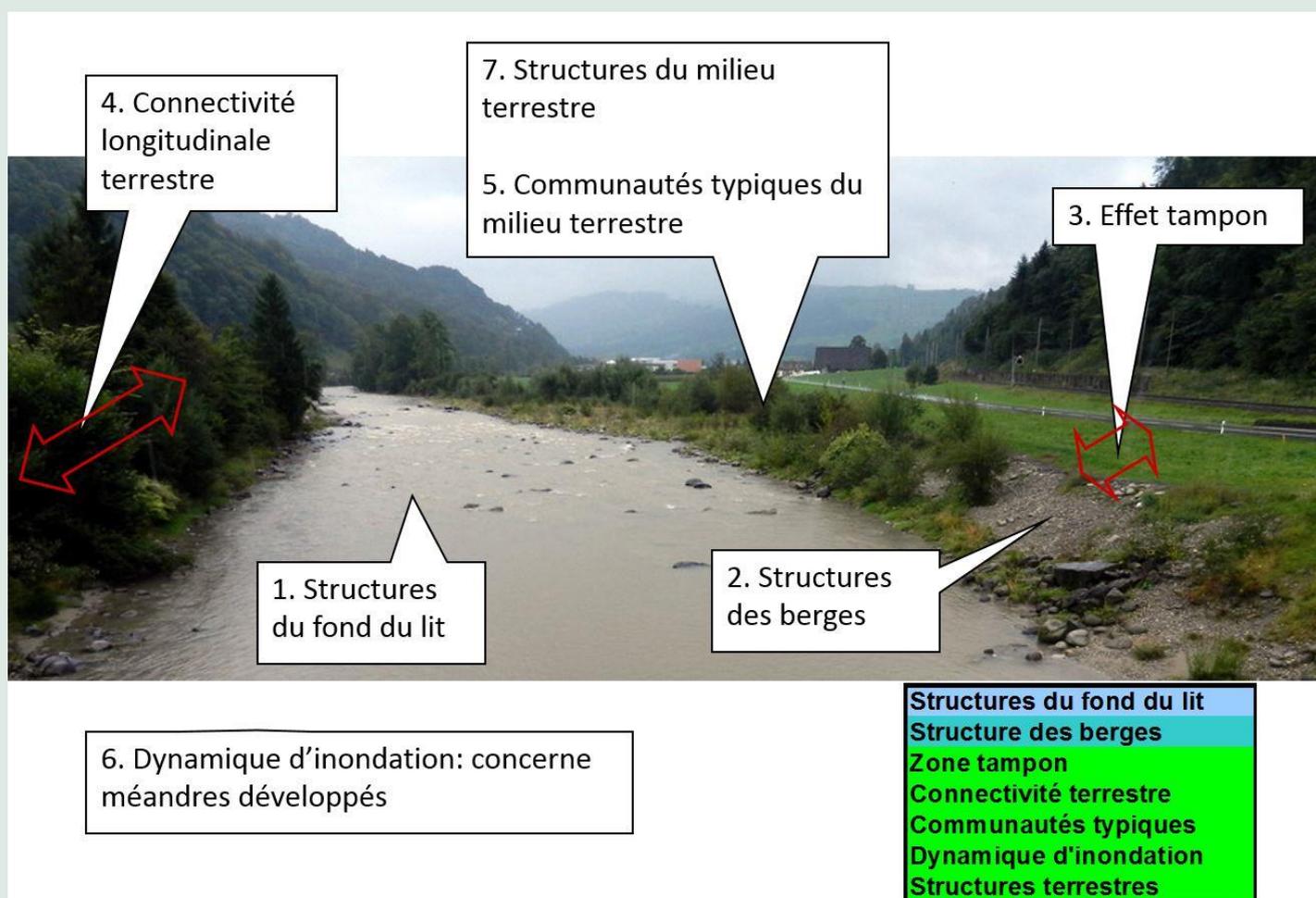


Espace nécessaire aux grands cours d'eau de Suisse

MANUEL UTILISATEUR

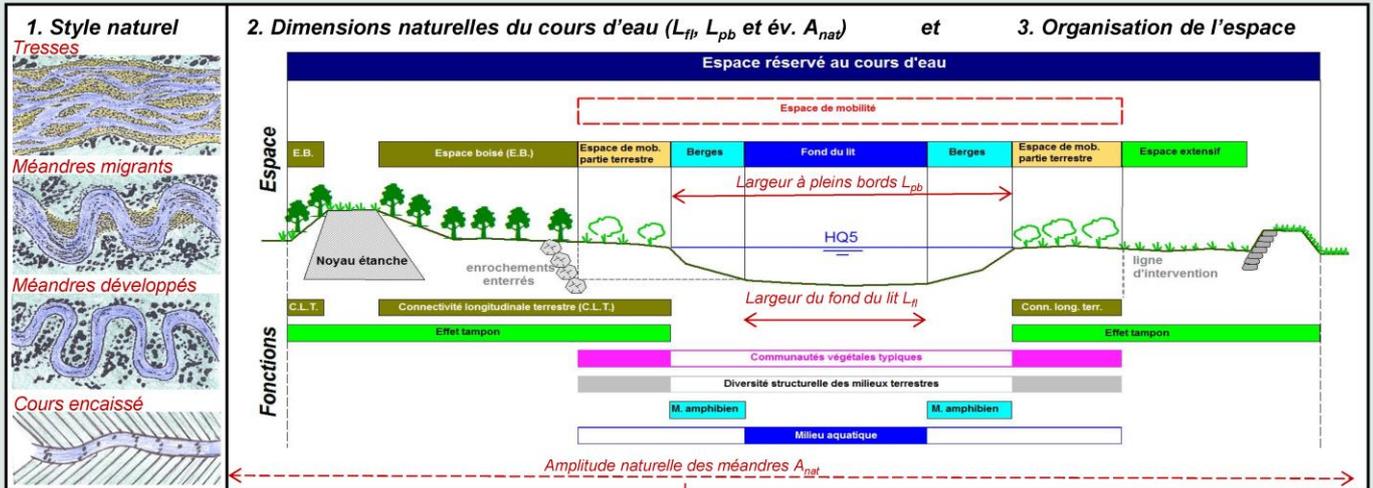
Outil internet



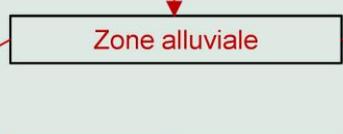
État février 2020

Auteurs : Tamara Ghilardi et Christian Roulier

ESPACE NÉCESSAIRE AUX GRANDS COURS D'EAU

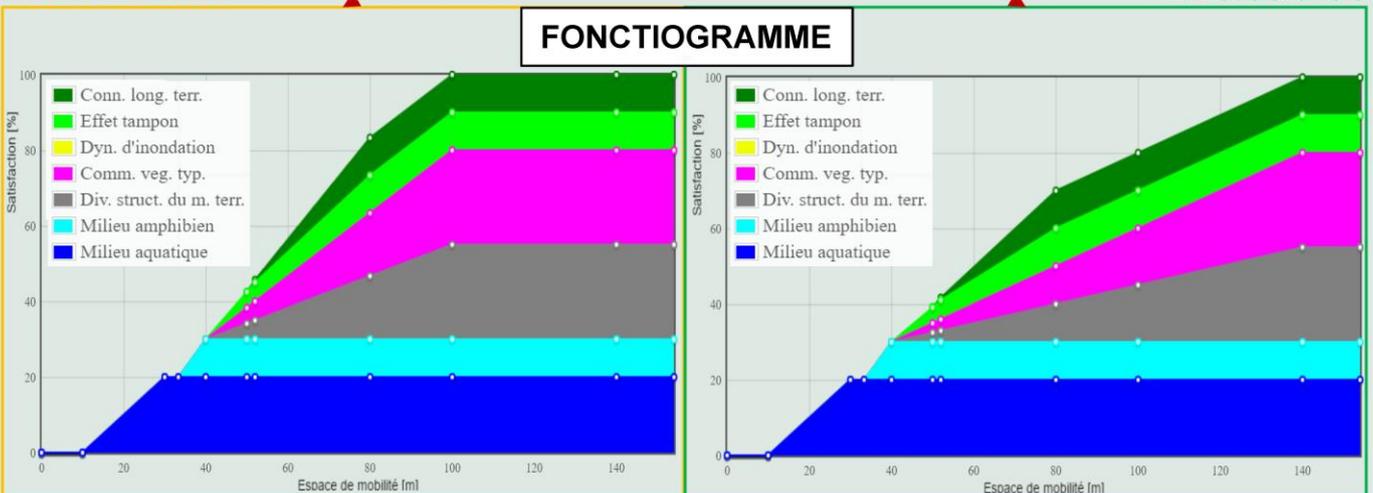


4. Déterminer la largeur nécessaire au cours d'eau naturel (satisfaction des fonctions écologiques)



Tresses, $L_f=30m$, $L_{pb}=40m$
En zone alluviale

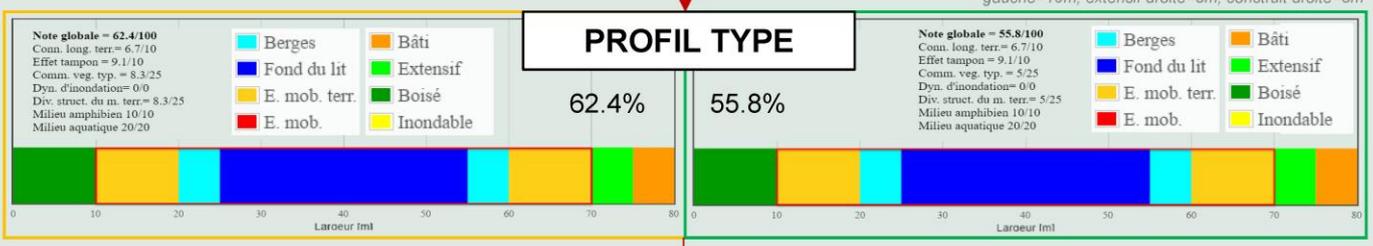
Hors zone alluviale



5. Tester l'impact de diverses largeurs stabilisées ou non et de diverses occupations du sol

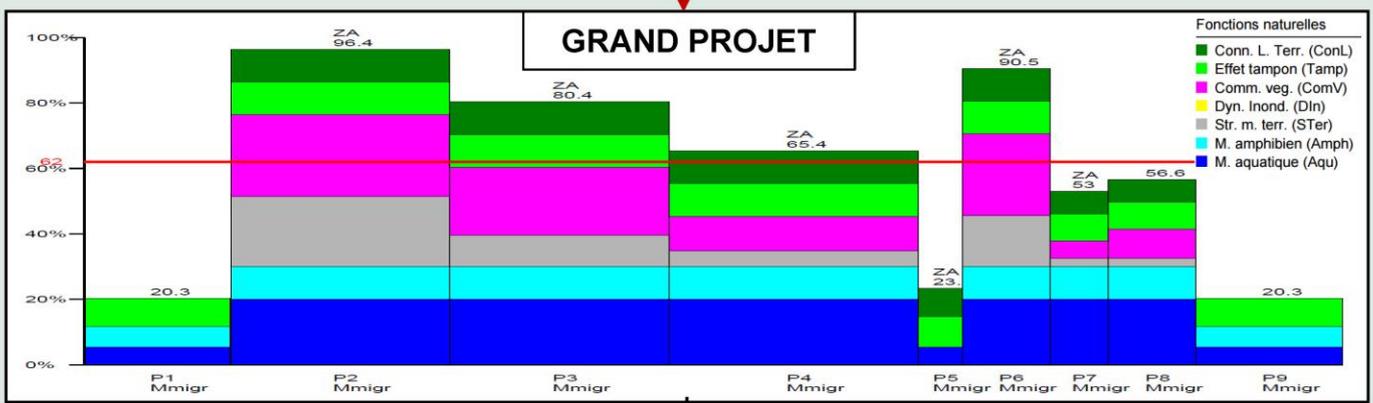
Occupations de l'espace

Tresses, $L_f=30m$, $L_{pb}=40m$, espace mobilité=60m, boisé gauche=10m, extensif droite=5m, construit droite=5m



6. Calculer la performance d'une succession de profils types (grand projet), avec styles, dimensions et espaces pouvant varier

Suite de profils type différents



Ce **manuel utilisateur** de l'outil internet permet de calculer l'espace nécessaire aux grands cours d'eau dont la largeur du fond du lit est supérieure à 15 m. L'outil est basé sur la méthode décrite dans le **rapport** « Espace nécessaire aux grands cours d'eau de Suisse » (Paccaud, Ghilardi, Roulier et Hunzinger, 2019) disponible sous <http://www.zones-alluviales.ch/OutilGCE/accueil-espace-ce-fr.html>, l'**outil internet** est également disponible à cette même adresse.

Introduction

La Loi sur la protection des eaux (LEaux) demande aux cantons de définir l'espace réservé aux eaux superficielles, devant notamment garantir leurs fonctions naturelles (art. 36a LEaux). L'article 41a de l'Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) spécifie les dimensions de l'espace réservé pour les cours d'eau de largeur inférieure ou égale à 15 m. Le rapport de Paccaud et al. (2019) présente une méthode permettant de définir l'« Espace nécessaire aux grands cours d'eau de Suisse ». Les fonctions naturelles du cours d'eau, ainsi que l'espace nécessaire pour les satisfaire, sont identifiés en fonction de la taille et du style du cours d'eau. Au total, 7 fonctions naturelles sont à identifier, ainsi que les dimensions du cours d'eau les influençant. Pour ce faire, l'application de la méthode procède par étapes dans l'outil internet.

Les fonctions dépendantes de la taille du cours d'eau et de l'espace de mobilité sont :

- les fonctions des milieux aquatiques
- les structures du milieu terrestre
- le développement des communautés végétales typiques

Les fonctions dépendantes de la taille du cours d'eau, mais pouvant être satisfaites à l'extérieur de l'espace de mobilité sont :

- la dynamique d'inondation
- les fonctions des milieux amphibiens

Les dimensions du cours d'eau ayant une influence sur ces fonctions sont :

- la largeur naturelle du fond du lit L_{fi}
- la largeur naturelle à pleins bords L_{pb} pour le débit morphogène (largeur au miroir pour HQ_2 à HQ_5)
- l'amplitude des méandres A_{nat} , pour les cours d'eau en méandres

Les fonctions indépendantes de la taille du cours d'eau et de l'espace de mobilité sont :

- la fonction de zone tampon

- la connectivité longitudinale terrestre

L'outil internet offre des applications pour trois cas de figure :

