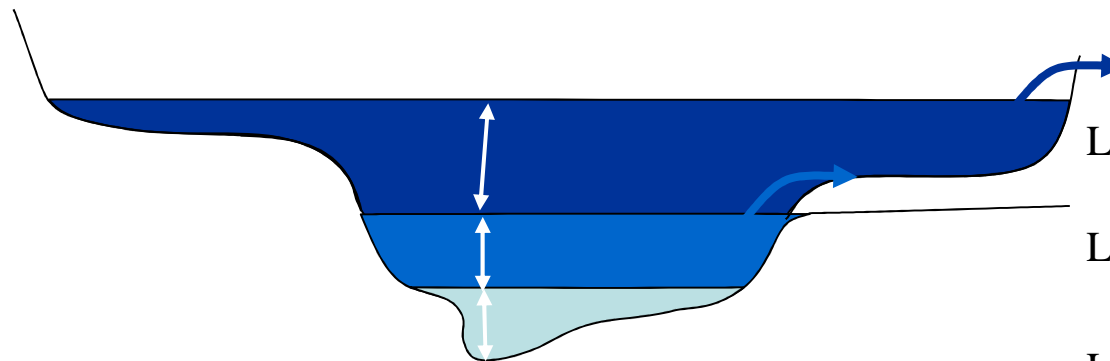
Jouer sur la forme du lit

Lit majeur (Q5, Q10...)

Lit mineur (Q2)

Lit d'étiage

Sur un lit artificialisé (recalibrage, curage...), la forme du lit favorise une **sédimentation** à l'étiage et une **érosion** en crue



Lit majeur (Q5, Q10...)

Lit mineur (Q2)

Lit d'étiage

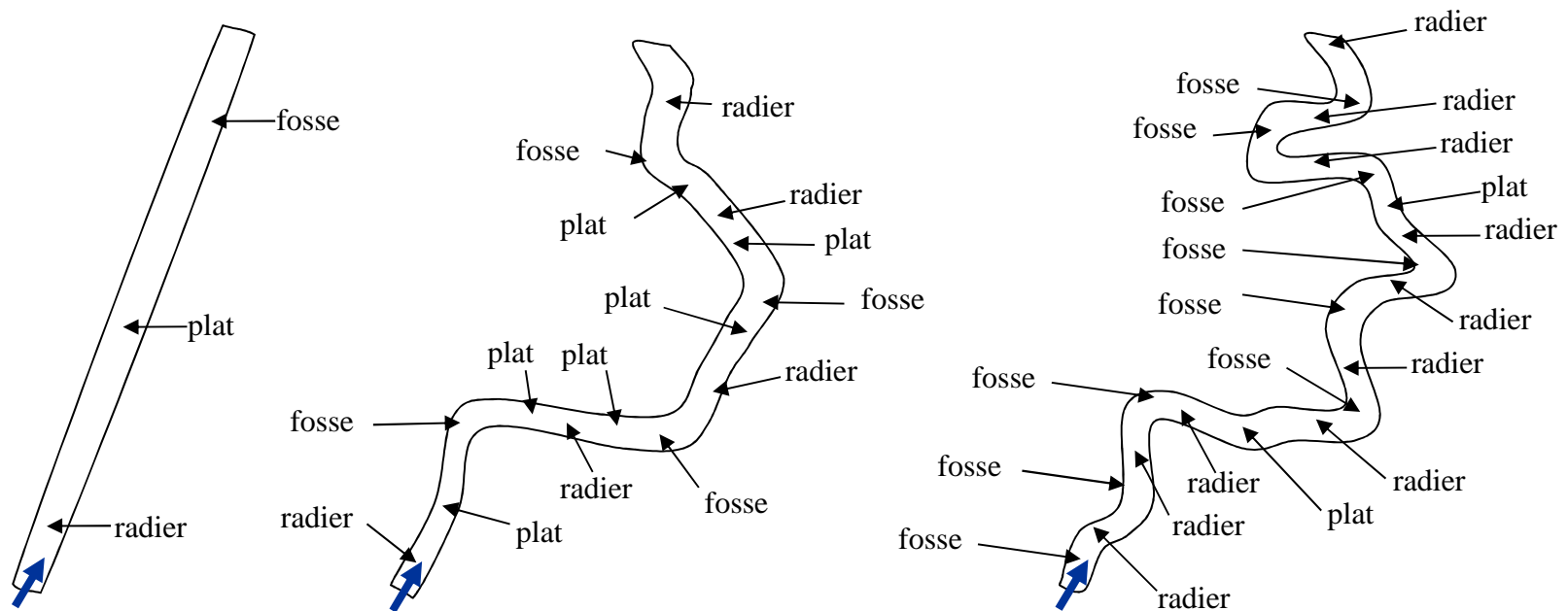
En donnant une forme de lit d'étiage en « V », on favorise un auto-curage.

