

32055-09 en



ÉTUDE DES FUSEAUX DE MOBILITE ET DES ESPACES DE BON FONCTIONNEMENT DES COURS D'EAU DU BASSIN RHIN-MEUSE

Mission 2: Définition et application du concept d'Espace de Bon Fonctionnement (EBF) des cours d'eau au bassin Rhin-Meuse

DOCUMENT FINAL – SEPT. 2017



FLUVIAL.IS Lorraine (Mandataire)
16 rue de la Gare – 57320 Guerstling
03 87 74 61 10
Code APE 7112B – TVA intracom : FR25539545012

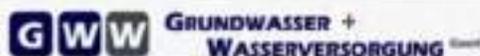


BIOTOPE Agence Nord Est (sous-traitant 1)
2 bis Charles Oudille
54 600 VILLERS-LES-NANCY
03.83.28.25.42



www.dubost-environnement.fr

Dubost-Environnement et Milieux Aquatiques (sous-traitant 2)
15 rue Au Bois - 57 000 METZ
03 87 68 08 62
Code APE 7112B – TVA intracom : FR93410621882



GWW Grundwasser + Wasserversorgung (sous-traitant 3)
An der Alten Ziegelei 6
D-66538 Neunkirchen

Table des matières

AVANT-PROPOS	4
1. Introduction.....	5
2. Synthèse bibliographique.....	7
2.1. Etat des lieux (synthèse étude AERMC, Raccasi et al, 2016).....	7
2.1.1. Les types de bon fonctionnement retenus	7
2.1.2. La (les) méthodologie(s) proposée (s) de délimitation des EBF.....	11
2.2. Compléments de littérature scientifique	16
2.2.1. Morpho-dynamique	16
2.2.2. Hydraulique / hydrologie.....	41
2.2.3. Hydrogéologie	46
2.2.4. Ecologie	49
2.2.5. Biogéochimie	55
2.3. Les apports de différentes méthodes de description des milieux riverains des cours d'eau.....	59
2.3.1. Méthodes systématiques	59
2.3.2. Méthodes naturalistes.....	61
2.3.3. Méthode Raccasi et al. 2016 (AERMC).....	66
3. Définitions	67
3.1. Qu'est-ce que l'espace de bon fonctionnement ?	67
3.2. Seuil d'irréversibilité.....	68
3.3. Les fonctions respectives de l'EBF.....	69
3.3.1. Le bon fonctionnement morpho-dynamique.....	69
3.3.2. Le bon fonctionnement hydrologique/hydraulique.....	70
3.3.3. Le bon fonctionnement hydrogéologique	71
3.3.4. Le bon fonctionnement biogéochimique	72
3.3.5. Le bon fonctionnement écologique	76
4. Méthodologies de délimitation des enveloppes de l'EBF	83
4.1. Les contraintes imposées par l'échelle de travail	86
4.1.1. Principes généraux	86
4.1.2. Construction de l'EBF morpho-dynamique	92
4.1.3. Construction de l'EBF hydraulique / hydrologique	102
4.1.4. Construction de l'EBF hydrogéologique.....	108
4.1.5. Construction de l'EBF biogéochimique	113
4.1.6. Construction de l'EBF écologique.....	118
5. Conclusions.....	136
5.1. Généralités	136



5.2.	Notation des Espaces de Fonctionnement Actuels.....	137
5.2.1.	Notation générale des Espaces de Fonctionnement Actuel (EFA).....	137
5.2.2.	Construction des notes de synthèse	137
5.2.1.	Signification des unités spatiales pour la détermination des différents espaces de fonctionnement théoriques (EBF et ETBF)	141
6.	Annexes	144
6.1.	Bibliographie.....	145
6.2.	Choix des tronçons	148
6.3.	Fiches de synthèse et cartographie des tronçons test.....	149



AVANT-PROPOS



Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Rhin-Meuse définit **les zones, ou fuseaux, de mobilité des cours d'eau** et y prévoit la mise en place de contraintes fortes avec un principe général d'interdiction de tout aménagement susceptible d'entraver cette dynamique. En complément de cette notion de mobilité, le SDAGE mis à jour pour la période 2016-21 recommande de définir un cadre conceptuel et technique pour **l'espace de bon fonctionnement (EBF)** des cours d'eau, en particulier pour les rivières peu mobiles.

Afin de contribuer à ces recommandations du SDAGE, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse a engagé une étude visant à répondre à un double objectif via 2 missions distinctes mais complémentaires :

Mission 1 : Actualiser et synthétiser les connaissances sur les fuseaux de mobilité des cours d'eau

- 1A – Actualiser l'étude des fuseaux de mobilité de 1999 menée par l'AERM sur les portions de cours d'eau lorrains alors cartographiées
- 1B – Collecter et analyser les études et données disponibles sur les cours d'eau mobiles étudiés par d'autres maîtres d'ouvrage, en Alsace notamment
- 1C – Synthétiser l'ensemble des données sur les cours d'eau mobiles du bassin Rhin-Meuse

Mission 2 : Définir et rendre applicable le concept d'espace de bon fonctionnement des cours d'eau

- 2A – Etablir une synthèse des connaissances nationales et internationales en mettant à profit l'étude réalisée par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse en 2015/16
- 2B – Elaborer une méthode de définition, de délimitation et de diagnostic de l'espace de bon fonctionnement
- 2C – Appliquer la méthode à des tronçons tests sur une sélection de cours d'eau
- 2D – Produire des outils opérationnels pour la définition, le diagnostic et la préservation/restauration d'espaces de bon fonctionnement des cours d'eau

Cette étude a été conduite en 2016/17 sous l'égide d'un comité de pilotage composé :

- de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (pilotage) ;
- de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) de Grand Est - Délégation de bassin Rhin-Meuse ;
- de la Direction Départementale des Territoires de Meurthe-et-Moselle (DDT 54)
- de l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) - Délégation Régionale du Grand Est ;
- de Voies Navigables de France (VNF) ;
- de l'Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction (UNICEM) ;
- des Conseils Départementaux de Meurthe-et-Moselle (CD 54), de Meuse (55), du Bas-Rhin (67) et du Haut-Rhin (68) ;
- de l'Etablissement Public Territorial de Bassin Meurthe-Madon ;
- de l'Etablissement Public d'Aménagement de la Meuse et de ses Affluents (EPAMA)
- du Conservatoire des Espaces Naturels de Lorraine (CENL).

1. INTRODUCTION



Ce rapport est consacré à la délimitation d'*Espaces de Bon Fonctionnement*, seconde partie de la mission, après l'actualisation des Espaces de Mobilité du bassin Rhin-Meuse.

Comme précisé au cahier des charges « *ce travail technique vise à définir l'espace nécessaire au bon fonctionnement des cours d'eau en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques : typologie, taille, flux liquides et solides, etc.* ». Cette « zone tampon » doit considérer le fonctionnement global du cours d'eau en prenant en compte les aspects pluridisciplinaires « *soutenant le cours d'eau au sens « d'infrastructure naturelle »* ».¹

Cette nouvelle enveloppe doit permettre une meilleure efficacité en coordonnant les politiques de gestion en matière de restauration de la qualité morphologique, de prévention et lutte contre les inondations, d'amélioration de la qualité écologique, de gestion de la ripisylve, de préservation des zones humides, d'amélioration de la qualité de l'eau.

Il a donc été fixé comme objectif de « *définir le concept d'espace de bon fonctionnement, et son application territoriale, pour l'ensemble des cours d'eau, mobiles ou non* » (CCTP de la mission).

Le guide de bonnes pratiques pour la gestion des milieux aquatiques du SDAGE Rhin-Meuse 2016-2021 recommande qu'un cadre technique soit proposé pour la définition d'un **espace de bon fonctionnement** des cours d'eau peu mobiles en complément des méthodologies de définition des fuseaux de mobilité, en application de la disposition T3 – O1.1 –D1 relative aux outils méthodologiques à développer.

Sur la base du travail réalisé sous maîtrise d'ouvrage Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (Raccasi *et al.* 2016), il en est ici proposé une synthèse complétée par quelques références bibliographiques qui appuie une méthode de définition, de délimitation et de diagnostic de l'EBF. En fait d'Espace de Bon Fonctionnement, le choix a été rapidement fait de ne pas prétendre définir un seul EBF commun à tous les compartiments, mais bien de définir des EBF distincts, parfois concordants, pour chacun des volets (morpho-dynamique, hydraulique, hydrogéologique, biogéochimique et écologique).

Après l'analyse bibliographique, nous avons donc construit l'approche globale en plusieurs étapes :

- l'identification du type de cours d'eau selon le volet concerné (morphodynamique, hydrologique, hydrogéologique, hydrobiologique, etc.) ;
- la définition pour chacun des volets de l'Espace de bon fonctionnement concerné ;
- l'identification des facteurs limitants à ce bon fonctionnement.

¹ Pour mémoire, le SDAGE Rhin-Meuse 2016-2021 (disposition T3 – O1.2 – D1) rappelle que les fonctionnalités principales des écosystèmes aquatiques qui doivent être préservées sont :

- L'auto-épuration, la filtration et le rôle de tampon lors des pollutions ;
- L'alimentation des formations aquifères souterraines notamment lors des crues ;
- La rétention temporaire des excès d'eau et l'écrêtement des crues ;
- La régulation des étiages et des faibles débits ;
- La régulation de la dynamique des cours d'eau et notamment des érosions et du transport solide ;
- L'abri d'une importante biodiversité ;
- La fourniture de ressources naturelles, de sites et d'espaces pour les usages économiques et récréatifs.

Il convient donc de trouver l'échelle d'investigation la mieux adaptée à l'identification des enjeux pluridisciplinaires qui permettent :



- 1) d'identifier suffisamment précisément les facteurs limitants du bon fonctionnement pour chaque discipline ;
- 2) de conserver une approche suffisamment globale pour permettre la caractérisation à l'échelle d'un bassin ou d'un sous-bassin versant.

Enfin, la démarche doit permettre à la fois d'alimenter le SDAGE et de proposer un outil scientifique et pragmatique qui facilite la prise de décision des gestionnaires dans leurs projets de restauration des cours d'eau, qui aille au-delà de la seule gestion du lit mineur, en travaillant sur les multiples fonctions riveraines (hydraulique, hydromorphologique, biogéochimique, hydrogéologique, écologique).

Le champ d'application et de test de cette méthode est limité aux types de cours d'eau présents dans le bassin Rhin-Meuse².

² le cas des torrents de montagne classiquement constitués d'une zone de production, d'une zone de dépôt et d'une zone de transfert intermédiaire n'est pas traité par le présent document. Le cas très particulier des cours d'eau phréatiques de la plaine d'Alsace n'est pas non plus concerné.

2. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE



Un travail important de synthèse bibliographique a déjà été réalisé dans le cadre de l'étude engagée par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (Raccasi *et al.*, 2016). Nous en présentons ici pour rappel les grands enseignements que nous complétons par quelques références utiles à la compréhension et à l'élaboration de la méthodologie proposée en seconde partie.

2.1. *Etat des lieux (synthèse étude AERMC, Raccasi et al, 2016)*

Nous détaillerons deux aspects de l'étude menée en Rhône-Méditerranée-Corse :

- les types de bon fonctionnement retenus et leurs fonctions respectives, d'une part,
- les méthodologies retenues pour leur délimitation d'autre part.

2.1.1. Les types de bon fonctionnement retenus

Le bon fonctionnement morphologique

Après avoir rappelé l'ajustement permanent des variables de réponses selon les évolutions saisonnières à pluri-séculaires des variables de contrôle (balance dite de Lane, 1954), les auteurs précisent que le bon fonctionnement morphologique ne correspond pas seulement à un état d'équilibre, mais à un fonctionnement « pour lequel les variables d'ajustement peuvent librement s'adapter aux conditions d'entrée (essentiellement débit liquide et débit solide) ».

Les variables d'ajustement ou de réponse sont pour le lit mineur :

- la largeur,
- la profondeur,
- la pente et la sinuosité.

Ces évolutions variables selon les types de cours d'eau (les cours d'eau à berges cohésives adapteront davantage leur profondeur, les cours d'eau à fort transport solide adapteront davantage leur largeur, etc.) ont des conséquences directes sur les capacités de transport du cours d'eau :

- une augmentation de la capacité hydraulique du lit favorise le transport des sédiments ;
- une augmentation de la largeur (augmentation de la rugosité) favorise le dépôt des sédiments ;
- une augmentation de la pente favorise l'érosion ;
- etc.

Les fonctions morphologiques citées par les auteurs sont :

- la régulation du transport solide par le jeu des érosions de berges et des dépôts de sédiments à l'aval ;
- la recharge sédimentaire lorsqu'un tronçon est en déséquilibre (par exemple à la suite d'extractions) ;
- la diversification des habitats : le renouvellement des formes permet un étagement des habitats et leur renouvellement (mobilité des lits alluvionnaires) ;
- la mobilité du lit et le décolmatage du substrat au fur et à mesure des crues morphogènes.

Le bon fonctionnement hydraulique

Les auteurs évaluent le bon fonctionnement hydraulique indépendamment des services rendus à la collectivité, en distinguant le lit mineur du lit majeur :

✓ Dans le lit mineur

Le bon fonctionnement hydraulique est celui qui permet le « libre écoulement des eaux sans contrainte anthropique ». Les auteurs rattachent alors le comportement correct du cours d'eau au calibre du lit en considérant qu'un lit correctement calibré est celui qui permet des débordements suffisamment fréquents, tous les 1 à 3 ans.

Les recalibrages artificiels qui ont pour objet d'augmenter la capacité hydraulique du lit mineur, diminuent donc la fonctionnalité du lit majeur.

✓ Dans le lit majeur

Les auteurs identifient deux fonctions hydrologiques/hydrauliques du lit majeur :

- « la bonne expansion et l'écrêtement des crues, et leur propagation » : dans ce cas, l'ensemble du lit majeur est retenu comme limite de l'espace de bon fonctionnement. Le paramètre à retenir est la capacité de stockage.
- « le bon écoulement des crues » : pour cela, les zones de grand écoulement sont libres (« zones de plus forts débits par unité de largeur »). Ces couloirs d'écoulements sont soumis à des contraintes de vitesse plus fortes, à des profondeurs aussi en général plus importantes.

Cela permet alors d'assimiler les zones de grands écoulements à « l'espace hydraulique nécessaire » et les zones d'expansion des crues à « l'espace hydraulique optimal ».

Le fonctionnement hydrologique du bassin versant n'est pas abordé (couverture des sols du bassin, rectifications à l'amont, étalement des crues, etc.)...

Bon fonctionnement hydrogéologique

Il a été choisi par les auteurs de retenir « un périmètre hydrogéologique (associé) au bon fonctionnement des cours d'eau (...) sur la base des circulations existantes entre la nappe et le cours d'eau, au niveau des berges, de la couche hyporhéique de façon permanente, mais également dans la plaine alluviale et les annexes hydrauliques connectées plus temporairement avec le cours d'eau, mais en relation directe avec la nappe alluviale ». Les trois types de situations envisagées sont :

- le drainage de la nappe par la rivière,
- la recharge de la nappe par la rivière et,
- l'absence d'échange entre la nappe et la rivière.

En préalable, les auteurs fixent la nécessité de confirmer que des échanges nappe / rivière existent ou aient existé. Les cours d'eau connectés à des karsts ou à des aquifères profonds n'ont pas été considérés par la méthodologie proposée en RMC (Raccasi *et al.*, 2016, p. 69).

Deux espaces de fonctionnement hydrogéologique sont proposés :

- 1) dans le lit mineur : mobilité préservée qui réduit les risques de colmatage et d'encaissement ou périmètre mouillé optimal (échanges nappe / rivière favorisés). Importance dans ce cas des phénomènes d'incision ou d'exhaussement. Ceux-ci peuvent être modérés ou encouragés par des seuils en travers, mais aggravés par le colmatage qui en résulte, etc.

- 2) dans le lit majeur : capacité de recharge par inondation préservée ou non, recharge favorisée par des zones humides, perméabilisation du lit majeur, présence d'alluvions grossières, d'annexes hydrauliques, etc.

Les auteurs n'évoquent pas les influences qui peuvent exister entre la nappe alluviale à proprement parler et la nappe phréatique ou celle issue de l'encaissant.

Le bon fonctionnement biologique

Les auteurs ne dissocient pas spécialement le fonctionnement hydrobiologique (qui concernerait l'écosystème aquatique au sens strict) du fonctionnement écologique (que l'on pourrait étendre à l'écosystème terrestre et/ou humide) associé au cours d'eau. Ils ont, en effet, choisi de regrouper cet ensemble sous l'appellation « contexte biologique ».

Il est d'abord précisé que la continuité écologique au sein du lit mineur ne sera pas prise en compte étant donné qu'une réglementation particulière existe déjà. Il est simplement rappelé que la fragmentation longitudinale du cours d'eau pénalise la richesse et la diversité des espèces naturellement présentes.

Le bon fonctionnement biologique est ensuite défini comme l'ensemble des paramètres biologiques permettant un fonctionnement optimal de l'écosystème cours d'eau (assurant donc le bon développement des espèces végétales et animales inféodées au cours d'eau) :

- habitats ;
- sources d'alimentation ;
- lieux de reproduction ;
- axes de déplacements.

L'enveloppe de l'écosystème cours d'eau est présentée comme l'aire d'inondation liée aux hautes eaux exceptionnelles.

Les auteurs indiquent que le bon fonctionnement biologique découle directement des fonctionnements morphologiques et hydrauliques, de la même manière qu'ils conditionnent le bon fonctionnement des annexes fluviales (qu'il s'agisse d'une connexion pérenne en lien avec le profil en long du cours d'eau ou d'une connexion ponctuelle lors des crues).

Il en est conclu que si les fonctionnements morphologique et hydraulique sont bons, les fonctions biologiques (mais aussi hydrogéologiques et biogéochimiques) sont également correctement satisfaites.

Le bon fonctionnement biogéochimique

Les auteurs citent deux fonctions essentielles du cycle biogéochimique :

- l'autoépuration qui s'exerce au travers du lit majeur et du lit mineur : diversité des écoulements (oxygénation des eaux), intensité des écoulements hyporhéiques, végétalisation des berges (ombrage et fonction de filtre par le système racinaire), connexion avec les annexes fluviales ;
- la réduction des transferts depuis les rives vers le lit mineur : les auteurs évoquent le rôle de la « bande enherbée » (5 m) mais insistent sur le fait qu'une zone tampon plus large ou bien de nature différente (friches, prairies permanentes, chemins enherbés, parcelles non traitées, zones humides, etc.) peut interagir avec les capacités propres d'infiltration des sols. Les auteurs proposent une estimation des largeurs de corridors rivulaires avec une végétation comprenant les différentes strates arbustives présentes naturellement.



Largeur	Estimation des gains
5m	Limitation du transfert de 50 % du phosphore particulaire Limitation du transfert de 50 % de l'azote Limitation au cours d'eau de 90 % des produits en cours de pulvérisation Influence sur la régulation des températures de l'eau
6m	Limitation du transfert de 60 % des produits phytosanitaires
10m	Infiltration de 10 % du ruissellement
12m	Limitation du transfert de 80 % des produits phytosanitaires
15m	Limitation du transfert de 100 % du phosphore particulaire et dissous
25m	Limitation du transfert de 75 % de l'azote Epuraton de 80 % des polluants diffus (phosphores, nitrates, pesticides)
100m	Limitation du transfert de 90 % de l'azote

2.1.2. La (les) méthodologie(s) proposée (s) de délimitation des EBF



Les auteurs ont développé deux approches qui se veulent pragmatiques et adaptées aux contextes locaux, avec une méthode standard et une méthode « petits cours d'eau ». Ces deux méthodes privilégient le pragmatisme et l'adaptation aux sources disponibles, aux attentes du maître d'ouvrage, aux enjeux.

La démarche standard peut elle-même suivre une méthode détaillée ou une méthode simplifiée. La démarche petits cours d'eau concerne des rivières peu mobiles ou qui devraient rapidement être décrites sur un linéaire important.

Considération générales

✓ *Le style fluvial de référence*

Les auteurs n'identifient pas les formes de référence (sinuosité, largeur, profondeur, diffluences, etc.) à un état passé mais à une « référence future qui doit tenir compte de la trajectoire d'évolution du système aquatique lorsque les pressions les plus importantes se verront réduites » (AERMC, 2011). Ils suggèrent donc au préalable d'identifier le « style que prendrait à long terme le cours d'eau, en supprimant l'ensemble des effets significatifs des activités humaines » dans le lit mineur comme dans le lit majeur. La prise en compte de ce critère marque donc la méthode fortement en hydromorphologie.

✓ *Echelle de travail*

Les auteurs recommandent de travailler à une échelle suffisamment réduite pour que le tronçon à étudier soit « homogène hydromorphologiquement et que le contexte hydrosystémique (...) soit bien abordé sur des périmètres pertinents (...) pour chaque fonction de l'EBF ».

Les tronçons SYRAH-CE sont cités comme base de travail possible.

✓ *Définition du « contexte hydrosystémique »*

Il concerne toutes les fonctions de l'EBF (morphologique, hydrogéologique, hydraulique, biologique et biogéochimique). Le principe en est que « pour évaluer quel peut être le bon fonctionnement, il faut en préalable comprendre comment fonctionne actuellement le cours d'eau et son hydrosystème, et sur quelle trajectoire il se situe ».

Pour cela les auteurs recommandent donc une description préalable des différents volets à l'aide des outils et bases de données disponibles (état écologique, profil en long, évolutions historiques, occupation des sols, données hydrologiques, SRCE, données BRGM, etc...).

Les étapes de la méthode standard AERMC 2016

6 étapes sont recommandées de la description du contexte à la définition de l'espace nécessaire ;

Etape 1 : le contexte hydrosystémique

Il s'agit de reconstituer le contexte général du cours d'eau, c'est-à-dire non seulement son état actuel mais également ses évolutions passées et la tendance présente qui pourrait permettre d'anticiper des évolutions à venir, cela pour les 5 compartiments à décrire.

Etape 2 : détermination des styles fluviaux

Grâce à une approche à la fois théorique ou si possible également analytique et historique, les styles fluviaux du cours d'eau dans le temps et l'espace sont recherchés. Cela doit permettre de choisir un style fluvial de référence qui ne doit pas forcément être le style fluvial originel ou historique mais bien celui « *que prendrait à long terme le cours d'eau, en enlevant les contraintes latérales et verticales* », ce tant dans le lit mineur que majeur.

Etape 3 : détermination de l'espace de fonctionnement optimal

On recommande de délimiter « *l'espace laissé au cours d'eau pour la réalisation de ses fonctions écologiques la plus proche possible du milieu naturel sans contrainte anthropique* ». Cet espace n'est défini que pour les fonctions morphologiques et hydrauliques (*périmètre morphologique optimal et périmètre hydraulique optimal*).

L'espace de fonctionnement optimal est constitué de l'agrégation de ces deux périmètres.

Etape 4 : détermination de l'espace de bon fonctionnement nécessaire

Ici la notion de services rendus par le système fluvial est introduite. Il s'agit de « *l'espace minimal nécessaire à l'expression durable de ses fonctions écologiques pour soutenir les services que ce cours d'eau peut apporter* ».

On distingue le périmètre morphologique nécessaire et le périmètre hydraulique nécessaire.

Etape 5 : prise en compte des contextes hydrogéologique, biogéochimique et biologique

Sur la base des deux périmètres morphologique et hydraulique, les contextes complémentaires hydrogéologique, biogéochimique et biologique sont décrits et reportés cartographiquement.

Etape 6 : l'EBF nécessaire

Enfin, pour constituer l'EBF nécessaire, les périmètres morphologique et hydraulique sont agrégés. Cette enveloppe est complétée par la représentation d'éléments de contexte de l'étape 5.

Les préconisations techniques de définition des différentes enveloppes

✓ Détermination du style fluvial de référence

Elle se fait progressivement en trois étapes :

- 1) Détermination du style fluvial naturel : soit à partir d'une approche théorique (rapport débits/pente), soit à partir d'une approche analytique historique (cartes d'archives, orthophotos, MNT, etc.).
- 2) Détermination du style fluvial actuel : en fonction de l'ampleur des modifications, il peut être « rectiligne à forte pente », « rectiligne à bancs », « tresses endiguées », « rectiligne à faible pente », etc. Il s'agit d'une simple description du style actuel, mis dans la perspective de son style naturel théorique.
- 3) Détermination du style de référence : soit à partir d'un tronçon de référence actuel ou historique, soit à partir d'une analyse géomorphologique experte (sur la base d'enquête, de données hydrologiques et topographiques, etc.) pour déterminer s'il s'agit d'un style :
 - a. « à méandres »,
 - b. « rectiligne à forte pente » ou,
 - c. « rectiligne à bancs et tresses ».

Pour les cours d'eau fortement modifiés, il est opportun de proposer différents espaces de bon fonctionnement en fonction de niveaux d'ambitions variables.

✓ Détermination de l'espace de fonctionnement optimal

Cette étape est commune aux fonctions morphologiques et hydrauliques. Il s'agit de l'« espace permettant la continuité longitudinale et latérale au niveau sédimentaire sur le long terme, incluant les zones de régulation ». Il est variable en fonction des styles de référence :

- 1) style rectiligne à forte pente : il s'agit des 3 éléments classiques du bassin versant torrentiel : bassin de réception, lit torrentiel et cône de déjection (pour la méthode simplifiée on retiendra l'ensemble du bassin versant) ;
- 2) style rectiligne à bancs ou tresses : le fonctionnement optimal englobe la mobilité historique du lit (étude diachronique classique, LIDAR, archives, etc.) et les « zones de régulation particulières » (confluences, débouchés en aval de gorges, niveau de base aval, ruptures de pente, etc.) qui sont déterminées par une analyse morpho-dynamique ;
- 3) style à méandres : après une étude morphodynamique pour comprendre le fonctionnement du cours d'eau, on applique soit l'amplitude d'un tronçon de référence, soit les valeurs suivantes :
 - cours d'eau mobiles : 20 X la largeur à pleins bords ;
 - cours d'eau très peu mobiles : 3 X la largeur à pleins bords ;
 - petits cours d'eau : au minimum 10 m à partir du haut de chaque berge.

✓ Détermination de l'Espace de bon fonctionnement nécessaire

Pour les auteurs il s'agit simplement de l'« espace permettant la continuité longitudinale et latérale au niveau sédimentaire ». Ils ne considèrent donc pas la mobilité à long terme comme facteur limitant mais comme un processus qui permet une recharge sédimentaire, pour assurer des faciès et habitats satisfaisants.

- 1) style rectiligne à forte pente : sur le seul cône de déjection, on délimite l'aléa d'un événement majeur (méthode simplifiée) ou bien on s'appuie sur une analyse morphologique et historique plus poussée pour un événement de retour donné (méthode détaillée) ;
- 2) style rectiligne à bancs ou tresses : il s'agit alors de l'emprise des chenaux en eau et bancs de galets non végétalisés (lit actif ou bande active) plus une largeur égale à 1,5 à 2 fois la largeur

du lit actif (« largeur de mobilité du lit actif à l'échelle de quelques décennies »). On s'appuie pour cela de l'examen des séries de photographies aériennes, par exemple sur un tronçon homogène significatif ;

- 3) style à méandres : en l'absence de données diachroniques, on conseille de délimiter une bande égale à 8-12 fois la largeur du lit. Suite à une communication orale avec l'Agence de l'Eau RMC (juillet 2016), cette bande est tracée dans l'axe des sinuosités et non pas dans l'axe du lit.
- 4) cours d'eau très peu mobiles (pas de modifications depuis le XIXème siècle) le périmètre morphologique est égal à 2 fois la largeur du pleins bords.
- 5) petits cours d'eau : un minimum de 5 m à partir du haut de berge actuel sera retenu (pour les bassins versant < 20-25 km²).

Hydraulique

Pour déterminer « l'espace hydraulique nécessaire » (*de facto* l'EBF hydraulique), les auteurs estiment que celui-ci correspond au moins à l'espace morphologique nécessaire, et « l'espace hydraulique optimal » correspond au moins à l'espace morphologique optimal.

✓ Espace hydraulique optimal

Que ce soit pour les cours d'eau rectilignes à forte pente, à tresses ou à méandres, l'espace hydraulique optimal est déterminé par la zone inondable par les plus fortes crues que l'on détermine à partir :

- de la crue centennale ou crue historique de référence hors influence anthropique (PPRI) ;
- enveloppe de la plus grande crue cartographiée ou alluvions modernes (AZI, Emax, Fz Fy des cartes géologiques).

Une adaptation de ces couches est conseillée afin de prendre en considération des particularités locales (cône de déjection, limites de terrasses, influence d'un affluent, etc.) ainsi que des digues et remblais qui peuvent « fausser » le véritable espace de bon fonctionnement, non perturbé.

✓ Espace hydraulique nécessaire

La délimitation de cet espace hydraulique indispensable pour le bon écoulement des crues (vitesses et hauteurs d'eau plus importantes) est variable en fonction du type de cours d'eau et des données disponibles :

- cours d'eau rectiligne à forte pente : espace hydraulique nécessaire = espace morphologique nécessaire ;
- cours d'eau à bancs, tresses, méandres : espace hydraulique nécessaire \geq espace morphologique nécessaire. L'identification des axes d'écoulements se fait à partir de levés lidar, MNT, stéréoscopie, etc. L'interprétation des zones d'aléas (PPRI) est possible avec prudence ;
- cours d'eau de pente > 3‰ : pas de zone d'expansion de crue significative.

L'EBF optimal (étape 6 de la méthode standard) résulte de l'agrégation du périmètre morphologique et hydraulique (p. 106 et 155).

Hydrogéologie

Il a été choisi de caractériser le bon fonctionnement hydrogéologique, en décrivant autant que possible les échanges nappe-rivière et leur degré de modification anthropique.

Les informations collectées pour cela sont :

- la caractérisation de l'infiltrabilité de l'encaissant (échanges alluvions / encaissant),
- l'identification de la présence d'un aquifère alluvial libre,
- la nature des relations nappe / rivière (drainage ou recharge),
- la description des types d'altération : nature des berges, artificialisations (aucun détail n'est donné sur la perméabilité réelle de ces berges artificielles), inondabilité du lit majeur, imperméabilisation, annexes fluviales, ...

Pour cela on préconise de s'appuyer sur les bases de données suivantes (p. 120) :

- masse d'eau souterraine affleurante,
- inventaire des zones humides (département),
- captages,
- éléments morphologiques et hydrauliques,
- Corine Land Cover, photographies aériennes,
- autres données locales pertinentes.

Il n'est pas mentionné que des relevés terrain soient requis.