- Détermination du fonctiogramme de l'espace de mobilité
- Évaluation d'un profil type
- Évaluation d'une suite de profils type (grand projet)

Ci-suivent les étapes d'application de la méthode présentées dans l'ordre :

1. Identification du style naturel du cours d'eau
2. Détermination des dimensions naturelles du cours d'eau
3. Délimitation et organisation de l'espace réservé aux eaux
4. Fonctiogramme de l'espace de mobilité
5. Evaluation d'un profil type
6. Evaluation d'un grand projet

Quelques recommandations d'utilisation de l'outil sont également données. Enfin, un exemple d'application de la méthode est présenté.

1 Style naturel du cours d'eau

Les besoins d'espace dépendent du style naturel du cours d'eau.

Les styles fluviaux suivants sont retenus dans le cadre de cet outil (Figure 1) :

- Tresses: lits multiples ; charriage intense.
- Méandres migrants : lit sinueux, avec bancs de gravier ; charriage modéré.
- Méandres développés : lit très sinueux, absence de bancs de graviers ; charriage faible.
- Cours rectilignes et cours encaissés (fonds de vallée, gorges) : cours à largeur souvent délimitée par la largeur de la vallée.

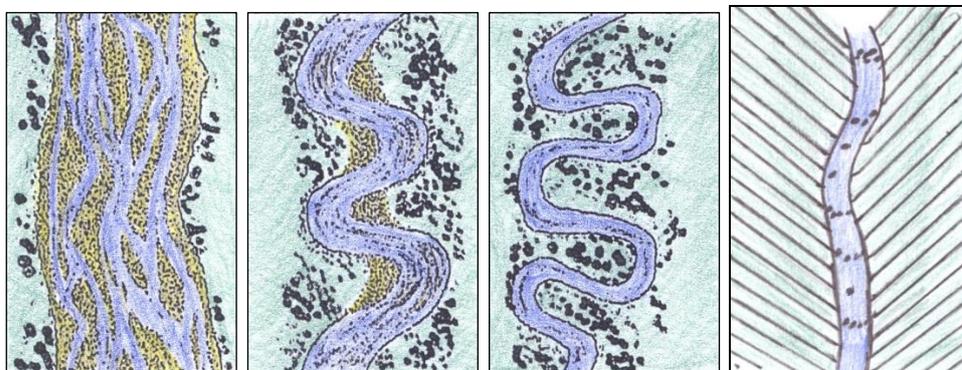


Figure 1. Styles naturels de cours d'eau. De gauche à droite : tresses ; méandres migrants ; méandres développés ; cours encaissés (basé sur Rosgen, 1994).

La morphologie naturelle (style naturel) des moyens et grands cours d'eau de Suisse peut souvent être identifiée sur des cartes historiques. En alternative, des méthodes comme celle de Yalin et da Silva (2001), permettent d'identifier le style du cours d'eau en fonction du débit morphogène (HQ₂ – HQ₅) et de la granulométrie.

ATTENTION: Il existe différentes méthodes pour estimer la largeur naturelle du fond du lit du point de vue hydraulique. Celles-ci se basent sur des hypothèses et sont très sensibles aux valeurs quantitatives des paramètres déterminants. C'est pourquoi il est recommandé de considérer les résultats obtenus de façon critique, d'autant plus que la détermination de la largeur naturelle du lit à l'aide d'une formule peut être associée avec des grandes incertitudes. L'exemple implémenté utilise la méthode de Yalin et da Silva (2001) à titre d'exemple. Les résultats peuvent être considérés comme une variante possible pour déterminer la largeur naturelle du fond de lit. **La démarche préconisée pour déterminer la largeur naturelle du fond du lit est celle présentée dans l'expertise Espace nécessaire aux grands cours d'eau (OFEV 2019).**

Il y a une relation directe entre la largeur naturelle du fond du lit et le régime de charriage (aide à l'exécution OFEV en prép. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/uv-umwelt-vollzug/geschiebehaushalt_massnahmen.pdf).

2 **Dimensions naturelles du cours d'eau**

Les besoins d'espace dépendent également des dimensions naturelles du cours d'eau.

Les dimensions à déterminer sont :

- La largeur naturelle du fond du lit L_{fl}
- La largeur naturelle à pleins bords L_{pb} pour le débit morphogène (largeur au miroir pour HQ₂ à HQ₅)
- L'amplitude naturelle des méandres A_{nat} (pour les cours en méandres uniquement). Cette valeur peut être obtenue sur la base de cartes historiques ou en prenant une valeur correspondant à 6-10x L_{pb}.