Avec un lit « emboité » (Q2, Q5, Q10...), l'énergie est dissipée pendant la crue, l'érosion est limitée, la qualité des habitats meilleure.

Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

Reméandrage, remise en fond de talweg....

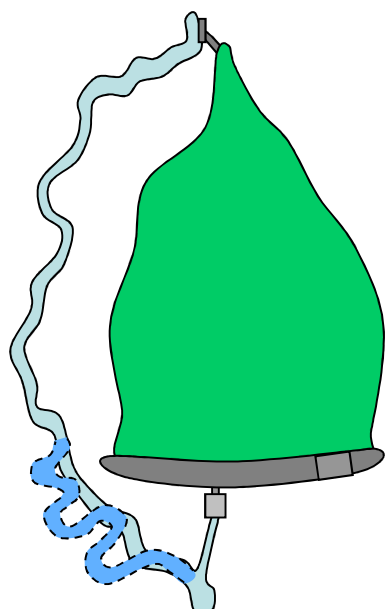
COMPARAISON DE TROIS PROFILS EN PLAN



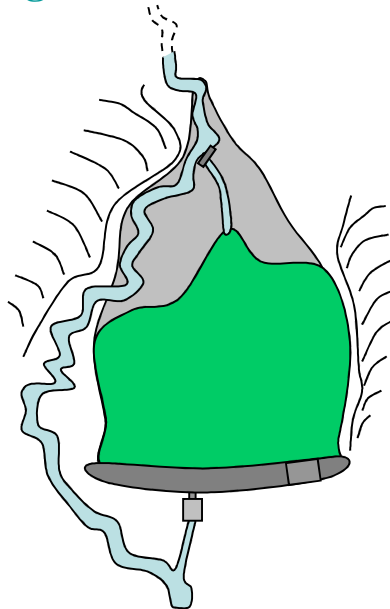
Plus le tracé en plan est diversifié (macro et micro sinuosités), plus la quantité et la qualité des faciès d'écoulement et des habitats augmentent.

Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

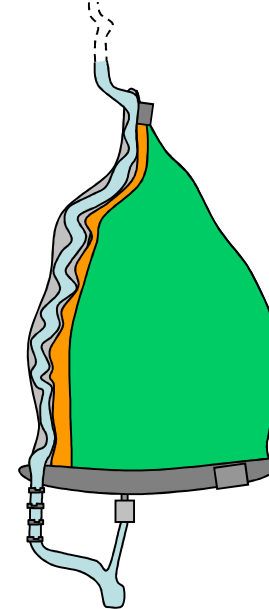
Les contournements d'étangs doivent assurer les mêmes fonctionnalités qu'un cours d'eau



