

Aménager une banquette en rivière

**Pourquoi? Comment?
Retour d'expériences et
conseils pratiques.**



10^e forum des Techniciens Médiateurs de Rivières à Lathus
Michel Bramard – 6 novembre 2015



La réalisation des banquettes : de nombreuses difficultés de réalisation, des travaux à des coûts parfois élevés, pas toujours efficaces et de faible résilience



M. Bramard



M. Bramard



M. Bramard



M. Bramard

Identification des causes de dysfonctionnement?



M. Bramard



M. Bramard



M. Bramard



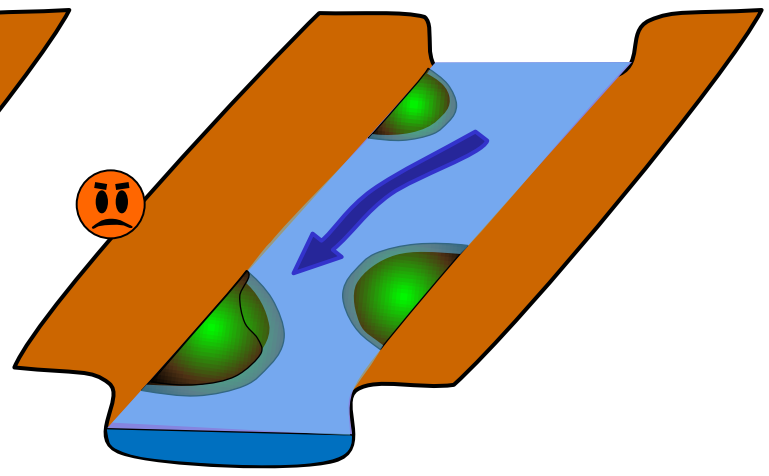
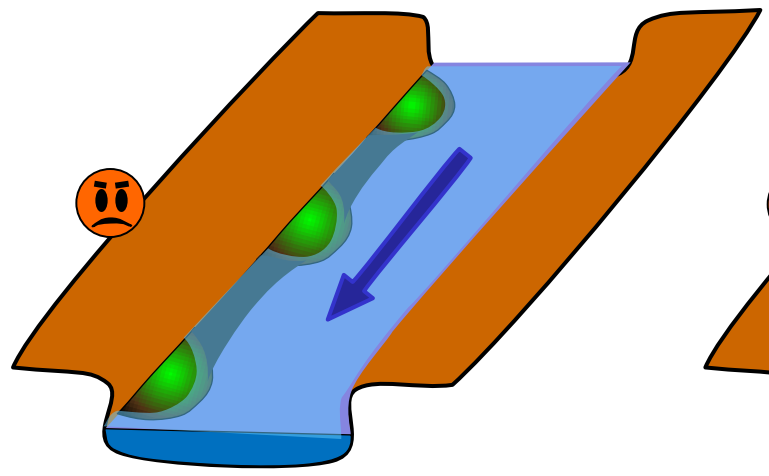
M. Bramard



Positionnement et dimensionnement des banquettes



avant



Quelques « erreurs » assez faciles à identifier :

⇒ banquettes non alternées : l'écoulement reste rectiligne, peu de gains en matière d'habitats, coûts peu optimisés (surtout si travaux de stabilisation amont et aval des banquettes par du génie végétal...)



⇒ banquettes trop rapprochées (la déviation du courant provoquée par la bannette amont vient éroder la bannette suivante)





D'autres critères (de réussite ou d'échec) apparaissent moins facilement identifiables.

Critères de dimensionnement

Quelle méthode?* (la question s'applique à l'ensemble des travaux de restauration linéaire de cours d'eau)

- **par analogie**, (reproduire les caractéristiques morphologiques d'un tronçon non altéré du même cours d'eau)
- **par approche empirique régionalisée** (par mimétisme des formes fluviales caractéristiques à l'échelle d'une région homogène)
- **par méthode analytique** (à partir d'équations de transport solide et de modèles hydrauliques)

Les différentes approches nécessitent généralement d'être combinées.

- par «pifométrie»



(* Brookes et Shields, 1996 ; Hey, 2006 ; Rosgen, 2007) in LE LEU, W. 2013



En copiant les formes issues des ajustements morphologiques naturels?



Glissement de berge dans une fosse de concavité (migration latérale)



Reprofilage de berges par des bovins



Glissement de berge suite à une incision (érosion progressive)



Développement de végétaux aquatiques et sédimentation

Beaucoup de symptômes de ces ajustements sont interprétés comme des désordres hydromorphologiques...



En copiant les formes issues des ajustements morphologiques naturels?



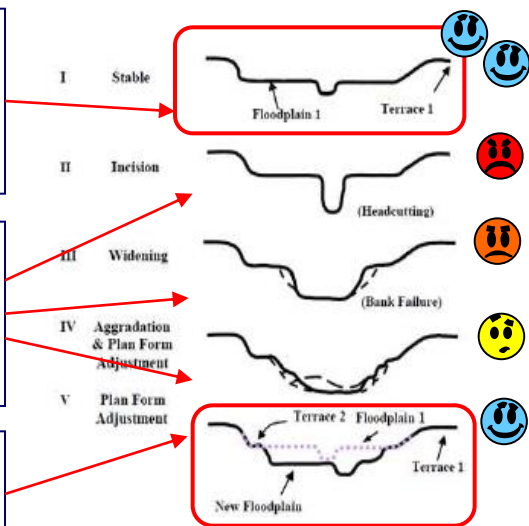
Petit cours d'eau rectifié en phase finale de réajustement (avec pente très faible)

Il vaut mieux

- soit restaurer les formes de lit telles qu'elles étaient avant les perturbations (si c'est possible)

plutôt que d'essayer de stabiliser ou créer des formes transitoires (gains fonctionnels plus importants et meilleure résilience)

- soit se rapprocher d'une nouvelle forme proche de « l'équilibre »



Schumm 1984

Un cours d'eau (*) en équilibre (dynamique) a tendance à concentrer l'énergie aux débits d'étiage et à disperser l'énergie pour les débits de crue (Ward, A. and S. Trimble. 2003), avec le cas échéant un lit emboîté*

* pour les cours d'eau à faible pente

** on parle de lit « emboîté » pour un lit mineur inséré dans un lit majeur « restreint » (et pas un lit d'étiage inséré dans un lit mineur)



Selon le niveau d'ambition du projet les objectifs opérationnels sont :



M. Bramard



M. Bramard



M. Bramard

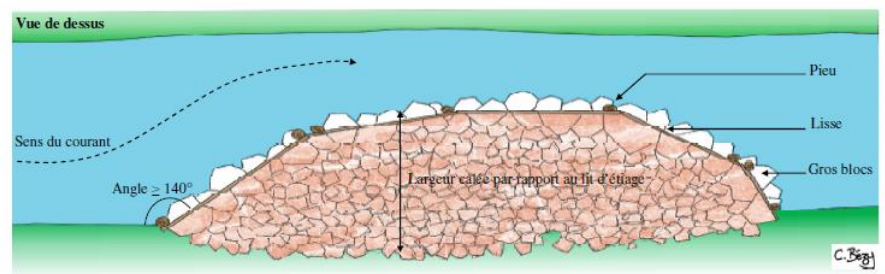
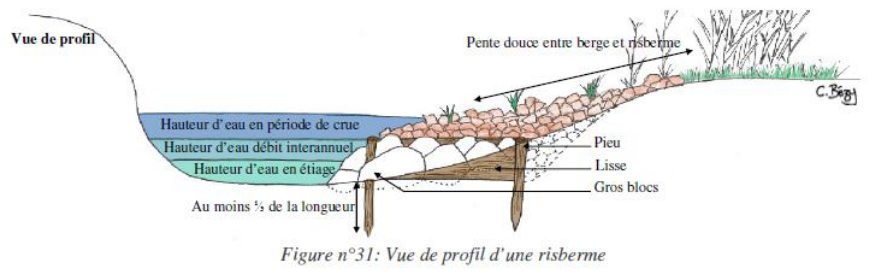


- ⇒ **Créer ou recréer un lit d'étiage**
diversification des écoulements, des habitats... (lit curé, rectifié, recalibré...)
- ⇒ **Resserrer un lit mineur trop large**
restaurer un rapport de forme plus proche du type naturel du cours d'eau
(mauvaise gestion ripisylve, portion soumise à influence d'un seuil, piétinement du bétail...)
- ⇒ **Resserrer un lit mineur trop large et trop profond**
restaurer un gabarit hydraulique (curages excessifs ou répétés, recalibrages...)