Le contexte biologique

Le contexte biologique qui englobe, pour les auteurs, les contextes écologiques (écosystèmes terrestres et/ou humides associés au cours d'eau) et hydrobiologiques (écosystème strictement aquatique) ne fait pas l'objet d'une construction d'enveloppe particulière. En effet, il est considéré que, en la complétant par les annexes fluviales, l'enveloppe de l'espace morphologique inclut les fonctions biologiques liées au cours d'eau. Toutefois, les auteurs admettent que les données disponibles relatives à ces annexes ne permettent pas de proposer un protocole général qui serait applicable dans tous les cas de figure. Les justifications avancées sont :

- une trop grande hétérogénéité des données selon les territoires (précision, typologie et actualisation),
- une situation le plus souvent non représentative de l'état de référence mais d'un état actuel pas forcément conforme aux objectifs de gestion.

Ainsi, il est demandé de prendre en compte les éléments biologiques de manière à affiner le périmètre de l'EBF, sans précision de la manière de procéder. Même s'il est indiqué une liste de données (inventaires départementaux des zones humides, données d'habitats des zones Natura 2000, occupation du sol) pouvant potentiellement être utilisées pour ajuster, au cas par cas, les limites de l'EBF, les auteurs précisent qu'il faudra s'adapter aux données disponibles et s'appuyer aussi sur toute autre « donnée locale pertinente ».

C'est donc à l'opérateur qu'est laissé l'arbitrage de la nécessité et de la manière dont il faut intégrer les fonctions biologiques au-delà de l'enveloppe de l'espace morphologique précédemment définie.

Le contexte biogéochimique

Les auteurs considèrent que la fonction d'autoépuration est assurée « par l'espace morphologique nécessaire ». Elle n'est pas davantage décrite.

Pour ce qui est de la fonction de limitation des transferts de pollution, il est privilégié de manière générale une largeur de 15 m depuis le sommet de la berge (celle qui permet l'absorption du phosphore dissous, de la majorité de l'azote, ainsi que des produits phytosanitaires). Toutefois, la pertinence de cette bande de mobilité est à vérifier pour les « cours d'eau rectilignes à forte pente ».

En cas d'enjeu plus important, des analyses au cas par cas seront à mener.

On peut donc considérer que l'EBF biogéochimique correspond au minimum à une bande de 15 m en rive, davantage si l'EBF morphologique est plus important.



2.2. Compléments de littérature scientifique

L'étude Racasi et al. propose déjà une très bonne synthèse bibliographique que nous proposons simplement de compléter par quelques éléments qui permettront de faciliter la compréhension de la méthode adaptée au bassin Rhin-Meuse.

2.2.1. Morpho-dynamique

Davantage que la préservation d'un bon fonctionnement des seules formes (EBF « morphologique ») nous reprenons le choix, fait par les auteurs de l'étude précédemment décrite, qui est de retenir comme objectif la préservation d'un fonctionnement morpho-dynamique équilibré sans préjuger que celui-ci corresponde à un état antérieur.

Généralités de dynamique fluviale

En effet, il ne s'agit pas seulement d'assurer la préservation de formes figées, mais bien de préserver les conditions de leur expression optimale pour servir de support le plus efficace aux autres fonctions de l'hydro-système. Pour mémoire, un des concepts clés développés par l'hydromorphologie est celui d'« *équilibre dynamique* » (Schumm, 1977), qui décrit la situation par laquelle une rivière, notamment une rivière alluviale, peut préserver ses caractéristiques générales dans des proportions stables, même si les formes ne sont pas figées.

Les formes du cours d'eau (jusqu'au lit majeur) sont le support commun aux processus hydrauliques, hydrogéologiques, écologiques et biogéochimiques.

On sait que la dynamique fluviale des cours d'eau alluviaux est contrôlée par différents paramètres :

- les débits liquides,
- le transport solide,
- la pente de la vallée et du cours d'eau,
- le stock alluvial,
- les éléments de résistance des berges et des fonds.

Ces interactions décrites par de nombreux auteurs, peuvent être synthétisées sommairement par le tableau suivant :

Variables de contrôle majeures et fluctuantes =>			Variables de réponse					
Débit liquide	Débit solide		Largeur du lit	Profondeur du lit	Ratio w/d	Longueur des méandres	Sinuosité	Pente du chenal
Q	Qs		W	D	F	λ	Si	S
+	.	⇒	+	+	+	+	(-)	-
-	.	⇒	-	-	-	-	(+)	-
.	+	⇒	+	-	+	+	-	+
.	-	⇒	-	+	-	-	+	-
+	+	⇒	+	.	+	+	-	.
-	-	⇒	-	.	-	-()	+	.
+	.	⇒	.	+	(-)	.	+	-()
-	+	⇒	.	-	(+)	.	-	+

(+ : accroissement, - : diminution, . : stabilité ;
 les signes entre parenthèses indiquent les différences d'appréciation de Schumm par rapport à Knighon)

Figure 1 : tendances évolutives théoriques en fonction des évolutions de deux variables de contrôle des caractéristiques morphologiques des lits fluviaux libres, selon le concept d'équilibre dynamique (d'après Schumm, 1977 et Knighon 1987)

Les débits liquides

✓ Rappels sur le rôle du bassin versant

Les débits liquides sont contrôlés directement par les précipitations, la couverture du sol, la pente des versants, les conditions d'infiltration, la forme du bassin versant. Ces paramètres et les conditions de débordement peuvent influencer sur les conditions de débordement et donc d'expression des formes. (cf § 2.2.2).

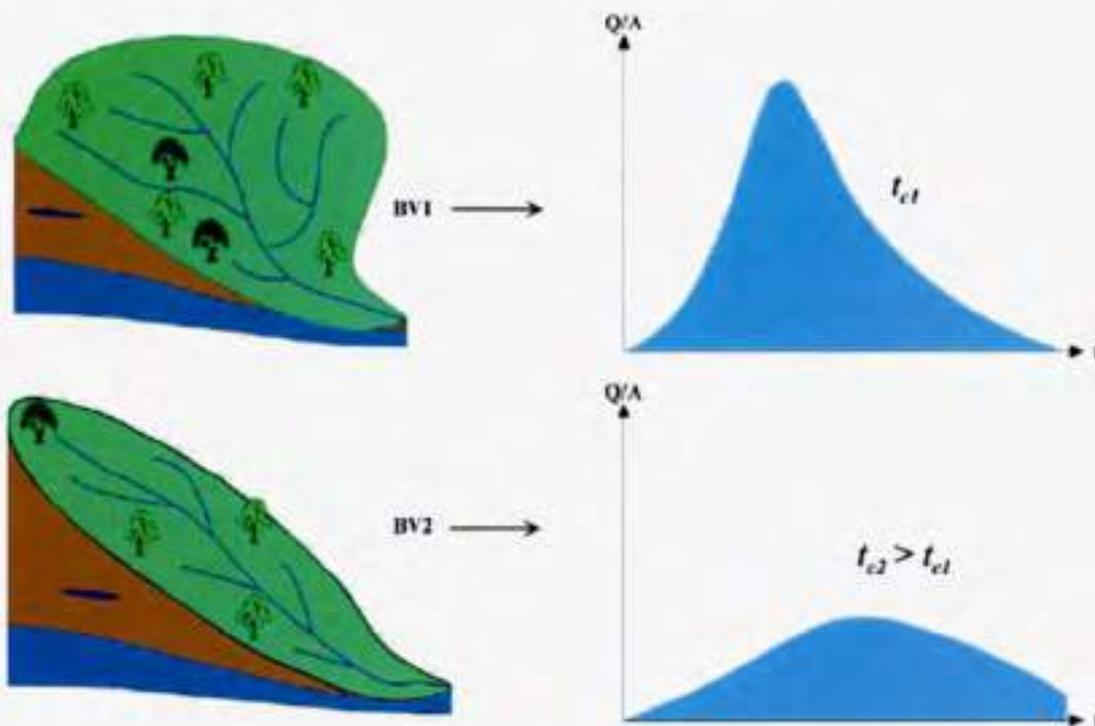


Figure 2 : influence de la forme du bassin sur l'hydrogramme de crue (Musy, 2005)

Un bassin versant de grand périmètre aura donc tendance à produire des événements hydrologiques plus concentrés alors qu'un bassin versant plus allongé sera plus favorable à des montées des eaux plus progressives mais plus longues.

De même, plus le bassin versant est réduit, plus il est réactif aux événements violents d'été localisés (type orages) du fait d'un temps de réaction plus réduit avant que les eaux ne s'infiltrent, alors qu'un bassin plus étendu (> 100 km²) permettra de mieux absorber les événements hydrologiques courts (quelques heures).

Le rôle de la nappe alluviale est aussi déterminant : en terrains poreux, l'infiltration peut fortement réduire la réactivité des cours d'eau aux événements hydrologiques.

La notion d'efficacité morphogénique est donc très variable en fonction des conditions hydrologiques et hydrogéologiques d'un bassin à l'autre.

✓ *Le débit dominant et débit de pleins bords*

Les écoulements qui dominent, par leur impact, les autres débits pour l'installation et la pérennisation des formes de la rivière (*débit dominant*) sont ceux qui reviennent assez fréquemment pour entretenir le lit et qui sont suffisamment forts pour mobiliser les éléments constitutifs du lit. Ce débit dominant correspond donc approximativement au débit à pleins bords pour les rivières peu modifiées par l'homme (Leopold & Wolman, 1957) (fig. ci-dessous).

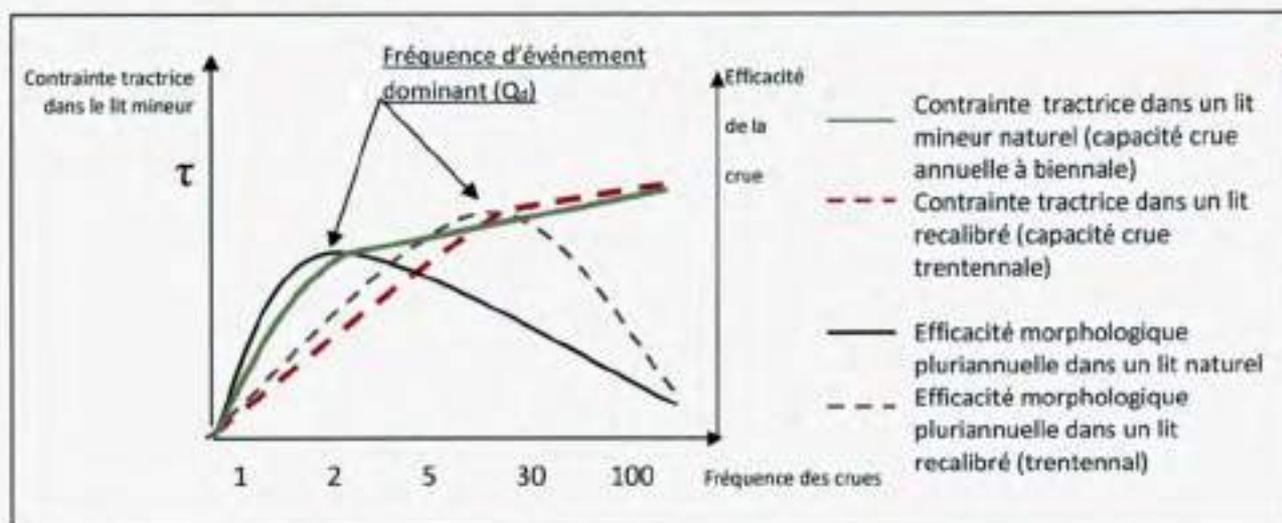


Figure 3 : schématisation de la relation entre un débit dominant et son efficacité correspondante en fonction de la capacité du lit mineur : l'efficacité énergétique décroît après le débordement du fait du décalage entre la faible augmentation du tirant d'eau dans le lit mineur et la plus grande rareté des événements débordants

Le lit d'un cours d'eau se calibre à l'état naturel selon un équilibre entre le débit dominant et les autres par leur rapport *efficacité morphologique / récurrence* et en fonction de la résistance des berges et des fonds à cette force érosive.

Fréquemment on lit que le débit de récurrence 1-2 ans correspond au débit à pleins bords, soit en milieu naturel au débit le plus morphogène ou débit dominant (« *dominant discharge* » dans la littérature anglo-saxonne qui la première l'a décrit)³.

En réalité, sur les bassins imperméables, la fréquence de débordement est logiquement plus forte : la capacité d'infiltration étant plus faible, le rôle tampon de la nappe est réduit. De plus, les berges sont souvent plus cohésives (bassin argileux), le lit plus étroit. Il est alors possible que le débit de pleins bords ait une récurrence de moins de 6 mois.

³ Le rapprochement des expressions « débit de pleins bords » et « débit morphogène » est impropre puisque tous les débits sont plus ou moins aptes à créer/modeler des formes. A court terme la crue centennale est plus violente dans son effet morphogénique. Mais à moyen terme, le débit de pleins bords en milieu naturel est le plus efficace puisqu'il correspond à la forme durable du lit. C'est pourquoi on préférera l'expression de « débit dominant » à celle de « débit morphogène ».



Photo 1 : la Nied Allemande(57) : le débit de pleins bords y est atteint plus de 80 jours par an bien que la capacité hydraulique de ce cours d'eau ait été artificiellement augmentée au cours des 150 dernières années.

Sur les bassins perméables, notamment karstiques, la fréquence de débordement peut atteindre des dizaines d'années (G.P. Williams, 1978, in Bravard *et al.*, 1997).



Figure 4 : la Somme-Soude en crue : cette rivière de Champagne est directement sous influence de l'aquifère crayeux qui joue un rôle de tampon ; le rapport hautes eaux / étiage est de seulement 10 au lieu de 200 habituellement.

Les crues efficaces sont également plus fréquentes en tête de bassin et, là, le débit dominant intervient plus souvent que tous les 18 mois (Richards, 1982). En Belgique, si celui-ci était confirmé de fréquence 1,5 an pour les bassins de plus de 1 000 km², il n'intervenait que tous les 4-5 mois pour les bassins de quelques km² (Petit *et al.*, 1989). Une crue de même récurrence qui survient en été, alors que la couverture herbacée protège les berges voire les atterrissements (Piégay *et al.* 2003), n'a évidemment pas la même capacité morphogène que si elle survenait en hiver.

Débits solides✓ *Les modalités du transport solide*

Pour rappel, la charge sédimentaire d'un cours d'eau comprend :

- la charge de fond,
- la charge en suspension,
- la charge en solution.

Seule les deux premières feront l'objet de cette étude ; la charge en solution n'est pas significativement impactée par les modifications du lit.

S'il s'agissait de délimiter le *Très Bon Fonctionnement*, il serait sans doute opportun d'étudier l'ensemble du bassin versant, sa couverture végétale et l'érodabilité des sols (érosivité des pluies, rôle de la pente des parcelles, etc.). Néanmoins, l'essentiel des débits solides étant aujourd'hui issu des fonds et des berges des cours d'eau, nous nous limiterons pour la délimitation du *Bon Fonctionnement* au débit solide issu des cours d'eau et de leurs marges. Nous négligerons également le débit solide dissous.

Les classes de sédiments le plus souvent adoptées sont celles de Wentworth, à savoir :

dénomination	Limite inférieure (mm)
Blocs	256
Pierres	16
Galets	4
Graviers	2
Sables grossiers	0,5
Sables moyens	0,25
Sables fins	0,063
Limons	0,0039
Vases	<0,0039

Figure 5 : classe de sédiments selon Wentworth

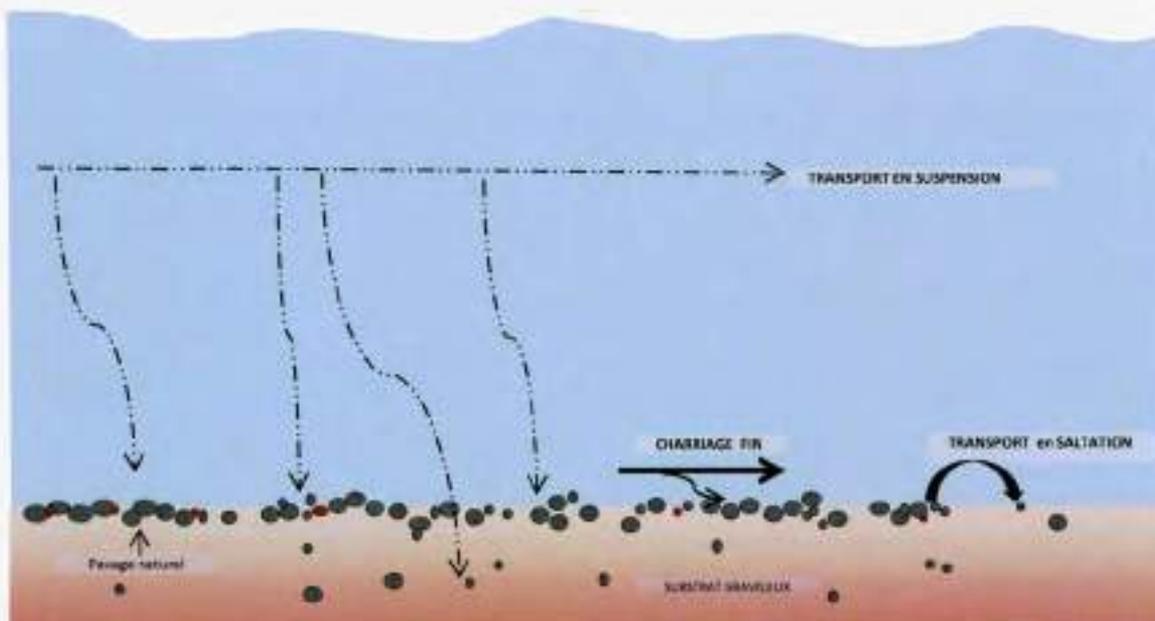


Figure 6 : les types de transport solide (d'après Lachat, *et al.* 2003)

Ces modes de transport concernent plus ou moins les éléments fins et grossiers en fonction des évolutions des vitesses de transports d'une crue à l'autre mais également au sein d'un même événement (fig. suivante).

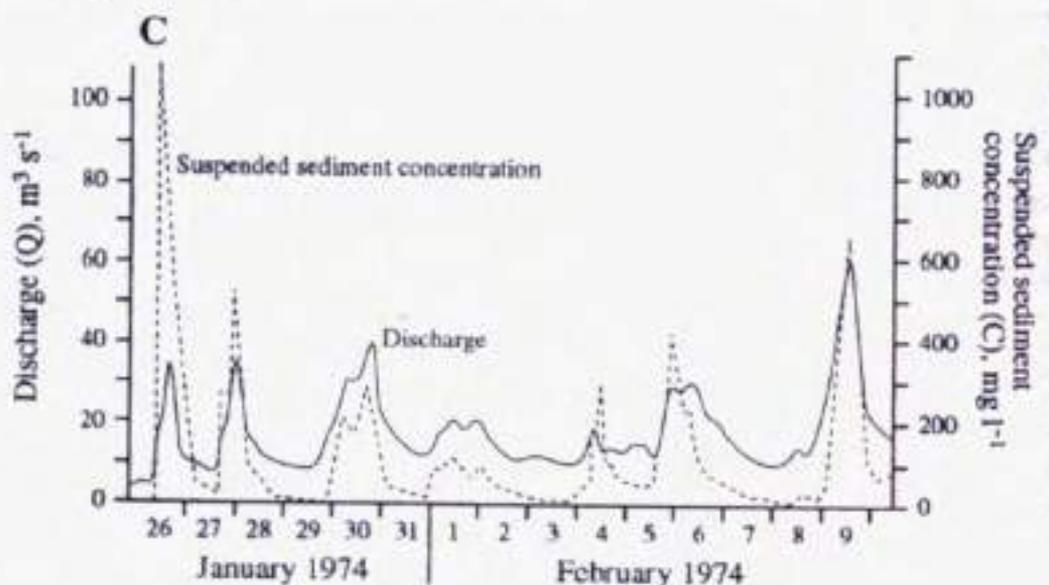


Figure 7 : efficacité variable des crues sur le transport en suspension en fonction de leur succession (Reid *et al.*, 2003)

Le transport solide est évidemment très variable dans ses quantités et dans ses modalités en fonction du climat, de la géologie, de la couverture des sols, des pentes du bassin (cf. fig. ci-dessous).

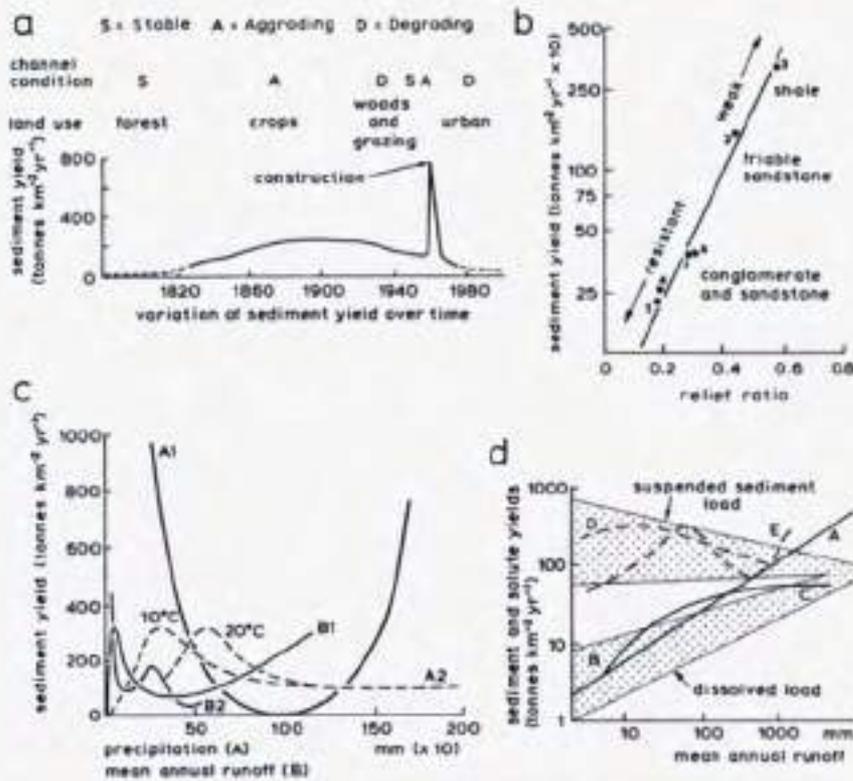


Figure 2.6 (a) Temporal change in sediment yield in the Piedmont region, USA (after Wolman, 1967). (b) The sediment yield–relative relief relationship (after Schumm, 1954). (c) Various relationships of sediment yield to mean annual precipitation (Fournier, 1960, curve A1), effective precipitation (Langbein and Schumm, 1958, curve A2) and runoff (Douglas, 1967, curve B1, and Judson and Ritter, 1964, curve B2). Note that runoff values represent precipitation less evapotranspiration and infiltration. (d) The balance between sediment and solute yields. Curve A, Livingstone (1963); curve B, Van Denburgh and Feth (1965); curve C, Langbein and Dawby (1964); curve D, Langbein and Schumm (1958); curve E, Douglas (1967).

Figure 8 : évolution de la charge sédimentaire dans le temps (a), en fonction du relief (b), en fonction des précipitations (c) et relation charge dissoute et charge solide (Richards, 1982)

Bien qu'il ait été démontré que les variations peuvent être très fortes en fonction des saisons (précipitations de nature et de volumes différents, couvertures des sols variables, variation de la perméabilité des sols, etc.), ces distinctions sont *a priori* négligeables pour remplir les objectifs de notre mission.

✓ *Le débit seuil*

On peut en effet considérer que le lit des cours d'eau, en dehors de toute intervention anthropique sur son gabarit, s'adapte naturellement au débit le plus morphogène, celui qui domine les autres par l'efficacité de sa relation puissance/fréquence. Dans ce cas, le débit de pleins bords semble être un bon compromis pour estimer le débit dominant, soit le débit témoin d'un « bon fonctionnement morpho-dynamique ».

Néanmoins, si l'on veut appréhender la fonction du transit sédimentaire, il est intéressant de considérer le débit⁴ à partir duquel une charge solide donnée est mise en mouvement ; en fonction de la classe granulométrique, les enjeux de « bon fonctionnement » peuvent être variables : colmatage, auto-épuration (vases, limons, sables), frai (sables, graviers), pavage (pierres, galets), etc.

Il faut aussi considérer qu'en fonction du gabarit du cours d'eau les conditions hydrauliques dans la section mouillée seront plus puissantes pour un cours d'eau de gros gabarit que pour un cours d'eau de faible gabarit. La contrainte tractrice (τ) permet d'estimer les modes dominants de comportement de la charge sédimentaire selon sa granulométrie :

- les matériaux fins sont transportés pour les valeurs de τ moyennes, fortes et très fortes,
- les matériaux grossiers sont transportés pour les valeurs de τ fortes à très fortes.

Pour simplifier on suivra la démarche suivante, basée sur les valeurs seuils définies par Ramette (1981) (in Degoutte, 2006) pour les rivières à sable, on peut proposer le tableau suivant mettant en relation la valeur de la contrainte tractrice et les phases de dépôt ou de transport :

Rivières à sables :

	diamètre	T <= repos	T =charriage	T =suspension	T* = erosion	T* = charriage	T* = suspension
matériaux fins	0,0625 mm	0,045	0,25	2,63	0,05	0,25	< 0,25
fins à grossiers	2 mm	1,46	8,09	84,17	0,05	0,25	< 0,25
granulats	8 mm	5,83	32,37	336,68	0,05	0,25	< 0,25

Figure 9 : relations entre la contrainte tractrice et les phases de dépôt ou de transport selon les seuils définis par Ramette (1981) pour les rivières à sable

Pour les rivières à graviers, le grain serait mobilisé pour une valeur de $\tau^* \geq 0,047$ dans le cas d'une granulométrie uniforme et $\geq 0,138$ pour une granulométrie étalée. Cela supposerait donc des valeurs de T pour la mobilisation des graviers entre 1,46 (2mm, limite inférieure des graviers) à 4,5 (8 mm, limite supérieure des graviers).

Pour simplifier, on pourra retenir l'échelle suivante :

⁴ Larras (1972) recommande de ne plus utiliser la notion de vitesse de début d'entraînement des particules (comme celle de la célèbre et ancienne figure de Hjulström) qui ne considère pas la hauteur de la colonne d'eau

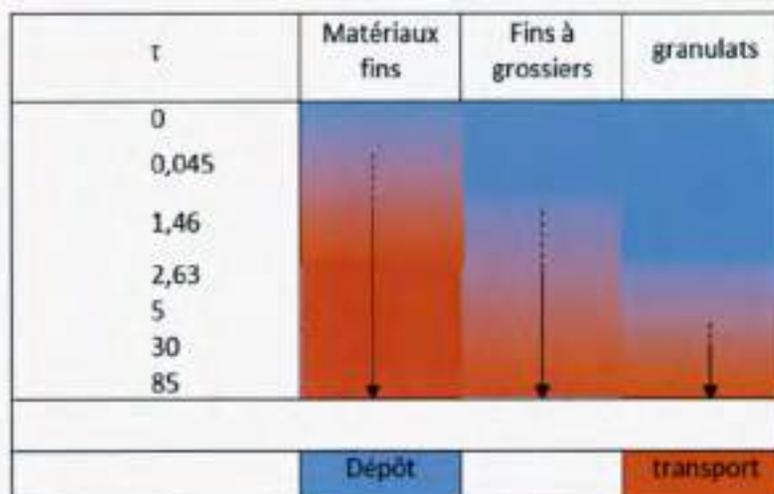


Figure 10 : schématisation des valeurs de contrainte tractrice pour le début d'entraînement de trois types de matériaux (in Fluvial.IS, 2014)

Nous avons pu démontrer sur une dizaine de sites de référence du bassin versant de l'Ornain que les valeurs seuils de mobilisation du grain moyen sont de plus en plus proches du débit dominant à mesure que la pente diminue (Charrier *et al.*, 2014).

Sur ces cours d'eau du bassin de la Saulx (55), il avait également été montré que si les matériaux de granulométrie médiane (D_{50}) étaient mobilisables une quarantaine de jours par an, la fréquence de transport des vases, sables ou graviers était beaucoup plus importante (réf. *ibid*) :

Types de sédiments	% Q_s/Q_{pb}	Fréquence moyenne	Nombre de jours où le débit seuil est atteint par an sur le BV
Vases (<0,063mm)	0,05 %	<0,01	364 jours par an
Sables (0,063-2mm)	0,6 %	0,02	359 jours par an
Graviers (2-8mm)	26%	0.66	125 jours par an
D_{50}	52%	0.89	42 jours par an

A cette occasion, on avait pu noter que sur les 16 profils étudiés nous trouvons un rapport entre la crue biennale et la crue de pleins bords de telle sorte que :

$$Q_{pb}=0,76Q_2$$

ce qui correspond à ce que l'on trouve dans la littérature. Par contre, il ressort de ces estimations que le transport solide défini par le débit seuil (Q_s) est beaucoup plus fréquent que la seule crue de retour 1 à 2 ans, surtout lorsqu'on considère les sédiments les plus fins. En fonction des granulométries, on peut proposer les relations moyennes suivantes :

Q_s/Q_{pb}	Granulométrie considérée pour Q_s	Q_s/Q_{pb}	Q_s/Q_2
$Q_{pb}=0.76Q_2$	D_{50}	$Q_{sD50}=0.52Q_{pb}$	$Q_{sD50}=0.39Q_2$
	Graviers	$Q_{s\ gravier}=0.26Q_{pb}$	$Q_{s\ gravier}=0.20Q_2$
	Sables	$Q_{s\ sables}=0.006Q_{pb}$	$Q_{s\ sables}=0.005Q_2$
	Vases	$Q_{s\ vase}=0.0005Q_{pb}$	$Q_{s\ vases}=0.0004Q_2$

Pour des conditions de débits comparables, une diminution de la pente agit directement sur la vitesse au fur et à mesure que la section augmente. Logiquement donc, le transport est donc de moins en moins fréquent lorsque la pente diminue quel que soit le matériau concerné. Cela est toutefois au moins en partie compensé par la diminution progressive de la taille des matériaux concernés.

Par exemple, sur le bassin étudié (Saulx – Orvain), les sables peuvent être transportés quasi toute l'année (cours d'eau à pente > 2‰) et entre 330 et 340 jours dans l'année (cours d'eau de pente <1‰). Les graviers sont transportés plus 200 jours (cours d'eau à pente > 2‰) ou moins de 50 jours dans l'année (cours d'eau de pente <1‰).

Pour les choix de gestion du transport solide, cela signifie donc que les mesures destinées à assurer la continuité sédimentaire devront être assurées plus souvent dans l'année pour les classes de matériaux fins que pour les classes de matériaux grossiers.

Toutefois, le transport en suspension des matériaux fins permet également un franchissement plus aisé que le transport par charriage qui concerne surtout les matériaux plus grossiers (graviers, galets, pierres).

Enfin, il faut aussi rappeler que l'essentiel du volume transporté en suspension le serait pendant des débits dont la fréquence serait de 3-4 jours par an (Webb&Walling, 1982, in Bravard et al. 1997).