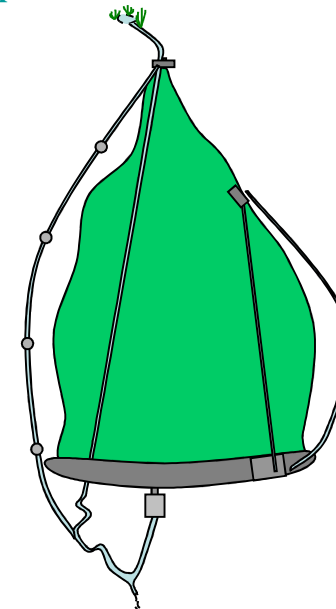
en rive



en réduisant la
surface de l'étang



en remblai dans
l'emprise de l'étang



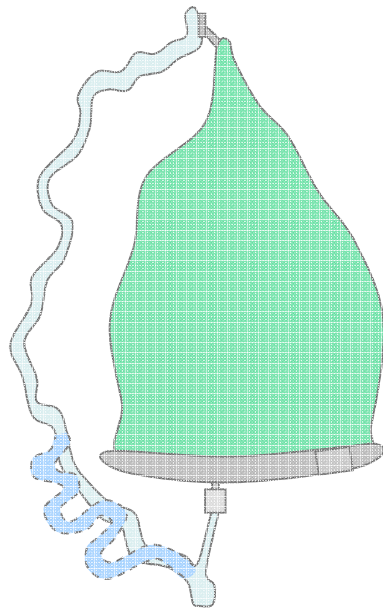
en busage

Les modalités d'intervention doivent s'adapter aux contraintes foncières et techniques imposées par le terrain

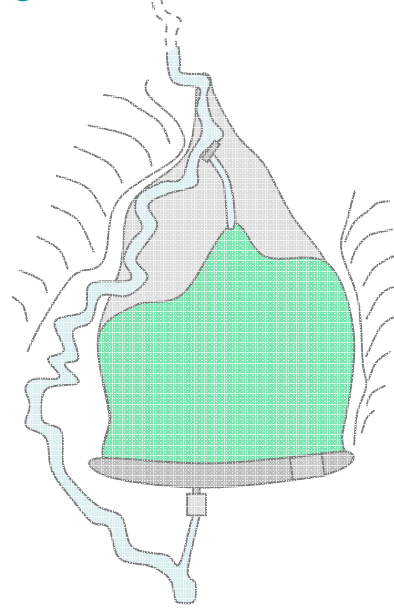
Si « absence » d'enjeux biologiques et sédimentaires à l'amont (proximité des sources), l'intervention peut exceptionnellement se limiter aux aspects quantité et qualité d'eau par un busage réalisant le transfert du débit vers l'aval.

Bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique

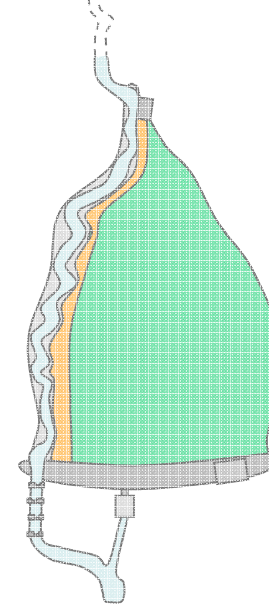
Les contournements d'étangs doivent assurer les mêmes fonctionnalités qu'un cours d'eau



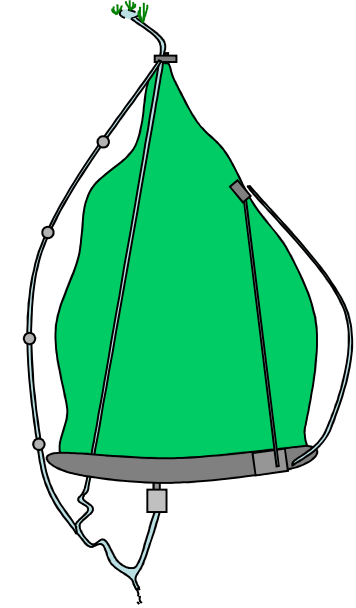
en rive



en réduisant la surface de l'étang



en remblai dans l'emprise de l'étang



en busage

Les modalités d'intervention doivent s'adapter aux contraintes foncières et techniques

Si les enjeux biologiques et sédimentaires à l'amont de l'étang sont « absents » (proximité des sources), l'intervention peut exceptionnellement se limiter aux aspects quantité et qualité d'eau en réalisant le transfert du débit vers l'aval par un busage.

Pour retenir ce choix d'aménagement, les apports hydriques et sédimentaires du B V intercepté doivent être correctement évalués. Les habitats détruits par l'emprise de l'étang ainsi que l'interception des apports sédimentaires doivent être compensés.

Essayer d'anticiper les évolutions

Certains indices (hauteur des berges, racinaires nus, pavage des fonds...) annoncent des bouleversements profonds ...