Longueur des banquettes

⇒ La bibliographie propose peu d'éléments* de dimensionnement des longueurs : 4x la largeur (Besson et al 2009), variable et jusqu'à 12 fois la largeur (Collectif . Fédération de pêche Côtes d'Armor 2010 : configuration des risbermes)



La « largeur » de référence à prendre en compte pour le dimensionnement peut être comprise soit :

- comme une simple indication de rapport de forme (rapport l/L de la banquette)
- soit en se basant sur une largeur de référence** «plein bord avant débordement» (notée généralement W)

* pour cette présentation la recherche bibliographique n'a pas été exhaustive
 ** largeur projet qui doit être définie précisément dans le diagnostic avant travaux



Longueurs des banquettes

Les formes naturelles d'atterrissement sur certains cours d'eau à fort transport solide présentent une rythmicité (qui peut être parfois très régulière) avec une moyenne de 5 à 7 W (Malavoi JR. et Bravard JP. 2010).

Ce rythme, qui s'observe également* pour les alternances de faciès d'écoulement (en moy 6W) et la formation des méandres (en moy 12W), constitue une bonne indication pour le dimensionnement des travaux...

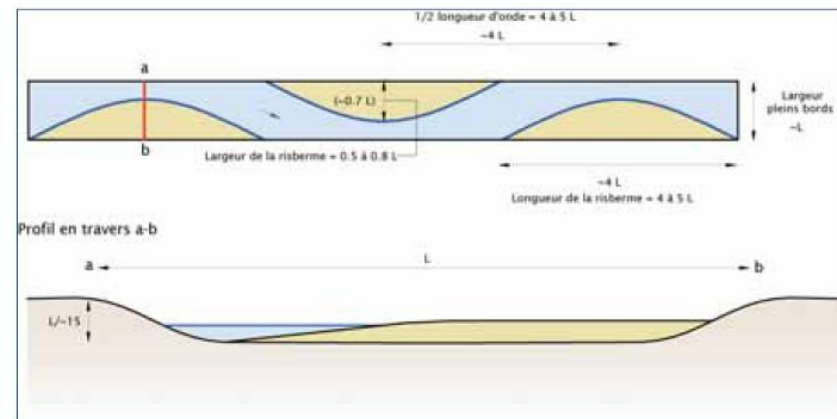
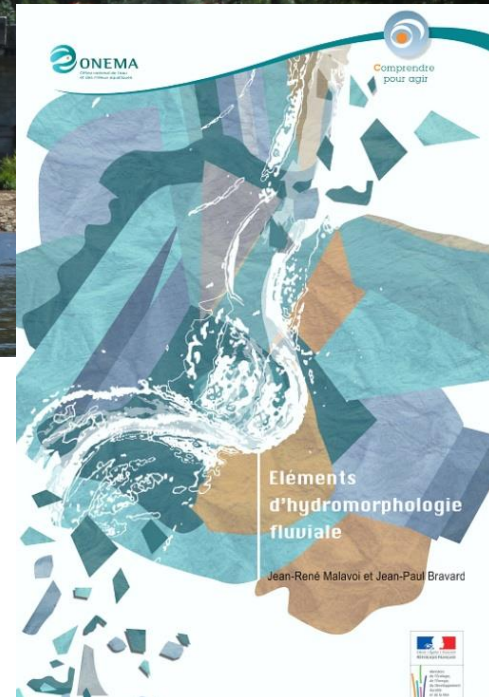


Figure 18 : Schéma type d'implantation de risbermes alternées (L est la largeur à pleins bords) (figure Malavoi-Biotec).

* pour les cours d'eau coulant sur alluvions



Longueurs des banquettes

⇒ Si le tracé en plan est naturel (cours d'eau non rectifié), on respectera les formes «imposées» (bancs de convexité)

⇒ Pour les cours d'eau rectifiés, on peut également s'appuyer sur l'observation des atterrissements et le développement de certains végétaux .

⇒ Les longueurs des banquettes sont plus diversifiées dans les cours d'eau coulant sur sédiments minéraux grossiers et hétérogènes.

⇒ Pour les très petits cours d'eau (rangs 1 et 2) en milieu forestier, les rythmes sont plus proches de 5W.



végétation sur atterrissements guidant le positionnement des banquettes.



Largeurs des banquettes

⇒ Si sur certaines formes naturelles des constantes (moyennes) peuvent s'observer ($0,7W$), la largeur fixée pour la banquette dépendra principalement des sur-largeurs observées...

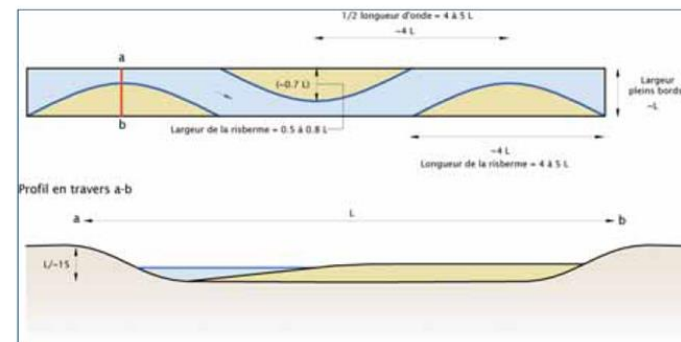


Figure 18 : Schéma type d'implantation de risbermes alternées [L est la largeur à pleins bords] (figure Malavoi-Biotec).



Epaisseur des banquettes

⇒ Les objectifs définis dans le projet (pincement du lit à l'étiage, en conditions moyennes d'écoulement, en crue...) doivent être suffisamment clairs pour permettre un calage adapté et précis (plus ou moins précis selon les enjeux, le type de milieu et la technique utilisée)

Exemple : objectif ⇒ accélérer les vitesses d'écoulement sur une zone favorable* à la reproduction de la Truite fario



banquette trop basse : vitesses de courant lentes sur toute la section mouillée



banquette bien calée : vitesses d'écoulement rapides en saison de reproduction de la truite

La période de réalisation des travaux (généralement à l'étiage) ne permet pas toujours une évaluation immédiate des effets escomptés.

La méthode de réalisation employée ici (recharge en granulats) a permis de réajuster le tir rapidement, sans surcoûts élevés, pour être efficace sur des débits proche du module.



Nature des matériaux

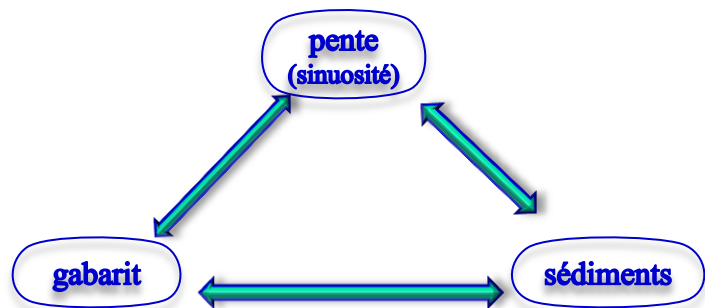
- ⇒ Tous types de matériau sont employés :
 - banquettes minérales, (cailloux, pierres, blocs, mélange)
 - banquettes « végétales » : terre, argile (avec ou sans semis), bois mort (pieux jointifs, fascines, déchets d'abattage, peignes...)
 - mixte : horizontal (bordure bois et intérieur terre), ou vertical (« lasagne » alternant des couches de bois mort et de terre), sous couche pierreuse et dessus terreux...
- ⇒ Les structures en bois morts semblent présenter globalement une durée de vie assez courte (du même ordre que les embâcles se constituant naturellement en rivière).
- ⇒ Les effets de sédimentation espérés sont souvent déçus (les cours d'eau à transport sédimentaires suffisant s'ajustent naturellement d'eux-mêmes)
- ⇒ le « durcissement » des structures par des gros blocs tend à artificialiser le milieu
- ⇒ la « sécurisation » des travaux par les techniques végétales (plançons, tressage, boudins coco, géonattes...) augmente considérablement les coûts sans « garantir » une meilleur tenue dans le temps



Dimensionnement des travaux

⇒ même si certains matériaux et modes opératoires présentent plus d'avantages que d'autres, les caractéristiques dimensionnelles des ouvrages priment sur la nature des matériaux employés

Comme pour d'autres types de restauration hydromorphologiques ambitieux, les paramètres dimensionnels du nouveau milieu créé doivent être analysés de façon globale et simultanée, pour assurer une bonne résilience des structures créées.