La pente significative

✓ La pente du fond de vallée

La pente du cours d'eau est en premier lieu déterminée soit par le substratum lorsqu'il est affleurant (torrents, cours d'eau torrentiels, cours d'eau sur pellicule alluviale incomplète), soit par le niveau de couverture alluviale, héritage des dépôts fluviaux généralement holocènes. Ce « plancher alluvial » correspond à une situation d'« équilibre avec le cours d'eau qui la façonne par érosion latérale et sédimentation » (Bravard et al., 1997). Même si des phénomènes d'exhaussement verticaux des fonds de vallée peuvent être évoqués à l'échelle mondiale, ce n'est pas suffisamment le cas dans les régions tempérées, et encore moins sur le bassin Rhin-Meuse pour que cela puisse être ici retenu.

La pente du fond de vallée est bien un des facteurs déterminant du style fluvial naturel du cours d'eau imposant un cadre au style fluvial qui devra s'y adapter (fig. ci-dessous).

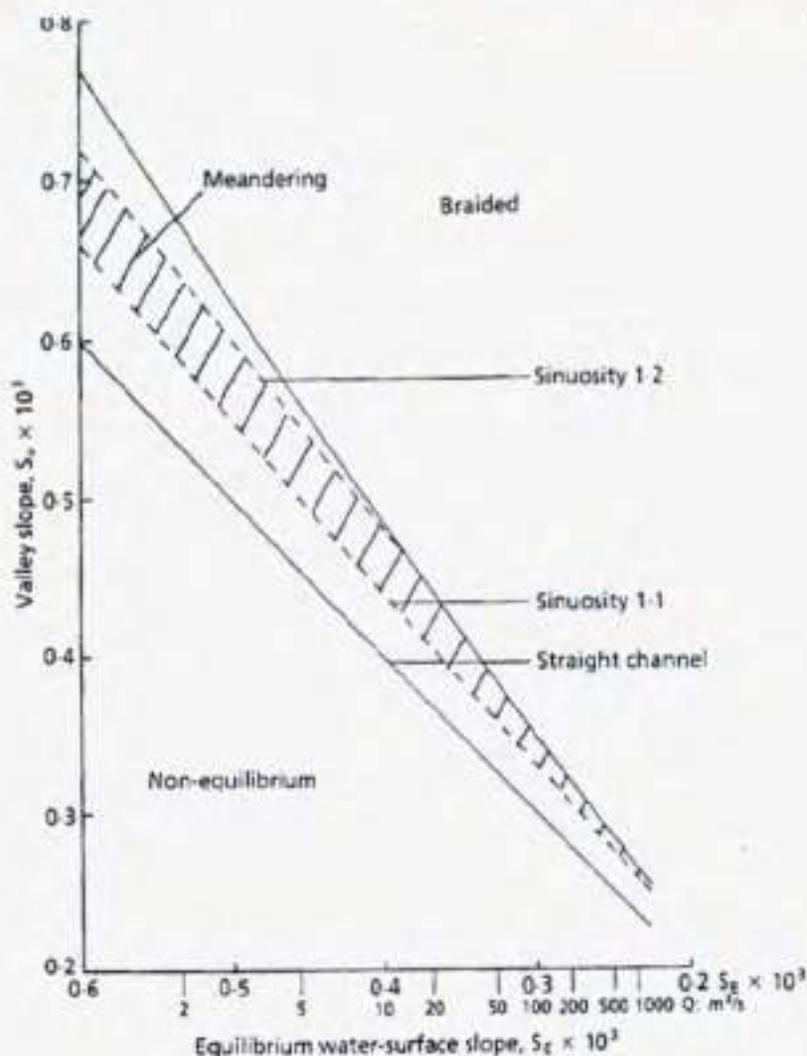


Figure 11 : relation entre la pente du fond de vallée et la pente de la ligne d'eau pour les cours d'eau rectilignes, à tresses, ou méandriformes (Bettes, 1994)

✓ La pente du lit mineur

Au préalable, si l'on considère les débits les plus morphogènes, on considèrera que les variations de niveau observables à l'étiage ou au module du fait des alternances radiers / mouilles sont lissées en crue, qu'elles atteignent ou non le débit de pleins bords.

La sinuosité des écoulements dans un chenal unique ou dans un chenal à tresses sera donc le principal modérateur de la pente du cours d'eau par rapport à celle du plancher alluvial. A l'instar de J.-C. Brice (1964), on peut reprendre la terminologie déterminée par le rapport longueur du lit mineur / longueur de l'axe de la bande de méandrage à vol d'oiseau :

- chenaux rectilignes : Sinuosité < 1,05 ;
- chenaux sinueux : sinuosité de 1,05 à 1,5 ;
- chenaux à méandres : sinuosité > 1,5.

Des relations ont été recherchées depuis longtemps entre la pente du cours d'eau et le débit pour déterminer le type de cours d'eau (Bettes, 1994, Schumm, 1977).

La sinuosité se développe à des rythmes différents et prend donc des proportions variables en fonction des types de cours d'eau. Parmi les cours d'eau dont les sinuosités sont appelées à se recouper, on distingue les coupures par tangence des coupures par déversement (Bravard *et al.*, 1997).

Dans le détail, historiquement on peut distinguer différents rythmes dans le processus de développement des méandres (fig. ci-dessous).

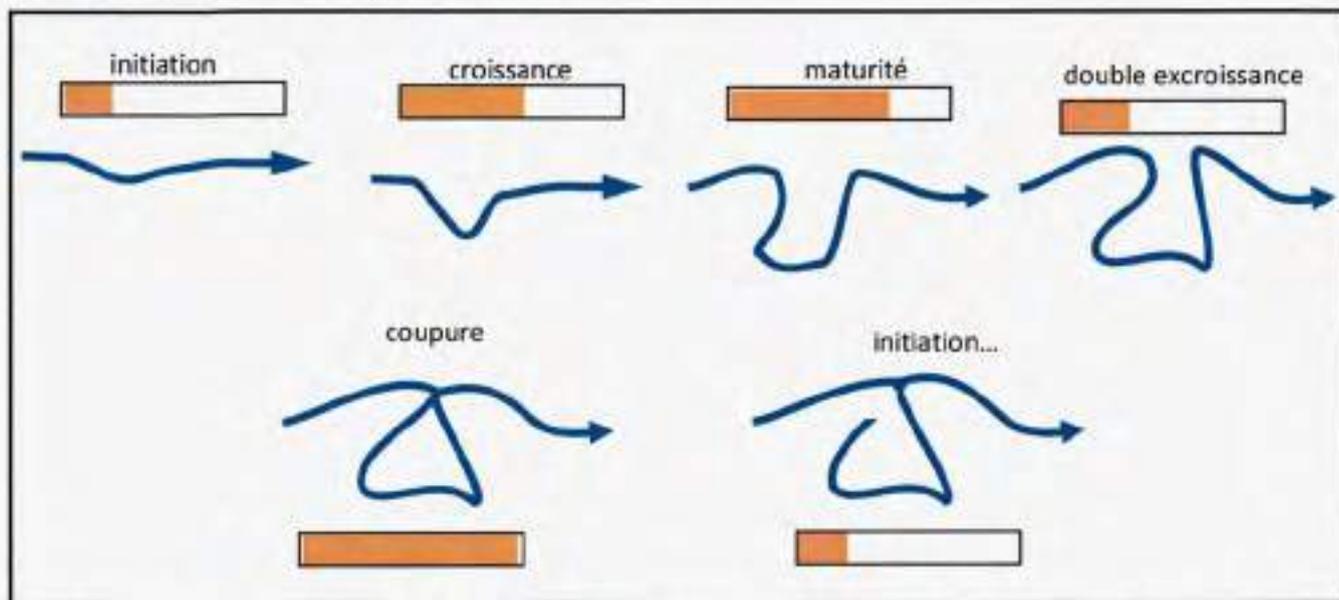


Figure 12 : les différentes étapes du développement d'un méandre de son initiation à sa coupure (modifié d'après Hooke, 1995). Les figurés orangés indiquent l'intensité des phénomènes d'érosion latérale

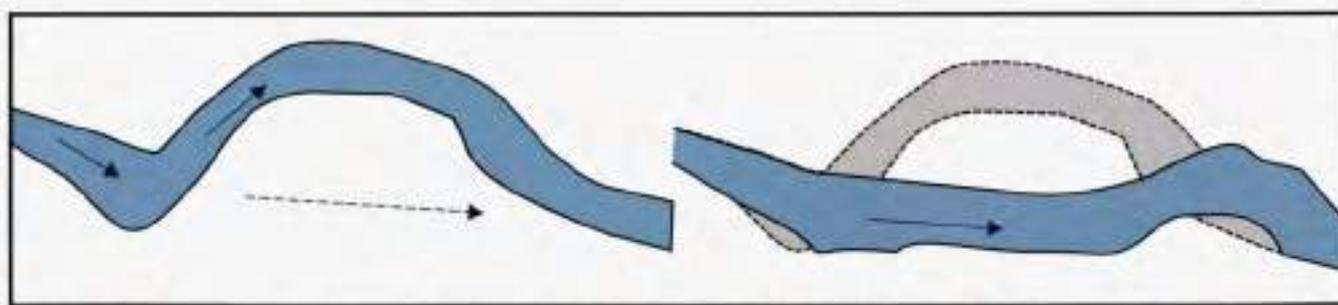


Figure 13 : le phénomène de coupure par déversement : la sinuosité n'a pas le temps d'atteindre le développement d'un véritable méandre : les chenaux de crue grâce à la puissance du cours d'eau se creusent jusqu'à permettre la simplification de la sinuosité en quelques événements seulement

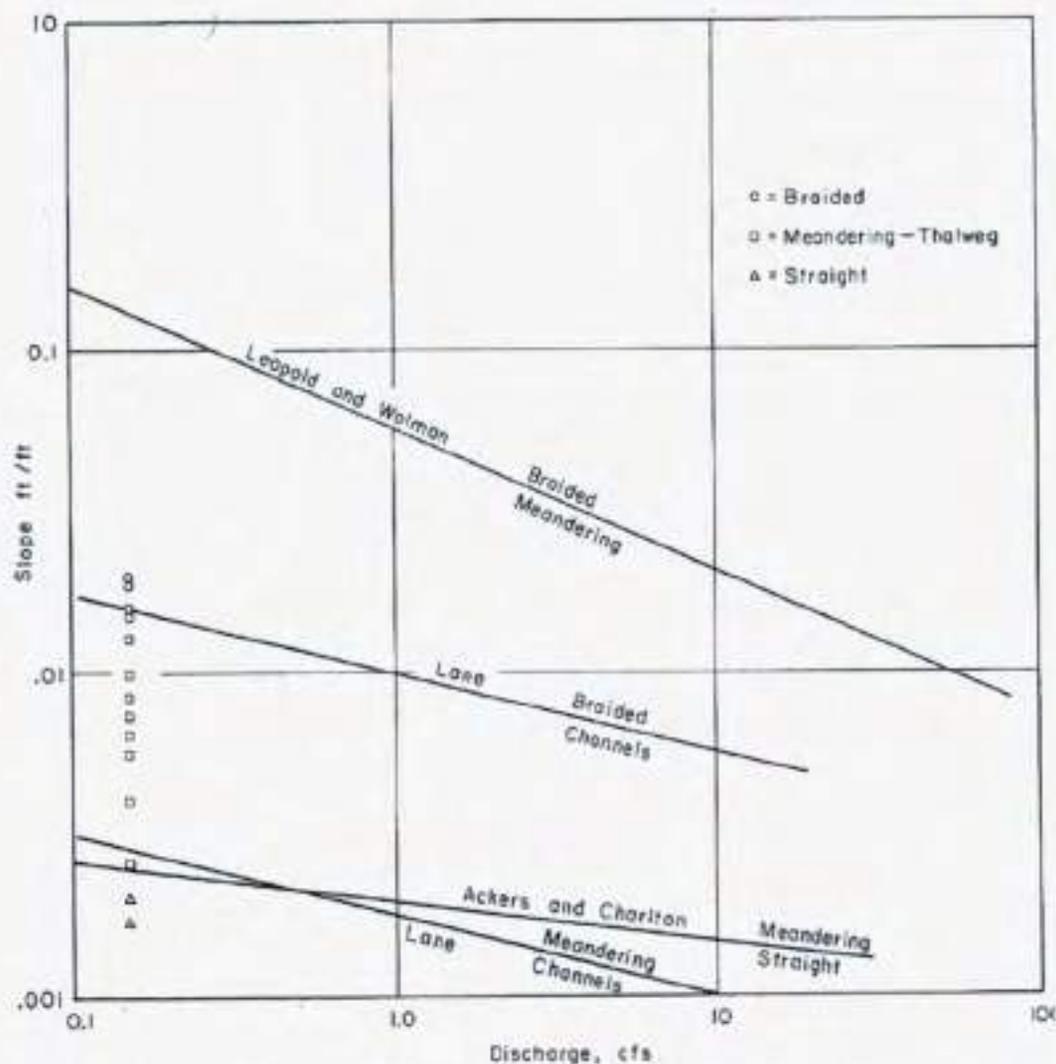


Figure 14 : seuils de définition des cours d'eau méandriformes, en tresses ou rectilignes selon plusieurs auteurs (Schumm, 1977)

Les variations de pente à l'occasion des évolutions historiques des lits (coupures, développements de nouveaux méandres font varier les capacités d'érosion ou de transport de la rivière). On constate avec l'allongement des méandres une augmentation des occasions de dépôt (convexités, formation d'îlots, élargissements du lit). A la suite de la coupure de méandre, l'augmentation de la pente est alors favorable à la recharge sédimentaire, puis au dépôt à l'aval qui favorisera à son tour un élargissement du lit, puis une reprise de sinuosité...

La cohésion des berges

La capacité de résistance des berges à l'érosion est dépendante à la fois de la cohésion du matériau, de sa masse et de l'agencement des différents horizons de la couverture alluviale.

✓ Cohésion du matériau

A la taille du matériau de berge, il faut ajouter son pouvoir cohésif pour estimer sa capacité à être mobilisé. Du fait de la cohésion entre les particules les plus fines, la vitesse critique d'érosion (V_{cr}) n'est pas linéaire (tableau ci-dessous) (d'après Hoffmans *et al.* 1997, in Hochwasserschutz Handbuch) :

V_{cr} (m/s)	Vitesse critique d'érosion	Tirant d'eau
0,4	sable limoneux, limon, non stabilisés	1
0,8	sable faiblement limoneux, densité moyenne	1
1,2	argile faiblement limoneux, stable	1
0,5	argile fortement limoneux, faible épaisseur	3
1	argile fortement limoneux épaisseur moyenne	3
1,5	argile fortement limoneux, stable	3
0,6	argile de faible épaisseur	10
1,3	argile épaisseur moyenne	10
1,9	argile solidifié	10

Tableau 1 : évolution de la vitesse critique d'érosion en fonction du tirant d'eau mettant en valeur la cohésion des matériaux les plus fins (In Hoffmans *et al.* 1997)

Larras (1977) avait également rappelé la possibilité d'utiliser la contrainte tractrice (τ) pour la comparer à la contrainte tangentielle critique (τ_0) afin de connaître le long des talus les points les plus facilement érodables. Mais en milieu naturel, la pertinence de ces calculs théoriques reste problématique car il n'est pas fréquent d'avoir un milieu uniforme au sein d'une même structure de berge.

✓ Structure de la berge

Non seulement la cohésion du matériau constitutif des berges, mais également son organisation le long du talus de berge sont déterminantes pour la remobilisation du stock alluvial qui constitue aujourd'hui l'essentiel du transport solide grossier des cours d'eau.

Selon que la berge est plus friable à la base qu'au sommet, très friable sur toute la hauteur, cohésive sur toute sa hauteur mais surmontée d'un horizon plus perméable, les processus de déstabilisation peuvent être très variables (fig. ci-après).

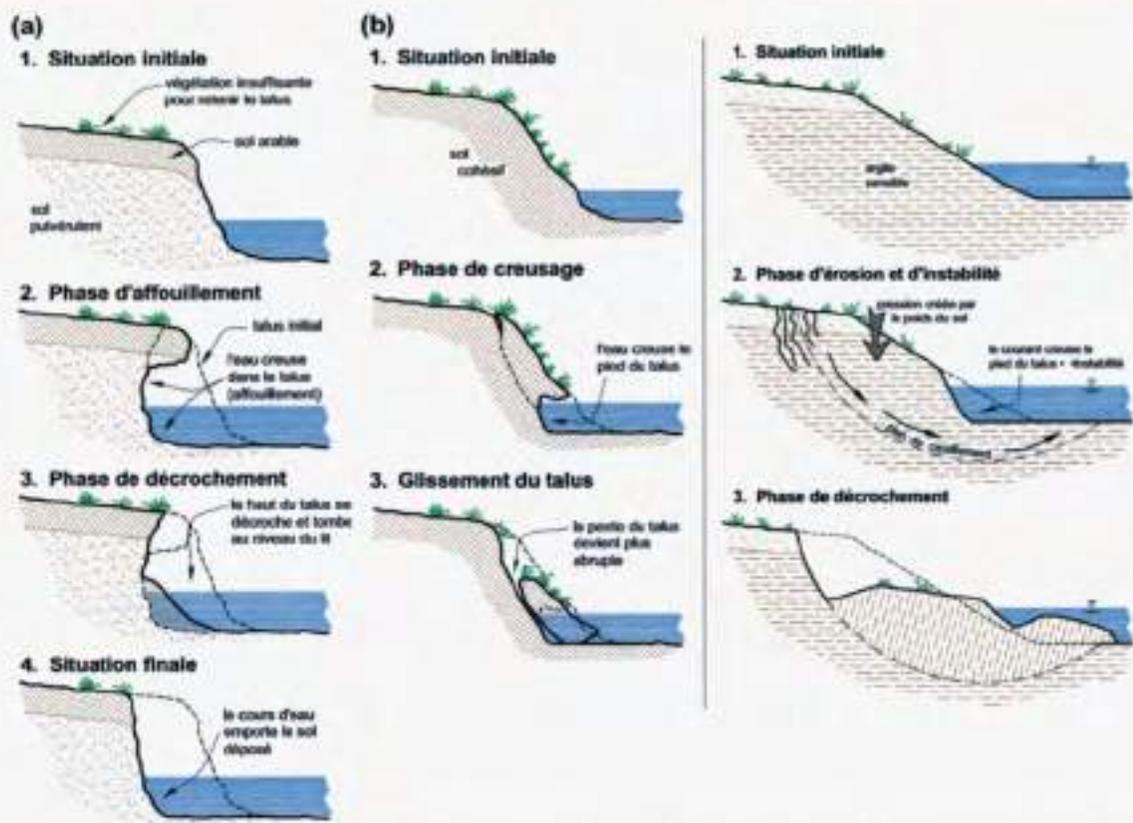


Figure 15 : différents processus de déstabilisation de berge en fonction de la structure du talus (d'après Cazalais et al., 2008)

Pour permettre son traitement statistique nous avons testé un indice organisé comme suit :

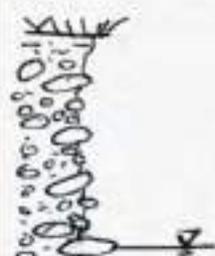
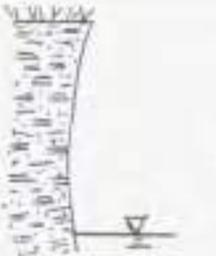
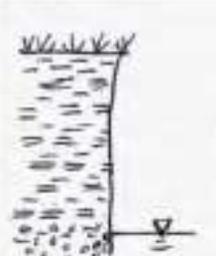
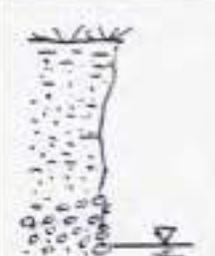
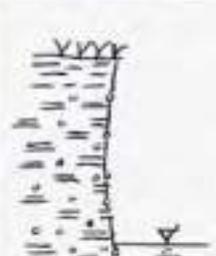
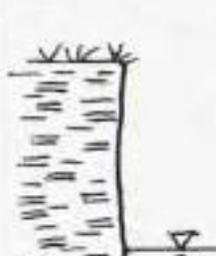
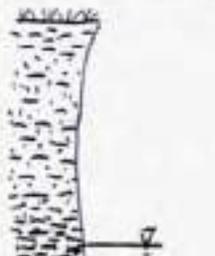
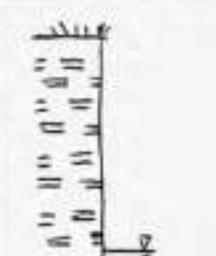
 <p>1 à 0.9</p> <p>Texture graveleuse (graviers et galets) à matrice sableuse</p>	 <p>5 à 5.9</p> <p>Texture sablo-argileuse à limono-argileuse (avec passé graveleux); ou sablo-argileuse à limono-argileuse</p>
 <p>1 à 1.9</p> <p>Texture graveleuse (graviers) à matrice sableuse; horizon sablo-limoneux en haut de berge (1/3)</p>	 <p>6 à 6.9</p> <p>Texture argilo-limoneuse à argileuse (avec passée graveleuse)</p>
 <p>2 à 2.9</p> <p>Texture graveleuse (majoritairement graviers) à matrice sableuse en pied de berges (surmontée 1/3 sablo-limoneux)</p>	 <p>7 à 7.9</p> <p>Texture argilo-limoneuse avec éléments grossiers non jointifs</p>
 <p>3 à 3.9</p> <p>Texture sableuse à sablo-graveleuse</p>	 <p>8 à 8.9</p> <p>Texture argilo-limoneuse à argileuse (sans éléments grossiers non jointifs)</p>
 <p>4 à 4.9</p> <p>Texture sablo-limoneuse</p>	 <p>9 à 10</p> <p>Texture argileuse ou rocheuse</p>

Figure 16 : abaque de notation de la cohésion des berges en fonction de leur structure

La cohésion des fonds

✓ Les affleurements du substratum

Selon que le cours d'eau s'écoule sur un fond d'origine sédimentaire holocène, mobilisable, ou sur des affleurements du substratum (à moins que celui-ci soit friable), la résistance des fonds à l'érosion contrôlera la pente, mais également le profil en travers du lit mineur. En opposant une meilleure résistance, les fonds reporteront alors l'érosion du lit sur les berges, favorisant une expression plus dynamique de la mobilité latérale.



photo 2: à gauche le Weissbach (57) s'est incisé dans ses alluvions holocènes et aujourd'hui érode les grès friables du Bundsandstein sans que ceux-ci ne parviennent à stopper le processus. A droite, la Marne à Vésigneul (51) juste à l'amont d'un seuil de fond sur des marnes calcaires développe des méandres d'une extrême mobilité.

✓ *Le pavage*

Le tri des sédiments en fonction de leur taille se fait non seulement de l'amont vers l'aval (en fonction de la diminution progressive de la pente), du lit mineur vers le lit majeur (en fonction de la diminution progressive de l'énergie des courants lors des crues débordantes), mais également au sein même des atterrissements de granulats.

Du fait de la fréquence plus élevée des débits faibles à moyens, qui suffisent à transporter les éléments les plus fins, les éléments les plus grossiers sont peu à peu « triés » en surface de l'atterrissement, jusqu'à constituer une couche superficielle de plus en plus résistante à l'érosion, protégeant ainsi les éléments isolés dessous l'« armure » ou le « pavage ».

Lors de la décrue une sélection des sédiments transportés se fait naturellement de la granulométrie la plus grossière (décantée la première) vers la granulométrie la plus fine, décantée la dernière. Ainsi, sur les hauts fonds et sur les radiers, une couche superficielle plus grossière que les niveaux inférieurs finit par être constituée, le pavage. Lors des prochaines crues, il faudra donc une certaine puissance pour réussir à mobiliser à nouveau les sédiments des fonds.



photo 3 : un exemple de pavage sur la Meurthe : la matrice interne de l'atterrissement est constituée de limons, sables et graviers (à droite) alors qu'en surface l'atterrissement est caractérisé par des galets et des pierres (à gauche)

La plupart des spécialistes internationaux sont d'accord pour distinguer l'armure (*armour layer, armouring, armoured bed*) du pavage (*Pavement, paved bed*).

A.-J. Rollet (2008) a réalisé une synthèse bibliographique à ce sujet. D'abord synonymes (Gomez, 1984), les deux termes « pavage » / « armure » ont acquis par la suite une nuance qui tend à réserver « armure » à un phénomène de tri relativement modéré autorisant l'érosion assez facilement de la surface de l'atterrissement, alors que « pavage » décrirait davantage un phénomène moins réversible avec la sélection en surface d'éléments plus difficilement mobilisables. Certains auteurs (Dietrich *et al.*, 1989, Lisle *et al.*, 1993, Buffington et Montgomery, 1999, in Rollet, 2008) estiment que ce tri sédimentaire se réalise lorsque la charge solide est inférieure à la capacité de transport réelle de la rivière (les sédiments les plus fins sont emportés vers l'aval sans être suffisamment renouvelés ; cela correspondrait davantage donc au « pavage »). Pour d'autres auteurs, le tri sédimentaire peut être réalisé par sélection lorsqu'un élément grossier est emporté, il est remplacé par des éléments plus fins qui migrent ainsi progressivement vers le bas (*vertical winnowing*) (Ramez, 1995). Cela correspondrait donc davantage au phénomène « d'armure ». Pour A.-J. Rollet, « ces deux processus (...) sont ainsi fondamentalement différents, l'un, [l'armure], (...) nécessitant le mouvement des grosses particules alors que l'autre, [le pavage], (...) requiert qu'elles ne bougent pas (Klingeman, 1982) ».

Reid *et al* (1997) ont estimé que la valeur médiane de la granulométrie de l'armure est 1,5 à 2 fois plus importante que celle de la couche inférieure, tout en précisant qu'un facteur de 6 n'est pas rare. Les mêmes auteurs ont rappelé également l'effet protecteur des gros éléments sur les éléments les plus fins localisés à l'aval (fig. ci-dessous).

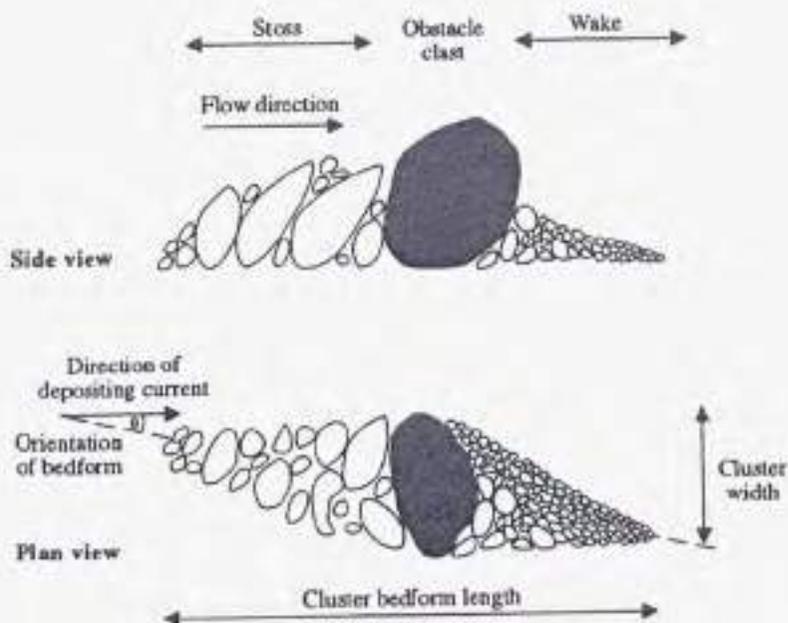


Figure 17 : organisation caractéristique des granulats à l'amont et à l'aval d'un élément plus grossier. En haut, vue en coupe, en bas vue en plan (in Reid et al, 1997)

B. Gomez est arrivé à la conclusion que la distribution granulométrique d'une « armure stable » est largement conditionnée par le débit le plus récent capable de mettre en place le matériel superficiel des fonds (Proffitt, 1980 ; Gomez, 1983, in Gomez, 1995). Elle n'est pas modifiée par des débits de fréquence plus faible, mais si le débit augmente, les fonds seront de granulométrie plus grossière jusqu'au point où la granulométrie superficielle de la charge de fond et la sous-couche soient identiques. A ce moment l'armure sera expulsée.

Par contre une « armure mobile » serait liée à une charge alluviale faible mais continue. Elle fournit la source d'une charge alluviale et facilite les échanges d'éléments entre les sédiments du lit et les écoulements au-dessus par la compensation des différences de mobilité entre les graviers et les particules fines (Parker et al., 1982 ; Parker et Klingeman, 1982 ; Andrews et Parker, 1987, Parker et Sutherland, 1990 in Gomez 1995). A la condition que les granulométries de la charge alluviale et de la sous-couche soient identiques, les fonds prennent une granulométrie plus grossière avec un taux de transport diminuant ; le stade ultime de développement d'une armure mobile est l'apparition d'une armure stable. A l'inverse, lorsque le taux de transport augmente, la granulométrie de l'armure mobile devient de plus en plus fine jusqu'à ce qu'elle soit équivalente à celle de la sous-couche (Gomez, 1995).

Par commodité, on pourra retenir le phénomène d'armure comme conforme à un bon fonctionnement morpho-dynamique et le phénomène plus marqué de pavage comme révélateur d'un dysfonctionnement morpho-dynamique (déficit en transport solide).

Le rôle de la végétation

L'influence de la végétation a été abondamment décrite par les auteurs scientifiques (Piégay, Schumm, Leopold & Maddock, Hey & Thorne).

De nombreuses tentatives ont été réalisées pour estimer la relation entre la largeur à pleins bords et la présence de végétation sur les rives.