Bien intégrer la problématique Température de l'eau

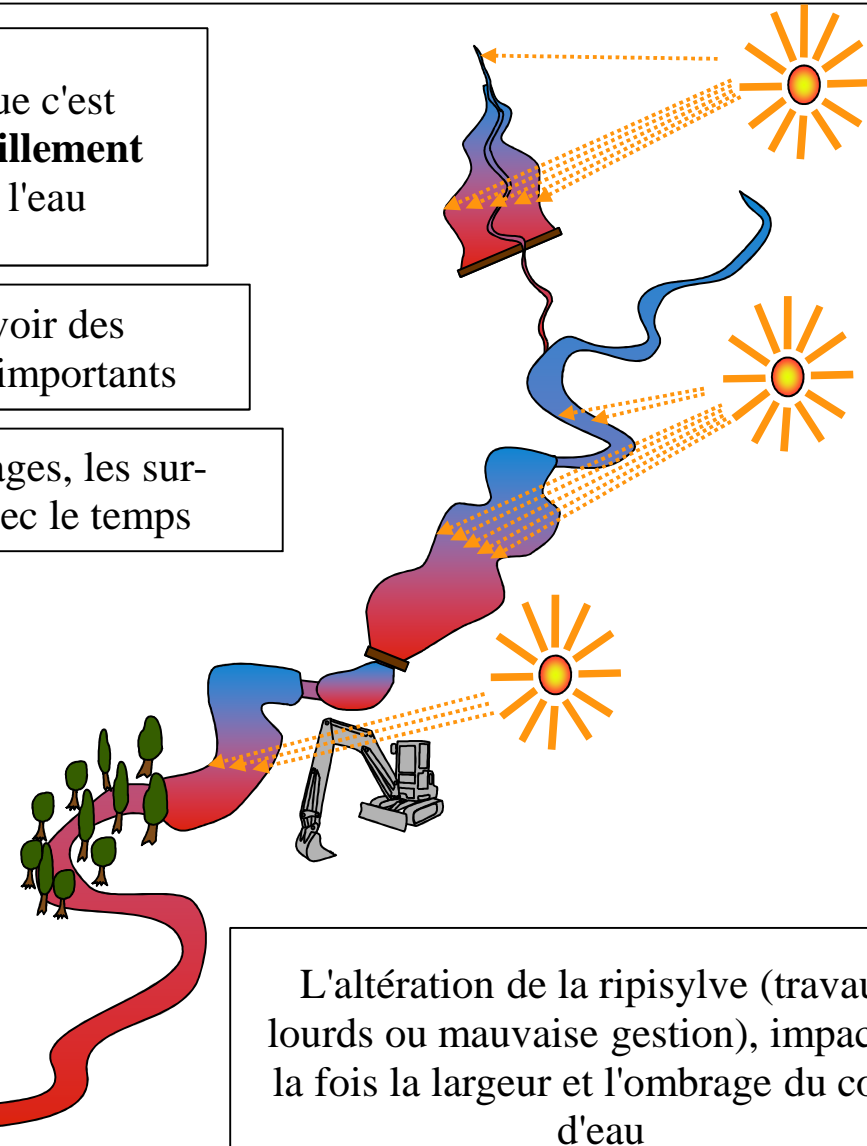
Les bilans thermiques montrent que c'est essentiellement la **surface d'ensoleillement** qui fait varier la température de l'eau

Les étangs et les seuils peuvent avoir des impacts individuels ou cumulés très importants

A l'amont et l'aval de beaucoup d'ouvrages, les sur-largeurs et les impacts s'accroissent avec le temps

Les recalibrages augmentent les largeurs d'ensoleillement

Les recalibrages, curages et colmatage des fonds ont également un impact fort en réduisant ou supprimant les écoulements dans les substrats grossiers (écoulements hyporhéïques)