Paramètres principaux à prendre en compte dans les projets de restauration morphologique

Après travaux :

- les trajectoires seront allongées : est-ce qu'on se rapprochera de la pente d'équilibre du cours d'eau?
- le gabarit sera-t-il conforme?
- les sédiments (grossiers) sont-ils suffisants en volume et en étendue granulométrique?



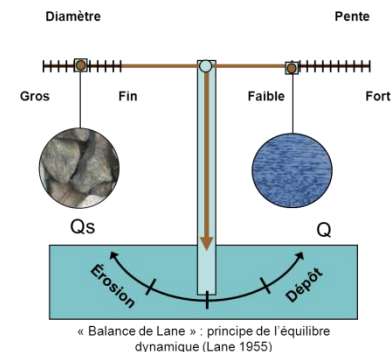
Dimensionnement des travaux

Si oui aux 3 questions, les ajustements seront très modérés (!ce n'est pas une science exacte 😊 et il peut y avoir des aléas climatiques « malvenus » 😞 sur des travaux « frais »).

Si non à l'une des 3 questions, les ajustements seront plus forts : comment et où ?

Les granulats

Le matelas alluvial est-il épais? L'étendue granulométrique est-elle importante? Des matériaux sont-ils disponibles en lit mineur? en berges?



Facteur important : les sédiments grossiers constituant à la fois une variable de contrôle et de réponse



La pente d'équilibre

- Pente régulière ? (sur alluvions, sur roche mère?)
- Successions de vallons encaissés et d'alvéoles.
- Affleurements de roches « dures », anciens lacs...
- Barrages, seuils, parties rectifiées...

Où se situent les travaux?

Station de référence prise pour modèle?

Il est important

- d'avoir un profil en long débordant largement de la zone de travaux!!!*
- d'identifier les zones d'incision et de dépôts, l'érosion régressive et progressive...

* Arrêté du 28 novembre 2007 fixant les prescriptions générales applicables aux installations, ouvrages, travaux ou activités soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.1.2.0 (2°) de la nomenclature annexée au tableau de l'article R. 214-1 du code de l'environnement : ... « Ces éléments sont appréciés sur un secteur représentatif du fonctionnement géomorphologique du cours d'eau en amont et en aval du site sur une **longueur totale cohérente** avec le projet, **au moins égale à 300 m** ».



Le « gabarit »

La capacité hydraulique **naturelle** des cours d'eau s'adapte aux conditions moyennes de transport (débits liquide et solide).

Les dimensions du lit mineur s'ajustent en fonction des crues (dites « morphogènes ») qui correspondent à des occurrences proches de

- sources, zones de marais : **Q : 1 à 1,2**
- substrats imperméables **Q : 1,7**
- substrats perméables **Q : 2**

Le débit de référence à prendre en compte est celui de la **crue journalière** d'occurrence 1 à 2 ans

Si les travaux sont très importants* (lit et berges) il faut légèrement sous-dimensionner pour tenir compte des ajustements à venir

Les incidences après travaux seront différentes selon la technique employée : déblai/remblai («simple» modification du rapport de forme), ou remblai seul (réduction du gabarit), ou déblai seul (augmentation de gabarit).

* sauf pour les banquettes ayant pour simple objectif le pincement du lit à l'étiage



Le « gabarit »

Sur les petits cours d'eau les stations de jaugeage et les chroniques de débits sont généralement absentes...

On peut :

- estimer les débits à partir des données du futur gabarit (largeur lit et hauteur de berges), pente, rugosités (formule de Manning-Strickler ...).
- comparer aux données de stations de débits proches (pluvio, coef de ruissellement...), projeter le Q2, le module, à la superficie du BV au niveau des travaux
- prendre en référence une station proche non impactée
- en cas d'absence de station de référence, repérer les indices de largeur conformes (portions les plus étroites), l'implantation des végétaux sensibles à l'enneigement des systèmes racinaires, les portions absentes de colmatage ou de pavage*...

(méthode analytique, approche empirique régionalisée, analogie)



Le rapport de forme



Boivre avec ripisylve $l/p : 9$

Exemple de lit sur-élargi Boivre (86) :
 $l/p = 17$

**lit rectifié (ancien bief), suppression
ripisylve (rangée de peupliers) et
piétinement bovins**



Evaluer les risques?

Figurer les aménagements ou favoriser des réajustements?

Contrainte économique?

coûts des études score géodynamique, puissance spécifique, estimation des débits d'entraînement, force tractrice critique... ou coût des travaux?

Contrainte technique? temps de stabilisation des matériaux, d'implantation de la végétation, tri granulométrique, occurrence des crues...

Pas assez de retours pour l'instant

Il faut expérimenter, varier les techniques et les modes opératoires et suivre

Ou adopter des techniques plus souples permettant des ajustements importants

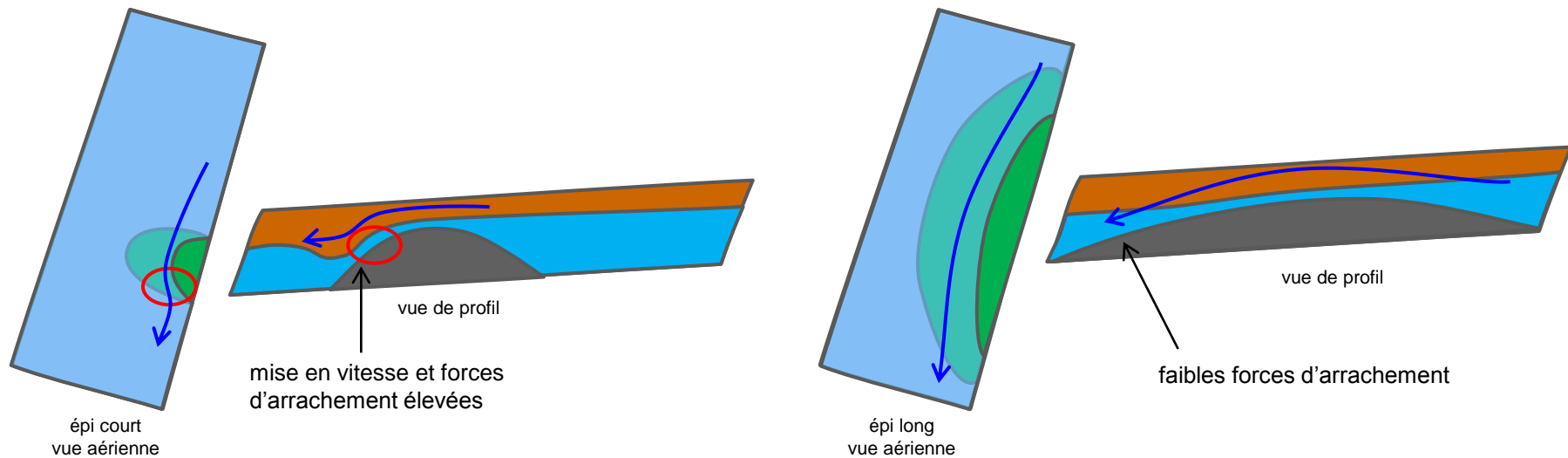
Contrainte Sociale? (acceptabilité des travaux, perception de la réussite ou de l'échec vis-à-vis du projet envisagé, aspect naturel ou jardiné...)