Par exemple, S. Schumm (The Fluvial System, 1977) a proposé une relation où la densité de la ripisylve vient accélérer le rôle du débit de pleins bords pour l'évaluation de la largeur des rivières graveleuses ($w=aQ_b^{0.5}$) : le facteur a varie en fonction de l'état de la ripisylve de 4,33 (pas de ripisylve) à 2,34 (ripisylve sur 50% et plus du linéaire considéré). A l'intérieur de cette fourchette, différents auteurs ont depuis tenté des estimations de ce facteur a de la racine carrée du débit à pleins bords dans la relation $w=aQ_b^{0.5}$:

Auteur	a	Etat de la végétation rivulaire considérée
Schumm, 1977	2.34	ripisylve > 50%
Schumm, 1977	4.33	pas de ripisylve
Ferguson 1981	3.15	végétation
Andrews, 1984	4.11	herbacée fine
Andrews, 1984	3.6	herbacée épaisse
Hey & Thorne, 1986	4.33	berge enherbée
Hey & Thorne, 1987	3.33	Ripisylve < 5%
Hey & Thorne, 1988	2.73	ripisylve 5-50%
Hey & Thorne, 1989	2.34	ripisylve > 50%
Huang & Nanson, 1997	2.9	pas de ripisylve
Huang & Nanson, 1997	1.85	ripisylve dense

Afin de caractériser le rôle de la végétation sur la stabilité des rives, nous avons proposé un indice quantifiant de 1 (rôle déstabilisateur maximum) à 10 (rôle stabilisateur) (fig. ci-dessous)

taille de la rivière	ripisylve continue et entretenue	ripisylve non continue mais entretenue	berges hautes, talus enherbés	berges sans végétations	embâcles ponctuels	nombreux embâcles (sans forêt alluviale)	forêt alluviale avec embâcles nombreux
<5 m	10	8	7	5	3	2	1
5-10 m	9	7.5	6	5	4	2.5	1.5
10-30m	8	7	6	5	4	3	2
>30 m	6	5.8	5.3	5	4.7	4.2	4

Figure 18 : modalités de définition de l'indice du rôle de la végétation de rive et du talus sur la stabilité des berges

Estimation du « potentiel de mobilité » du lit mineur

Afin de répondre aux besoins prédictifs des gestionnaires des cours d'eau quant à leur mobilité réelle à court et moyen terme, Fluvial.IS a essayé de construire en plusieurs étapes un modèle d'estimation du potentiel de mobilité du lit mineur des cours d'eau alluviaux :

- 1) Depuis 2003 : en inventoriant et en caractérisant les tronçons pseudo-naturels sur les rivières qu'il nous était donné de parcourir (base de données Fluvial.IS) ;
- 2) en 2010-2012 dans le cadre d'une mission de développement d'une méthodologie prédictive de la mobilité latérale dans le Land de Sarre (Allemagne) ;
- 3) en 2012-2014 : afin de mieux apprécier l'enjeu du transport solide à l'échelle des bassins versants de la Saulx et de l'Ornain, nous avons, en coopération avec l'Institut du Prof. Weibel (hydrologie/hydraulique) poursuivi nos investigations en dynamique fluviale par l'aspect de la caractérisation du transport solide.

✓ Constitution d'une base de données de référence

De multiples études, tant à l'échelle du tronçon qu'à l'échelle du bassin, nous ont montré que la prise en compte d'un seul paramètre (amplitude des trains de méandres, largeur à peins bords, etc.) ne permet pas de prévenir l'évolution des processus avec une précision suffisante pour la gestion concrète des cours d'eau. Même l'indice pourtant synthétique de la puissance fluviale spécifique (qui prend en compte, la pente, le débit et le gabarit de la rivière) ne présente pas de corrélation convaincante avec la mobilité constatée. Certaines rivières peu puissantes se révèlent assez mobiles, alors que d'autres tout aussi énergiques n'évoluent que très peu.

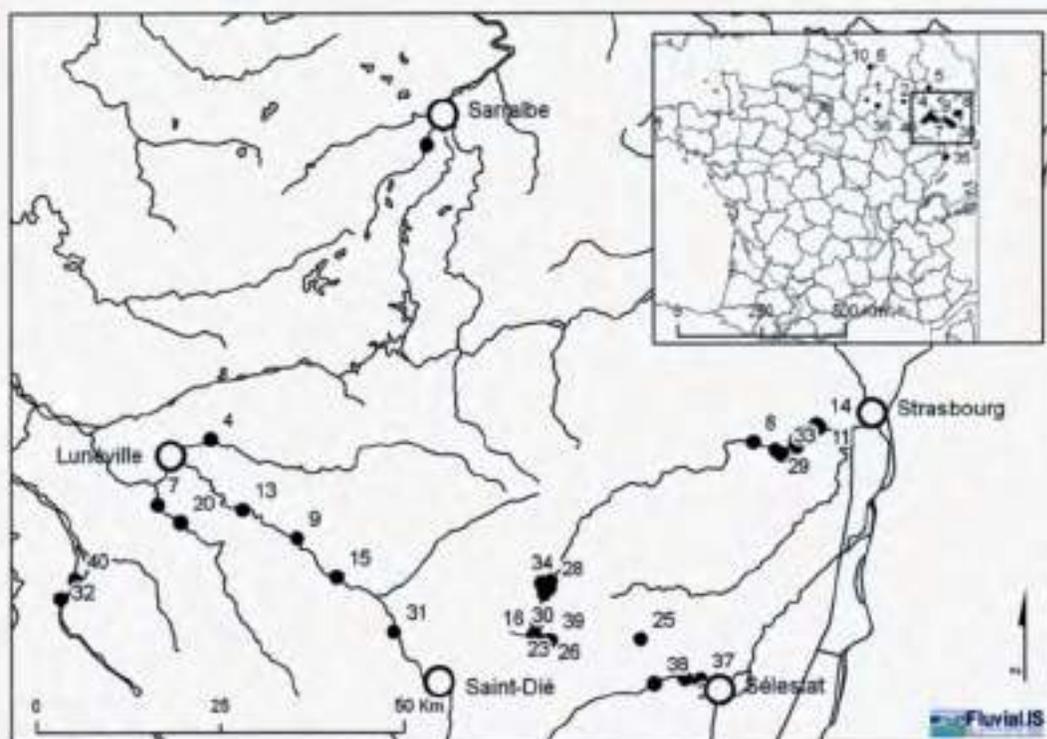


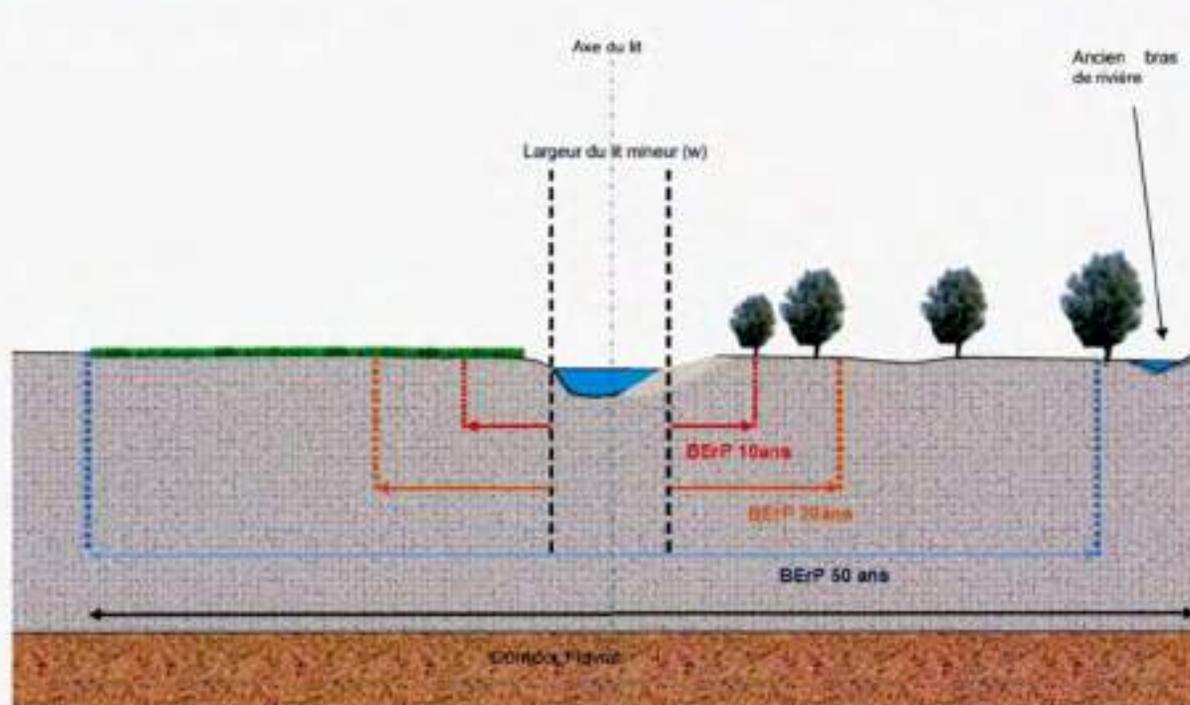
Figure 19 : carte de localisation des sites de références inventoriés en 2010 (France et Suisse)

✓ *Méthode de définition du potentiel de mobilité (Entwicklungspotential)*

Dans ce land allemand qu'est la Sarre, les cours d'eau sont pour la plupart de faible gabarit (largeur < 15m) et ont systématiquement fait l'objet de rectifications dans le passé; ils ont ensuite été intensivement entretenus jusque dans les années 1930-1950. Une nouvelle méthode a été proposée afin d'estimer le potentiel de mobilité de ses rivières alluviales. Elle s'appuie sur l'étude de la mobilité latérale de 61 tronçons de rivières situés dans le Land de Sarre, dans le nord-est de la France et en Suisse ainsi que sur l'utilisation de trois indices qui décrivent les variables de contrôle majeures des cours d'eau : il s'agissait de l'indice de puissance fluviale à pleins bords (décrit notamment la pente du lit, le débit dominant et la largeur du lit), de l'indice de structure de berge (nature et cohésion des berges) et de l'indice du rôle de la végétation rivulaire sur la stabilité des berges.

Ces trois indices ont été synthétisés dans un « indice de mobilité potentielle ». Les vérifications réalisées entre l'indice de mobilité potentielle estimé (théorique) et la mobilité historique (réelle) avaient permis de vérifier un coefficient de corrélation satisfaisant pour expliquer l'essentiel de la mobilité sur les tronçons de référence.

Ces résultats nous ont permis d'ouvrir des perspectives intéressantes en matière de gestion des fonds de vallée et du risque d'érosion latérale.



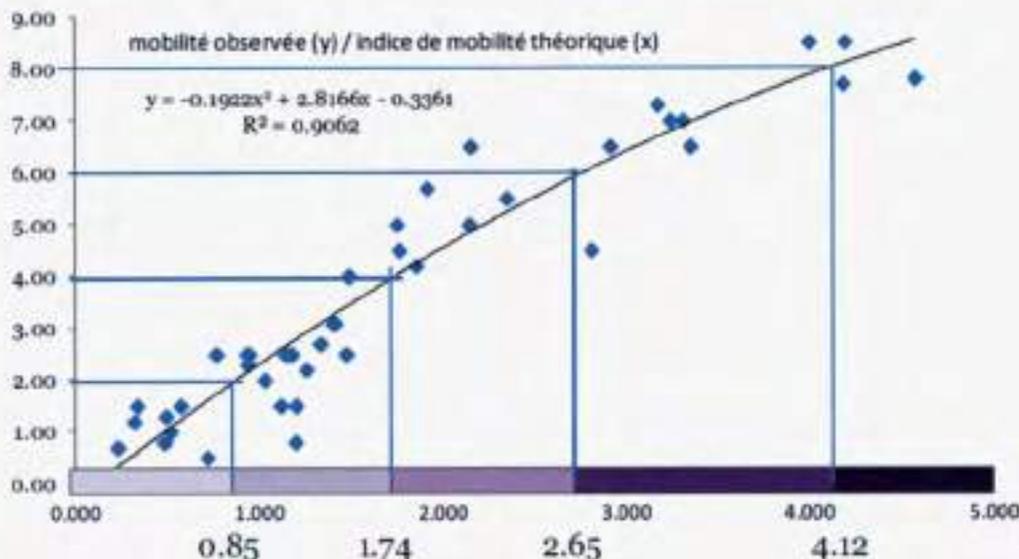
Fluvial.IS

ArbeitskreisGewässer Prof. Löffler

45

Figure 20 : Les trois espaces de mobilité potentielle théorique (Mpot) définies lors de l'étude réalisée par le Land de Sarre : une corrélation avait été démontrée entre la mobilité historique et la mobilité théorique (espace de mobilité à 10, 20 et 50 ans)

- ✓ Développement d'un modèle d'estimation du transport solide à l'échelle d'un bassin (Saulx-Ornain)



Un modèle d'évaluation du transport solide a été mis au point par notre bureau d'études pour l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (2012-14).

Celui-ci se base sur les caractéristiques naturelles des cours d'eau – les variables de contrôle que l'on peut tirer des sources suivantes :

Données de base	Données nécessaires
Type Géostруктурал	Géologie, pente
Pente de la vallée/des berges	Interprétation des cartes IGN, données MNT
Structure des berges	Prospection de terrain, géologie, études précédentes
Débit biennal	Données Banque Hydro pour station du bassin, données études précédentes
Rôle de la Végétation	Photo-interprétation des orthophotoplans, études précédentes

A partir de ces données, il est possible de déterminer le **style morpho-dynamique théorique du cours d'eau** (rivières sans traces d'érosion et de dépôts / rivières à forte sédimentation).

Cet indice est obtenu à partir d'un rapport entre le type géostруктурал et la cohésion observée des berges pour un tronçon ou un cours d'eau.

Classes	Indice	Type de dynamique morphosédimentaire
Transport solide faible	0 - 0.5	Absence d'encoches d'érosion et d'atterrissements ;
	0.5 - 2	Léger comblement des annexes, quelques atterrissements mais végétalisés ;
Transport solide limité	2 - 3	Présence d'encoches d'érosion, les atterrissements sont rares et végétalisés. Les annexes hydrauliques se comblent lentement ;
	3 - 4	Présence d'encoches d'érosion, présence ponctuelle d'atterrissements non végétalisés ;
Transport solide modéré	4 - 5	Les atterrissements et les encoches d'érosion sont présents mais non dominants ;
	5 - 6	Les traces de transport solide (atterrissements non végétalisés, encoches d'érosion) sont fréquentes avec un rythme d'une fois tous les 5/10 fois la largeur du lit ;
Transport solide fort	6 - 7	Nombreux atterrissements, radiers, mouilles, annexes hydrauliques à différents stades de comblement. Alternances mouille/radier avec un rythme de 3/5 fois la largeur du lit ;
	7 - 8	Les atterrissements sont nombreux et alternent avec des mouilles et des radiers avec un rythme élevé (2/3 fois la largeur du lit) ;
Transport solide très important	8 - 9	Les encoches d'érosion représentent environ 30/40% du linéaire de berge. Les atterrissements sont suffisamment importants pour parfois diviser les écoulements à l'étiage ;
	>9 (-10)	Les atterrissements sont importants ainsi que les encoches d'érosion qui représentent environ 50% du linéaire de berge. Les atterrissements divisent souvent les écoulements à l'étiage (tresse) ;

Figure 21 : Classes définies exprimant le comportement sédimentaire des rivières; modèle développé par Fluvial.IS pour l'AESN (2014)

La mobilité potentielle peut également être déduite de ces données générales. Cet indice s'appuie sur la puissance capable de mobiliser les berges du lit mineur, puissance pondérée par la cohésion des berges et le rôle joué par la végétation rivulaire sur leur stabilité.

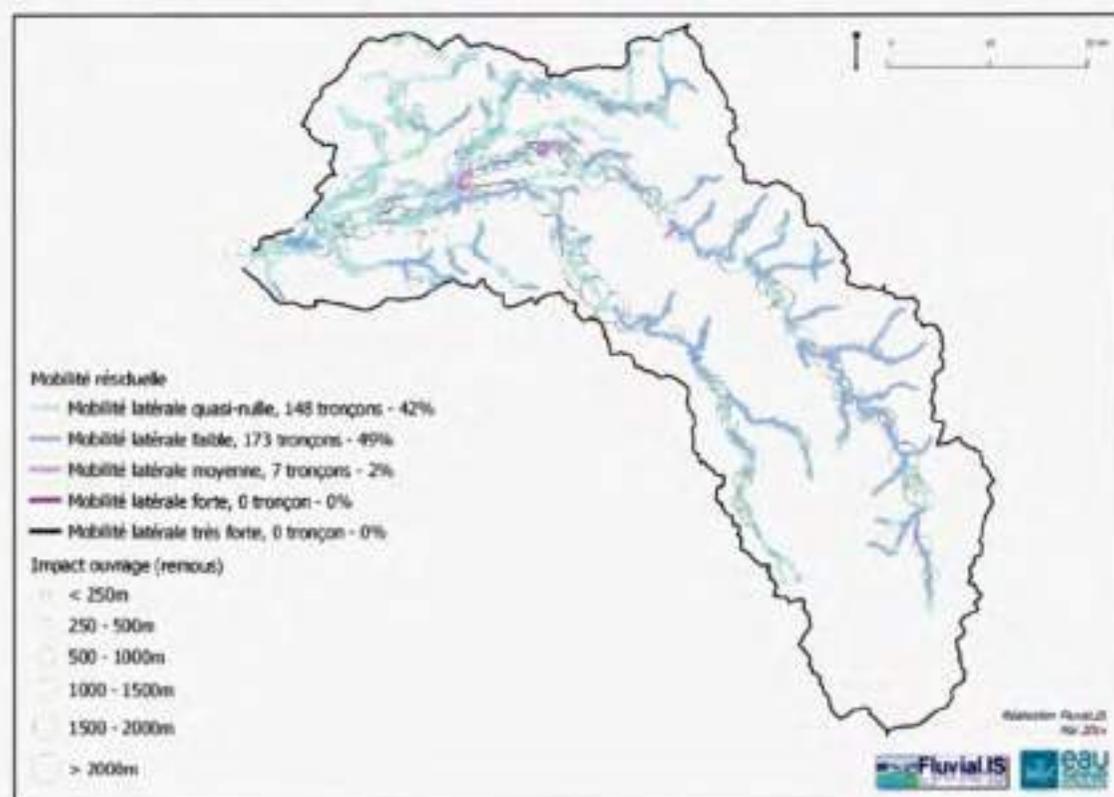


Figure 22 : Exemple de cartographie de la Mobilité actuelle théorique sur le bassin Saulx-Ornain et de l'impact des ouvrages transversaux présents (en fonction du remous qu'ils provoquent) (Charrier et al., 2014)

2.2.2. Hydraulique / hydrologie



Concordance entre le bon fonctionnement hydraulique et le ralentissement dynamique des inondations

Par définition, les surfaces occupées par des alluvions constituent l'espace qui est susceptible d'être submergé par une inondation ; ces surfaces sont en effet planes et, dans le cas où les débits seraient suffisants ou bien qu'un obstacle viendrait encombrer le lit mineur, elles peuvent être inondées (figure ci-dessous). Sur des cours d'eau à faible pente (< 3 ‰), on peut considérer que la zone couverte par les crues moyennes, celle dont les écoulements sont les plus puissants, englobe approximativement la zone la plus dynamique (fig. ci-dessous).



Figure 23 : profil schématique (orangé : alluvions, brun : encaissant) la zone d'expansion maximale des crues (pointillés) est constituée par l'espace plan du fond de vallée, naturellement représenté par les alluvions modernes (hors terrasses). La zone des écoulements les plus forts est représentée par la bande de terrains les plus proches du lit mineur (grande flèche continue), plus les dépressions dans le lit majeur (en général d'anciens lit délaissés par la rivière) (petite flèche continue)

La zone la plus proche du cours d'eau est également en règle générale, l'espace le plus souvent inondé et cela avec les courants les plus violents. Cet espace joue un rôle hydrologique (écrêtement des crues) et hydraulique (diminution des vitesses et des contraintes dans le lit mineur) de premier plan.

La propagation de la crue est naturellement commandée par la pente de la rivière, la rugosité du lit et du fond de vallée, le volume des lits mineurs et des lits majeurs susceptibles d'absorber le volume d'eau en transit.

Capacité du lit mineur

L'augmentation de la capacité du lit mineur a souvent été réalisée afin d'accélérer le transfert des crues vers l'aval, en retardant le débordement. Inversement, l'encombrement du lit par des embâcles, des variations de largeur et de profondeur du lit plus fréquentes, le développement de la végétation et de la sinuosité peuvent favoriser une meilleure répartition des débordements et une meilleure dispersion de la crue (Figure 24).

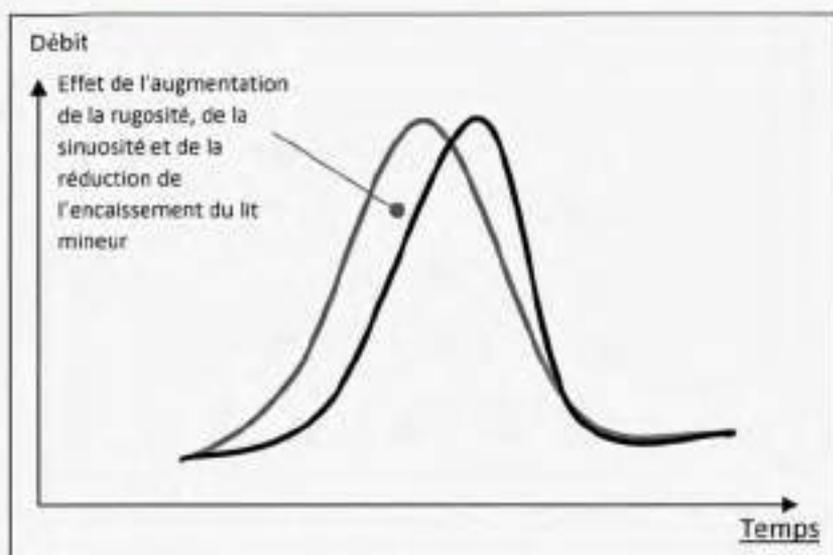


Figure 24 : la restauration du lit mineur en favorisant un débordement plus précoce, permet le stockage momentané d'une partie de la crue qui sera donc décalée dans le temps à l'aval du tronçon restauré. (noir : hydrogramme de crue à faible rugosité et lit rectifié, hydrogramme gris : lit sinueux et rugueux)

Le bon fonctionnement hydraulique du lit mineur est celui qui permet le meilleur équilibre entre l'entretien d'un chenal préférentiel d'écoulement et le débordement lors des événements hydrologiques plus exceptionnels (cf. § 2.2.1).

Les effets directs d'un bon fonctionnement hydraulique du lit mineur sont donc des paramètres morphologiques :

- la rugosité du lit mineur : les opérations de curage réalisées naguère avaient pour objectif principal « d'améliorer » les écoulements vers l'aval, c'est-à-dire d'accélérer les expulsions de débits liquides mais aussi de débits solides en contrebas. En diversifiant les largeurs et les profondeurs, l'augmentation de la rugosité peut permettre de retarder la propagation de la crue au cours de la montée des niveaux d'eau, en favorisant un débordement plus précoce et en retardant les écoulements dans le chenal.
- la sinuosité du lit mineur : elle permet, en abaissant la pente et en allongeant le linéaire, de retarder le temps de parcours de l'onde de crue vers l'aval.
- la réduction de l'encassement : elle favorise un débordement plus précoce, donc un remplissage plus précoce des zones inondables.

Ces mesures ne permettent pas d'agir sur le moment le plus fort de la crue à l'échelle d'un seul cours d'eau. Mais en fonction de la dynamique et de l'horloge des crues à l'échelle du bassin, et de l'arrivée successive des apports des tributaires au drain principal, elles peuvent contribuer à modifier la construction de la crue à l'exutoire (fig. ci-dessous).

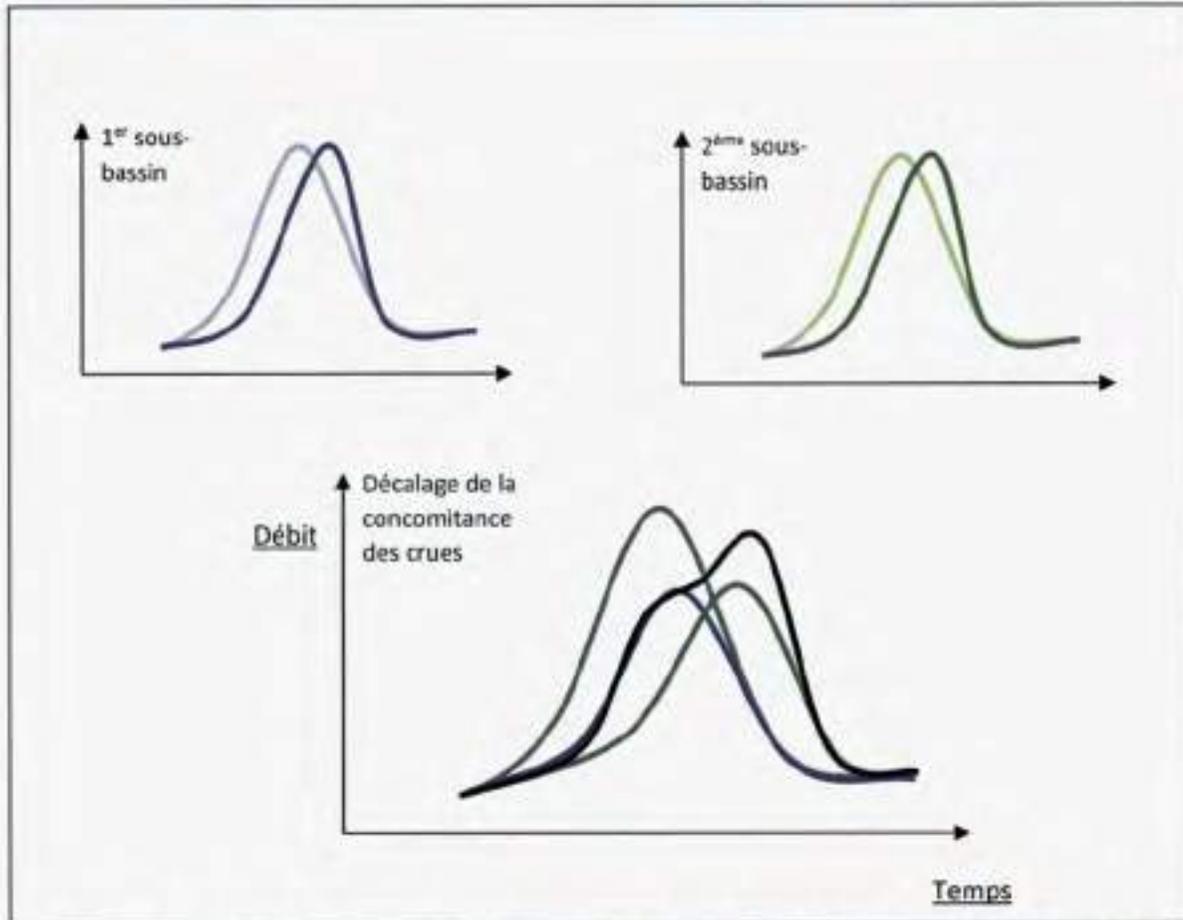


Figure 25 : effet possible de restauration combinée de plusieurs sous-bassins sur la propagation d'une crue : l'hydrogramme noir est décalé par rapport à l'hydrogramme gris, grâce au retard pris par une des deux crues sur un de ses affluents

Capacité de rétention du lit majeur

Outre leurs autres fonctions, les lits majeurs répartis sur l'ensemble de l'amont du bassin jouent un rôle déterminant à la fois pour la préservation de la diversité du lit mineur (cf. § 2.2.1) et pour la répartition équilibrée du volume d'eau d'une crue donnée.

La préservation des zones d'expansion en lit majeur permet en théorie l'écrêtement de la crue par rapport à une situation dégradée (figure ci-dessous).

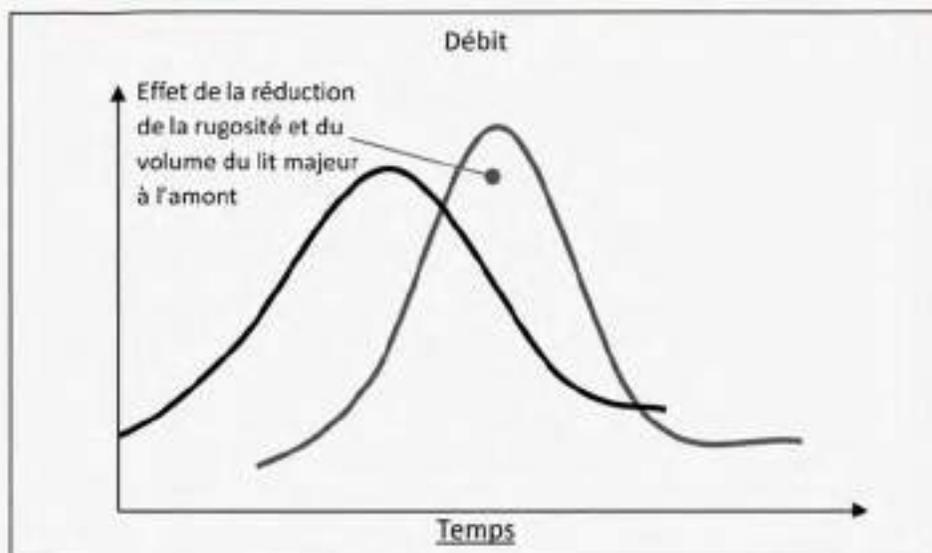


Figure 26 : effet de la rugosité du lit majeur sur le ralentissement de l'onde de crue

Les facteurs limitants du bon fonctionnement hydraulique du lit majeur sont donc (Honecker, 2005) :

- la surface de fond de vallée alluviale inondable (lit majeur exceptionnel) ;
- l'écart entre la rugosité du lit majeur actuel avec la rugosité naturelle ;
- la pente du fond de vallée.

Le remplacement de la forêt d'origine par des milieux agricoles favorise une accélération de la crue. Le retour de la forêt alluviale, en dehors des considérations écologiques, favorise un meilleur fonctionnement géomorphologique et hydrogéologique (Piégay et al, 2003).



Figure 27 : la bande bleutée (5 fois la largeur du lit à partir de chaque rive) correspond approximativement à la limite d'inondation 1-2 m ou la zone inondable à 10 ans modélisée au Val-de-Guéblange (modélisation Aqualis pour DDAF-DDE57, Fluvial.IS 2010).

Il convient donc de préciser :

- 1) la fonction de rétention de crue du lit majeur ;
- 2) la fonction de zone tampon entre le lit majeur et le lit mineur pour la prévention des risques.



La pente du fond de vallée joue un rôle direct sur la capacité d'inondation des crues. On observe une augmentation de la proportion du fond alluvial inondé avec la diminution de la pente de la vallée (fig. ci-dessous).

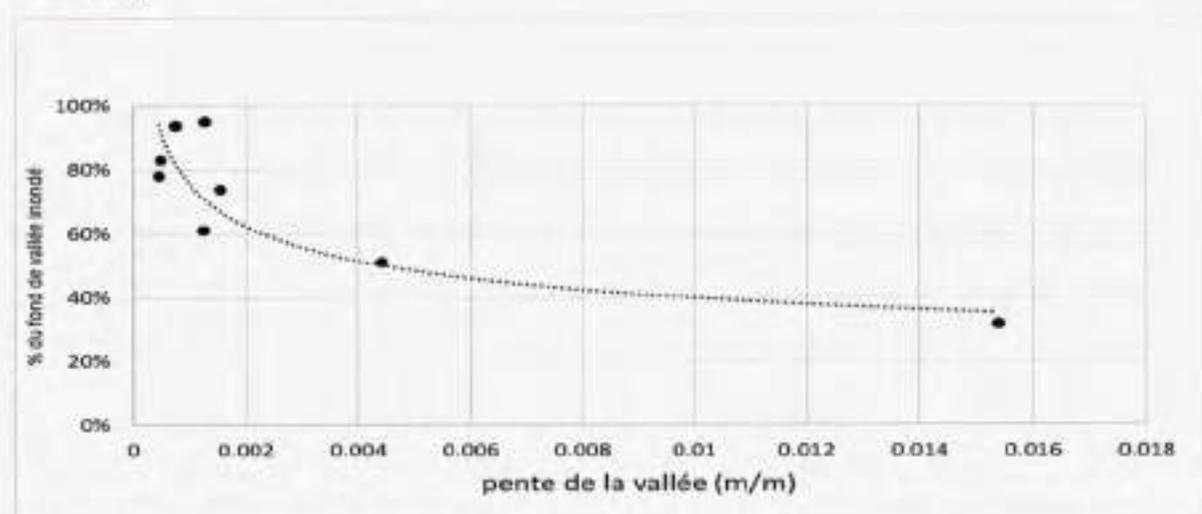


Figure 28 : proportion du fond de vallée inondé par la crue de référence sur quelques cours d'eau du bassin Rhin-Meuse en fonction de la pente de la vallée

2.2.3. Hydrogéologie

La situation de la nappe pouvant déterminer sa contribution au débit de la rivière, soit en la drainant soit en l'alimentant (fig. ci-dessous), il paraît donc nécessaire d'en caractériser le fonctionnement et ses éventuelles modifications pour déterminer l'Espace de Bon Fonctionnement global du cours d'eau.