La largeur naturelle du fond du lit peut être déterminée de différentes manières : références historiques, références spatiales, méthodes empiriques. L'application de différentes méthodes pour déterminer la largeur naturelle du fond du lit est expliquée dans le document « Ermittlung des natürlichen Sohlenbreite » (OFEV, version provisoire novembre 2019).

La largeur à pleins bords correspond à la largeur cours d'eau pour des crues morphogènes. En général, la largeur naturelle à pleins bords est la largeur occupée par un débit de temps de retour compris entre 2 et 5 ans. Ces deux grandeurs sont reliées par la formule suivante :

$$L_{fl} = L_{pb} * \left(1 - \frac{2}{r * m}\right)$$

Dans Paccaud et al. (2020), un ratio largeur/profondeur r doit être identifié pour le calcul de L_{pb} et L_{fl} . Ce ratio dépend du style du cours d'eau (tresses : > 40 ; méandres migrants : > 12 , normalement $20 - 30$; méandres développés : < 12 , normalement $5 - 8$; cours encaissés : variable).

En moyenne, la pente des berges naturelles m correspond à 1:3.

3 Organisation de l'espace

Une fois les caractéristiques naturelles du cours d'eau identifiées (chap. 1 et 2), il est nécessaire d'identifier les limitations de l'espace à disposition du cours d'eau. Les fonctions naturelles du cours d'eau liées à la diversité des milieux (milieu aquatique, diversité structurelle des milieux terrestres et communautés végétales typiques) ne peuvent être satisfaites que par un espace non stabilisé (espace de mobilité E_{mob}), alors que les autres fonctions (milieu amphibien, dynamique d'inondation, effet tampon et connectivité longitudinale terrestre) peuvent également être satisfaites par des espaces modifiés par l'homme, sous certaines conditions.

Il est ainsi nécessaire d'identifier les espaces suivants (Figure 2) :

- **Espace de mobilité** : E_{mob} ; espace à l'intérieur duquel le cours d'eau et les milieux annexes peuvent évoluer de manière naturelle. Les berges et le lit ne sont pas stabilisés à l'intérieur de l'espace de mobilité. Cet espace est le seul qui est apte à remplir toutes les fonctions écologiques du cours d'eau.
- **Espace des berges** (par rive, si $E_{mob} < L_{pb}$) : espace entre E_{mob} et L_{pb} qui est stabilisé ou fauché (apte à remplir les fonctions du milieu amphibien). Les fonctions des berges peuvent être totalement ou partiellement remplies par des stabilisations présentant une diversité structurelle, une couverture végétale et une pente moyenne maximale de 1:3.
- **Zone inondable** (par rive) : pour les cours en méandres développés, les zones modifiées par l'homme qui sont inondées au minimum tous les 2 ans (apte à remplir la fonction de dynamique d'inondation).
- **Espace boisé** (par rive) : les bandes boisées en contact avec le cours d'eau sont aptes à remplir les fonctions de connectivité et d'effet tampon.
- **Espace extensif** (par rive) : bandes extensives prévues par l'OEaux (surfaces agricoles extensives telles que : surfaces à litière, haies, bosquets champêtres, berges boisées, prairies riveraines d'un cours d'eau, prairies extensives, pâturages extensifs ou pâturages boisés) situées entre la limite d'intervention humaine (stabilisation ou fauche) et le pied extérieur de digue (aptes à remplir l'effet tampon en comptant au max. 20 m par rive).

- **Zone construite** (par rive) : toute surface non végétalisée ou imperméable peut être assimilée à une zone construite. Sous certaines conditions, leur présence est autorisée dans l'espace réservé aux eaux, mais ces surfaces ne remplissent pas de fonctions naturelles.

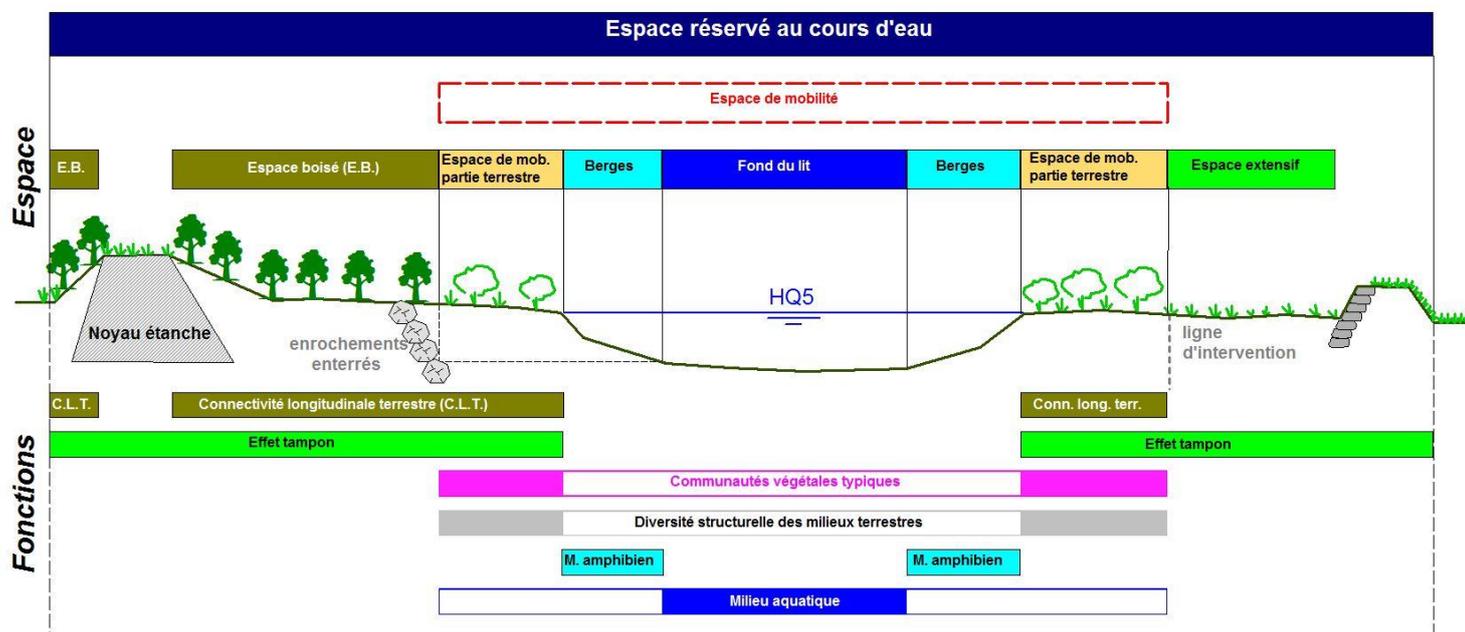


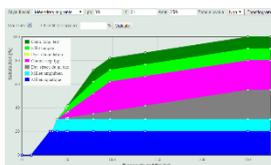
Figure 2. Compartiments et fonctions de l'espace réservé aux eaux.

EXIGENCE DES ZONES ALLUVIALES

Pour les cours d'eau de largeur naturelle du fond du lit inférieure ou égale à 15 m, l'OEaux exige des largeurs d'espace réservé plus grandes lorsque la rivière s'écoule dans un site classé au niveau d'importance nationale ou cantonale (art. 41a OEaux). Cette différenciation se fait en principe aussi pour les grands cours d'eau.

Les fonctions naturelles (en dehors des zones sous protection de la nature) ne visent que la formation de forêts à bois tendre, en comparaison moins exigeantes en espace. Dans le cas des **zones alluviales ou dans les tronçons où l'installation d'une bande de divagation est visée**, les exigences d'espace du compartiment à bois durs doivent aussi être satisfaites, car le rétablissement de l'ensemble du système alluvial est visé. Cet objectif a un impact sur la définition des courbes de satisfaction des communautés végétales typiques (100 % à $E_{mob} = 3,5 \times L_{pb}$, vs. 100 % à $E_{mob} = 2,5 \times L_{pb}$ hors biotope) et des structures du milieu terrestre (pour les cours en tresse : 100 % à $E_{mob} = 3,5 \times L_{pb}$ vs. 100 % à $E_{mob} = 2,5 \times L_{pb}$ hors biotope ; pour les méandres : le maximum reste à A_{nat}).

4 Fonctiogramme



<http://www.zones-alluviales.ch/OutilGCE/fonctiogramme-fr.html>

Le fonctiogramme montre le pourcentage de satisfaction des diverses fonctions naturelles du cours d'eau, en fonction de la largeur de l'espace non stabilisé (espace de mobilité). Il est ainsi possible d'identifier l'espace de mobilité nécessaire pour atteindre un certain pourcentage de satisfaction des fonctions naturelles.

Pour définir le fonctiogramme du cours d'eau, il est nécessaire d'identifier les paramètres suivants (Figure 3) :

- Le style naturel
- La largeur naturelle à pleins bords pour le débit morphogène
- La largeur naturelle du fond du lit
- L'amplitude naturelle des méandres (pour les cours en méandres)
- Présence d'une zone alluviale (exigences d'espace plus élevées)

Le bouton « fonctiogramme » dessine la courbe supérieure du fonctiogramme, toute fonction confondue, puis le bouton « couleur » permet de différencier les fonctions. Il est possible de calculer la largeur d'espace de mobilité nécessaire pour obtenir un objectif écologique spécifique (case blanche, puis cliquer sur « calcule »).

Saisie des paramètres de l'état naturel

Remarque: il faut que $L_{fl} < L_{pb} (< Anat)$. La valeur de Anat n'est pas nécessaire pour les cours d'eau en tresses et rectilignes.