Il faut bien expliquer les enjeux et les contraintes de l'exercice



Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ banquettes trop courtes



Sur des ouvrages longs, les contraintes hydrauliques en crue* sont plus faibles

⇒ il vaut mieux proscrire les banquettes trop courtes type « gros épis »

* selon la conception de l'ouvrage et les conditions locales, les contraintes varient entre le début et la fin de la crue, le bon calage des épis relève souvent de la gageure



Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ **banquettes trop étroites ou trop larges**

Si des matériaux grossiers sont absents du matelas alluvial ou de trop faible taille :

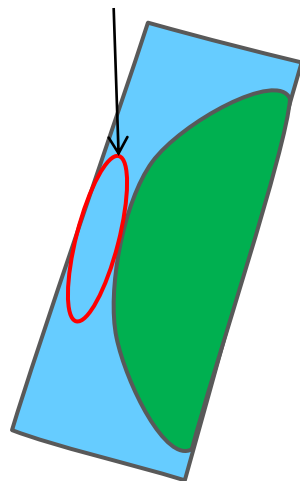
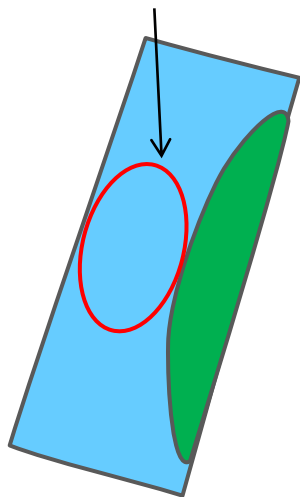
- 1^{er} temps : incision du chenal
- 2^{ème} temps, sapement avec un basculement des matériaux de la banquette ou un sous-cavement faisant apparaître les infrastructures

Si des matériaux grossiers sont présents dans le matelas alluvial et bloquent l'incision du chenal :

- le cours d'eau ajuste son gabarit en érodant soit la berge en face*, soit la banquette

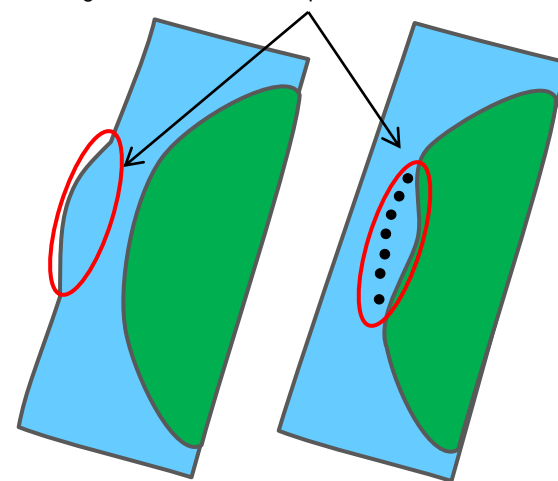
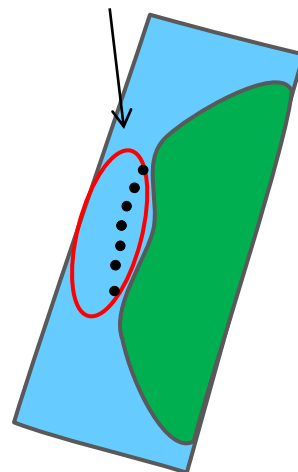
pincement insuffisant : les vitesses de courant restent faibles, le fond est colmaté...

pincement trop important, les vitesses de courant et les forces d'arrachement sont très importantes



banquette trop étroite
vue aérienne

banquette trop large
vue aérienne



ou les deux ☹!



M. Bramard



M. Bramard

* selon la cohésion des matériaux en berge, présence et implantation de la ripisylve



Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ banquettes trop étroites ou trop larges

Il peut être volontairement recherché de forcer une migration latérale (pour améliorer la qualité d'un tracé en plan trop rectiligne).

Très souvent, les berges anciennes du cours d'eau, de nature très cohésives, résistent mieux et c'est la banquette, de fabrication plus récente qui subit l'érosion latérale

Forcer une migration latérale nécessite :

- une berge opposée friable, non protégée (protections artificielles ou ripisylve)
- ou un durcissement très important de la banquette ce qui présente des risques d'une certaine artificialisation du milieu et des surcoûts importants! De nombreux maîtres d'ouvrage préfèrent anticiper en réalisant un retalutage de la berge opposée*.

* technique de déblai-remblai permettant de réutiliser pour la banquette les matériaux issus du retalutage de la berge opposée

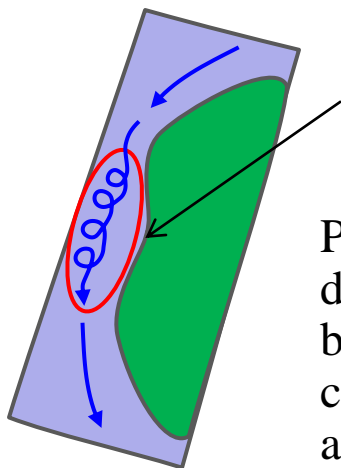


Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ banquettes trop étroites ou trop larges

Un autre facteur pouvant favoriser l'érosion de la berge est la création de courants tourbillonnaires consécutifs de la courbure du tracé en plan.

Tout comme dans les méandres naturels, il est normal que se forme une fosse de concavité dans l'extrados et un banc de convexité dans l'intrados entraînant à terme une surlargeur dans la courbe.



Pour limiter les ajustements et les dépôts de sédiments, le tracé de la berge peut en partie anticiper cette évolution prévisible en adoptant une forme « en haricot » (premiers tests en cours)





Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ banquettes trop étroites ou trop larges

Rechercher la largeur juste de la bannette (ni trop étroite ni trop large) relève généralement de la gageure, le dimensionnement pouvant être satisfaisant dans un premier temps mais se trouver inadapté pour une crue de fréquence plus rare (à part pour des cours d'eau de nappe à débit très stable ou contrôlé)

Dans la majorité des cas, il vaut mieux fabriquer des banquettes qui sont par conception ajustables (bordures en recharge en granulats - photo bandeau du haut-).

Si la bannette est trop large elle s'ajuste d'elle-même

(si la granulométrie apportée est assez étendue).

Trop étroites, il est aisé de revenir recharger la bannette pour améliorer les effets recherchés.

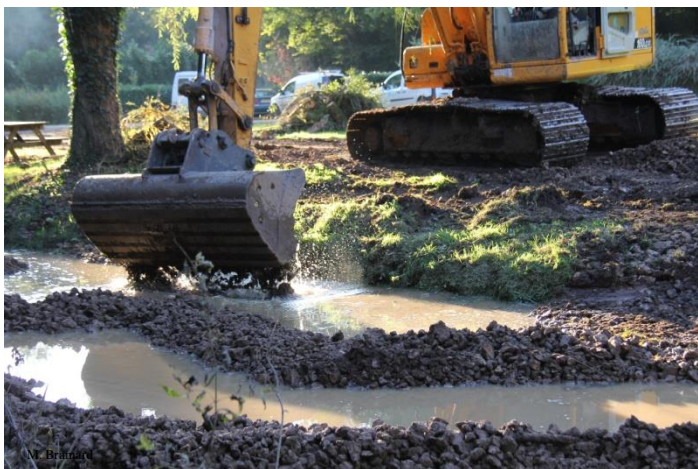
⇒ L'aménagement doit être souple mais pas mou.

! Attention à ne pas trop protéger non plus par des épaisseurs de granulats excessives, par des matériaux trop grossiers, trop homogènes, trop compactés...



Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ banquettes trop étroites ou trop larges



cordon de granulats grossier, remblaiement de terre derrière



Exemple de redressement de la bordure d'une banquette en matériau très cohésif (argile)

La bordure en granulats ne présente pas une cohésion permettant de créer ex nihilo des berges typiquement* sub-verticales. C'est par les phénomènes d'érosion-dépôts que la verticalité des nouvelles berges se fait progressivement**.

* pour les cours d'eau à régime régulier

** sauf pour les banquettes de resserrement du lit d'étiage en eau une grande partie de l'année



Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ banquettes trop étroites ou trop larges

En cas de déficit de sédiments grossiers, en raison des vitesses de courant accélérées par le pincement du lit, il peut être nécessaire de recharger en granulats.



Incision de 0,5m suite à une création de banquette (déblai-remblai) en absence de matelas alluvial

La stabilisation verticale du lit par de la recharge (création de radiers), ne se fera pas au droit des banquettes (zones des fosses) mais sur les points d'inflexion des nouvelles sinuosités

Le linéaire de radier est à adapter selon la pente mais toujours $\geq 10\%$.



Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ forme des banquettes



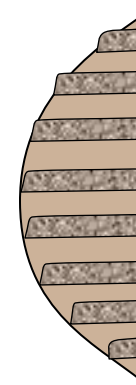
Forme naturelle de bannette régulièrement submergée (vue en étiage).

⇒ Les banquettes (« atterrissements ») en lit régulièrement inondé sont constituées de matériaux plutôt grossiers*.

Les formes sont adoucies avec un pendage latéral et longitudinal.



Forme naturelle de bannette rarement submergée (vue en étiage).



⇒ Progressivement les banquettes s'engraissent sont plus rarement inondées et deviennent terreuses. Les formes sont quasi horizontales (pente longitudinale bannette = à pente longitudinale des berges du cours d'eau).

Les bordures de la bannette constituent à terme les nouvelles berges du lit mineur (ici emboîté).

Elles sont sub-verticales.

*pour le type de cours d'eau considéré, selon l'énergie et la géologie locale... avec un tri granulométrique plus ou moins marqué



Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ calage altitudinal

Les forces d'arrachement.

Le calage de l'altitude des banquettes n'est pas toujours bien étudié.