Figure 29 : drainage (à gauche) et alimentation (à droite) entre le cours d'eau et la nappe (d'après Musy et al., 1998)

La nappe alluviale dans son contexte hydrogéologique

Après avoir rappelé que l'hydrogéologie est tout simplement « la science qui traite de l'eau souterraine » (Gilli et al., 2004), il est toutefois nécessaire de détailler sommairement les différents types d'aquifères (eaux souterraines) :

- les aquifères fissurés : ils concernent les roches peu poreuses diaclasées par la diagénèse, la gravité, la tectonique, etc. dans les roches les moins meubles ;
- les aquifères karstiques : il s'agit d'un type particulier de roches constituées de matériaux solubles fissurés et en partie dissous par l'eau jusqu'à permettre un écoulement ;
- les aquifères poreux : en raison de la nature de la roche (souvent sédimentaire), l'eau peut y occuper les espaces intergranulaires. C'est dans cette catégorie qu'on trouvera les nappes alluviales.

Tant que les capacités maximales d'infiltration ne sont pas atteintes, la nappe n'affleure pas. Les capacités d'infiltration sont donc variables.

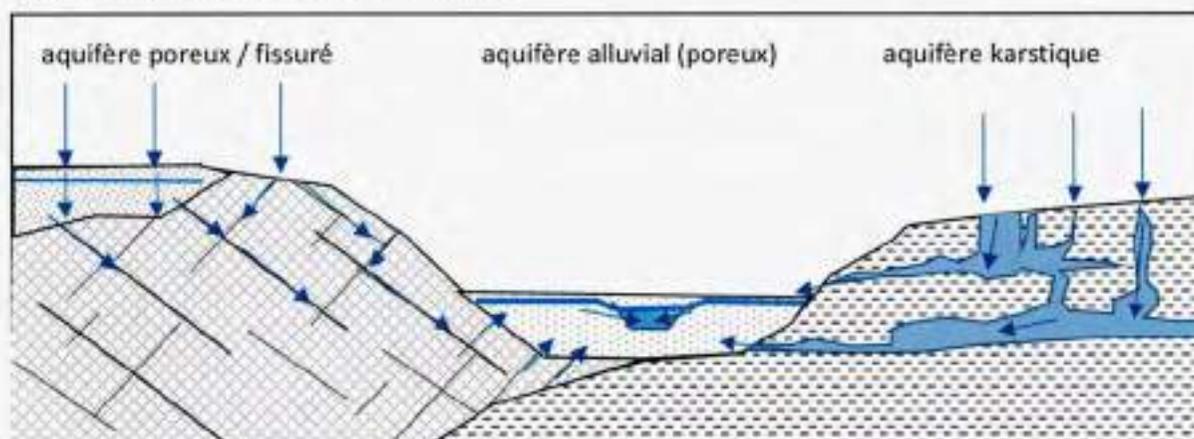


Figure 30 : la circulation de l'eau en fonction des différents types d'aquifères

Pour pouvoir estimer correctement les impacts hydrogéologiques des milieux liés au cours d'eau, il est indispensable d'identifier au préalable la nature de l'encaissant, susceptible d'échanges plus ou moins importants avec l'aquifère environnant. Si en dehors de la nappe alluviale, l'encaissant est

relativement imperméable, les échanges aquifère non alluvial/ aquifère alluvial seront faibles et l'impact, par exemple, d'un forage sur la nappe alluviale sera plus fort que dans le cas d'échanges entre l'aquifère de l'encaissant et l'aquifère alluvial (fig. ci-dessous).

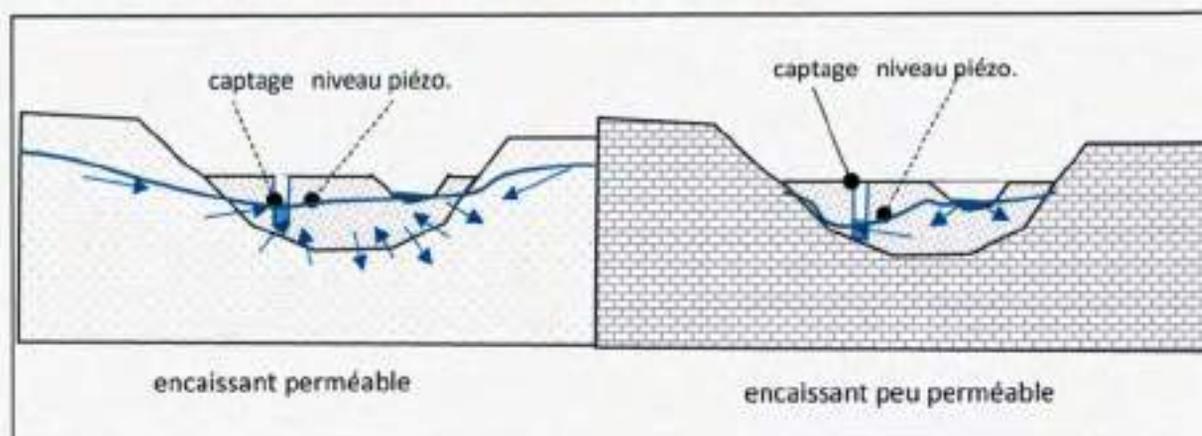


Figure 31 : relativité de l'impact d'un pompage d'eau dans une nappe alluviale selon qu'on soit dans un contexte perméable ou non perméable

Les aquifères alluviaux peuvent être eux-mêmes constitués de deux types de nappes :

- une nappe captive : localisée sous une formation géologique peu perméable, ces eaux ne peuvent subir une charge hydraulique (elles peuvent être exploitées par l'intermédiaire du phénomène d'artésianisme) ;
- une nappe libre : en général peu profonde, elle est caractérisée par des échanges avec les eaux de surface. Elle est plus soumise aux pollutions que la précédente.

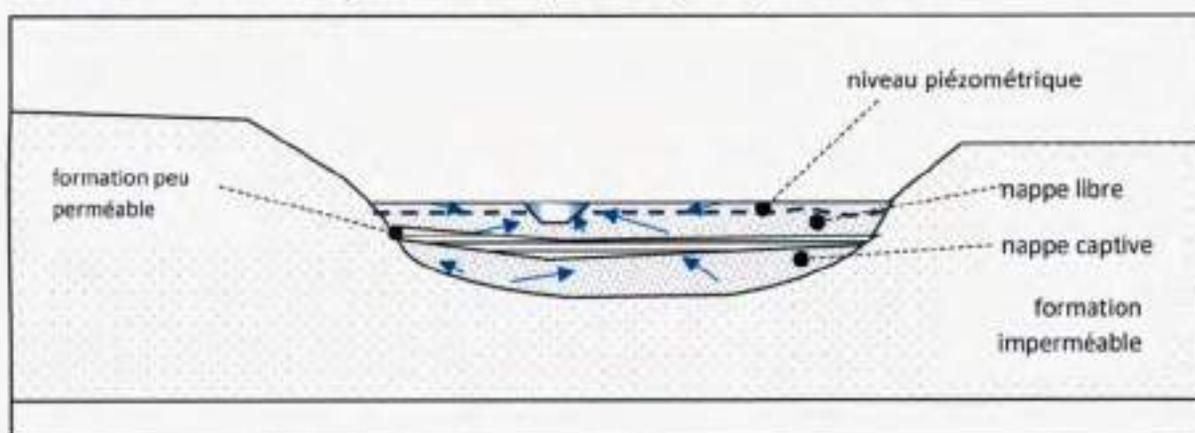


Figure 32 : nappe captive et nappe libre dans un contexte de nappe alluviale

Les nappes alluviales ont cette propriété hydrodynamique que l'écoulement se fait à des vitesses relativement homogènes, d'autant plus que la section d'écoulement est grande. La vitesse sera également variable en fonction de la granulométrie : faibles dans les zones argilo-limoneuses, plus rapide dans les zones de grains plus grossiers (Gilli *et al.*, 2004).

Les échanges qui peuvent avoir lieu entre la rivière et la nappe peuvent faciliter l'autoépuration d'un certain nombre de nutriments (cf. Figure 36).

Les facteurs influençant le fonctionnement de la nappe✓ **Facteurs naturels**

Les facteurs naturels qui jouent un rôle sur le comportement de la nappe en lien avec le cours d'eau sont les suivants (Hölting et al. 2013 ; Langguth et al. 2004 ; Richter et al. 1975) :

	Rôle prépondérant	Rôle secondaire	Rôle négligeable
Perméabilité de l'encaissant	X		
Perméabilité des alluvions	X		
Importance, épaisseur de la nappe alluviale		X	
Profondeur de la nappe		X	
Liberté / captivité de la nappe		X	
Colmatage de la rivière (berges et fonds)		X	
Annexes hydrauliques, bras morts, zones humides			X
Pente (rivière, vallée)		X	

✓ **Facteurs anthropiques**

L'impact des interventions humaines sur le niveau de la nappe en lien avec le cours d'eau peut être évalué de la façon suivante :

Encaissant peu perméable (pas d'échanges avec une nappe phréatique environnante)	Rôle prépondérant	Rôle secondaire	Rôle mineur
Exploitation minière	X		
Captage, prélèvement eau proche du lit mineur	X		
Captage, pompage proche des alluvions	X		
Réduction de l'inondabilité		X	
Enfoncement du lit mineur		X	
Augmentation du niveau d'eau (barrage)	X		
Imperméabilisation des berges sur un long linéaire		X	
Création de plans d'eau		X	
Colmatage des fonds du lit et des berges			X

Encaissant perméable (échanges avec une nappe phréatique environnante)	Rôle prépondérant	Rôle secondaire	Rôle mineur
Exploitation minière	X		
Captage, pompage proche du lit mineur		X	
Captage, pompage proche des alluvions		X	
Réduction de l'inondabilité			X
Enfoncement du lit mineur		X	
Augmentation du niveau d'eau (barrage)		X	
Imperméabilisation des berges sur un long linéaire		X	
Création de plans d'eau			X
Colmatage des fonds du lit et des berges		X	

Pour l'évaluation des modifications éventuelles de la nappe il est nécessaire de rappeler que la circulation de l'eau dans la nappe ne suit pas forcément celle de la rivière (fig. ci-dessous).

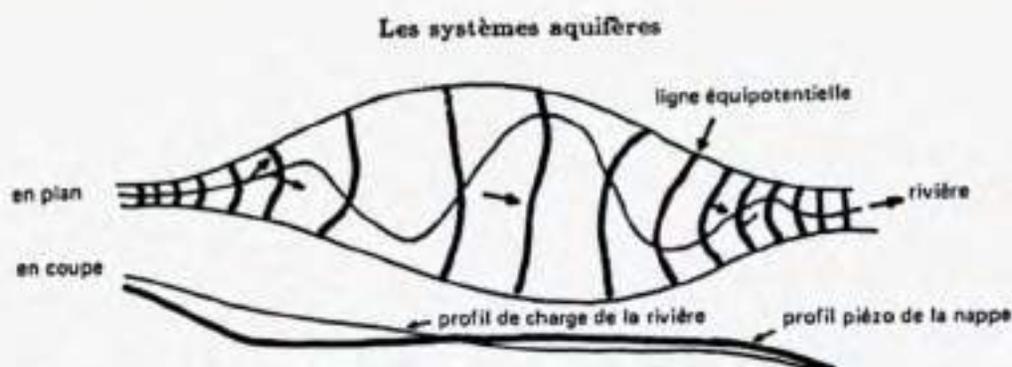


Figure 33: profil de la charge de la rivière et profil piézométrique dans un contexte de nappe libre (Marsily, 2004)

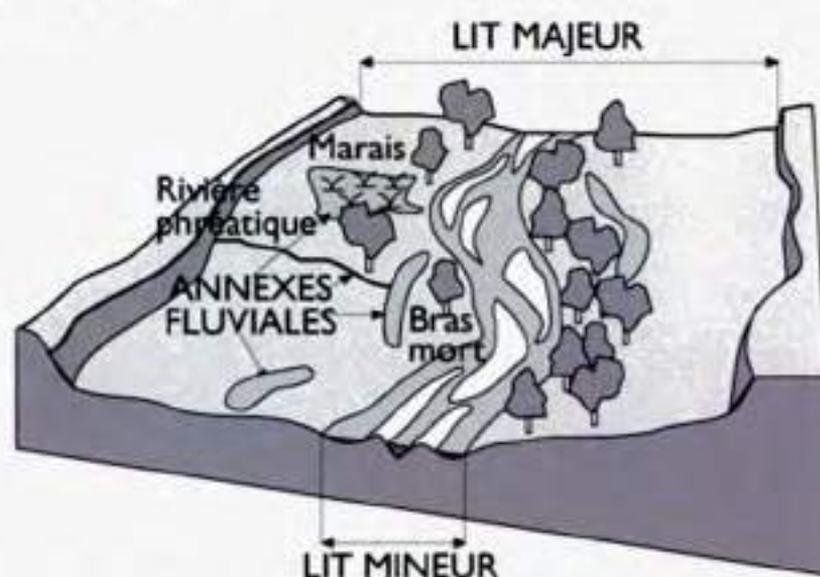
2.2.4. Ecologie

Ecologie terrestre

De nombreuses références bibliographiques (guides des Agence de Agences de l'Eau et ONEMA notamment) font références indirectement à l'Espace de Bon fonctionnement écologique via notamment le Bon Fonctionnement des zones humides et des milieux naturels rivulaires aux cours d'eau pour le Bon déplacement des espèces, le tout permettant d'atteindre le Bon Etat des cours d'eau via la DCE. Toutefois, rapidement, de nombreux géographes et géomorphologues ont compris et identifier l'intérêt de prendre en compte un contexte global (corridor alluvial, paysage, etc.) et également local (ripisylve, état des berges, etc.) pour mieux appréhender les objectifs de gestion des cours d'eau et des zones humides permettant le Bon fonctionnement écologique du cours d'eau.

Dès de début des années 90, dans l'étude de la végétation terrestre au sein de l'hydrosystème, il est classique de s'appuyer sur le vocabulaire issu de l'écologie du paysage (patch ou taches, matrice, corridor, mosaïque). En 2004, dans le Guide de gestion des forêts riveraines de cours d'eau (Dufour S. & H. Piégay) [« le corridor fluvial (stream corridor) est défini par Forman & Gordon (1986) comme la bande de végétation naturelle située le long d'un cours d'eau qui se différencie de la matrice environnante (voir aussi Malanson, 1993). Il comprend la berge, la plaine d'inondation et une partie des terrasses alluviales. A l'échelle régionale, cette unité paysagère apparaît comme un ensemble relativement uniforme ; mais, localement, la présence et la mobilité du chenal actif au sein de ce corridor créent des contraintes sédimentaires et hydrologiques particulières. Il en résulte une grande variabilité des conditions de milieu et la mise en place d'une mosaïque de biotopes différents à l'origine d'une grande diversité tant paysagère que biologique. Quel que soit l'échelle considérée, le corridor possède un caractère très marqué d'écotone avec toutes les propriétés que cela induit : filtre, échange, diversité, ... (Odum, 1978 ; Naiman & Décamps, 1990 ; Naiman & Décamps, 1997). Ce corridor est une zone de transition entre systèmes aquatiques et systèmes terrestres à l'échelle de la plaine ; la forte imbrication des entités de ce corridor donne naissance à un linéaire très important de lisière. »] ... [A l'échelle régionale, le corridor fluvial est un élément clé d'amélioration de la valeur écologique du paysage (Naiman et al., 1993). Les boisements de berge lorsqu'ils présentent une continuité suffisante jouent le rôle de corridor biologique avec un effet positif sur les communautés biologiques. Cet effet est observé par Décamps et al. (1987) pour des populations d'oiseaux dans la ripisylve garonnaise. Ce rôle de lien est structural (habitat), mais aussi fonctionnel (facilitation des mouvements) (Rosenberg et al., 1997). En effet, si un corridor n'est pas toujours assez important pour constituer un véritable habitat (capable d'assurer les fonctions de reproduction et de survie), il peut

être fondamental pour les échanges génétiques entre les sous-ensembles d'une métapopulation, pour les déplacements entre des habitats fragmentés et pour limiter le taux d'extinction au sein d'un paysage de micro écosystèmes fragmentés (Gilbert et al., 1998 ; Haddad, 1999). Ainsi, des habitats forestiers trop fragmentés limitent la possibilité de colonisation pour certaines espèces (Honnay et al., 2002). Cependant, le rôle de corridor dépend de la taille du système considéré et des populations en jeu (Laerm et al., 1997). L'effet de cette fragmentation sur la diversité biologique est plus difficile à évaluer (Zuidema et al., 1996.)



Définitions des entités de l'hydrosystème (SDAGE RMC, 1996)

Lit majeur = espace situé entre le lit mineur et la limite de la plus grande crue historique répertoriée (note : plus ou moins équivalent avec la plaine d'inondation). Les termes « plaine moderne » et « plaine alluviale » sont également parfois employés, ils renvoient à une vision plus géomorphologique du fond de vallée consacré comme l'espace recouvert par les alluvions fluviales charriées par le cours d'eau sur la période holocène.

Annexes fluviales = ensemble des zones humides au sens de la loi sur l'eau, en relation permanente ou temporaire avec le milieu courant par des connexions soit superficielles soit souterraines : isles, îles, botteaux, bras morts, prairies inondables, forêts inondables, ripisylves, sources et rivières phréatiques...

En 2009, Jean-René Malavoï, dans le « Guide de Détermination des Espaces de Bon Fonctionnement » définit et propose de cartographier l'EBF écologique comme les corridors boisés, les annexes hydrauliques et les biocénoses associées à ces milieux.

En 2012, l'ONEMA publie un guide avec des pages traitant directement de la dynamique fluviale, à l'origine de la Biodiversité et du Bon état écologique. Dans ce guide, l'ONEMA explicite différents principes d'un Espace de Bon Fonctionnement, [« Les crues supérieures au débit de plein bord débordent dans le lit majeur et participent au bon fonctionnement des écosystèmes de la plaine alluviale. Elles contribuent à l'alimentation en eau des annexes hydrauliques, à la reconstitution des réserves d'eau (recharge de la nappe phréatique), à l'épuration de l'eau et à l'apport de matériaux fins et d'éléments fertiles dans la plaine alluviale. Cette dernière joue un rôle important en stockant les eaux de crues, réduisant ainsi le débit maximum de crue en aval. »]... [Les berges et la ripisylve sont source de diversification de l'habitat aquatique et rivulaire. Dans sa partie émergée, elle est favorable aux mammifères et aux oiseaux. La berge, selon sa géologie et sa nature, peut aussi constituer un habitat, notamment pour les oiseaux comme les hirondelles de rivage ou le martin-pêcheur.] ... [Les annexes hydrauliques dont la qualité est dépendante de la dynamique fluviale (débordement, connexions avec le lit mineur) sont des habitats indispensables à certaines espèces. Les prairies inondées par les crues sont aussi propices à la reproduction de certains poissons comme le brochet, mais aussi d'amphibiens comme la grenouille rousse. Ce sont également des zones exploitées par les oiseaux, notamment les migrateurs, qui trouvent dans ces zones leurs nourritures ou leurs

lieux de reproduction comme le rôle des genêts.] ... [À une échelle plus large, le cours d'eau et la bande riveraine qui l'entoure forment des corridors. Ces derniers permettent le déplacement de certaines espèces sur de longues distances par voie aquatique (poissons migrateurs, mammifères semi-aquatiques) ou par voies terrestre et aérienne (oiseaux, chauves-souris, mammifères semi-aquatiques). Ils contribuent dans ce sens à la diversité et la qualité du milieu aquatique et des terres riveraines. Ces déplacements nécessitent de retrouver à l'échelle de l'hydrosystème (cours d'eau, corridors, plaine d'inondations) l'ensemble des conditions retrouvées localement.]



En 2013, l'Office Fédérale de l'Environnement, Division Eaux et Division Prévention des dangers (institution Suisse), évoque l'« Espace nécessaire aux grands cours d'eau de Suisse », basé en partie sur l'« Espace réservé aux eaux ». Elle définit cet espace sous trois approches « milieu » comprenant « aquatique », « Amphibien », « Terrestre » et en évaluant des fonctions. Concernant le **Milieu amphibien** (ou rivulaire), les auteurs définissent plusieurs fonctions telles que la connectivité transversale, l'alimentation des nappes phréatiques, la diversité structurelle du milieu. Le **milieu terrestre** est évalué sur la base de la continuité longitudinale (connectivité pour la faune), l'effet tampon (largeur et caractéristique par rapport aux intrants), diversité et typicité du milieu terrestre, dynamique inondation, typicité des espèces et capacité de résilience des milieux. Cette notion d'« Espace nécessaire aux grands cours d'eau » doit tenir compte du type de cours d'eau et s'appuie en partie sur un « espace réservé aux eaux » qui définit des méthodologies de revitalisation du cours selon des contextes urbains et agricoles.

En 2015, une référence bibliographique sur l'espace de bon fonctionnement écologique réalisée par le Réseau Régional des Gestionnaires de Milieux Aquatiques de PACA dans son cahier technique n°2 « Espace de Bon Fonctionnement (EBF). Eléments techniques pour son identification » reprend également ces éléments mais concernant les zones humides : [« Pour les zones humides, l'espace de bon fonctionnement comprend l'ensemble des zones humides définies par l'article L.211-1 du code de l'environnement, leurs bassins d'alimentation dans lesquels leurs fonctions sont identifiées (hydrologique-hydraulique, physique-biogéochimique, écologique-biologique) et pour lesquelles des services sont rendus (épandement des crues, régulation hydraulique à l'amont des bassins versants, alimentation en eau potable, biodiversité...)]...[Certains éléments du paysage entraînent un changement fort dans les fonctionnements physique et/ou écologique et forment une sorte de « frontière », naturelle ou anthropique. La cartographie de l'EBF utilement s'appuyer sur ces ruptures, car les zones situées au-delà interagissent pas ou peu avec le site.] ».

Enfin, en 2015 également, une méthodologie a été développée par l'AERMC (2015) sur l'Espace de Bon Fonctionnement Ecologique. L'EBF Biologique est défini par [« l'ensemble des paramètres biologiques permettant un fonctionnement optimal de l'écosystème cours d'eau.] ... [espace qui permettrait, en théorie, le développement de l'ensemble des espèces végétales et animales inféodées au cours d'eau] ».

Pour cela, les auteurs caractérisent et distinguent le bon fonctionnement biologique :

- du cours d'eau au sens morphologique et hydraulique « présence et renouvellement des différents milieux et des différentes strates de la végétation, des milieux pionniers à la forêt alluviale de bois dur ; inondation du lit majeur fréquente, faciès diversifiés, lit non incisé permettant la présence d'une nappe à faible profondeur, enfin substrat mobile dans le lit mineur... »
- Des annexes fluviales (connexion et temporalité).

Afin d'asseoir, leur définition les auteurs citent le SDAGE RMC qui définit les annexes fluviales comme des « zones humides en relation permanente ou temporaire avec le milieu courant par des connexions superficielles ou souterraines : iscles, îles, brotteaux, lônes, bras morts, prairies inondables, forêts

inondables, ripisylves, sources et rivières phréatiques, milieux secs et habitats associés étroitement à la dynamique fluviale et à la nature des dépôts...). ».

En vue de constituer l'EBF, l'Agence de l'Eau RMC a décidé que les données biologiques ne seront utilisées comme éléments de contexte. Elles ne permettent pas de définir un périmètre en soi mais elles contribuent à ajuster le périmètre de l'EBF nécessaire. Sur cette réflexion, les données utilisées sont les suivantes :

- Inventaires départementaux et régionaux des zones humides,
- Données d'habitats des zones Natura 2000, en retenant les habitats en lien avec le cours d'eau au sens large,
- Occupation du sol (prairies humides, ripisylve, forêts alluviales, bras morts...) à partir de Corine Land Cover ou par interprétation des photos aériennes au besoin en infra-rouge,
- Autres données locales pertinentes.

Le résumé de toutes ces notions réside dans la compréhension et la prise en compte du fondement d'un Espace de Bon Fonctionnement Ecologique terrestre basé sur :

- La fonctionnalité des milieux pour les espèces via le SRCE (contexte global) et les continuités d'habitats naturels (contexte local),
- La fonctionnalité des zones humides via les relations latérales avec le cours d'eau (avec les zones à dominantes humides, les remontées de nappe (EBF Hydrogéologique) ou encore les possibilités de débordements du cours d'eau dans sa plaine d'inondation (EBF Hydraulique)).

Ces deux thématiques peuvent se rapprocher de la définition globale des Trames Vertes et Bleues, définies selon le centre de ressource Trame Verte et Bleue comme « un réseau formé de **continuités écologiques terrestres et aquatiques** identifiées par les schémas régionaux de cohérence écologique ainsi que par les documents de planification de l'Etat, des collectivités territoriales et de leurs groupements. **La Trame verte et bleue contribue à l'amélioration de l'état de conservation des habitats naturels et des espèces et au bon état écologique des masses d'eau. Elle s'applique à l'ensemble du territoire national à l'exception du milieu marin.** » ... « Les continuités écologiques constituant la Trame verte et bleue comprennent des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques (articles L.371-1 et R.371-19 du code de l'environnement) ». [...] Les cours d'eau, parties de cours d'eau et canaux classés au titre de l'article L. 214-17 du code de l'environnement et les autres cours d'eau, parties de cours d'eau et canaux importants pour la préservation de la biodiversité constituent à la fois des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques. **Les zones humides importantes pour la préservation de la biodiversité constituent des réservoirs de biodiversité et/ou des corridors écologiques.** ».

Toutefois, il n'est pas raisonnablement possible de déterminer pour chaque espèce inféodée au cours d'eau et leurs milieux connexes, les valeurs des largeurs des habitats naturels favorables pour la reproduction, la migration, le nourrissage et le repos. Dans le cadre du COMOP de la Trame Verte et Bleue (TVB), tout écosystème confondu, 223 espèces de milieux spécifiques ont été identifiées au niveau national, sans compter les espèces de cohérence régionale. Elles ont pour particularité d'être des espèces « chapeau », c'est-à-dire que leurs caractéristiques ont un niveau de contrainte tel que si les conditions de leur présence dans le milieu sont réunies, toutes les autres espèces qui pourraient être présentes dans cet écosystème en théorie vont y trouver les conditions pour s'y développer.

Ainsi, compte tenu du caractère hétérogène des données disponibles sur la répartition de ces espèces au niveau régional, de la différence d'espèces cibles entre les régions et d'enjeux de conservation des corridors dépassant largement les listes d'espèce établies, il est apparu plus utile de travailler sur la qualité des milieux, la connexion lit mineur/ lit majeur partant du principe que des

milieux typiques de zones humides et de cours d'eau seront toujours favorables pour l'ensemble des « espèces théoriques SRCE » si ce n'est d'avantage.

L'analyse des contraintes et pressions ayant une influence sur la qualité des milieux, et la fonctionnalité de la relation lit mineur/ lit majeur, permettra d'identifier l'espace de Bon Fonctionnement Ecologique Actuel et favorable à l'accomplissement du cycle biologique des espèces.

Hydrobiologie

Concernant l'évaluation du fonctionnement hydrobiologique d'un cours d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau, différents compartiments biologiques sont à distinguer. Actuellement, les outils (indices de qualité) retenus dans le cadre de la DCE (arrêté du 25/01/2010) portent sur :

- la faune piscicole, au travers de l'indice IPR ;
- la macrofaune benthique, au travers de l'indice IBG-DCE compatible ;
- la végétation aquatique, au travers de l'indice IBMR ;
- les diatomées, au travers de l'indice IBD.

Parmi ces 4 compartiments biologiques, les poissons constituent l'élément qui peut être considéré comme le plus intégrateur de la qualité générale des cours d'eau. Cela découle en effet, du fait de leur position en haut de la chaîne trophique ainsi que de leur capacité de déplacement plus élevée qui leur permet de refléter une situation écologique à une échelle spatiale large, aussi bien d'un point de vue longitudinal que latéral.

De manière générale, dans nos cours d'eau, les peuplements de poissons sont composés d'une diversité d'espèces qui augmente de l'amont vers l'aval (Keith *et al.*, 2011). Même si chaque espèce est caractérisée par des traits biologiques qui lui sont propres, certaines d'entre elles présentent des similarités sur le plan écologique, ce qui permet de les rassembler au sein de guildes écologiques particulières (Keith *et al.*, 2011). Plusieurs espèces vont en effet partager des traits écologiques et/ou biologiques communs, qui vont engendrer un *préférendum* d'habitat proche, voire similaire. Cela implique que l'organisation spatiale (longitudinale et latérale) des peuplements piscicoles au sein des hydrosystèmes fluviaux suit toujours une logique identique, où les espèces et guildes représentées en un secteur précis dépendent des conditions mésologiques de ce secteur. Ainsi, le concept de *continuum fluvial* (Vannote *et al.*, 1980) décrit les changements structurels et fonctionnels continus des communautés aquatiques le long de ce gradient longitudinal dans les milieux « courants ». D'autres auteurs comme Huet ou Verneaux (Huet, 1954 et 1959 / Verneaux, 1973) ont même proposé des zonations théoriques des peuplements piscicoles en fonction de la situation au sein de l'hydrosystème (distance à la source, pente, oxygénation ...). Celles-ci ont par la suite été simplifiées quand le concept de « contexte piscicole » (lié à la vocation piscicole) a été établi dans le cadre d'une planification cohérente de l'aménagement piscicole des milieux aquatiques par les Fédérations Départementales de Pêche (Tendron, 2003). Le découpage typologique d'un cours d'eau a alors été ramené à trois contextes :

- le contexte salmonicole : unité hydrographique dont le potentiel originel convient aux exigences du cycle biologique de la truite et de ses espèces d'accompagnement (équivalent de la zone à truite de la typologie de Huet ou aux zones B1 à B4 de la typologie de Verneaux)
- le contexte intermédiaire : unité hydrographique dont le potentiel originel convient à tout ou partie des espèces des contextes amont et aval, à l'ombre commun et aux cyprinidés d'eau vive (équivalent de la zone à ombre de la typologie de Huet ou aux zones B5 à B7 de la typologie de Verneaux)

- le contexte cyprinicole : unité hydrographique dont le potentiel originel convient aux cyprinidés d'eau calme et à leurs prédateurs (perche, brochet) (équivalent des zones à brème et à barbeau de la typologie de Huet ou des zones B7 à B9 de la typologie de Verneaux)



Pour chacun de ces trois contextes, une espèce dite « repère » a été associée : il s'agit de l'espèce représentative du contexte considérée la plus exigeante d'un point de vue écologique et pour laquelle il est admis que si le milieu permet le bon déroulement de l'intégralité de son cycle écologique, il permettra alors également le bon développement des autres espèces du contexte dites « accompagnatrices ». L'espèce repère du contexte salmonicole est la truite fario, celle du contexte cyprinicole est le brochet et en contexte intermédiaire on considère, au choix, l'association « truite fario + brochet » ou la vandoise, en tant que cyprinidé d'eau vive exigeant vis-à-vis des conditions de milieu.