Style fluvial : Tresses ▾ Lpb: Lfl: Anat: Zone alluviale : Non ▾

Couleurs Objectif écologique : %

Figure 3. Paramètres (en mètres) nécessaires pour la création du fonctiogramme.

5 Profil type



<http://www.zones-alluviales.ch/OutilGCE/evaluation-fr.html>

La méthode permet également d'évaluer un profil type existant ou une variante d'aménagement. Il s'agit ici de définir les caractéristiques du cours d'eau, l'espace de mobilité attribué au cours d'eau et les largeurs des autres types d'utilisation de l'espace réservé aux eaux (chap. 3).

Style fluvial : Tresses ▾ Lpb: Lfi: Anat: Zone alluviale : Non ▾

Espace de mobilité:

Espace de la berge gauche: Espace de la berge droite:

Espace inondable à gauche: Espace inondable à droite:

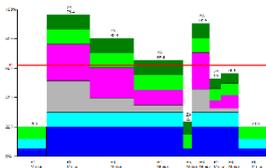
Espace boisé à gauche: Espace boisé à droite:

Espace extensif à gauche: Espace extensif à droite:

Espace construit à gauche: Espace construit à droite:

Figure 4. Paramètres clés devant être déterminés pour le calcul du pourcentage de satisfaction des fonctions d'un profil type. Valeurs en mètres.

6 Grand projet



<http://www.zones-alluviales.ch/OutilGCE/grand-projet-fr.html>

Comme troisième évaluation l'outil internet permet de calculer la note globale obtenue par une séquence de profils type. Afin d'évaluer un grand projet, il est nécessaire d'identifier au préalable une suite de **tronçons homogènes**. Pour chaque tronçon, tous les paramètres identifiés dans la Figure 4 doivent être reportés dans un fichier .csv, avec les colonnes dans l'ordre reporté ci-dessous et séparées par des « ; » (Figure 5 et Figure 6). Un exemple de fichier .csv est téléchargeable sur le site internet. Une note moyenne pondérée est ensuite calculée pour la totalité du projet.

Signification des colonnes du fichier csv

Toutes les distances doivent être exprimées en mètres. L'ordre des colonnes doit être respecté.

- NoTroncon : le numéro ou le nom de tronçon.
- Longueur : la longueur sur laquelle le profil est représentatif.
- StyleF : le style fluvial de l'état naturelle. Il est important de respecter la syntaxe suivante, y compris la casse : *Tresses* pour des cours en tresses, *Mmigr* pour des méandres migrants, *Mdev* pour des méandres développés, *Crec* pour des cours naturellement rectilignes ou des gorges.
- Lpb : largeur naturelle à pleins bords.
- Lfi : largeur naturelle du fond du lit.
- Anat : amplitude naturelle des méandres, mettre 0 si ce n'est pas un cours en méandres.
- Emob : espace de mobilité.
- EberG, EberD : espace des berges, resp. gauche et droit
- EinondG, EinondD : espace inondable, gauche et droit, seulement pour les méandres développés.
- EboisG, EboisD : espace boisé, gauche et droit.
- EextG, ExtD : espace de prairie extensive, gauche et droit.
- EdurG, EdurD : espace construit (places de parc, chemins, etc.), gauche et droit.
- estZA : indiquer si le tronçon se trouve dans une zone alluviale (valeur: 1) ou non (valeur: 0); rive gauche et rive droite confondue

Ouvrir le fichier .csv:

Figure 5. Contenu du fichier .csv à importer pour l'évaluation d'un projet.

En cas de doute sur le style du cours d'eau (situation intermédiaire), il est conseillé de calculer l'espace dans les deux cas et de choisir la variante la plus réaliste.

L'outil constitue une aide à l'évaluation de projets, mais pour un bilan écologique complet, d'autres paramètres doivent aussi être pris en considération.

8 Exemple : la Broye

La Broye entre Lucens et Granges-près-Marnand est un cours d'eau endigué. Dans la partie centrale du tronçon, en rive gauche se trouve une zone alluviale d'importance nationale (obj. 52 « Les îles de Villeneuve », cantons de Fribourg et Vaud) d'une longueur de 3.3 km. La rive droite à cet endroit est dépourvue de végétation ligneuse (Figure 7, à gauche). En amont et en aval de la zone alluviale, les deux rives sont dépourvues de végétation ligneuse (Figure 7, à droite). La largeur actuelle du fond du lit est d'environ 16 m.

Une revitalisation prévoit l'élargissement de la Broye dans la zone alluviale. La largeur supplémentaire pouvant être mise à disposition du cours d'eau varie en fonction de la largeur de la forêt, allant de 40 m à 200 m.



Figure 7. À gauche : la Broye en zone alluviale, vue depuis l'aval. À droite : la Broye hors de la zone alluviale, vue depuis l'aval.

Ci-dessous sont présentées, dans l'ordre, toutes les étapes nécessaires à la détermination de l'espace nécessaire au cours d'eau et à l'évaluation de la performance de l'aménagement retenu.

8.1 Détermination du style naturel du cours d'eau

Les cartes historiques retrouvées dans les archives communales (Figure 8), ainsi que l'Atlas géologique de Suisse et les anciens tracés encore visible sur le terrain (Figure 9), ont permis de déterminer le style naturel de la Broye avant correction. Il s'agit d'un cours en **méandres migrants**, avec une amplitude de méandres de **250 m**. Les raisons pour lesquelles le style en méandres migrants a été choisi sont :

- Absence de signes de court-circuitage des méandres (typique des méandres développés)
- Sinuosité pas très élevée (vs. sinuosité plus grande pour les méandres développés)
- Pente moyenne (vs. pente très faible pour les méandres développés)
- Absence de lits multiples (typique des tresses)

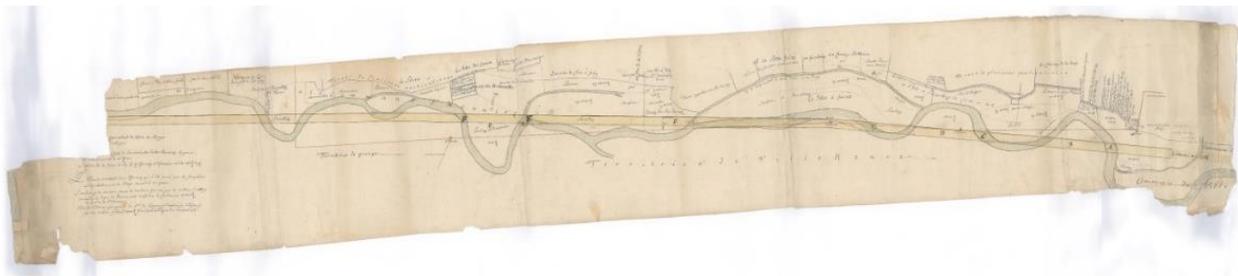


Figure 8. Tracé historique et correction du tracé – carte historique de 1850 (source : archives de la commune de Villeneuve).

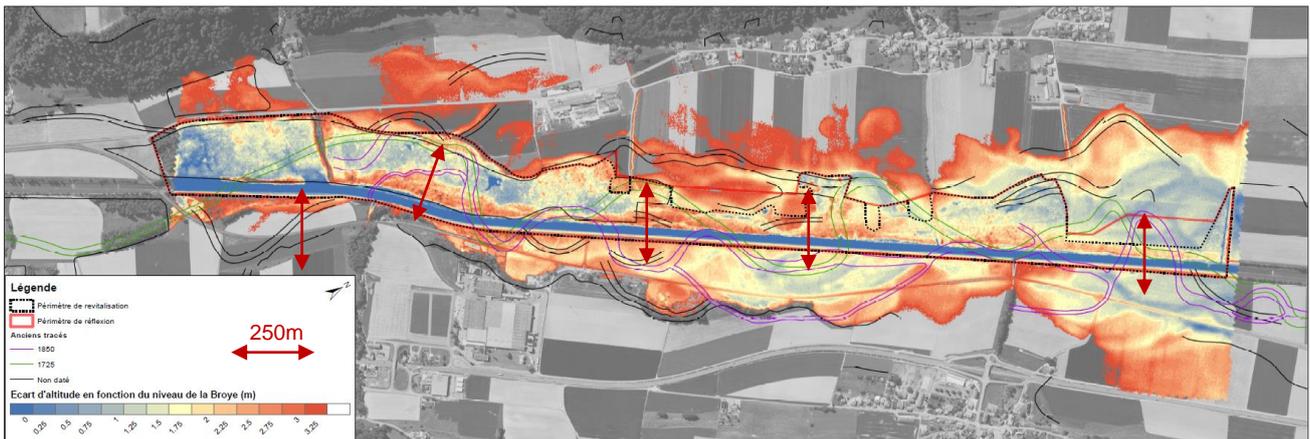


Figure 9. Carte des tracés historiques de la Broye, basée sur : Atlas géologique ; archives de Villeneuve (FR) ; MNT actuel (traces d'anciens lits). Flèches rouges : divers endroits où une amplitude naturelle des méandres de 250 m a été mesurée.

Le style a été en outre déterminé par l'approche théorique de Yalin et da Silva (2001), qui permet de déterminer la largeur de régime B (correspondante à la largeur à pleins bords pour un débit morphogène), la profondeur d'eau de régime (h) et la pente de régime. Les valeurs de B et h, ainsi que le diamètre des sédiments D (utiliser le diamètre médian d_{50} ou moyen d_{65}), permettent de déterminer le style du cours d'eau sur la base du graphique de la Figure 10. Pour l'application de cette méthode, il est nécessaire de connaître le débit (HQ_2 à HQ_5) et la granulométrie des sédiments (diamètre médian ou moyen des sédiments, il convient de tester les deux valeurs). Une analyse de sensibilité avec divers couples de valeurs est nécessaire, afin de tester la sensibilité des paramètres et l'ordre de grandeur des résultats.