⇒ Cela représente un risque important de tenue de l'aménagement.

⇒ C'est une question majeure à se poser avant d'employer des banquettes minérales ou végétales.

Beaucoup de banquettes sont calées empiriquement juste au-dessus du module



Si le cours d'eau est très contraint latéralement et sujet à des à-coups hydrauliques importants (souvent le cas en milieu urbain), les contraintes en crues sont très élevées : la sanction peut être immédiate!!!

banquettes dans un contexte urbain à très fortes contraintes



Quelques pistes pour mieux comprendre

Face aux risques :

⇒ soit on emboîte* suffisamment (si disponibilité foncière).



Exemple de pose d'enrochements sur une dérivation afin de réduire l'emprise des talus pour permettre un emboitement et un étalement suffisants de la masse d'eau en crue

⇒ calage altitudinal

Les forces d'arrachement.

Un emboitement minimal de 3 à 5W suffit généralement à limiter les risques de coupures aux seules banquettes, sans éroder les talus (Ward A. et al 2004).



Exemple de début de coupure de banquette suite à un épisode de crue exceptionnel sur un lit faiblement emboité (< 3W)

Mais dans certaines conditions (apports pluviaux très importants, régimes montagnard et méditerranéen) et lorsque l'on vise des gains fonctionnels plus importants**, il faut viser 6W et plus)

⇒ soit on n'utilise qu'une recharge minérale (sans terre avec une étendue granulométrique adaptée)

* lit mineur dans un lit majeur restreint

** régulation des débits, autoépuration, biodiversité...

La Dive du Nord à Marnes (79)
 Bassin versant : 83 km² Module : 1.07 m³/s (dépassé 6 mois par an),
 Biennale : 2.9m³/s (2.7 x le module). Débit spécifique moyen annuel : 5.1l/s/km²



Module

Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ calage altitudinal

Les durées de submersion.

Comparaison de deux cours d'eau proches et de gabarit similaire mais à régimes hydrauliques différents*

La Dive du Nord à Marnes (79)

Bassin versant : 83 km² Module : 1.07 m³/s (dépassé 6 mois par an),

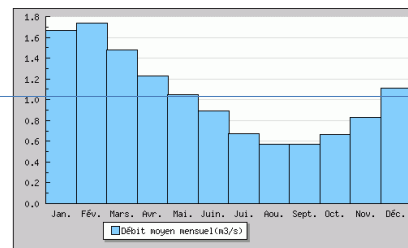
Biennale : 2.9m³/s (2.7 x le module). Débit spécifique moyen annuel : 5.1l/s/km²

Le Thouet au Tallud

Bassin versant : 83 km² Module : 1.12 m³/s (dépassé 6 mois par an),

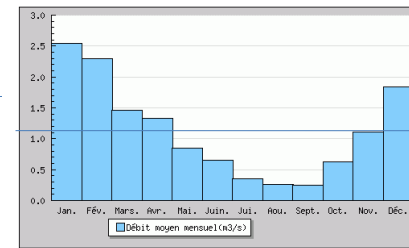
Biennale : 12.4 m³/s (11.07 x le module). Débit spécifique moyen annuel : 13.5 l/s/km²

La Dive du N



cours d'eau de nappe

Le Thouet



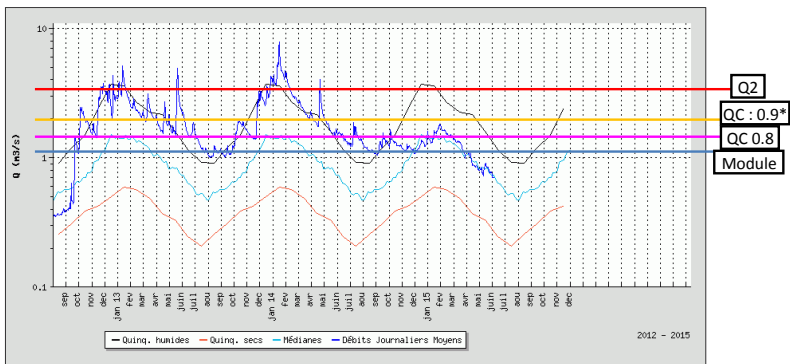
cours d'eau à régime contrasté

La comparaison des simples données du module n'apporte pas d'aide suffisante pour un bon calage des aménagements.

* données banque hydro : <http://www.hydro.eaufrance.fr>



Comparaison graphique des débits journaliers d'une année avec ceux du passé



* Q classé non dépassé 90% du temps

Débits classés données calculées sur 10906 jours

Frequences	0.99	0.97	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
Debit (m³/s)	3.890	3.240	2.710	1.990	1.470	1.220	1.030	0.846	0.676	0.566	0.457	0.325	0.170	0.121	0.106

Les durées de submersion.

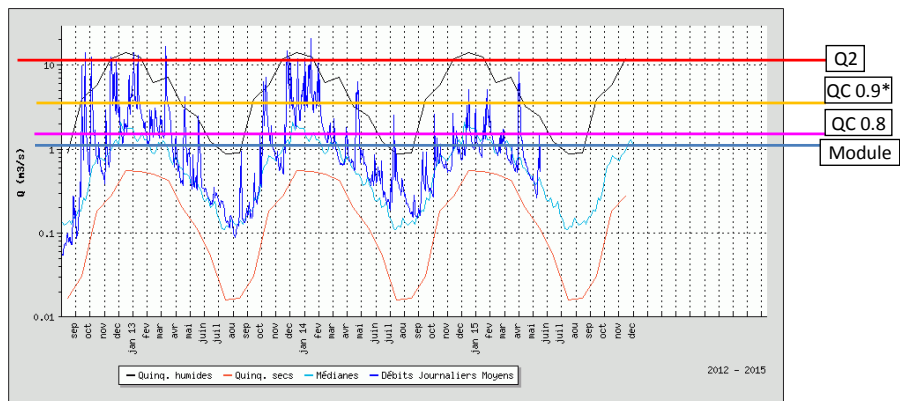
La Dive du N

Avec les débits classés, on observe que sur ce cours d'eau de nappe, les variations de débit sont lentes. Juste au dessus du module, la submersion des banquettes sera progressive, de faible amplitude, mais très longue (de l'ordre de 2 à trois mois d'affilée).

Pour des banquettes végétalisées, la cote des banquettes devra être calée quasiment entre la crue annuelle et le Q2 (cote naturelle de débordement?). Pour un calage plus bas, les végétaux à employer doivent être en capacité à résister à de très longues submersions.



Comparaison graphique des débits journaliers d'une année avec ceux du passé



Les durées de submersion.

Le Thouet

Sur ce cours d'eau à régime plus contrasté, les submersions sont importantes, très fréquentes mais de courtes durées.

Si un calage au module n'est pas envisageable non plus, un calage légèrement supérieur (Q non dépassés entre 80% et 90% du temps) devrait pouvoir suffire (la submersion totale potentielle est d'environ 70j mais répartie en de nombreux épisodes de quelques jours)

* Q classé non dépassé 90% du temps

Débits classés données calculées sur 6641 jours

Fréquences	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
Débit (m³/s)	9.720	6.310	3.740	2.560	1.590	1.090	0.800	0.596	0.445	0.301	0.180	0.098	0.067	0.048	0.014

Crues (loi de Gumbel - septembre à août) - données calculées sur 45 ans

Fréquence	QJ (m³/s)	QIX (m³/s)
Xo	2.380	2.480
Gradex	1.480	1.520
Biennale	2.900 [2.500;3.500]	3.000 [2.600;3.600]
Quinquennale	4.600 [4.000;5.700]	4.800 [4.100;5.900]
Décennale	5.700 [4.900;7.200]	5.900 [5.100;7.400]
Vicennale	6.800 [5.800;8.700]	7.000 [6.000;8.900]
Cinquantennale	8.200 [6.900;11.00]	8.400 [7.100;11.00]
Centennale	Non calculée	Non calculée

Valeurs actuellement mobilisables pour caler les aménagements



Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ calage altitudinal

Les durées de submersion.



Banquette juste après végétalisation



Plan d'iris arraché dès la première crue

Pour les banquettes végétales, il est difficile d'avoir une protection efficace rapidement avec les espèces supportant des submersions prolongées (iris, baldingères, carex...).

Des semis simplifiés à partir d'espèces ayant un développement très rapide (mélange Fétuque élevée / Ray-grass anglais) permettent une couverture et une protection mécanique efficace, mais ne supportent pas des immersions trop longues!!!