La définition du bon fonctionnement écologique pourra donc tenir compte de ce zonage typologique « simplifié » des peuplements piscicoles, compartiment biologique à retenir comme représentatif pour la définition du « bon fonctionnement hydrobiologique ».

Les principales caractéristiques écologiques des espèces repères citées ci-dessus sont les suivantes (Keith *et al.*, 2011 / Chancerel, 2003) :

- la truite fario : poisson d'eau fraîche (moins de 20°C) colonisant l'amont des grands fleuves, leurs affluents et tous les petits cours d'eau côtiers – reproduction de novembre à fin février dans des zones graveleuses à courant vif ;
- le brochet : espèce limnophile recherchant préférentiellement les cours d'eau à méandre riches en végétation mais pouvant coloniser une grande diversité de milieux – reproduction de fin février à fin avril sur la végétation herbacée des rives et des plaines d'inondation.

2.2.5. Biogéochimie

La bonne réalisation du cycle biogéochimique (« recyclage par les micro-organismes, des éléments chimiques qui seront utilisés par d'autres organismes », www.aquaportail.com, 2016) suppose que les échanges au sein de l'hydrosystème fluvial soient préservés. Au-delà du bon fonctionnement du cycle de l'eau (cf. volet hydrologie et hydrogéologie), le cycle des nutriments (azote, carbone, soufre, phosphore) est celui qui est concerné ici.

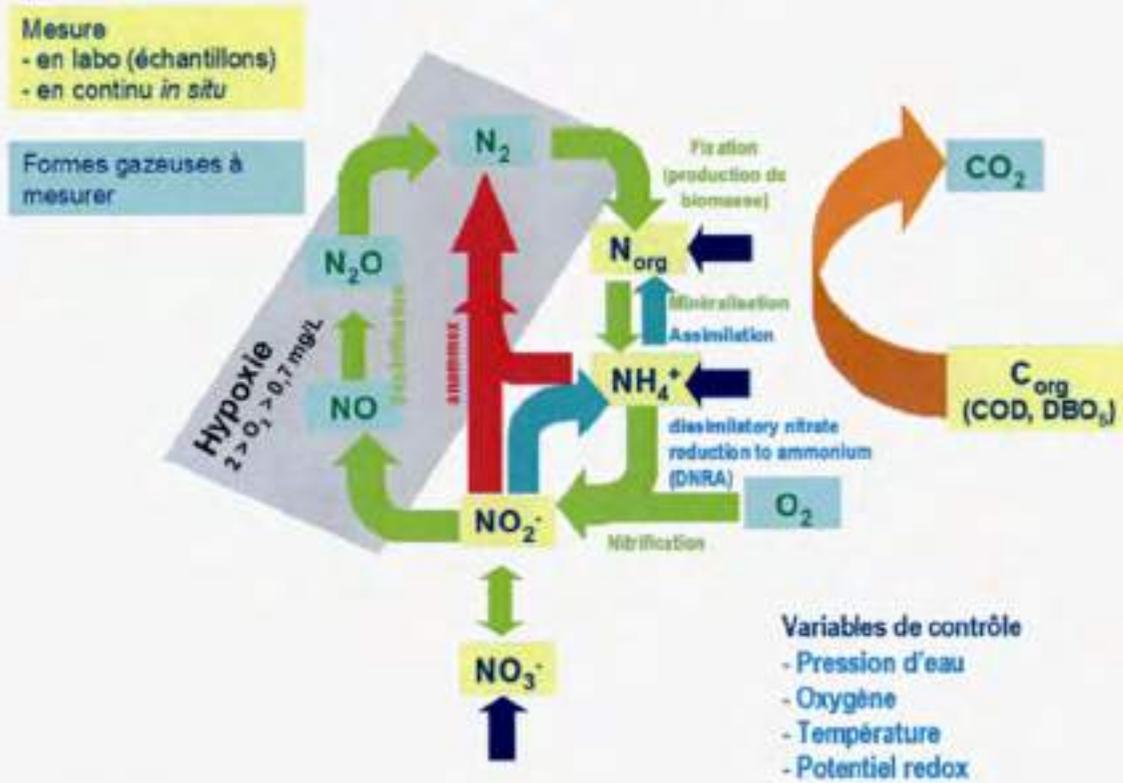


Figure 34 : Cycle de l'azote aquatique et son couplage avec l'oxydation de la MO (fond bleu les composés gazeux et sur fond jaune les composés dissous) (EPEC, 2015)

Par l'énergie du Soleil, la photosynthèse permet à l'énergie et aux nutriments de circuler des producteurs (végétaux) vers les consommateurs (herbivores, carnivores) vers la minéralisation de la matière organique (champignons, bactéries) pour être relâchés au travers des cycles gazeux ou liquides (eau).

On peut distinguer deux zones au sein de l'espace nécessaire au bon fonctionnement biogéochimique en lien avec les rivières :

- la zone rivulaire,
- le lit mineur du cours d'eau.

Les cours d'eau participent au fonctionnement biogéochimique par les phénomènes d'auto-épuration et par le système forestier et végétal qui leur est propre (ripisylve, forêt alluviale, zones humides).

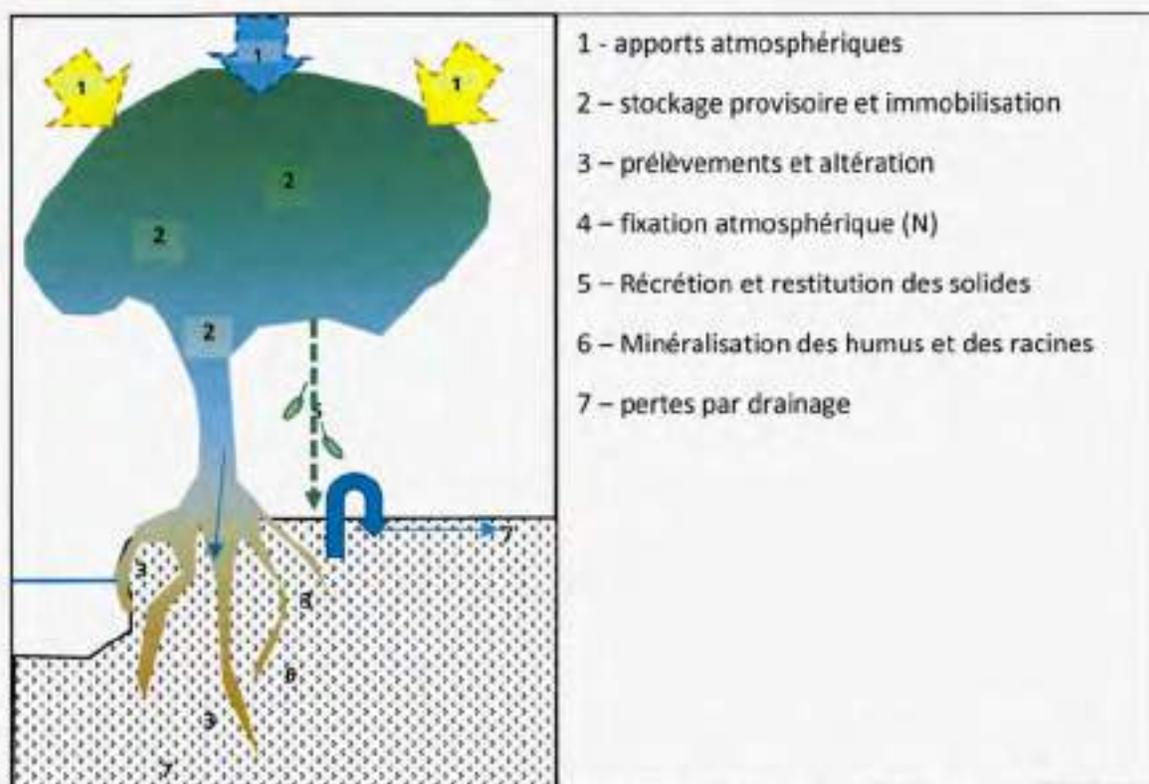


Figure 35 : représentation schématique du cycle biogéochimique forestier (d'après Ranger *et al.* 1995)

Au sein de la zone tampon, outre le rôle d'infiltration et de recharge de la nappe, on peut rappeler :

- la rétention des matières en suspensions ;
- la limitation du transfert de l'azote (jusqu'à 80% de l'azote dans la bande des 10 m, d'après Ministère de l'Agriculture, mai 2010) ;
- la protection contre la dérive de pulvérisation lors des épandages (mise à distance des engins de pulvérisation)
- dans une moindre mesure, la limitation du transfert du phosphore ;
- la limitation du transfert hydrique de produits phytosanitaires (sous forme dissoute notamment lors des premières crues)

Au travers des « biofilms » et des circulations d'eau au travers des bancs de graviers et des horizons poreux des berges au travers du lit majeur, les lits mineurs des cours d'eau au travers de la zone hyporhéique peuvent participer à l'autoépuration d'une partie des composants azotés (fig. ci-dessous)

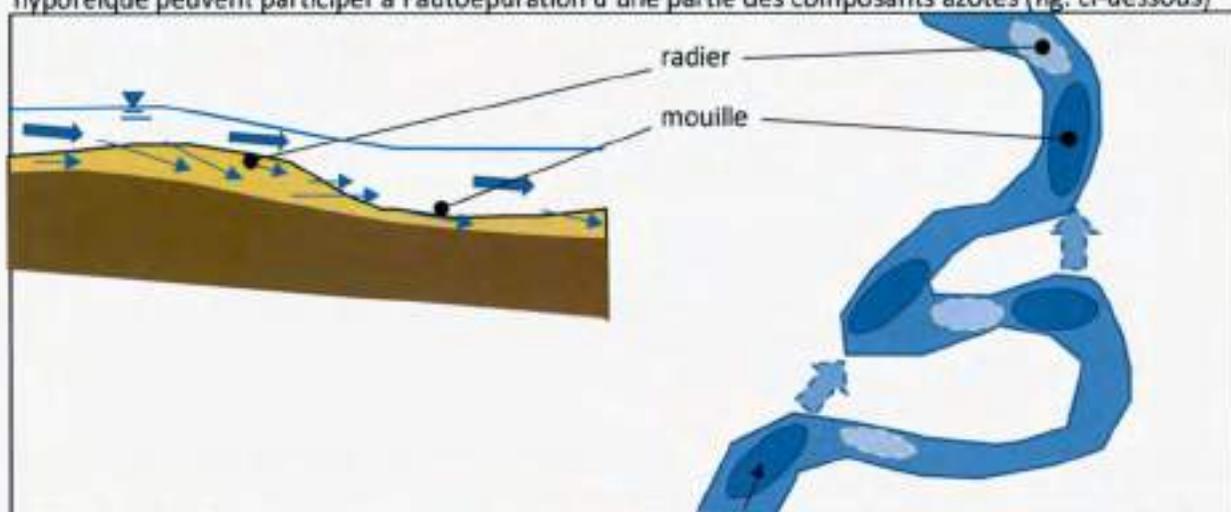
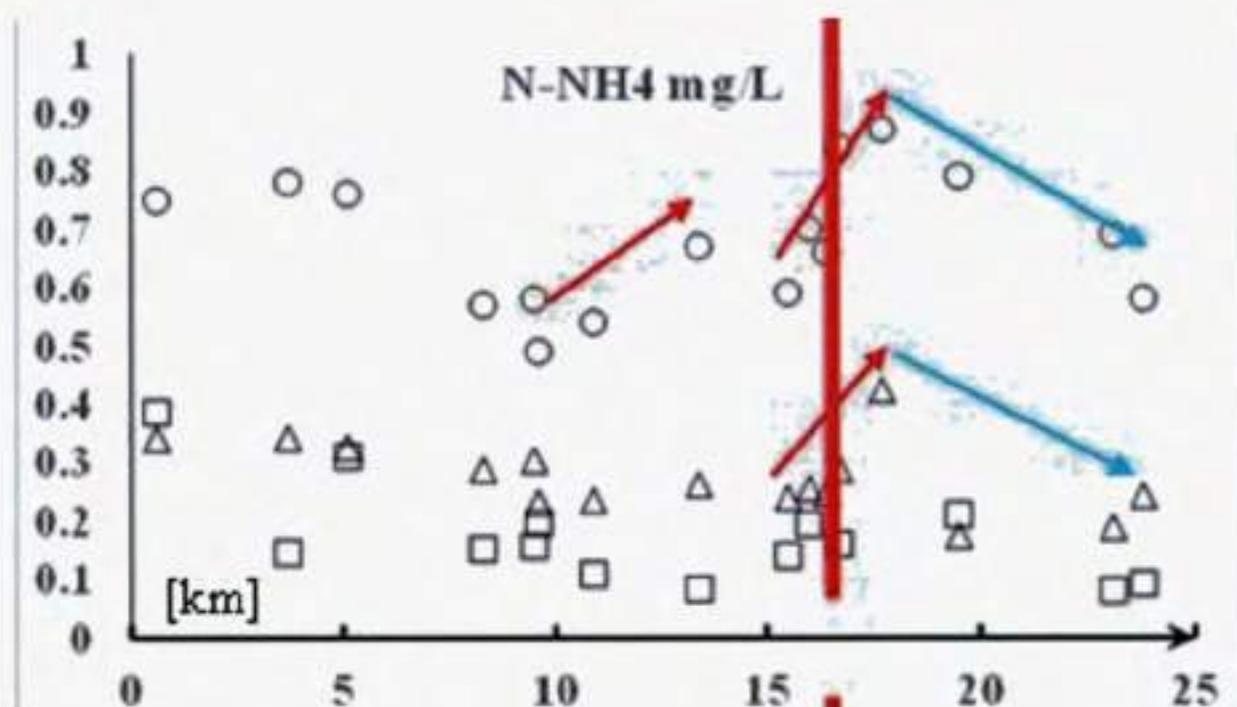


Figure 36 : lieux privilégiés de l'auto-épuration dans les lits mineurs, plus particulièrement à l'étiage, à la fois dans le profil en long (à gauche, dans la zone hyporhéique), et en plan (à droite) entre les zones plus profondes au travers des radiers ou des ombilics entre sinuosités lorsque les berges sont suffisamment poreuses.



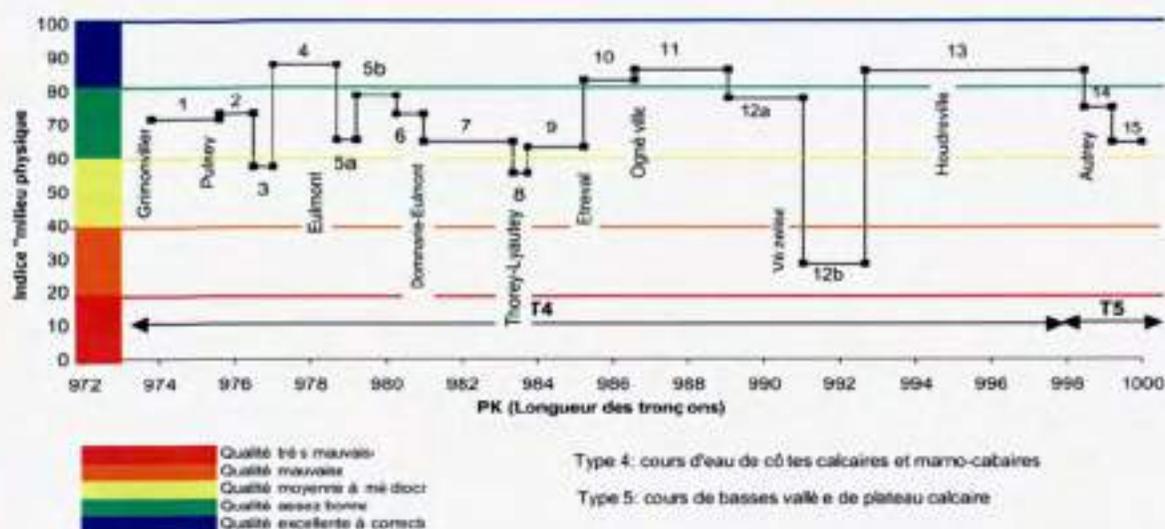


Figure 37 : couplage des résultats de campagnes de mesures physico-chimiques (LRGP, EPEC, 2011) et de campagnes de mesures de la qualité physique (QUALPHY, AERM, 2002) sur le Brénon (54). Une baisse significative de la concentration en NH4+ est observée à l'aval de Vézélise, important point de rejet actuel. Il faut considérer une distance de 5 à 8 km de cours d'eau de côtes calcaires de bonne qualité pour abattre 30% la concentration en NH4+. (EPEC, 2015)

Des auteurs ont pu dégager une dénitrification plus importante dans une rivière méandriforme plutôt que dans une rivière rectifiée (Opdyke et al., 2006). Ils ont ainsi évalué la longueur de cours d'eau nécessaire pour éliminer les nitrates (fig. ci-dessous).



Figure 38 : Evaluation de la distance nécessaire pour éliminer les nitrates au printemps et en été, comparaison d'un cours d'eau canalisé et du cours d'eau restauré méandriforme

2.3. Les apports de différentes méthodes de description des milieux riverains des cours d'eau

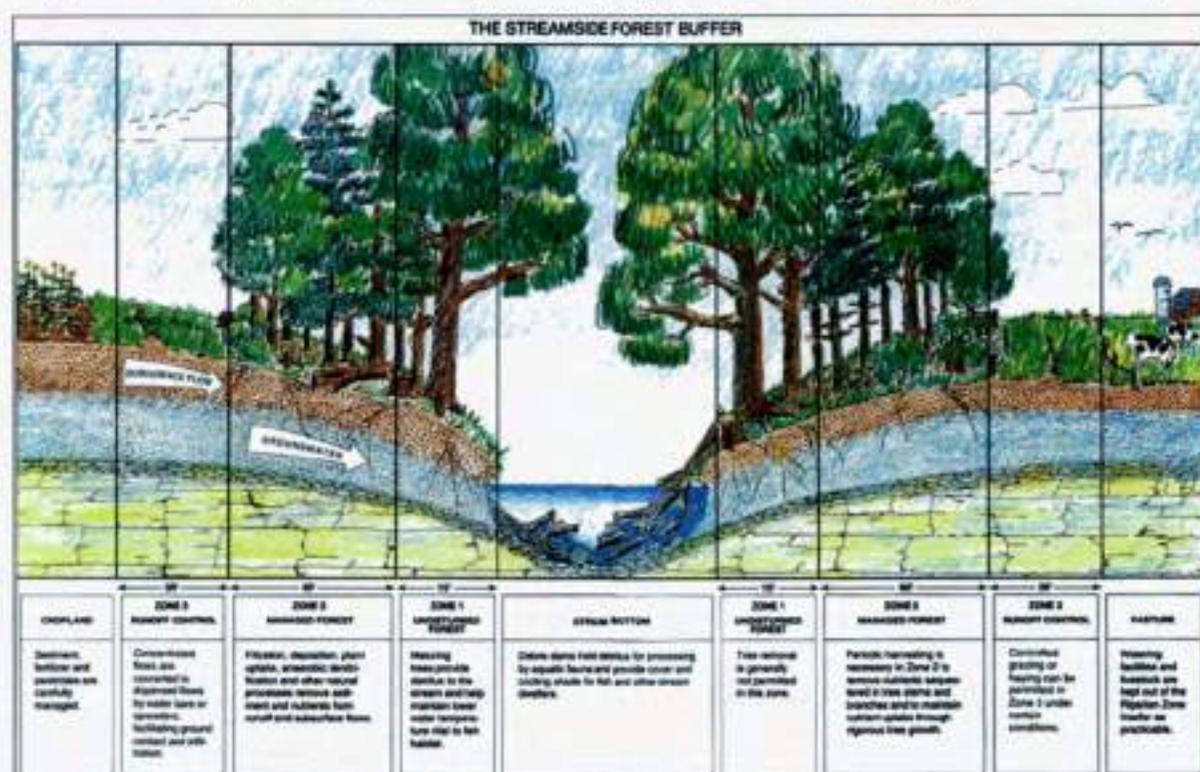
On constate donc que les différents espaces de bon fonctionnement sont étroitement interconnectés.

Les auteurs de l'étude réalisée pour l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (Raccasi *et al.*, 2016) ont fait le lien entre les recherches scientifiques et les méthodes développées pour essayer de définir des « zones tampons » afin de garantir un meilleur fonctionnement des cours d'eau. Ils ont distingué les méthodes « systématiques » des méthodes plus « naturalistes ».

2.3.1. Méthodes systématiques

Approches anglo-saxonnes

Cinq zones ont été proposées par le *Department of Agriculture* (Welsch, 1995) (figure ci-dessous).



Au-delà d'un bon fonctionnement au niveau local (du secteur de vallée ou du tronçon de rivière), la préservation d'un Espace de Bon Fonctionnement des cours d'eau de manière généralisée peut permettre de poursuivre des objectifs de restauration d'un bon fonctionnement vers l'aval, en allant jusque sur les régions côtières maritimes (érosion des littoraux sédimentaires par déficit sédimentaire, proliférations « d'algues vertes », etc.). L'accent est mis sur le rôle biogéochimique, hydrogéologique, écologique et hydraulique de cet espace. Elle donne des valeurs brutes minimales de largeur pour les zones comprises entre le lit mineur (zone 0), les berges (zone 1) et le champ d'expansion des crues ; les zones 2 et 3 totalisent environ 30 m de largeur.

Cette méthode a connu divers développements, notamment en Australie où elle a été simplifiée.

En Europe, la Suisse applique depuis les années 1970 des abaques sur les cours d'eau de moins de 15m pour déterminer une « zone riveraine » variable en fonction de la « largeur naturelle du fond du lit » et la « largeur garantissant la protection contre les crues et le maintien des fonctions écologiques.

Approches helvétiques

En Suisse, la délimitation de zones riveraines est également préconisée par une méthode officielle. La méthode élaborée par l'Office Fédéral de l'Environnement et EAWAG demande d'apprécier « l'espace du cours d'eau » (§3.4 du manuel 2006). Cette zone « est en principe à disposition de son développement ». Elle comprend :

- le chenal,
- le pied de berge,
- les rives.

La largeur des « rives » peut atteindre jusqu'à 50 m, valeur qui est un maximum. Les rives sont considérées comme une « zone tampon contre les utilisations intensives ». On cherche également à préserver son rôle en tant qu' « élément de connectivité » entre la rivière et ses marges.

Excepté le cas où il existe déjà une zone alluviale ou une zone humide inventoriée, la largeur optimale des rives (celle pour laquelle « la végétation des rives et le chenal puissent évoluer de façon proche de l'état naturel et typique d'un cours d'eau ») est égale à 6 fois la largeur du lit naturel.

Dans le cas des cours d'eau rectifiés et incisés, on considère que la largeur naturelle serait :

- deux fois plus importante que la largeur actuelle pour les cours d'eau actuellement sans aucune variabilité
- 1,5 fois plus importante que la largeur actuelle pour les cours d'eau actuellement de largeur peu variable.

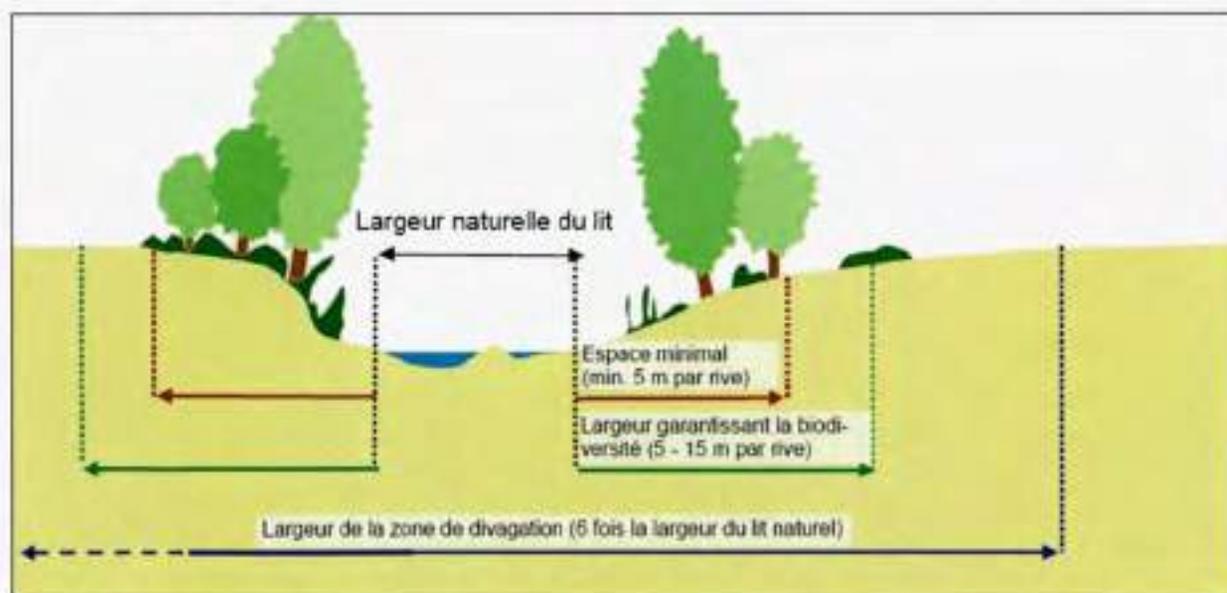


Figure 39 : Catégories de largeur et d'espace du cours d'eau (méthode écomorphologie de niveau C)

Pour les cours d'eau de plus grande taille une méthode a été développée en 2013. Elle fonctionne également sur la base d'abaque mais construits sur le pourcentage de remplissage de fonctions (figure ci-dessous). Cette méthode permet l'attribution d'une note pondérée selon le type de cours d'eau, note qui est ensuite interprété à l'aide d'abaques.

61

	Milieu	Fonction
Fonctions naturelles	Aquatique	Transport de l'eau et des sédiments Connectivité longitudinale aquatique Capacité d'auto-épuration Diversité structurelle du fond du lit Maintien des espèces typiques
	Amphibien	Connectivité transversale Alimentation des nappes phréatiques Diversité structurelle des berges
	Terrestre	Connectivité longitudinale terrestre Effet tampon Diversité structurelle du milieu terrestre Dynamique d'inondation Développement des communautés typiques Maintien des espèces typiques Capacité de résilience des peuplements
Autres fonctions	Global	Paysage Espace récréatif Protection contre les crues Utilisation des eaux

Figure 40 : fonctions utilisées pour estimer la largeur des zones riveraines selon la méthode Grands Cours d'Eau (OFE, Suisse, 2013)

2.3.2. Méthodes naturalistes

Les fuseaux de mobilité et espaces de liberté

Ces méthodes ont été présentées dans le premier rapport de cette mission (Fluvial.IS 2016). Elles reposent en France essentiellement sur le guide de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse de 1998 (Malavoi *et al.* 1998).

Les corridors riverains (Vermont, USA)

Il s'agit d'une stratégie de gestion développée dans cet Etat du Nord-Est des Etats-Unis afin de gérer des situations conflictuelles entre riverains. « Le principe du corridor consiste à ce que les propriétaires riverains cèdent, via une servitude de conservation, une partie de leurs droits terriens à un organisme de conservation » (Marcoux-Viel, P., 2015). Une étude complète et multidisciplinaire du linéaire considéré est réalisée afin de déterminer le fonctionnement du cours d'eau et délimiter un zonage dans lequel certaines pratiques seront permises ou prohibées.

Activités permises	Activités prohibées
<ul style="list-style-type: none"> • Le maintien et l'utilisation de champs agricoles, vergers et pâturage (sauf en bande riveraine); • L'acériculture et les activités forestières, ainsi que la construction de routes nécessaires à ces activités (sauf en bande riveraine). • Le retrait de bois et de débris (sauf en bande riveraine et dans le cours d'eau) suite à une inondation, et ce, sous certaines conditions. • Le maintien de structure d'amélioration de drainage, sous certaines conditions. • La gestion des barrages de castor en concordance avec les bonnes pratiques de gestion décrétés par l'Agence des Ressources Naturelles du Vermont. • Les sentiers récréatifs non commerciaux et non motorisés, sous condition d'obtenir une autorisation écrite; • L'enlèvement d'espèces invasives, sous condition d'obtenir une autorisation écrite. 	<ul style="list-style-type: none"> • La construction, la réparation, l'enlèvement ou la modification d'éléments tels que des revêtements, des digues, des dépôts de terre; • Le retrait ou le dépôt de sable, gravier, roches ou autres qui pourrait altérer le niveau des eaux du cours d'eau, ou qui pourrait intervenir dans ses processus naturels d'ajustement; • Les activités agricoles, dans une bande riveraine de 50 pieds (15 mètres) à partir du haut des berges, à l'exception de la maintenance des structures de drainage; • La récolte de bois dans cette même bande (sauf exception); • La déforestation pour permettre la création de champs, pâturage, vergers dans l'ensemble de l'espace de liberté (sauf exception); • La perturbation de la surface du sol, tel que l'excavation, le remplissage, la modification de la topographie (sauf exception pour des raisons agricoles ou forestières); • Les activités résidentielles, commerciales, industrielles, ainsi que les immeubles, structures et autres s'y rattachant, ainsi que les améliorations ne peuvent être construites, créés, installés ou déménagés dans l'espace. • Les droits de passage et les servitudes ne sont pas permis sans autorisation. • Toute utilisation pouvant aller à l'encontre de l'objectif de la servitude.



Figure 41 : activités permises ou autorisées dans les corridors du Vermont (Marcoux-Viel, 2015, d'après Kline)

L'exemple de la rivière Tagliamento en Italie (cf. Piégay, 2005)

H. Piégay (2005) cite l'exemple de l'application italienne de principes proche de la méthode française de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse. Un corridor est défini au moyen d'étapes successives :

- 1) la définition de l'enveloppe des lits historiques depuis 200 ans (à l'aide de cartes anciennes et de photographies d'archives),
- 2) les zones d'érosion possible des prochaines 50 années sont estimées à partir de différentes périodes,
- 3) les deux zones sont superposées pour donner un corridor de berge érodable.