Avec cette approche, on obtient un cours d'eau de type (de transition) « bancs alternés ». Ce style correspond à celui des méandres migrants.

L'amplitude naturelle des méandres vaut 6 à 10x L_{pb} , ainsi, avec l'approche de Yalin et da Silva, A_{nat} a une valeur comprise entre 160.8 (26.8 m x 6) et 491 m (49.1 m x 10). Ces deux valeurs constituent les extrêmes. La largeur à pleins bords pour le débit morphogène de 39 m est retenue dans la procédure (chap. 8.2), en impliquant ainsi une amplitude naturelle des méandres de 234 – 390 m. La valeur de

$A_{nat} = 250$ m, mesurée sur les cartes historiques, est ainsi confirmée par l'approche théorique ($\sim 6 \times L_{pb}$).

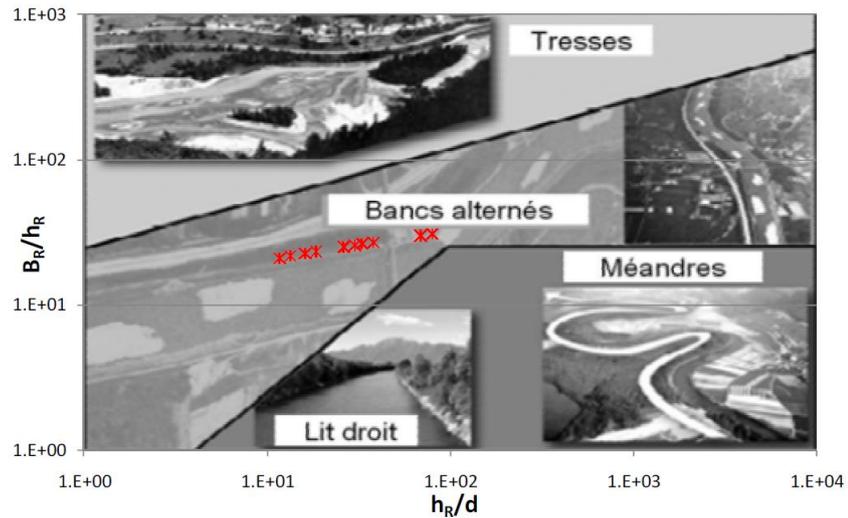


Figure 10. Style pour plusieurs valeurs B_R/h_R et h_R/d (LCH 2010).

8.2 Dimensions naturelles du cours d'eau

Comme vu au chapitre précédent, quelques dimensions peuvent déjà être obtenues lors de la détermination du style naturel du cours d'eau. Il s'agit en particulier de l'amplitude naturelle des méandres ($A_{nat} = 250$ m), ainsi que de la largeur à pleins bords pour le débit morphogène si l'approche de Yalin et da Silva (2001) est utilisée.

Diverses formules empiriques ont ensuite été utilisées et une analyse de sensibilité a été faite. Finalement, les valeurs suivantes ont été retenues pour l'application de la méthode de détermination de l'espace nécessaire aux grands cours d'eau :

- $L_{fl} = 31$ m
- $L_{pb} = 39$ m
- $A_{nat} = 250$ m

8.3 Organisation de l'espace

L'organisation de l'espace varie considérablement d'un tronçon à l'autre, en fonction de l'espace à disposition, spécialement en rive gauche (i.e. largeur de la zone alluviale d'importance nationale). La Figure 11 présente les divers compartiments de l'espace et le Tableau 1 indique les dimensions des compartiments des 9 tronçons homogènes qui ont été identifiés. Les tronçons homogènes représentent une simplification de la réalité. Il appartiendra au responsable de projet de définir la précision de l'analyse nécessaire pour le projet évalué.

Par exemple, dans le cas présenté, en rive gauche, un espace de mobilité de largeur variable, à l'intérieur duquel la Broye pourra se déplacer, est mis à disposition du cours d'eau. La variabilité de l'espace de mobilité a été simplifiée pour l'identification des tronçons homogènes.

En rive droite, après revitalisation, la berge stabilisée sera boisée pour la plupart du périmètre.

Au profil P5 se trouve une passerelle piétonne, qui limite fortement la mobilité de la Broye.

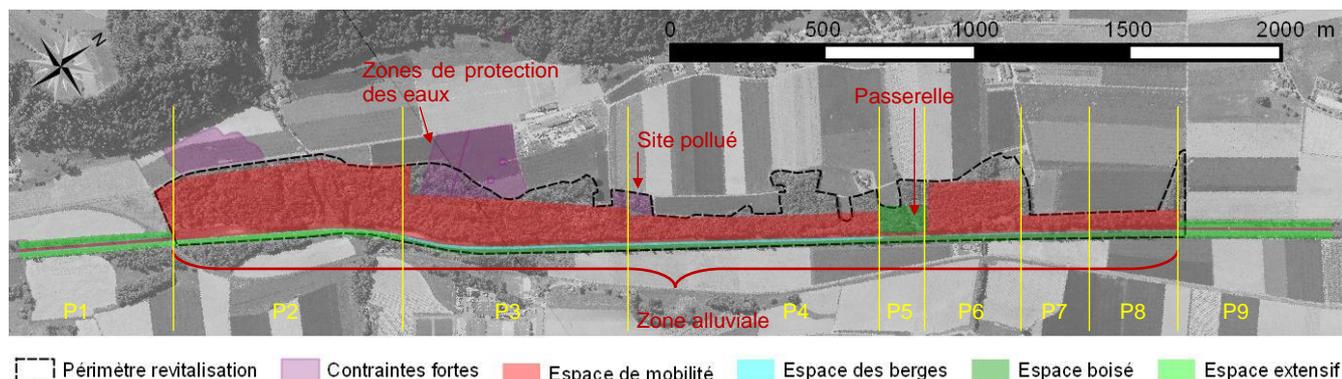


Figure 11. Compartiments de l'espace et contraintes fortes, limitant l'espace de mobilité. Echelle 1:25'000.

NoTroncon	Longueur	StyleF	Lpb	Lfl	Anat	Emob	EberG	EberD	EinondG	EinondD	EboisG	EboisD	EextG	EextD	EdurG	EdurD	estZA
P1	500	Mmigr	39	31	250	16	3	3	0	0	0	0	16	16	0	0	0
P2	750	Mmigr	39	31	250	220		2				0		16			1
P3	750	Mmigr	39	31	250	120		2				16					1
P4	850	Mmigr	39	31	250	80		2				16					1
P5	150	Mmigr	39	31	250	16		2			90	16					1
P6	300	Mmigr	39	31	250	170		2				16					1
P7	200	Mmigr	39	31	250	60		2				16					1
P8	300	Mmigr	39	31	250	60		2				16					0
P9	500	Mmigr	39	31	250	16	3	3	0	0	0	0	16	16	0	0	0

Tableau 1. Paramètres des 9 tronçons homogènes du projet. Pour l'en-tête des colonnes : cf. Figure 5. Valeurs en mètres.

Remarques :

Pour cette démarche illustrative, l'état du projet a été légèrement modifié. En particulier :

- Les tronçons P1 et P9 se trouvent à l'extérieur de la limite du projet de revitalisation, mais sont repris dans cet exemple d'application de la méthode afin montrer la différence d'état du cours d'eau en fonction de la végétation riveraine et de l'espace à disposition.
- Le tronçon P8 est identifié comme étant « hors zone alluviale » dans cet exemple. En réalité, ce tronçon se trouve en zone alluviale, comme le tronçon P7. Cette différence de statut a été introduite afin de montrer l'impact de l'option « zone alluviale » (exigences des

milieux terrestres plus élevées, afin d'obtenir également la création de forêts à bois durs).

8.4 Fonctiogramme

Dans le cadre de ce projet, on trouve tant des tronçons en zone alluviale (P2 à P7) que hors zone alluviale (P1, P8 et P9). Ainsi, il convient de définir deux fonctiogrammes de ce cours d'eau.

Dans le cas présenté, A_{nat} (250 m) > $3.5L_{pb}$ (136.5 m). Ainsi, tant hors zone alluviale (Figure 12) qu'en zone alluviale (Figure 13), le 100 % des fonctions est satisfait pour un espace de mobilité de 250 m.

Cependant, les deux fonctiogrammes ne sont pas identiques, en effet la fonction des communautés végétales typiques est entièrement satisfaite à 97.5 m hors zone alluviales ($2.5 \times L_{pb}$) et à 136.5 m ($3.5 \times L_{pb}$) en zone alluviale. Hors zone alluviale, le 80 % des fonctions du cours d'eau est satisfait pour une largeur d'espace de mobilité de 94 m, alors qu'en zone alluviale ce même pourcentage est atteint seulement pour un espace de mobilité de 119 m.