! Attention à la période de travaux pour avoir un temps de pousse suffisant avant les premières crues!!!



Quelques pistes pour mieux comprendre

⇒ calage altitudinal / largeur d'emboîtement



Les laisses de crue permettent de penser à un bon calage et une bonne dispersion d'énergie



érosion localisée au droit d'une aspérité

Le calage fin des débits doit être traduit en cote projet (ce qui n'est pas toujours aisé).

En cas de fort doute sur les données exploitées (par extrapolation, à partir de chroniques trop courtes...), il ne faut pas hésiter à majorer les altitudes retenues (ou à passer à de la banquette minérale).

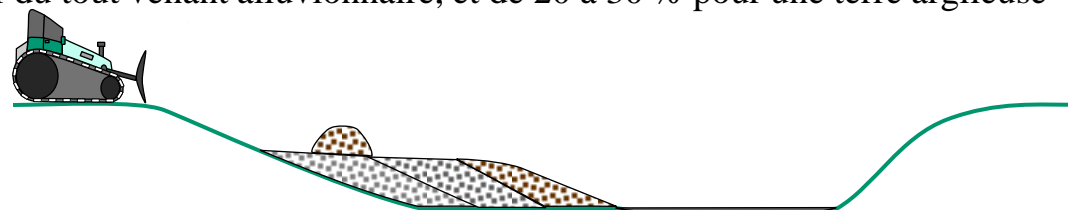
! Il faut faire attention à avoir un terrassement bien horizontal* pour assurer une répartition des vitesses homogène lors des submersions. Chaque aspérité est susceptible de provoquer des dégâts importants sur une banquette jeune.

* pour les banquettes végétales

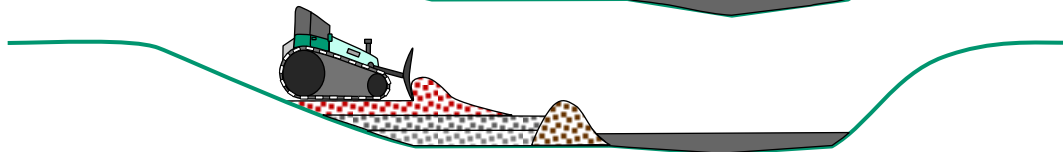


! Attention : les matériaux se tassent avec le temps (même après un bon compactage mécanique). Il faut compter une réduction des volumes de 10 à 12% pour du tout venant alluvionnaire, et de 20 à 30 % pour une terre argileuse* !

Remblais à l'avancement



Remblais ordonnés



Les techniques doivent être adaptées en fonction de la nature des matériaux travaillés, des niveaux d'eau (et des possibilités de travailler ou non à sec), de la pluviométrie etc.

Un cordon de granulats grossiers permet de limiter les risques de départs de MES vers le cours d'eau (effet barrière et filtre).
En plus de sa fonction de variable d'ajustement il crée des habitats intéressants pour la faune.



Pose de terre derrière un cordon pierreux

* Règles professionnelles, N°C.C.1 R0. oct 2013. Travaux de terrassements des aménagements paysagers.



Quelques pistes pour mieux comprendre

La réalisation des banquettes nécessite donc une certaine anticipation des ajustements après travaux. Il faut savoir articuler l'assouplissement ou la rigidification des structures afin de réaliser un projet pertinent, résilient, pas cher, offrant une bonne diversité du tracé en plan (alternance d'angles marqués et de courbes plus souples) et en long (succession des faciès).

Si le départ de beaucoup de sédiments est un risque à éviter, il ne doit pas conduire à un sur-aménagement très cher et ne présentant pas forcément de bonnes garanties de tenue sur le moyen et long terme.



«Pied-de-mouton» pour le tassement de matériaux terreux



Terre argileuse compactée au «Pied-de-mouton»



Terre lissée au godet : peu favorable à la prise d'un semis herbacé



Semis manuel dès la fin des travaux



Crénelage d'un talus perpendiculaire à la pente pour favoriser la reprise du semis

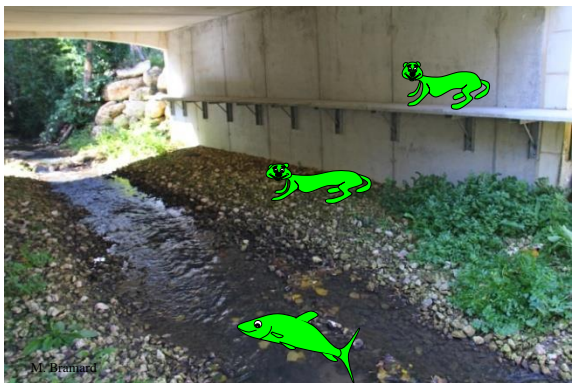
Certains travaux préparatoires (par exemple sous-couches d'étanchéité argileuses, réservation de la terre arable...), ou de finition (décompactage de la surface des sols, semis herbacé) nécessitent un matériel adapté et une finition assez soignée. Le suivi est nécessaire pour s'assurer d'une bonne efficacité (par exemple sur-semis, arrosage...)



Cas particulier des banquettes sous des ouvrages d'art



Les règles de dimensionnement sont (devraient être) du même type (longueurs, largeurs, calage altitudinal, choix des matériaux...).



! Attention à ne pas générer des contraintes hydrauliques non compatibles avec la continuité piscicole ou à la tenue des matériaux naturels

Il peut être privilégié l'emploi de banquettes en encorbellement qui ne réduisent pas la section d'écoulement de l'OH (attention aux points de raccordement)

Cas particulier des banquettes sous des ouvrages d'art



Lit amont OH incisé



Mauvais calage de pente, largeur OH trop réduite par les banquettes à mammifères



Étalement des sédiments arrachés dans la portion aval de l'OH

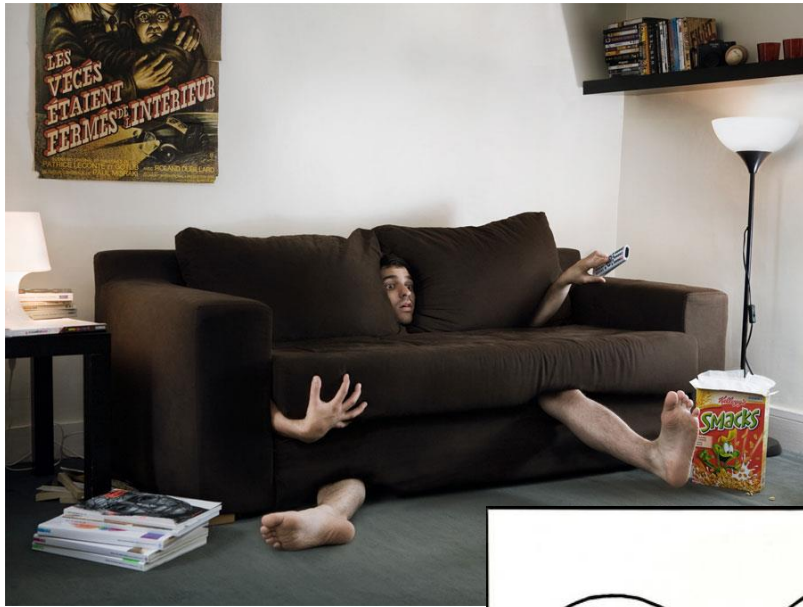


Absence de lit mineur différencié.