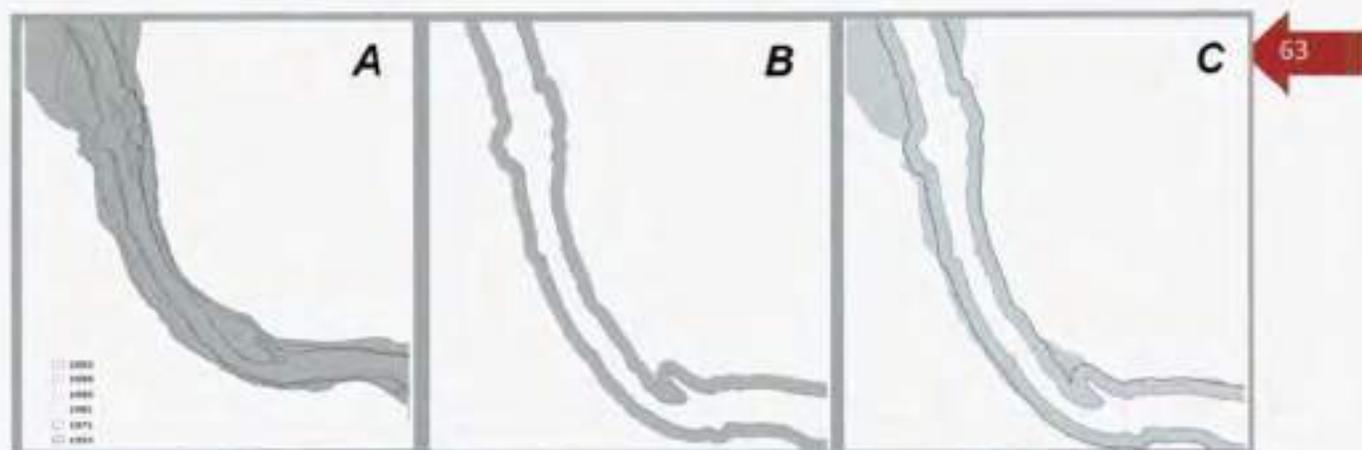


Figure 42 : les étapes de la définition du corridor érodable sur le Tagliamento en Italie (in Rinaldi, 2009) : A, le corridor de la mobilité des chenaux historique ; B : le corridor érodable des 50 prochaines années ; C : le corridor érodable ou « corridor de mobilité fonctionnelle ».

En Allemagne

Dans le land de Sarre, une méthode de délimitation du potentiel de développement des cours d'eau a été proposée en se basant sur deux types de critères :

- le potentiel de mobilité (disponibilité de l'espace en berges)
- le potentiel de structure du cours d'eau (caractéristiques morphologiques, typologiques).



Figure 43 : la méthode sarroise de définition du "potentiel de développement" distingue deux compartiments : le potentiel de développement latérale proprement dit et le potentiel structurel de la rivière

Définition du besoin de surface rivulaire (Saarland, 2010)

Dans le Land de Sarre l'hydrographie est dominée par des cours d'eau relativement pentus s'écoulant le plus souvent sur des pellicules alluviales plus ou moins épaisses. La déprise agricole depuis 50-60 ans favorise des processus de reprise d'érosion sur des cours d'eau qui avaient pu faire l'objet de travaux de rectification intensive dans les années 1935-70.

Face aux coûts importants que nécessiterait la maîtrise de ces processus d'érosion mais aussi conscient de l'intérêt pour la diversité des milieux d'une renaturation progressive des cours d'eau, le Land de Sarre a financé la conception d'une méthode de caractérisation du potentiel de mobilité des cours d'eau.

En s'appuyant sur les expériences française, italienne et suisse (fuseaux de mobilité, espace de liberté), l'estimation du besoin de surface rivulaire s'est basée sur un panel de tronçons de référence pour, à partir de la puissance fluviale spécifique, de la cohésion des berges et du rôle de la végétation établir une relation avec les évolutions historiques de ces tronçons de référence.

Le besoin en espace à laisser à disposition de l'érosion de berge a été estimé à la fois en fonction du type de cours d'eau (cours d'eau peu, moyennement et très mobiles) et du terme considéré (à 10 ans, 20 ans, 100 ans)

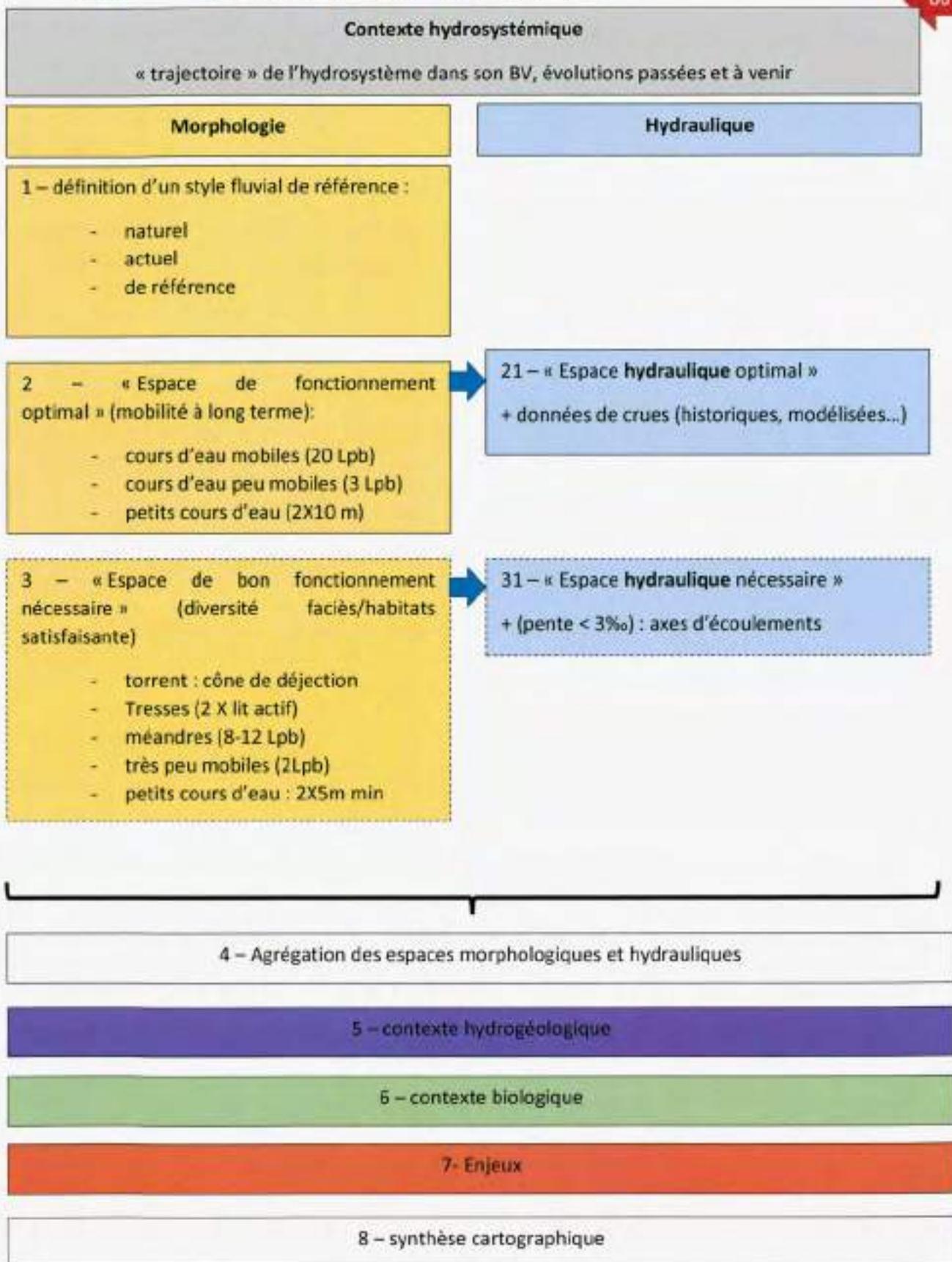
Tableau 2 : taux d'érosion moyens pour des échelle de temps de 10,20 et 100 ans en relation avec les classes de potentiel de mobilité (w : largeur à pleins bords) (in Fluvial.IS, 2010)

Gewässertypen		Mittlere jährliche Erosionsrate in den nächsten 10 Jahren	Mittlere jährliche Erosionsrate in den nächsten 20 Jahren	Mittlere jährliche Erosionsrate in den nächsten 100 Jahren
Entwicklungspotenzial-Klasse	Gewässerbettbreite (GB)			
Klasse 1: von Natur aus entwicklungs-träge Gewässer	GB ≤ 6 m	0,2 m/an	0,15 m/an	0,1 m/an
	6 m < GB < 15 m	0,3 m/an	0,2 m/an	0,15 m/an
	GB ≥ 15 m	0,4 m/an	0,3 m/an	0,2 m/an
Klasse 2: von Natur aus entwicklungs-freudige Gewässer	GB ≤ 6 m	0,6 m/an	0,5 m/an	nicht mehr relevant: siehe Text § 5.2.1 (Breite EK = 10 x w)
	6 m < GB < 15 m	0,8 m/an	0,6 m/an	
	GB ≥ 15 m	2 m/an	1,5 m/an	
Klasse 3: von Natur aus sehr entwicklungs-freudige Gewässer	GB ≤ 6 m	2 m/an	nicht mehr relevant: siehe Text § 5.2.1 (Breite EK = 10 x w)	nicht mehr relevant: siehe Text § 5.2.1 (Breite EK = 10 x w)
	6 m < GB < 15 m	3,5 m/an		
	GB ≥ 15 m	5 m/an		



Figure 44 : exemple de cartographie de l'espace nécessaire à 3 échelles de temps (rivière Oster, Saarland, 2010)

2.3.3. Méthode Raccasi et al. 2016 (AERMC)



3. DEFINITIONS

3.1. Qu'est-ce que l'espace de bon fonctionnement ?

L'**espace de bon fonctionnement** correspond donc aux enveloppes dans lesquelles les processus naturels s'expriment, assez librement pour assurer, de façon durable, un niveau satisfaisant d'équilibre du cours d'eau grâce à l'expression des processus hydrologiques, morpho-dynamiques, hydrogéologiques, écologiques et physico-chimiques.

L'espace de **bon** fonctionnement n'est pas l'espace préservé originel nécessaire au fonctionnement optimal des cours d'eau, mais un espace peut-être plus restreint, qui permet cependant aux « fonctions soutenant le cours d'eau » de sauvegarder son statut « d'infrastructure naturelle » (CTP, p. 5). L'espace de **bon** fonctionnement permet la réalisation de l'essentiel des fonctionnalités des cours d'eau de façon satisfaisante pour la préservation des personnes et des biens, de la ressource et de la diversité. Cela ne signifie pas que cet espace soit vierge de toute modification.

L'**espace de très bon fonctionnement** serait le territoire suffisamment préservé, en général théorique, pour que le cours d'eau remplisse, de façon peu ou pas perturbée ses fonctions d'épuration, de régulation des niveaux d'eau, d'habitat écologique, de transit sédimentaire, etc. Pour la majorité des fonctions, cet espace de très bon fonctionnement s'étend au-delà du tronçon ou du secteur de cours d'eau. Il doit parfois englober l'ensemble du bassin versant (source de pollution amont, déséquilibre sédimentaire, perturbation forte du fonctionnement hydrologique, etc.).

Il faut envisager la possibilité que les perturbations à l'amont ou à l'aval de la zone d'étude sont telles qu'un bon fonctionnement soit compromis au niveau local (perturbation radicale du transit sédimentaire, forte érosion régressive, pollutions, écrêtement artificiel des crues, etc.). Dans ce cas, l'opportunité de la délimitation d'un Espace de Bon Fonctionnement local doit être étudiée, avec soit un changement de l'échelle d'étude, soit un changement de ses objectifs (exclusion de l'un ou l'autre volet), voire même de l'intérêt d'une telle étude.

A l'intérieur de cet espace de bon fonctionnement, est compris l'espace de fonctionnement résiduel, dans lequel les fonctions des différentes disciplines doivent s'exprimer finalement : c'est l'**espace de fonctionnement actuel**.

Ces différentes enveloppes permettront ainsi de pouvoir proposer des enveloppes de projet en fonction des enjeux, des contraintes locales et des opportunités locales :

- reconquête de l'espace de bon fonctionnement ;
- compensation de dysfonctionnements graves par la mobilisation de l'espace de Très Bon Fonctionnement,
- etc.

Schématiquement et pour chacun des 6 compartiments, on retiendra trois espaces à définir successivement :

- ✓ l'espace de très bon fonctionnement (ETBF),
- ✓ l'espace de bon fonctionnement (EBF),
- ✓ l'espace de fonctionnement actuel (EFA).

Des espaces intermédiaires peuvent parfois venir en appui de la démarche à titre d'information ou de complément (espace de fonctionnement historique par exemple).

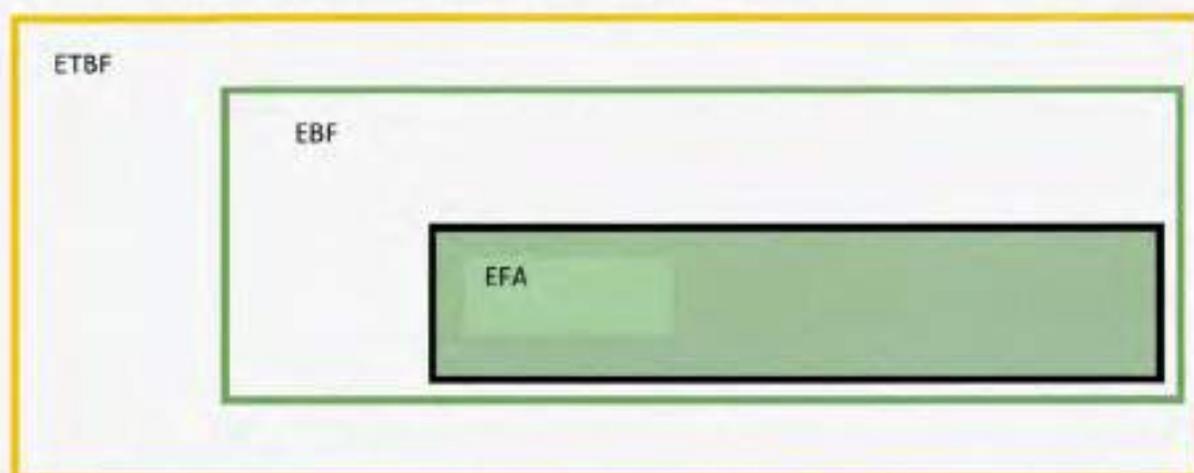


Figure 45 : imbrication des trois espaces de fonctionnement principaux

3.2. Seuil d'irréversibilité

Parfois, il peut arriver que les modifications soient telles que certaines situations antérieures ne peuvent plus être raisonnablement restaurées (incision violente du lit mineur, urbanisation du fond de vallée, mitage important du fond de vallée par les extractions d'alluvions, remblaiement du lit majeur, etc.).

Il nous paraît important d'évaluer malgré tout le bon fonctionnement selon l'état naturel de fonctionnement théorique afin de garder la mesure des modifications apportées, avec une certaine cohérence à l'échelle du bassin.

Ce sera le rôle de l'analyse de mettre en perspective cet état des lieux, notamment en faisant la part des enjeux socio-économiques, des moyens financiers et des potentialités de réhabilitation du milieu, localement ou à l'échelle de l'unité d'étude.

3.3. Les fonctions respectives de l'EBF

3.3.1. Le bon fonctionnement morpho-dynamique

Métamorphose fluviale et bon fonctionnement morpho-dynamique

Lorsque des modifications durables des variables de contrôles (débits liquides, solides, pente, végétation riveraine, etc.) se produisent, on peut assister à un phénomène de « métamorphose fluviale ». Dans ce cas, plusieurs des variables géométriques de réponse (largeur, tirant d'eau à pleins bords, sinuosités, etc.) sont modifiées sous l'effet d'une évolution durable.

Il s'agit d'une thématique largement développée (Schumm, 1977, Knighon, 1987, Petts, 1989, Lajczak, 1995, Piégay et al., 1993) et qui illustre le fait que le bon fonctionnement est relatif à une situation donnée des conditions générales, et ce, à un moment donné.

Le bon fonctionnement est finalement celui qui permet une adaptation libre du chenal et du lit majeur à l'hydrologie et au transport solide issu de l'amont et à l'héritage (pente de la vallée et type de matériaux) et à l'écosystème (végétation), tout en assurant les fonctionnalités attendues par la collectivité (préservation de la ressource, protection des personnes et des biens, préservation du patrimoine, etc.).

Les fonctions de l'EBF morpho-dynamique

L'Espace de Bon Fonctionnement morpho-dynamique : zone riveraine du cours d'eau qui permet l'expression de la dynamique du cours d'eau conformément aux conditions hydrologiques, sédimentaires et topographiques locales, de telle sorte que la géométrie du lit (largeur, profondeur, sinuosité) et le transit sédimentaire s'expriment librement de façon durable.

Les fonctions de cet espace morpho-dynamique sont les suivantes :

- préservation du transit sédimentaire : le cycle naturel érosion (des berges, des fonds, des versants) – transport – dépôt se réalise de façon équilibrée, sans phénomène excessif de colmatage, d'incision du lit, de dynamique latérale excessive ;
- entretien durable des formes du lit mineur et de sa diversité naturelle : la diversité naturelle des largeurs, des profondeurs inhérentes au type de cours d'eau permet de garantir dans le temps le renouvellement des formes.

3.3.2. Le bon fonctionnement hydrologique/hydraulique

Fonction de rétention de crue

Après les premières étapes d'identification, de cartographie du risque d'inondation, la Directive Inondation (2007/60/CE), impose de mettre en place des stratégies locales de gestion de ce risque. Un des moyens de cette stratégie, est « l'amélioration de la rétention de l'eau et l'inondation contrôlée ». Cette conception rejoint le principe du « ralentissement dynamique » des inondations.

Celui-ci privilégie la sélection de zone à enjeux faibles comme zone d'expansion privilégiées des crues à l'endiguement du lit sans coordination amont-aval (figure ci-dessous) (Poulard *et al.*, 2008).

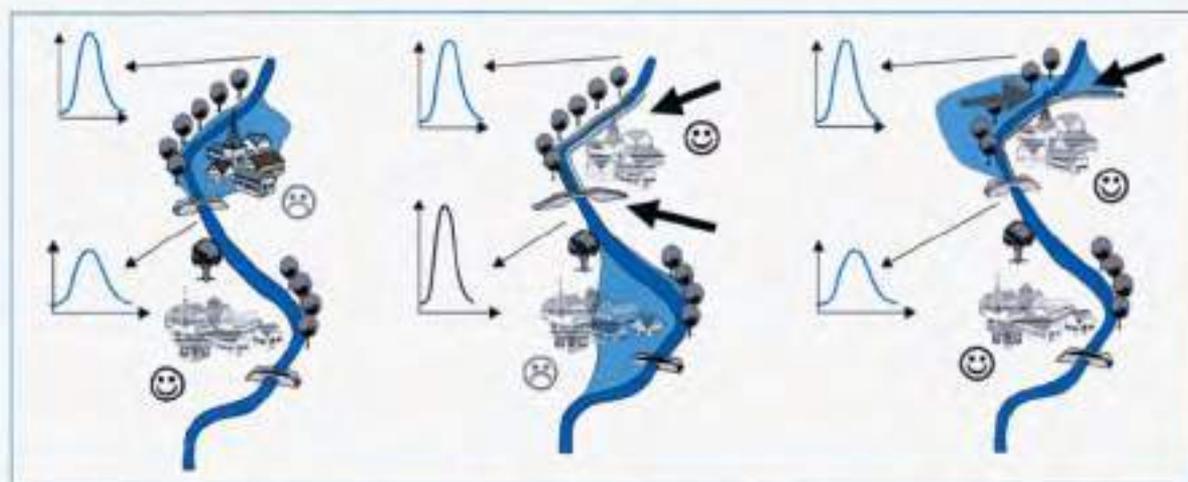


Figure 46 : les principes du ralentissement dynamique et ses effets sur l'écrêtement de crue de l'amont vers l'aval (in Poulard *et al.*, 2008)

C'est ce principe qui finalement est repris avec le concept de ZRDC (Zone de Ralentissement Dynamique en Crue, cf. Cemagref, 2004, EPAMA, 2006).

Fonction de soutien aux autres fonctions

- morphodynamique : lutte contre l'incision des lits, équilibre morphosédimentaire (MES, Piégay *et al.*, 2003) ;
- hydrogéologique : alimentation de la nappe, soutien de la nappe (pas d'enfoncement) ;
- écologique et hydrobiologique : diversité des habitats, zones humides, zones de frais, etc. ;
- biogéochimique : filtre des nutriments.

3.3.3. Le bon fonctionnement hydrogéologique

La recharge de la nappe est une des fonctions les plus fréquemment évoquées pour justifier de la préservation des surfaces du bassin versant de l'artificialisation (réf. : SDAGE Rhin-Meuse, SDAGE Seine-Normandie, SDAGE Rhône-Méditerranée...).

Souvent, autour de la notion d'Espaces de Liberté et de Bon Fonctionnement, est évoquée l'importance des échanges nappes/rivière (SDAGE RMC), en lien avec la préservation des zones d'expansion des crues, la préservation des zones humides et l'auto-épuration.

La préservation des fonctions des eaux souterraines en lien avec le cours d'eau d'un bassin hydrogéologique (nappes phréatiques libres ou captives) dans des conditions de couverture des sols naturelle et en l'absence de captages ou d'exploitation minière pourrait représenter un état de **Très Bon Fonctionnement**. Dans ce cas, les limites de l'ETBF hydrogéologiques sont celles de la nappe alluviale.

Cependant la nature de l'encaissant, sa perméabilité et les connexions possibles entre la nappe phréatique des versants et la nappe alluviale proprement dite peuvent influencer le degré d'impact des infrastructures ou des modifications anthropiques : un forage dans une nappe alluviale n'aura pas le même impact dans un contexte alluvial sans échanges avec l'encaissant que si cette nappe alluviale est alimentée également par la nappe de l'encaissant.

On considérera que l'espace de bon fonctionnement hydrogéologique est proche de l'espace de bon fonctionnement hydraulique, celui qui permet une recharge de la nappe par les débordements et les circulations dans les alluvions.

L'EBF hydrogéologique favorise directement :

- le bon fonctionnement bio géochimique : auto-épuration, préservation de la ressource en eau, ...
- le bon fonctionnement écologique et hydro-biologique.

L'espace de fonctionnement hydrogéologique actuel (EFA) prendra en compte les modifications de l'EBF hydrogéologique, à savoir :

- les captages susceptibles d'influencer la nappe alluviale ;
- l'imperméabilisation des sols ;
- les modifications de la couverture alluviale (sites d'extractions d'alluvions par exemple, remblais de nature différente, etc.) ;
- les perturbations du sous-sol (suite à des exploitations minières) qui pourraient provoquer des pertes ou au contraire des remontées de nappe ;
- les interventions sur le lit mineur qui conduisent à un enfoncement de la nappe (incision du lit) ou à une remontée de la nappe (retenue d'eau par exemple).

3.3.4. Le bon fonctionnement biogéochimique



La fonction de limitation des transferts

La mise en place de « zones tampons » (bande enherbée de 5 m, directive Nitrates) entendait en premier lieu lutter contre l'apport de polluants à la rivière en ménageant un espace végétalisé qui puisse jouer un rôle de filtre.

Les polluants visés par une bande végétalisée plus ou moins naturelle (forêt alluviale, friche, bande enherbée, chemin enherbé, prairie permanente, roselière, etc.) sont principalement, à l'origine, les pesticides et les nutriments, mais également les sédiments fins (vases, limons, ...) susceptibles d'être transportés vers le cours d'eau.

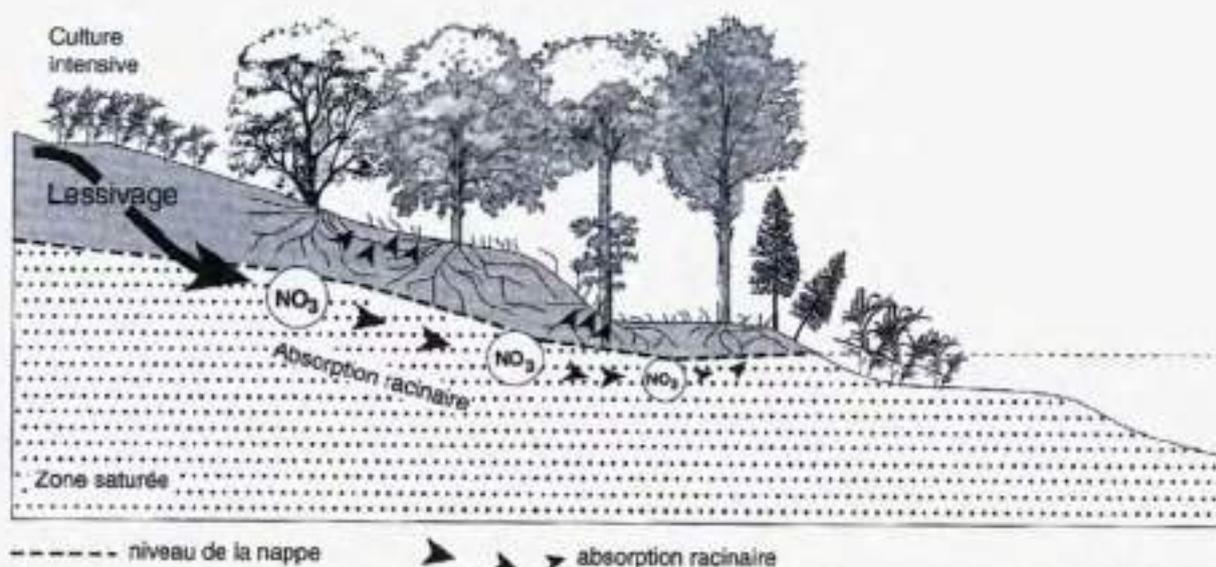
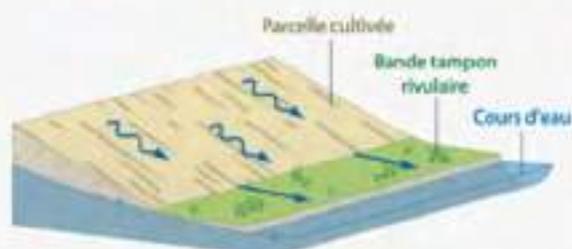


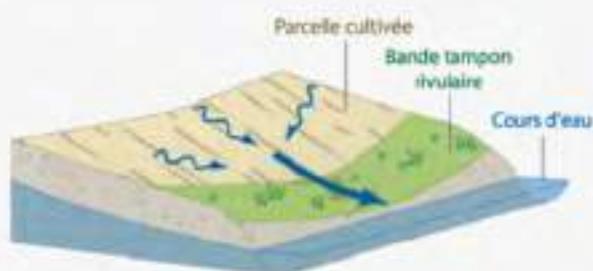
Figure 47 : circulation de nutriments dans les eaux du sous-écoulement du prélèvement racinaire (Ruffinoni *et al.*, 2003)

L'efficacité de cette zone tampon dépend bien entendu de sa largeur, mais également des propriétés d'infiltration propres des sols concernés liées notamment à la pente et aux caractéristiques hydrogéologiques locales (cf. fonctionnement hydrogéologique et fig. ci-dessous).

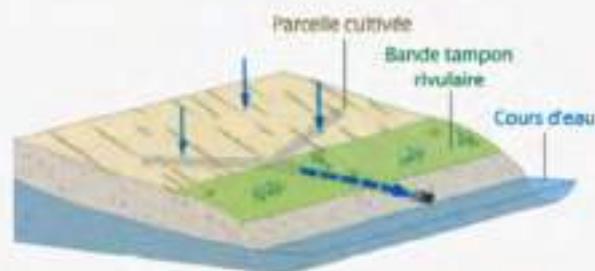
Le sol de la bande tampon rivulaire est saturée (hydromorphie) en raison de la proximité de la nappe d'accompagnement du cours d'eau (berge convexe). Le ruissellement reçu ne s'infiltré pas.



La topographie (thalweg) et la longueur du versant conduisent à une concentration du ruissellement que la bande tampon ne parvient pas à atténuer.



L'eau s'infiltré dans la parcelle (ruissellement faible ou nul) avant d'être exportée vers le réseau hydrographique par le réseau de drains enterrés. La bande tampon est court-circuitée.



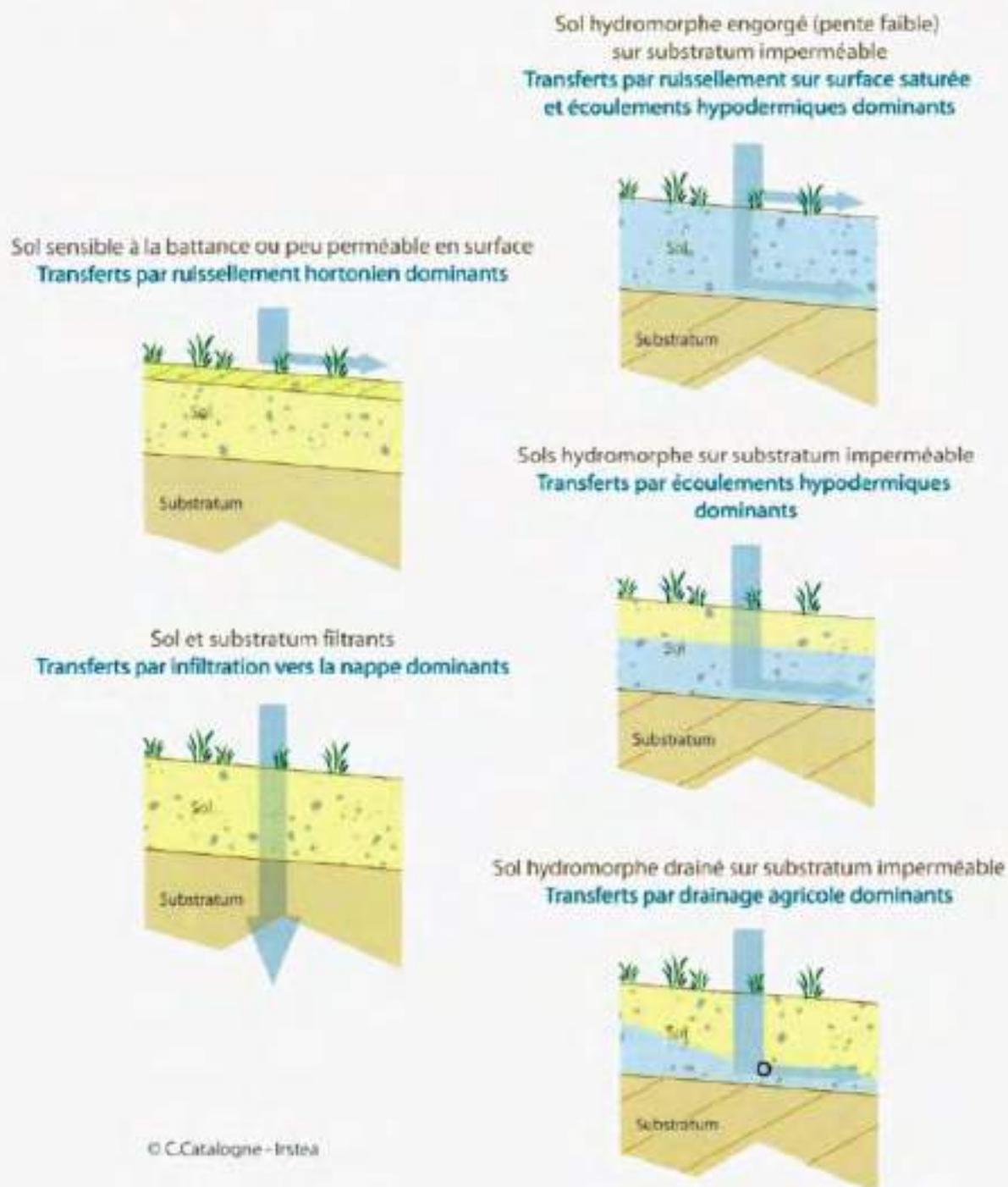
Conception graphique: Insee

Figure 48 : les trois facteurs limitant l'efficacité des bandes tampons rivulaires par rapports aux transferts de surface (Catalogne et al, 2016)

En l'absence de facteurs limitants, les boisements rivulaires peuvent permettre d'abattre jusqu'à 80% de l'azote à partir d'une largeur de 5 m (Maridet 1995, in Catalogne et al., 2016). Ces aspects sont donc à considérer localement à l'échelle du tronçon pour estimer la largeur nécessaire au bon fonctionnement de cette zone tampon.