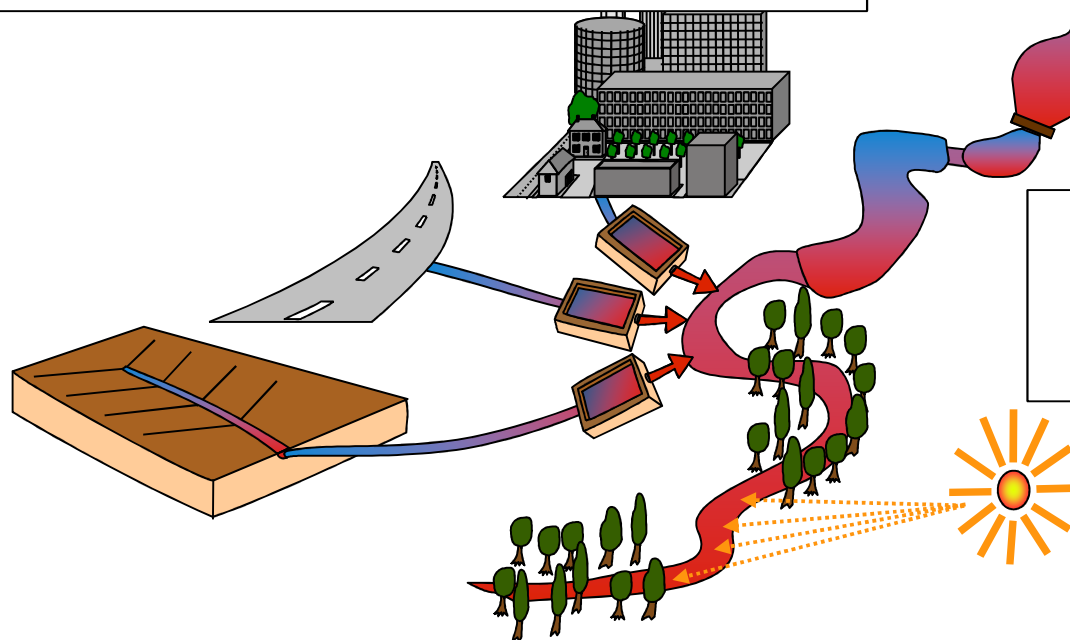


L'altération de la ripisylve (travaux lourds ou mauvaise gestion), impacte à la fois la largeur et l'ombrage du cours d'eau

Température de l'eau

Surfaces imperméabilisées et collecteurs de drains à ciel ouvert: impacts très marqués lors d'épisodes pluvieux estivaux

Collecteurs, quand ils existent, traitent la plupart du temps les MES, les hydrocarbures..., mais dégradent T° directement par échauffement ou indirectement par perte de débit.



Les tronçons sans ripisylve impactent durablement la température de l'eau

Température de l'eau

Pour restaurer le régime de température des cours d'eau, moyens d'intervention possibles :

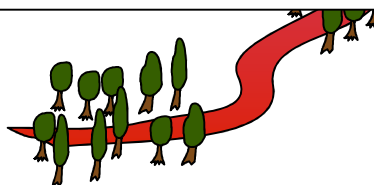
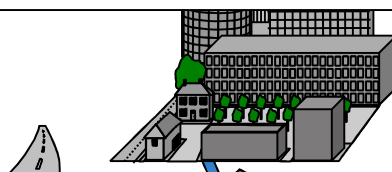
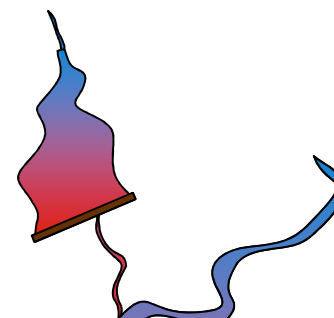
- **restaurer ripisylve** et ombrage (largeur CE < 30m)
- **restaurer le matelas alluvial** et les écoulements hyporhéiques (travaux lourds occasion de diminuer les largeurs et surfaces ensoleillées)

Traiter les pressions :

- limitation des prélèvements
- effacement, contournement des plans d'eau et seuils, infiltration des eaux pluviales pour leur refroidissement...

L'aménagement de vannages et moines sur étangs et barrages peut améliorer, mais ne permet pas d'éviter les incidences sur l'ensemble d'une saison.

Les impacts résiduels doivent être compensés!



Programme de restauration

Etablir EdL et diagnostic à la bonne échelle

Utiliser guides et ReX

Eviter compromis, être ambitieux

Choisir bonnes techniques

Anticiper sur évolutions

Etre innovant si besoin/possibilité

Assurer un suivi adapté



**Etre ambitieux pour
restaurer les fonctionnalités
des milieux**



Merci de votre
attention