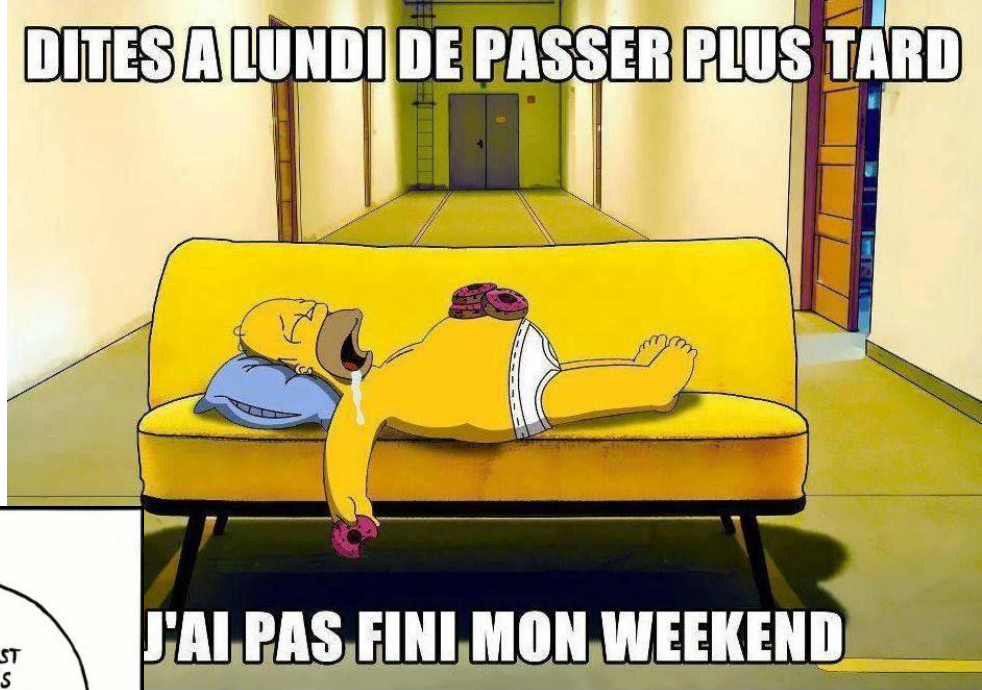


Resserrement du lit consécutif à la fixation naturelle des sédiments par les végétaux en dehors d'un OH

Les contraintes de luminosité sous certains OH ne permettent pas d'ajustements favorables à terme au milieu naturel en fixant les sédiments par les végétaux aquatiques.



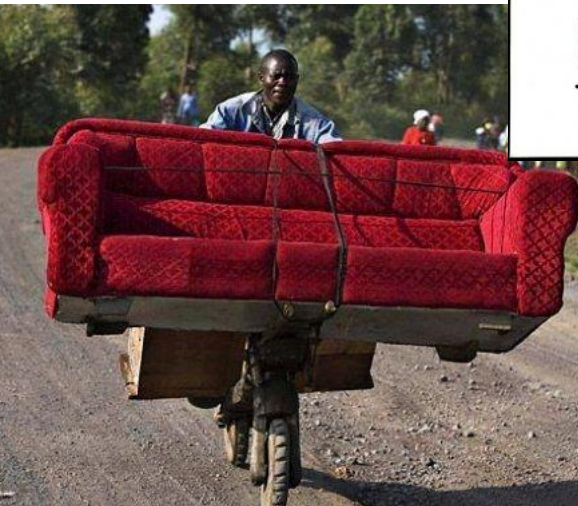
DITES A LUNDI DE PASSER PLUS TARD



J'AI PAS FINI MON WEEKEND

Vu sur www.photos-a-la-con.fr

Merci de votre attention





Nomenclature EAU - R.214-1 du CE

Rubrique 3.1.2.0. Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le **profil en long** ou le **profil en travers** d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0 (consolidation ou protection de berges) , ou conduisant à la **dérivation** d'un cours d'eau :

1° ≥ 100 m : AUTORISATION

2° < 100 m : DECLARATION





Nomenclature EAU - R.214-1 du CE

Rubrique 3.1.5.0. Installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les **frayères**, les **zones de croissance** ou les **zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens**, ou dans le lit majeur d'un cours d'eau, étant de nature à **détruire les frayères de brochet** :

1° Destruction de plus de 200 m² de frayères :
AUTORISATION

2° Dans les autres cas : DECLARATION





Nomenclature EAU - R.214-1 du CE

Rubrique 3.1.4.0.

Consolidation ou protection des berges, à l'exclusion des canaux artificiels, par des techniques autres que végétales vivantes :

- 1° Sur une longueur supérieure ou égale à 200 m : AUTORISATION ;
- 2° Sur une longueur supérieure ou égale à 20 m mais inférieure à 200 m DECLARATION.





Arrêtés de prescriptions générale

Rubrique 3.1.2.0 : Arrêté ministériel du 28 novembre 2007 fixant les prescriptions générales applicables aux IOTA soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du CE et relevant de la rubrique 3.1.2.0 (2°) de la nomenclature annexée au tableau de l'article R. 214-1 du CE :

Art 1 : Le déclarant est tenu de respecter les prescriptions du présent arrêté ;

Art 2 : Le déclarant ne doit en aucun cas dépasser les seuils de déclaration ou d'autorisation des autres rubriques de la nomenclature sans en avoir fait au préalable la déclaration ou la demande d'autorisation ;

Art 6 : Pas d'érosion progressive ou régressive, ni de perturbations significatives de l'écoulement des eaux à l'aval, ni de risques de débordement accru - travaux doivent être compatibles avec la capacité de nage des espèces présentes afin de ne pas constituer un obstacle à la continuité écologique ;

Art 7 : Précautions nécessaires afin de prévenir les pollutions accidentelles et les dégradations et désordres éventuels.



Livre IV du Code de l'environnement

Art. L. 432-3

« Le fait de détruire les frayères ou les zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole est puni de 20 000 euros d'amende, à moins qu'il ne résulte d'une autorisation ou d'une déclaration dont les prescriptions ont été respectées ou de travaux d'urgence exécutés en vue de prévenir un danger grave et imminent.

« Un décret en Conseil État fixe les critères de définition des frayères et des zones mentionnées au premier alinéa, les modalités de leur identification et de l'actualisation de celle-ci par l'autorité administrative, ainsi que les conditions dans lesquelles sont consultées les fédérations départementales ou interdépartementales des associations agréées de pêche et de protection du milieu aquatique.

1 – Rappel des textes



Arrêté ministériel du 23 avril 2007 fixant la liste des espèces de mollusques protégées sur l'ensemble du territoire national

Article 2

I. - Sont interdits sur tout le territoire métropolitain et en tout temps la destruction ou l'enlèvement des œufs, la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement, la perturbation intentionnelle des animaux dans le milieu naturel.

II. - Sont interdites sur les parties du territoire métropolitain où l'espèce est présente ainsi que dans l'aire de déplacement naturel des noyaux de populations existants la destruction, l'altération ou la dégradation des sites de reproduction et des aires de repos des animaux. Ces interdictions s'appliquent aux éléments physiques ou biologiques réputés nécessaires à la reproduction ou au repos de l'espèce considérée, aussi longtemps qu'ils sont effectivement utilisés ou utilisables au cours des cycles successifs de reproduction ou de repos de cette espèce et pour autant que la destruction, l'altération ou la dégradation remette en cause le bon accomplissement de ces cycles biologiques des mollusques bivalves des espèces suivantes :

Unionidae

Pseudunio auricularis (Spengler, 1793) (synonyme : *Margaritifera auricularia*).

Margaritifera margaritifera (Linné, 1758), moule d'eau douce ou mulette perlière.

Unio crassus (Philipsson, 1788).

Formules de calcul

Bibliographie évoquée

Puissance (W) = gQ_i (en W/m)

g le poids volumique de l'eau (9180 N/m^3)

Q débit (journalier) de crue biennale (m^3/s)

i la pente (m/m)

Puissance (W) = $9180 \times 0.336 \times 0.044 = 144.83$ (en W/m)

Puissance spécifique (w) = W/l (en W/m^2)

l : largeur du lit en m

Estimation des débits d'entraînement (formule de Meyer-Peter):

Débit liquide de début d'entraînement (Q) = $0.42 \times l \times i^{(-7/6)} \times d^{(3/2)}$ (en m^3/s)

Avec: l la largeur du lit (m)

i la pente (m/m)

d le diamètre caractéristique du matériau (cm)

Force tractrice critique:

Force $0 = 8d^{7/5}$ (en N/m^2) Force $0 = x R \times i \quad d^{7/5} = (x R \times i) / 8$

Avec: $d^{7/5}$ 75% des grains mis en mouvement sont inférieurs à ce diamètre (cm)

la masse volumique de l'eau (1000 kg/m^3)

R le rayon hydraulique (m), ici R = hauteur d'eau = hauteur de berge

Formule de Manning-Strickler

$V = K_s \times R^{(2/3)} \times i^{(1/2)}$ (en m/s)

K_s coefficient de Strickler

R le rayon hydraulique (m),

i la pente (m/m)

BESSON S., BOUCHARD J., CHAPUT E., DURLET P., GODREAU V., ZAKIN C., 2009,

Éléments techniques pour la préservation des ruisseaux, Retour d'expériences du programme LIFE Ruisseaux de têtes de bassins et faune patrimoniale associée 2004-2009, Parc Naturel Régional du Morvan maison du parc 58230 Saint Brisson, 80 p.

Malavoi JR. et Bravard JP. 2010, Éléments d'hydromorphologie fluviale.