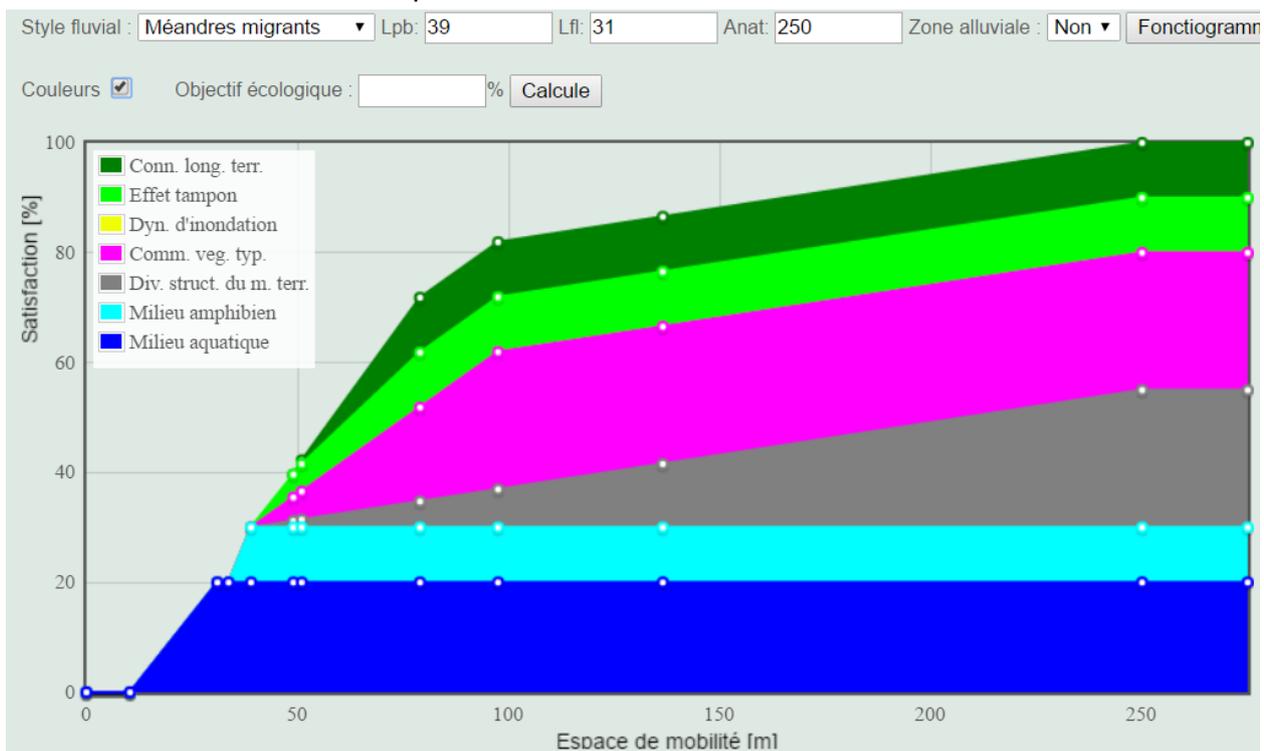


Figure 12. Fonctiogramme de la Broye, exigences hors zone alluviale.

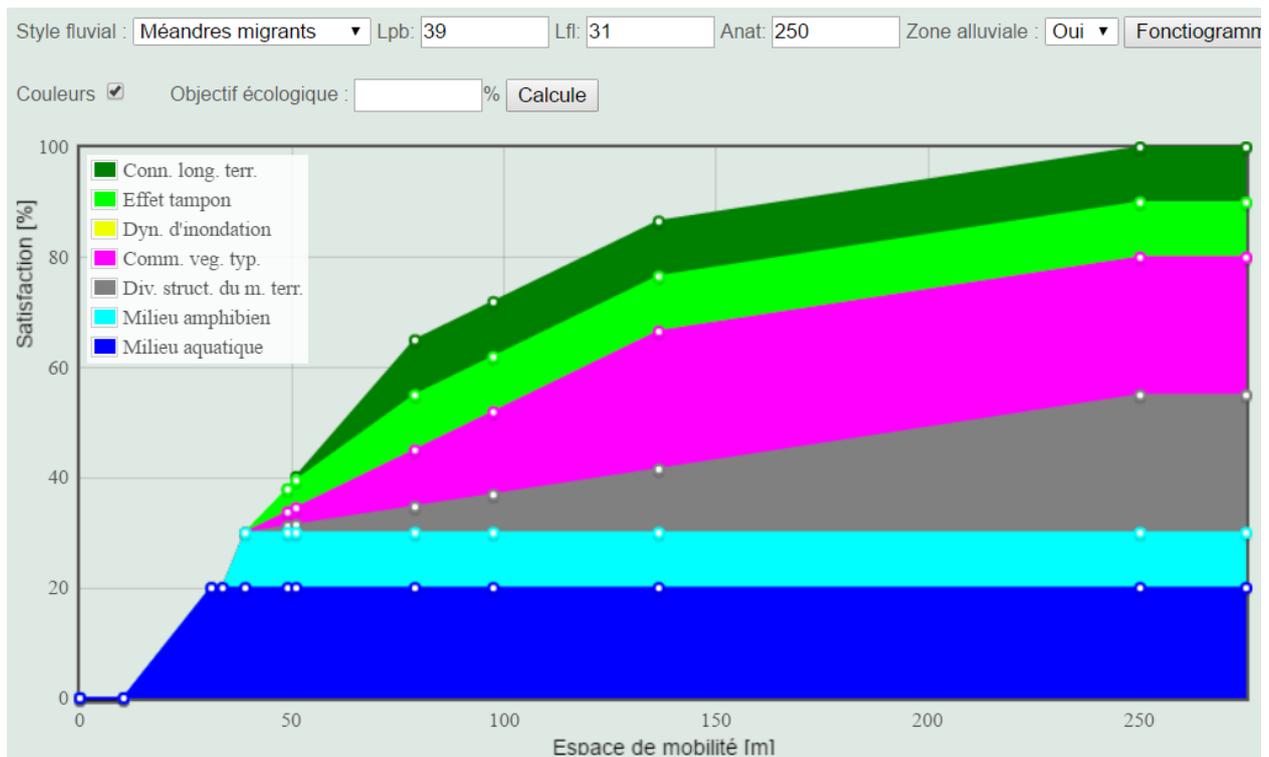


Figure 13. Fonctiogramme de la Broye, exigences en zone alluviale.

8.5 Profil type

Sur la base de l'occupation de l'espace présentée au chapitre 8.2 (Figure 11 et Tableau 1), il est possible de calculer le % des fonctions écologiques satisfaites par chaque profil type.

En amont et en aval du secteur du projet, l'espace réservé au cours d'eau est très limité et les berges sont exploitées extensivement. Cette situation ne satisfait que 20.3 % des fonctions écologiques (Figure 14). Les arbres espacés et alignés en sommet de berge (cf. Figure 7, à droite) ne font pas office de bande boisée permettant la connectivité longitudinale terrestre.

À l'état actuel, dans la zone alluviale, la bande boisée est très large, mais cet espace n'est pas disponible en tant qu'espace de mobilité, car la berge est stabilisée. Ainsi, le score du profil reste très faible (22.3%, à peine plus élevé qu'en amont de la zone alluviale ; Figure 15).

Lors des travaux de revitalisation, les stabilisations de berge gauche seront enlevées et la totalité de la forêt alluviale du profil P2 sera à disposition de la Broye en tant qu'espace de mobilité. Ainsi, après revitalisation le 96 % des fonctions du cours d'eau pourront être satisfaites (Figure 16).

Dans la partie où la forêt est étroite, dans le secteur aval du projet de revitalisation (profil P7), le pourcentage de satisfaction des fonctions est moins élevé, mais atteint quand même un score de 53 %, grâce à un espace de mobilité de 60 m (Figure 17). À cet endroit, la rive droite

sera boisée sur une largeur de 16 m. Cela permet d'améliorer la satisfaction de la fonction tampon et de la connectivité longitudinale terrestre, vu que $E_{mob} < L_{pb} + 40$ m (une bande boisée de 20 m par berge est nécessaire pour satisfaire entièrement les fonctions tampon et de connectivité longitudinale terrestre).

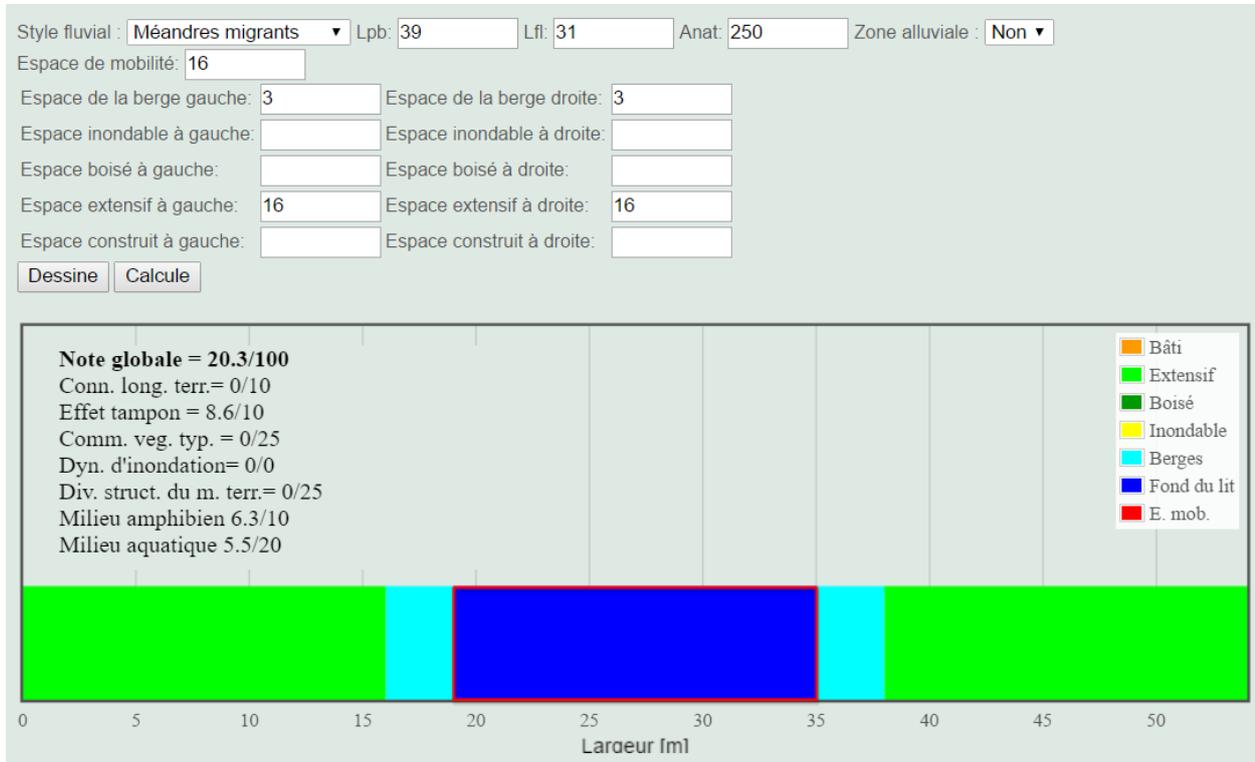


Figure 14. Évaluation du profil type en amont du secteur à revitaliser (profil P1 sur la Figure 11).

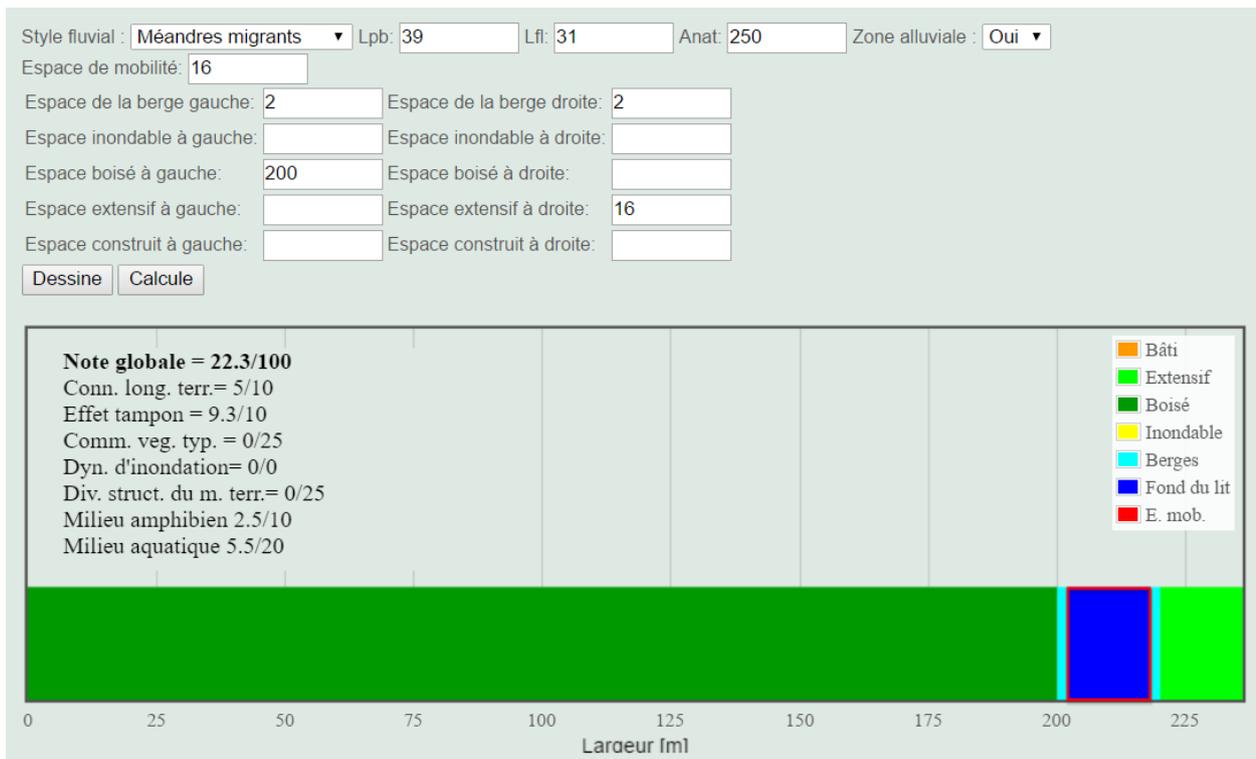


Figure 15. Évaluation du profil type dans la partie amont de la zone alluviale (profil P2 sur la Figure 11) avant revitalisation.

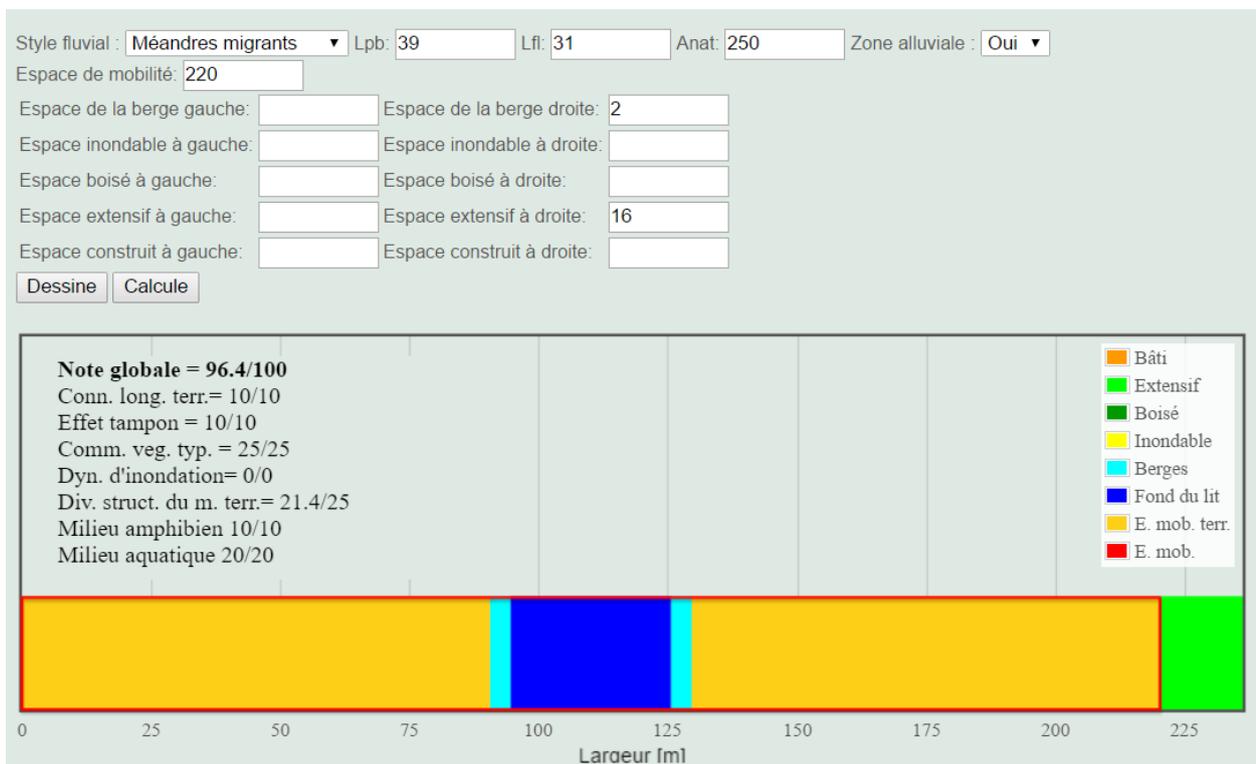


Figure 16. Évaluation du profil type P2 (sur la Figure 11), dans la partie amont de la zone alluviale, après revitalisation.