Harrelson CC, Rawlins CL, Potyondy JP. 1994. Stream channel reference sites: An illustrated guide to field technique. USDA Forest Service, General Technical Report RM-245, Fort Collins (CO). 62 p

Schumm et al. 1984 Incised Channels : Morphology, Dynamics, and Control, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 1984

Ward, A. and S. Trimble. 2003. Environmental Hydrology 2nd Edition. CRC Press.

Ward, A., Moore, M.T., Bouchard, V., Powell, K., Mecklenburg, D., Cooper, C.,M., Smith, S.Jr., 2004. Water quality benefits of grassed fluvial features in drainage ditches. *Advances in Hydro-Science and Engineering*, 4: 1-14.

Classification granulométrique d'après Malavoi et Souchon, 1989 :
(mesure en mm de la plus grande largeur)

Rochers >1024

Blocs 256 – 1024

Pierres Grossières 128 – 256

Pierres Fines 64 – 128

Cailloux grossiers 32 – 64

Cailloux fins 16 – 32

Graviers Grossiers 8 – 16

Graviers Fins 2 – 8

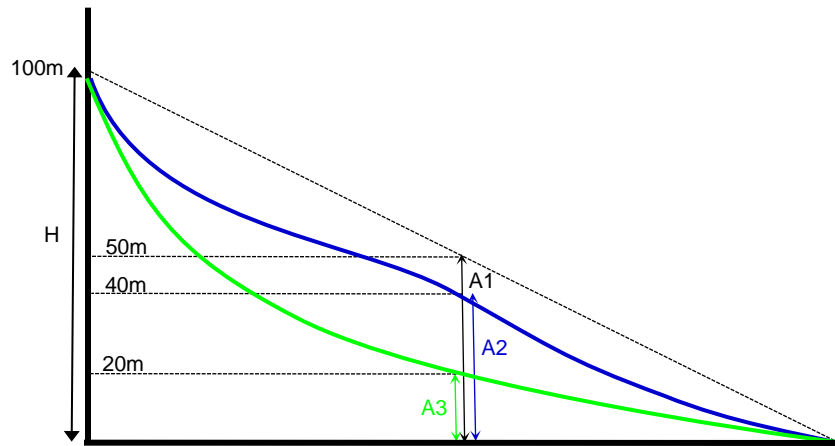
Sables Grossiers 0.5 – 2

Sables Fins 0.0625 – 0.5

Limons 0.0039 – 0.0625

Argiles < 0.0039

notion de pente d'équilibre



«profil en long »

Indice de concavité (Longbein W.B. 1964)

$$IC = 2A/H$$

sur cet exemple : **IC1 = 1** (2x50/100)

IC2 = 0,8 (2x40/100)

IC3 = 0,4 (2 x 20/100)

H : dénivelé total

A : dénivelé à mi-parcours

Foisonnement et tassement des matériaux

Indice de foisonnement

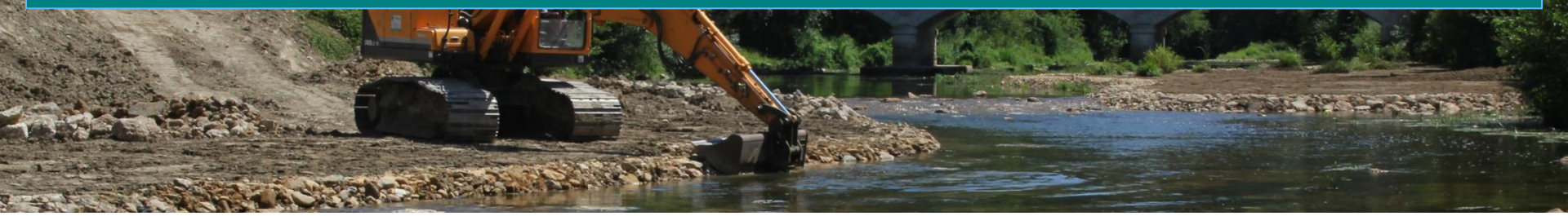
Nature des matériaux	Indice de foisonnement (en %)
Roche	65 à 70
Argile	35
Terre végétale	25
Sables et graviers	12 à 15
Tout venant alluvionnaire	20 à 25
Tout venant calcaire	15 à 20
Tout venant recyclé	10 à 15
Tout venant chutes/découvertes de carrière	8 à 10

Indice de tassement des sols

Nature des matériaux	Indice de tassement (en %)
Terre argileuse	20 à 30
Terre végétale	14 à 18
Mélange terre-pierres	12 à 14
Tout venant alluvionnaire	10 à 12
Terre sableuse	8 à 12
Tout venant calcaire	8 à 10
Tout venant recyclé	8 à 10
Tout venant chutes/découvertes de carrière	2 à 5

Règles professionnelles, N°C.C.1 R0. oct 2013. Travaux de terrassements des aménagements paysagers.

Comment définir le bon gabarit pour le cours d'eau à restaurer



Trucs et astuces : en absence de station de référence non impactée, repérer le « gabarit » le plus proche possible d'une situation non dégradée*

Hauteur des berges ⇨ en période d'étiage par la végétation



limite basse d'implantation des végétaux ne supportant pas une immersion prolongée (ronces, lierre**, graminées, sureau, cornouiller sanguin...).

limite basse d'implantation des végétaux supportant une submersion prolongée (amphibies, héliophytes, aulne saule...)

ligne d'eau à l'étiage

* gabarit ajusté aux crues morphogènes du cours d'eau

** attention la pousse annuelle de certains végétaux peut-être importante (lierre, orties...)



Trucs et astuces : en absence de station de référence non impactée, repérer le « gabarit » le plus proche possible d'une situation non dégradée*

Hauteur des berges ⇨ en crue par les niveaux d'eau



Sur cette portion de cours d'eau les berges sont basses : lors d'une crue (entre annuelle et bisannuelle), la rivière déborde de son lit mineur



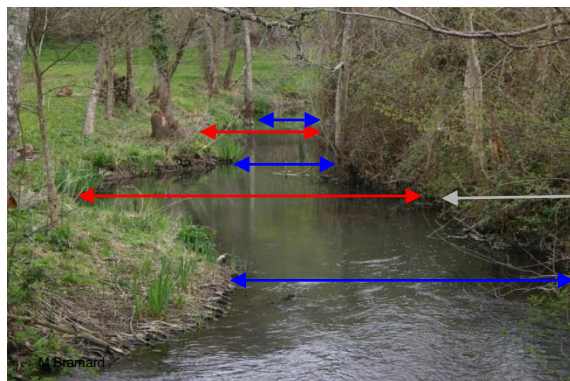
100m à l'aval, aux mêmes conditions de débit, la rivière ne déborde pas, il reste 1m de berges dénuyées : le cours d'eau est fortement incisé sur cette portion

* gabarit ajusté aux crues morphogènes du cours d'eau



Trucs et astuces : en absence de station de référence non impactée, repérer le « gabarit » le plus proche possible d'une situation non dégradée*

Sur-largeur du lit ⇒ prendre en référence les portions les plus étroites



← sur-largeurs

← portions étroites

sur-largeurs liées à des encoches d'érosion

* gabarit ajusté aux crues morphogènes du cours d'eau



Trucs et astuces : en absence de station de référence non impactée, repérer le « gabarit » le plus proche possible d'une situation non dégradée*

Sur-largeur du lit → par les sédiments

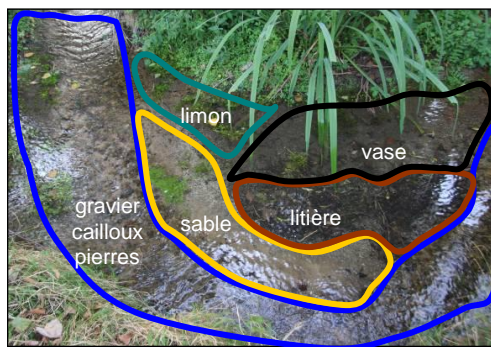


fosse non sur dimensionnée ne présentant pas de colmatage du matelas alluvial et une bonne étendue granulométrique (pas de pavage)



portion à berges basses.

Atterrissement important de sédiments fins sur une portion rectiligne = sur-largeur (dépôt non issu de l'influence d'un ouvrage transversal ou d'un embâcle).



fosse de concavité non surdimensionnée : la répartition des sédiments suit un gradient latéral. Les substrats grossiers ne sont pas colmatés au niveau des écoulements préférentiels (à l'étéage)

* gabarit ajusté aux crues morphogènes du cours d'eau