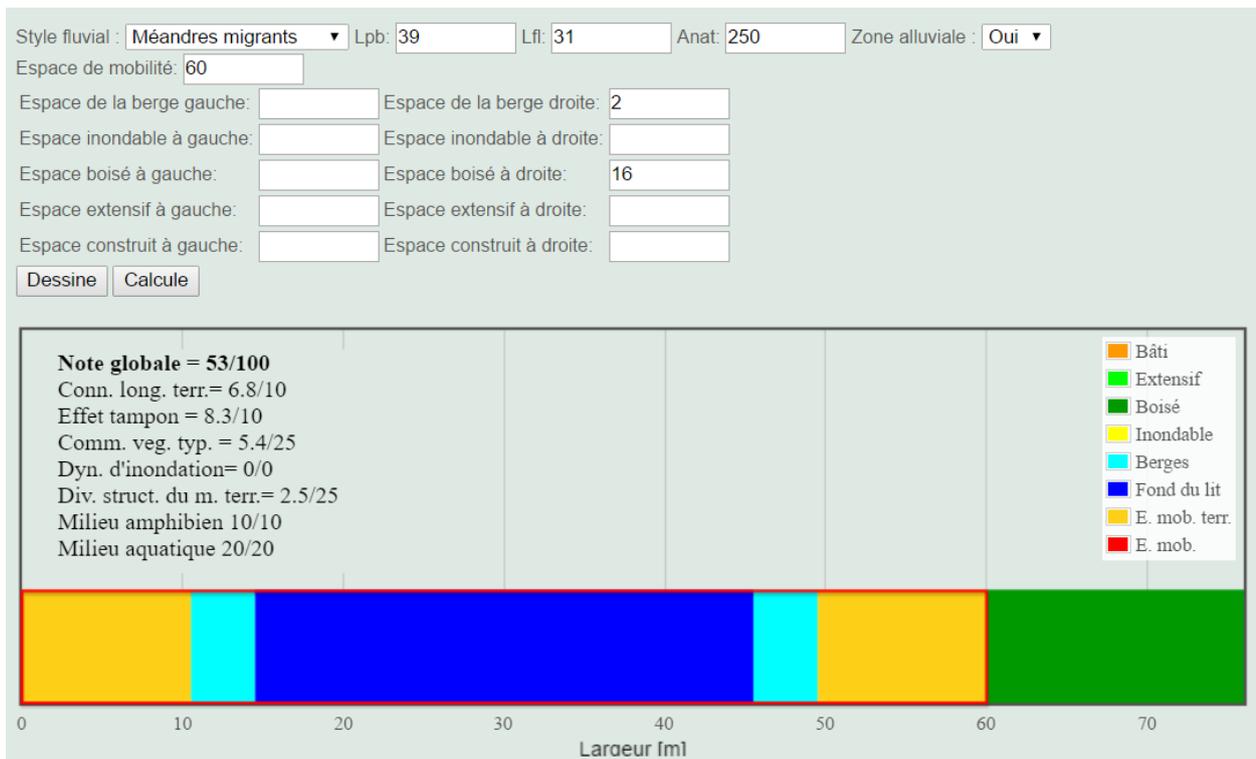
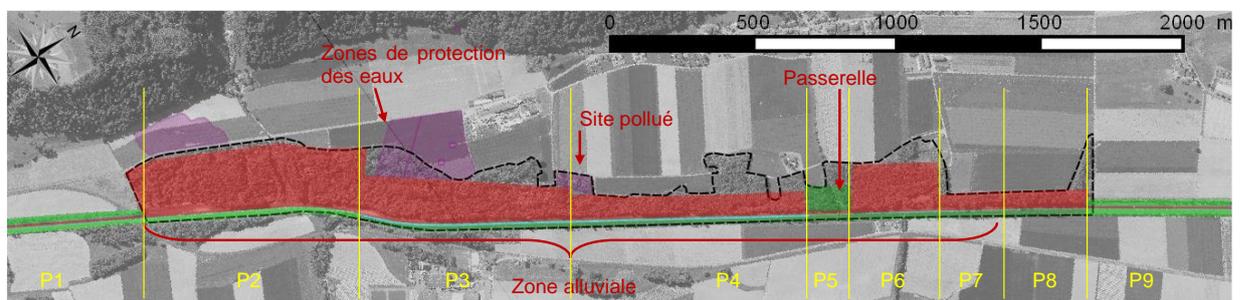


Figure 17. Évaluation du profil type dans la partie aval du secteur revitalisé (profil P7 sur la Figure 11).

8.6 Grand projet

La Figure 18 montre le score global du projet de revitalisation (y.c 500 m en amont et en aval du véritable projet), sur la base des tronçons homogènes identifiés au chapitre 3. Le score atteint est de 62 % (moyenne des notes des 9 profils, pondérée par la longueur du profil), alors qu'en l'état actuel le score global de ce tronçon de 4'500 m est d'environ 22 %. L'interruption causée par la présence d'une passerelle piétonne au profil P5 est évidente. L'outil livre également la satisfaction de chaque fonction pour chaque profil type évalué (Figure 19).



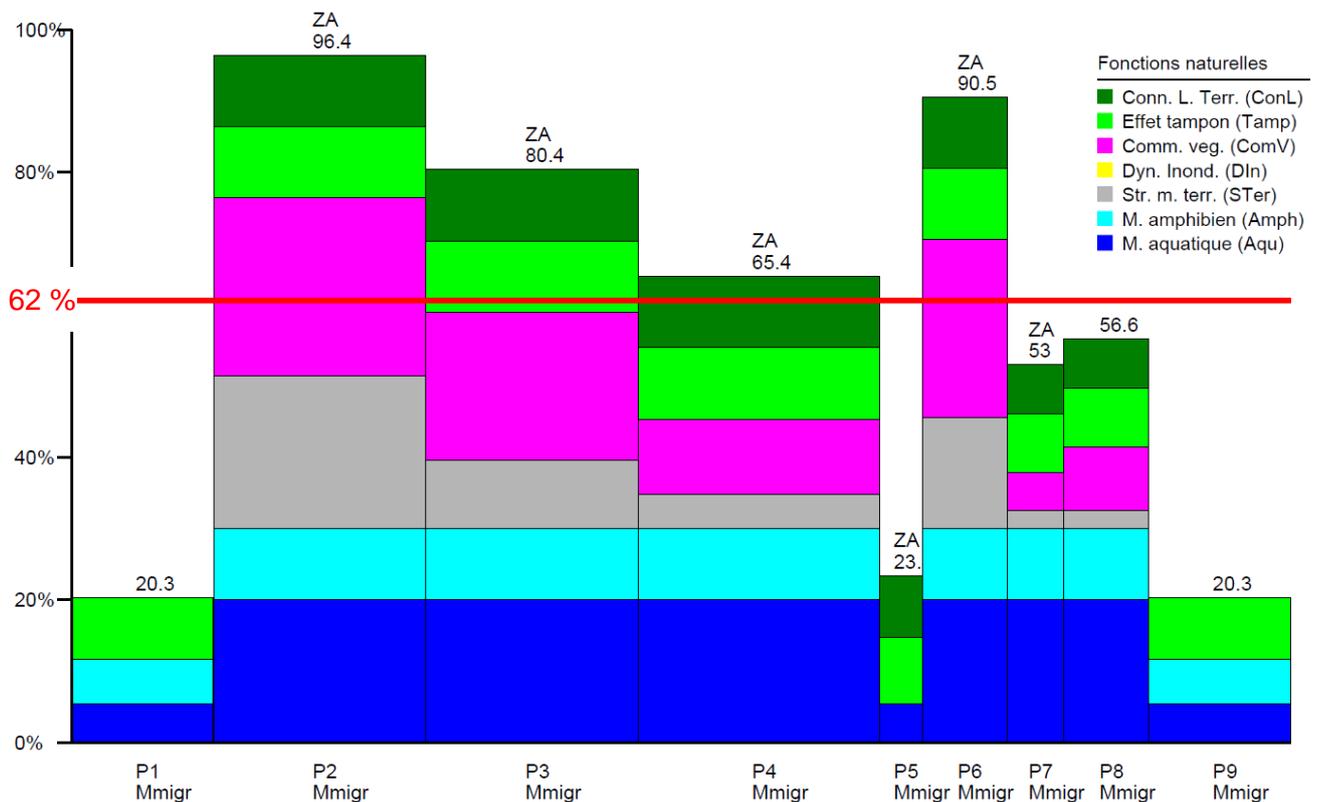


Figure 18. Projet de revitalisation de la Broye à Villeneuve. Ici un tronçon amont et aval ont également été présentés, à titre indicatif, pour montrer la différence d'état du cours d'eau.

No	Note	ConL	Tamp	ComV	DIn	STer	Amph	Aqu
P1	20.3	0	8.6	0	0	0	6.3	5.5
P2	96.4	10	10	25	0	21.4	10	20
P3	80.4	10	10	20.8	0	9.6	10	20
P4	65.4	10	10	10.5	0	4.9	10	20
P5	23.4	8.7	9.3	0	0	0	0	5.5
P6	90.5	10	10	25	0	15.5	10	20
P7	53	6.8	8.3	5.4	0	2.5	10	20
P8	56.6	6.8	8.3	9	0	2.5	10	20
P9	20.3	0	8.6	0	0	0	6.3	5.5

Figure 19. Tableau des notes, par fonction, pour chaque profil type évalué dans le grand projet.

8.7 Conclusion du cas d'étude

La comparaison de la situation actuelle et de l'état futur permet de mesurer l'effet de la revitalisation. Comme le montrent la Figure 15 (état actuel P2) et la Figure 16 (état après revitalisation P2), le fait d'avoir un espace de mobilité au lieu d'une forêt alluviale stabilisée change complètement la valeur naturelle du milieu (22 % vs. 96 %).

Le projet prévoit également la revitalisation des **affluents** de la Broye et l'augmentation de l'hydromorphie de la forêt grâce à cette mesure, mais cette intervention n'est prise en compte lors de l'application de l'outil.

9 Références

Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) 2010: "*Aménagement de la Broye à Villeneuve. Hydraulique, morphologie et sécurité. Expertise*". Lausanne, 42 pp. dans **Service des eaux, sols et assainissement du Canton de Vaud (SESA) et Service conseil Zones alluviales 2010:** "*Aménagement de la Broye du km 26.5 au km 25.5 - Dossier d'enquête et soumission*". Société d'endiguement de la Broye, sur mandat de la Commune de Villeneuve FR, section lacs et cours d'eau. Lausanne et Yverdon-les-Bains.

Office fédéral de l'environnement (OFEV), version provisoire, novembre 2019: "*Ermittlung der natürlichen Sohlenbreite*". 58 pages.

Paccaud G., Ghilardi T., Roulier C et Hunzinger L. 2020: "*Espace nécessaire aux grands cours d'eau de Suisse*". Service conseil Zones alluviales (SCZA) et CSD ingénieurs SA. Yverdon-les-Bains. Rapport sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne. 122 pp.

Rosgen D. 1994: "*A classification of natural rivers*". Pagosa Springs, USA. 31 pp.

Yalin M. S., da Silva A. M. F. 2001: "*Fluvial Processes*". IAHR. Delft. 216 pp.