La nature des matériaux constitutifs des rives joue également un rôle important. Plus les sols seront poreux et perméables, moins la bande rivulaire sera susceptible de jouer un rôle filtrant pour les azotes (fig. ci-après).

Au contraire de l'azote, les pesticides transportés par des ruissellements diffus peuvent être d'autant mieux retenus ou dégradés que les capacités d'infiltration dans le sol sont bonnes (Maridet 1995, in Catalogne et al., 2016). Ainsi la proximité de la nappe dans le sous-sol peut favoriser le transfert des pesticides au cours d'eau. Néanmoins, la question du stockage de ces pesticides dans le sous-sol et de leur éventuel relargage ultérieure n'est pas suffisamment connue et la diversité des molécules concernées (métabolites) rend d'autant plus complexe cette analyse globale.



© C.Catalogne - Instea

Figure 49 : situations de transferts possibles en fonction des propriétés du milieu rivulaire (extrait de Catalogne, Le Hénaff, 2016)

La fonction d'autoépuration

Le bon fonctionnement biogéochimique dépendra de plusieurs éléments qui seront variablement représentés en fonction du type de cours d'eau :

- la zone hyporéique (granulométrie en place et épaisseur du matelas alluvial) ;
- le colmatage des fonds ;
- la porosité des berges et la présence ou non d'une nappe alluviale ;
- la qualité de la connexion de la ripisylve.

Les cours d'eau selon leur capacité naturelle à réunir ou non ces éléments présenteront des potentiels auto-épuration variables :

	Transport solide	Porosité des berges
Fort potentiel auto-épuration	Fort à très fort Fort à très fort	Forte Moyenne
Potentiel auto-épuration moyen	Modéré Fort à très fort	Forte Faible
Potentiel auto-épuration faible	Faible Moyen Faible	Faible Faible Moyenne

D'autres facteurs peuvent confirmer ou infirmer le potentiel auto-épuration en fonction de leur densité ou de leur extension :

- la présence d'une ripisylve dense et continue, de forêt alluviale (limitation de l'eutrophisation par l'ombrage, absorption des nutriments par le racinaires, etc.) ;
- une fréquence de submersion élevée (> 20 jours par an par exemple) ;
- la fréquence de fortes turbulences (oxygénation) dues à la présence d'obstacles dans le lit (embâcles) ou de fortes variations de pentes (chutes d'eau).



Figure 50 : les effets bénéfiques de la ripisylve contre l'eutrophisation, la Nied Allemande en été : à gauche, un secteur ouvert plutôt favorable à l'eutrophisation et, à droite, un secteur moins favorable du fait de la présence d'ombrage, diminuant le réchauffement de l'eau (photo Fluvial.IS, 2012)

3.3.5. Le bon fonctionnement écologique

Bon fonctionnement « Terrestre et palustre »

L'Espace de Très Bon Fonctionnement Ecologique d'un cours d'eau correspond à l'enveloppe maximale permettant la réalisation de l'ensemble du cycle de vie des espèces inféodées aux cours d'eau (hydrobiologie) et à son lit majeur (espèce terrestre ou amphibie), de tout groupe et de toute typologie de cours d'eau.

Le bon fonctionnement écologique comporte ainsi deux volets complémentaires et fonctionnant en interaction permanente. Afin de bien prendre en compte les caractéristiques de chaque volet, ils sont évalués de manière distincte, bien que l'EBF « hydrobiologique » soit directement lié à l'EBF « Ecologie terrestre ».

La notion d'Espace de Très Bon Fonctionnement fait donc totalement abstraction des contraintes et pressions anthropiques d'aujourd'hui, soit un cours d'eau et son bassin versant quasiment à l'état originel ou tel qu'on pourrait se le figurer avec les données actuelles (Sources, résurgences, zones humides de versant, zones humides alluviales, chevelus hydrographique naturel, ETBF hydraulique et ETBF Hydrogéologique).

Partant de ce postulat, l'EBF Ecologique théorique d'un cours d'eau correspond à la prise en compte et l'assemblage de l'ensemble des paramètres biologiques, morphologique, hydraulique et hydrogéologique permettant d'identifier l'espace de fonctionnement optimal, de nos jours, pour la bonne réalisation des fonctions écologiques nécessaires au bon état du cours d'eau. Ces fonctions sont directement liées au bon fonctionnement morphodynamique, hydraulique et hydrogéologique permettant le maintien de la diversité, de la surface et du bon état de conservation des milieux présents à proximité d'un cours d'eau.

Il correspond donc à une enveloppe qui pourrait théoriquement permettre la bonne réalisation du cycle complet des espèces (reproduction, migration, repos et nourrissage) mais également d'atteindre le Bon Etat des Masses d'eau et notamment le Bon Etat Ecologique, par leurs fonctions naturelles. Ainsi, l'EBFE peut se rapprocher de l'Espace de Très Bon Fonctionnement Ecologique pour un bassin versant très peu anthropisé ou modifié par l'homme. Il correspond dans la majorité des cas de figures à l'Espace de Bon Fonctionnement hydrogéologique, hydraulique, voire géomorphologique (pour des cours d'eau très mobiles) permettant un bon fonctionnement du cours d'eau et une alimentation pérenne des zones humides connexes au cours d'eau.

L'Espace de Fonctionnement écologique Actuel (EFA) d'un cours d'eau correspond quant à lui, à identifier majoritairement les milieux naturels situés à l'interface des activités humaines et de la rivière, ou au sein de la rivière. Cette approche introduit le concept de « zone d'influence » ou « zone tampon », qui permet de prendre en compte le territoire, les caractéristiques, ou le fonctionnement, qui va interférer sur l'état des milieux humides et la fonctionnalité lit mineur/ lit majeur. Les zones humides en font partie intégrante, via leurs fonctions, ainsi que « l'espace de fonctionnalité pour les espèces de faune et de flore » dans lequel elles s'insèrent. L'EBF Ecologique actuel procède donc du recoupement entre l'EBF Théorique, le fonctionnement hydrogéomorphologique actuel du cours d'eau pour la connexion lit majeur/ lit mineur (EFA hydraulique, l'EFA hydrogéologique et l'EFA morphologique) et les contraintes anthropiques.

Cette méthode peut être appliquée sur l'ensemble de la typologie des cours d'eau identifiés sur la bassin Rhin-Meuse (alluviaux et non alluviaux). En effet, de la source à l'embouchure, les zones humides, et les espèces inféodées aux hydrosystèmes, présentent une multitude de visages originaux et divers. Afin de traiter, un maximum de cas de figure, il est nécessaire de tenir compte de l'ensemble des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse avec notamment les cours d'eau de montagnes et les cours d'eau de plaine. Car l'ensemble des zones humides et des milieux naturels connectés au cours d'eau, d'un point de vue longitudinal ou latéral représente un enjeu pour l'Espace de Bon Fonctionnement Ecologique.

Toutefois, comme évoqué précédemment, afin de passer d'un EBF Ecologique Théorique à un EFA Ecologique, il est nécessaire que toutes les contraintes soient identifiées.

Ainsi, quelques soit les cours d'eau, les fonctions de cet Espace de Bon Fonctionnement Ecologique doivent être les suivantes :

- préservation des zones humides : pour le maintien et l'amélioration des habitats humides et des fonctions liées (Biodiversité, épuration, stockage et restitution des eaux, etc.).
- préservation des continuités écologiques : pour la réalisation d'un cycle complet de la faune, notamment d'espèces inféodées à ces milieux, notamment les fonctions d'alimentation, de reproduction, de migration et de repos.

Le bon fonctionnement hydrobiologique

Comme précisé précédemment, nous choisissons d'appréhender le Bon Fonctionnement « hydrobiologique » au travers des exigences écologiques du compartiment biologique « poissons ». Cette stratégie pourrait paraître « bio-réductrice » mais le compartiment piscicole présente en réalité de fortes caractéristiques intégratrices, lui permettant de refléter de manière très significative la qualité écologique de l'ensemble du milieu aquatique. En outre, la complexité d'intégrer les autres cortèges aquatiques (macro-invertébrés, macrophytes, ...) s'avère incompatible avec les objectifs du présent travail, visant à élaborer une méthode de caractérisation synthétique et aisément reproductible. A ce propos, les poissons présentent également l'avantage de pouvoir faciliter l'approche méthodologique en se référant à un nombre restreint d'espèces repères, suffisamment représentatives du fonctionnement de tout l'écosystème aquatique considéré.

De manière simplifiée, ce sont donc les caractéristiques des espèces repères des trois contextes piscicoles théoriques (salmonicole, intermédiaire et cyprinicole) que nous retenons comme indicateur de bon fonctionnement. Ainsi, l'enveloppe de bon fonctionnement hydrobiologique doit permettre, dans chaque contexte, la bonne réalisation des cycles biologiques des espèces, ce qui inclut classiquement :

- la reproduction,
- l'alimentation,
- le repos,
- la dispersion.

Ces fonctions sont principalement assurées au sein même du lit mineur et nécessitent une continuité longitudinale le long de l'hydrosystème (affluents inclus), vers l'aval, comme vers l'amont. Dans ce cas, l'enveloppe de bon fonctionnement hydrobiologique (EBF_{hydrobio}) se superposera exactement à celle du bon fonctionnement morpho-dynamique puisque les conditions d'habitat (faciès, substrats, ...) au sein du lit mineur sont directement liées à la fonctionnalité hydromorphologique du cours d'eau. On notera, toutefois, que la composante « continuité longitudinale » est primordiale

puisque la plupart des espèces auront besoin d'effectuer un minimum de déplacements au sein du cours d'eau pour assurer leurs cycles biologiques (par exemple pour gagner des zones de reproduction favorables). Ces déplacements peuvent même être nécessaires entre le cours d'eau et ses affluents (par exemple pour la reproduction de la truite ou pour la dispersion de la plupart des espèces), voire à une échelle beaucoup plus large en ce qui concerne les « grands migrateurs » (anguille, salmonidés, lamproies, clupéidés ...).

Toutefois, à notre échelle de travail, il n'apparaît pas pertinent de choisir de retirer certains linéaires de cours d'eau de l'EBF parce qu'ils seraient dysfonctionnels en termes de continuité piscicole (nécessité de diagnostic de chaque ouvrage, variabilité temporelle de leur fonctionnement, variabilité d'impact vis-à-vis des différentes espèces, possibilité de populations « autonomes » de part et d'autre de l'ouvrage, ...). En revanche, il faudra que toute contrainte anthropique d'ordre longitudinal soit identifiée au sein de l'EBF présenté (localisation des ouvrages, zone d'influence du remous et, si disponible, hauteur de chute / diagnostic de franchissabilité).

La définition de l'enveloppe de bon fonctionnement hydrobiologique comporte aussi une dimension latérale entre le cours d'eau et ses annexes hydrauliques, ou plus largement son champ d'expansion de crue. En effet, les annexes hydrauliques, qu'elles soient connectées de manière pérenne ou non au cours d'eau, constituent d'importantes sources d'échanges faunistiques avec le lit principal (elles sont ainsi qualifiées de « zones refuges »). De plus, au même titre que les zones inondables occupées par des prairies (ou autres supports végétaux propices), elles sont des zones de reproduction idéales pour les espèces phytophiles comme le brochet. Pour ce dernier, il est considéré qu'une zone de frayère « normalement » fonctionnelle doit présenter une submersion suffisante 1 à 2 années sur 5 (Chancerel, 2003).

Cela sous-entend donc que la prise en compte de l'aire d'extension de la crue décennale constituerait une enveloppe de bon fonctionnement hydrobiologique très satisfaisante du point de vue de la dynamique latérale de l'hydrosystème fluvial.

C'est donc l'aire d'expansion de la crue décennale qui sera retenue comme Espace de Bon Fonctionnement hydrobiologique ($EBF_{hydrobio}$), quand la typologie du cours d'eau nécessite la prise en compte de cette dimension latérale. Si aucune modélisation de la crue décennale n'est disponible, ce périmètre pourra être appréhendé par le biais d'une estimation correspondant à une enveloppe de 10 fois la largeur à pleins bords du cours d'eau (correspondant à la zone de grand écoulement hydraulique, réputée être la plus souvent inondée par les crues fréquentes, cf.0). Toute annexe hydraulique (à l'exclusion des plans d'eau anthropiques) qui serait coupée par cette enveloppe initiale devra évidemment faire l'objet d'un élargissement du périmètre EBF retenu suivant les limites physiques de l'intégralité de l'annexe considérée (des milieux connexes d'origine anthropique ancienne, comme d'anciens bras de moulins par exemple, peuvent être retenus de cette manière si leur fonctionnalité écologique est jugée pertinente au cas par cas). De la même manière que les ouvrages hydrauliques cités précédemment, les contraintes anthropiques susceptibles de modifier l'aire d'expansion de la crue décennale (voies de communications routières et ferroviaires) devront être signalées au sein de l' $EBF_{hydrobio}$.

On rappellera aussi que l'Espace de Très Bon Fonctionnement hydrobiologique ($ETBF_{hydrobio}$) se définit à une échelle plus large : celui-ci n'est effectivement pas restreint au seul lit mineur augmenté, le cas échéant, de zones de frayères latérales fonctionnelles. Comme pour la plupart des autres thématiques abordées, l' $ETBF_{hydrobio}$ correspondrait plutôt à l'intégralité du fond alluvial (le cas échéant). Ainsi, toute annexe hydraulique (donc réservoir de biodiversité potentiel) incluse dans le fond alluvial et donc susceptible de se retrouver ponctuellement reconnectée au cours d'eau à un

moment ou à un autre serait intégrée à la définition de l'enveloppe de Très Bon Fonctionnement hydrobiologique.

Selon l'approche globale précédemment présentée pour la caractérisation de l'EBF_{hydrobio}, on distinguera trois cas :

- **Cas 1 : Les cours d'eau de montagne non alluviaux**, correspondant au contexte salmonicole (ou éventuellement intermédiaire), qui n'ont pas vocation à déborder largement de leur lit (échanges longitudinaux uniquement – le long du cours d'eau et avec ses affluents) et pour lesquels l'enveloppe de bon fonctionnement hydrobiologique correspondra trait pour trait à celle du bon fonctionnement morpho-dynamique (lit mineur plus éventuellement enveloppe morpho-dynamique). Il convient toutefois d'apporter une précision complémentaire qui, dans certains cas, conduira à élargir ponctuellement l'EBF_{hydrobio} par rapport à l'EBF_{hgm} : les bras secondaires d'origine anthropique ancienne (bras de moulin, ...) ne sont pas intégrés à l'EBF_{hgm} mais peuvent, dans certains cas, présenter un intérêt réel vis-à-vis du compartiment hydrobiologique (par exemple en tant que « pépinières » pour la reproduction des truites). Une évaluation au cas par cas de ces bras secondaires sera donc nécessaire pour définir s'ils doivent ou non intégrer l'enveloppe de l'EBF_{hydrobio} en complément de celle de l'EBF_{hgm} précédemment établie.



Figure 51 : principes de définition de l'EBF hydrobiologique pour les cours d'eau non alluviaux

- **Cas 2 : Les cours d'eau alluviaux**, correspondant le plus souvent au contexte cyprinicole (ou intermédiaire) mais peuvent aussi relever du contexte salmonicole dans certains cas. Afin de trouver une règle de caractérisation globale facile et reproductible, c'est le facteur « pente » qui peut être retenu pour affiner la distinction typologique au sein des cours d'eau alluviaux.
- **(CAS 2a) Les cours d'eau alluviaux de forte pente** (pente $\geq 2,5\%$ – voir justification scientifique ci-après) seront considérés comme associés à un contexte salmonicole (ou éventuellement intermédiaire). L'enveloppe de bon fonctionnement hydrobiologique sera donc strictement identique à celle précédemment définie pour les cours d'eau de montagne non alluviaux.
 - **(CAS 2b) Les cours d'eau alluviaux de pente plus modérée** (pente $< 2,5\%$ – voir justification scientifique ci-après) seront eux considérés comme associés à un contexte cyprinicole (ou intermédiaire) qui nécessite une fonctionnalité latérale pour une situation écologique optimale. Pour ces cours d'eau, l'enveloppe de bon fonctionnement hydrobiologique se superposera à l'aire d'expansion de la crue décennale (réelle ou estimée, suivant les éléments disponibles).

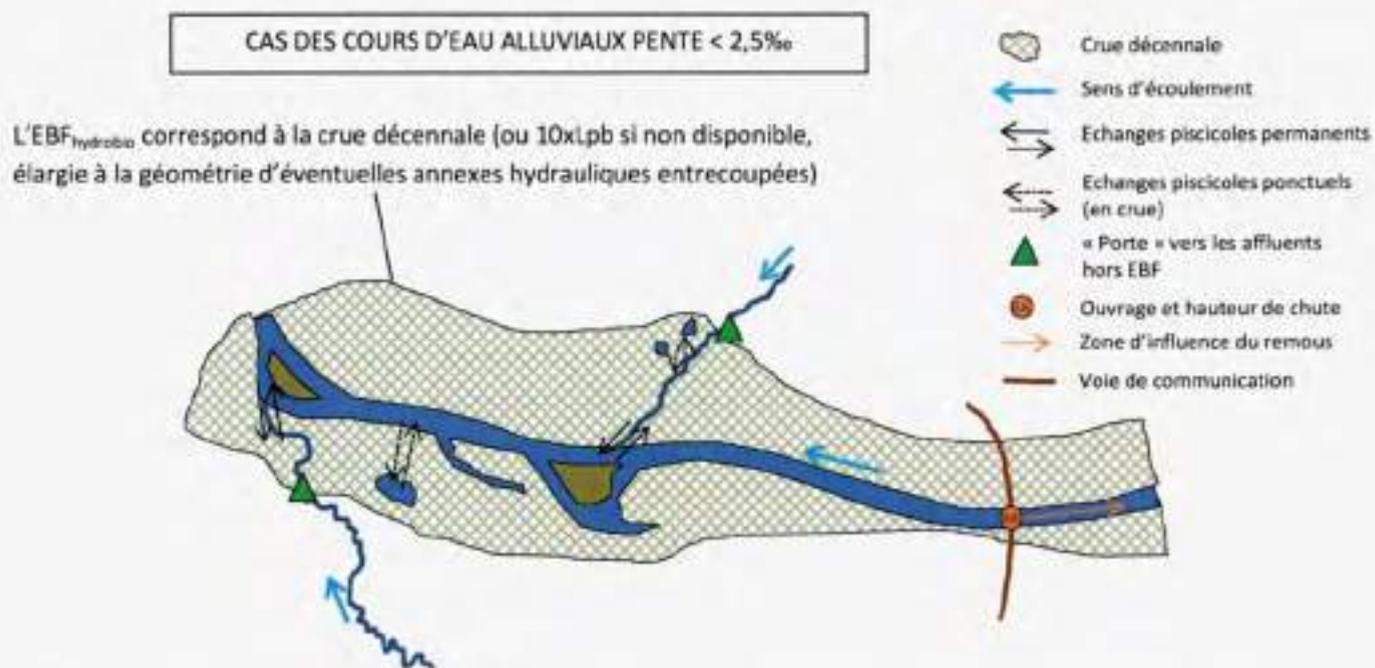
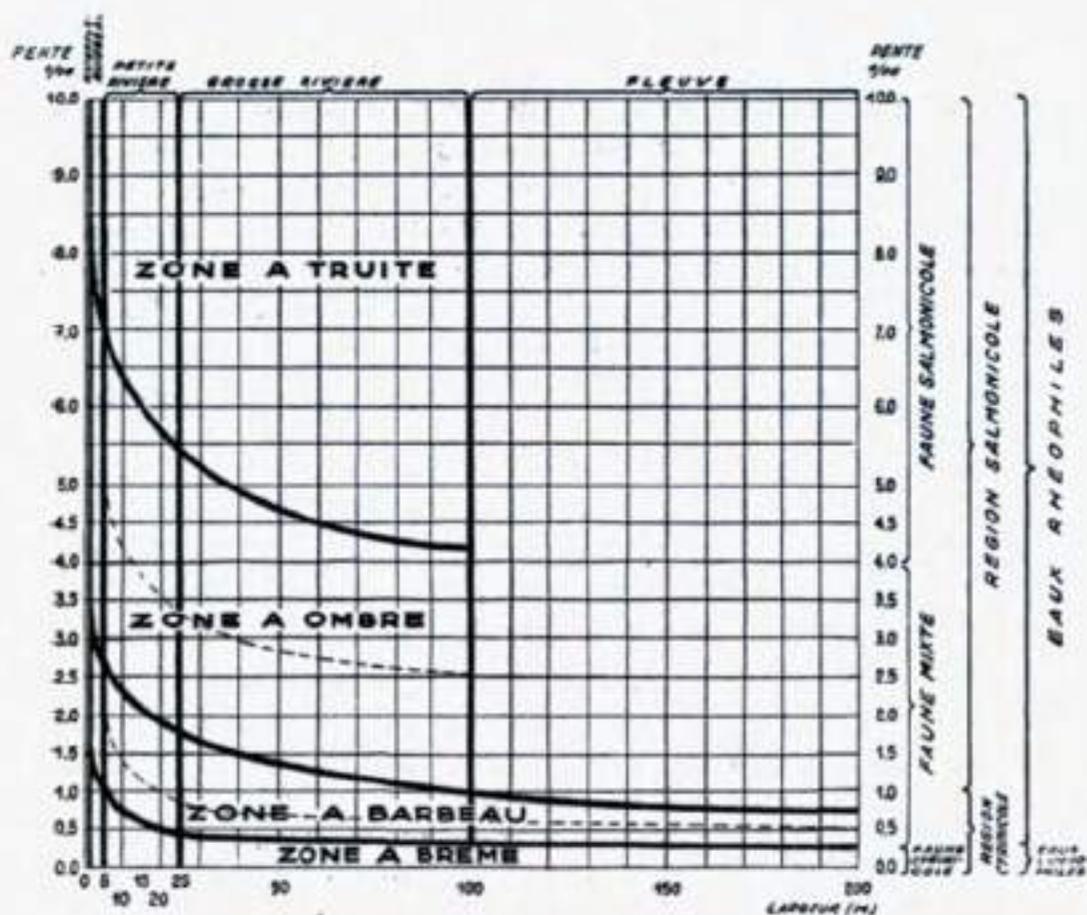


Figure 52 : principe de définition de l'EBF hydrobiologique pour les cours d'eau alluviaux de pente $< 2,5\%$

Justification scientifique du choix du seuil de pente de 2,5‰

Parmi les auteurs ayant cherché à caractériser les peuplements piscicoles en fonction des caractéristiques typologiques des cours d'eau, Huet (1954) a édicté la « règle des pentes » qui permet de distinguer différents secteurs piscicoles en fonction à la fois de la pente du cours d'eau et de sa largeur (figure suivante).



Graphique des pentes de Huet, 1954

D'après ces travaux, à partir d'une pente de 2,5‰ quelle que soit la largeur du cours d'eau, la typologie piscicole théorique correspond soit à la « zone à ombre », soit à la « zone à truite ». L'auteur définit la « zone à truite » comme un contexte purement salmonicole tandis que dans la « zone à ombre » on rencontrerait une faune mixte à dominance salmonicole. Des espèces cyprinicoles comme le gardon ou le rotengle ainsi que des carnassiers dont le brochet peuvent s'y trouver. Toutefois ce n'est pas dans ces secteurs qu'interviennent les enjeux relatifs à la reproduction du brochet (celle-ci aura lieu sur des secteurs plus en aval, au sein d'annexes hydrauliques ou sur prairies inondables).

D'autre part, nous avons procédé à un test sur 25 tronçons de cours d'eau du bassin Rhin-Meuse pour définir à partir de quelle valeur de pente, le contexte piscicole correspond à une situation évaluée comme typiquement salmonicole (réelle ou potentielle). Les cours d'eau sur lesquels des tronçons ont été sélectionnés sont : la Magel, la Bruche, le Giessen, la Liepvrette, le ruisseau de Reblangotte, le ruisseau de Champenay, le Grossbach, la Mortagne, le Brénon, le ru de la Forge, la Meurthe, la Bruxenelle, le ruisseau de Langatte, la Seille, la Rose/Rode, la Vezouze, la Meuse et la Nied Réunie historique. Un panel « continu » de pentes entre 20‰ et 0,5‰ a ainsi été testé. Sur ces 25 tronçons,

les 10 présentant les pentes les plus fortes ont tous été associés à un contexte salmonicole où le débordement du cours d'eau (annexes hydrauliques, prairies inondables) ne présente pas d'intérêt particulier vis-à-vis des exigences de reproduction du cortège piscicole. La valeur de pente la plus faible pour ces tronçons est celle du Giessen historique au nord de Châtenois et correspond à 2,5‰, soit exactement la valeur précédemment présentée pour la « zone à ombre » de Huet. En dessous de cette valeur, les tronçons testés correspondent pour la plupart à une situation piscicole intermédiaire ou franchement cyprino-esocicole. A titre indicatif, 16 tronçons de cours d'eau des bassins Seine-Normandie (la Barboure, l'Orge, la Chée, la Maldite, le Gland, la Saulx, la Vière et la Marne) ou Rhône-Méditerranée-Corse (le ru du Bagnerot, le ru de Cône et le Cône) ont aussi été testés de la même manière. Les résultats concordent eux aussi : tous les tronçons présentant des pentes supérieures à 2,5‰ ont été évalués comme relevant d'un contexte salmonicole également.

Il convient, toutefois, de noter que cette valeur seuil de pente de 2,5‰ reste théorique et n'est pas un critère absolu mais un choix méthodologique. Le cas échéant, si l'usage de ce seuil de 2,5‰ apparaît inadapté au vu des éléments concrets disponibles, la stratégie de construction de l'EBF_{hydrobio} devra alors être adaptée au contexte piscicole correspondant au potentiel théorique relevé :

- emploi de la méthode relative au « CAS 1 » pour des contextes salmonicoles purs (ou intermédiaires sans enjeu d'échanges latéraux),
- emploi de la méthode relative au « CAS 2b » pour des contextes cyprinicoles purs (ou intermédiaires avec enjeu d'échanges latéraux).

La définition ou non d'un enjeu relatif aux échanges latéraux pour les contextes piscicoles intermédiaires repose sur la fonctionnalité attendue par rapport aux caractéristiques globales du cours d'eau : le peuplement piscicole du secteur peut être « mixte » sans que, de manière naturelle, les enjeux de reproduction du brochet (au titre d'espèce repère pour la fonctionnalité latérale) soient forcément associés au fonctionnement hydraulique du tronçon concerné (mais relatifs à des tronçons situés plus en aval, dans la mesure d'une certaine proximité géographique). C'est par exemple typiquement le cas de la « zone à ombre » définie dans la typologie de Huet (1952).

4. METHODOLOGIES DE DELIMITATION DES ENVELOPPES DE L'EBF

Un premier travail réalisé sous maîtrise d'ouvrage de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (Raccasi *et al.*, 2016), a permis, à partir d'un important travail de synthèse scientifique et des déjà nombreuses définitions d'Espaces de Bon Fonctionnement (EBF) sur ce bassin, d'en présenter les intérêts pour les gestionnaires en termes d'aménagement du territoire et de gestion des risques notamment. En fonction des types de cours d'eau déjà traités (« grands cours d'eau / petits cours d'eau », cours d'eau de piémont, à tresses, torrents de montagnes, etc.), les auteurs ont rappelé les approches différentes qu'ils ont dû appliquer successivement et modifier afin de pallier aux différences intrinsèques des cours d'eau (type de références, évolutions historiques, etc.), d'échelle de précision et d'enjeux (rives plus ou moins urbanisées, discordances dans les attentes des gestionnaires, etc.). Les fonctions morphologiques et hydrauliques dominent les fonctions biogéochimique, hydrogéologique et écologique dans la définition des enveloppes.

Afin de compléter cette première étape, la démarche qui est ici développée a pour objectif l'élaboration d'une méthode de définition et d'évaluation des différentes enveloppes nécessaires à la bonne réalisation des 5 principales fonctions naturelles des cours d'eau. Cette méthode est réalisée à destination des gestionnaires de cours d'eau qui souhaite confier à des bureaux d'étude en environnement des investigations afin de mieux connaître le fonctionnement global de leurs cours d'eau et de leur environnement proche.

Les données disponibles et les niveaux d'investigations étant très variables selon les bassins, il s'agit ici de proposer :

- une définition commune des fonctions naturelles à décrire,
- une base commune et minimale de données à recueillir,
- des méthodologies simples afin de palier à des lacunes d'informations et ainsi éviter de négliger une fonction principale par défaut,
- une méthodologie commune d'évaluation prenant en compte les fonctions physiques et écologiques ainsi que le type de cours d'eau.

Après avoir désigné les fonctions attendues de chacun des 6 volets, notre méthodologie décompose donc en plusieurs étapes la définition respective des enveloppes concernées :

- Espaces de Très Bon Fonctionnement (ETBF)
- Espaces de Bon Fonctionnement (EBF)
- Espaces de Fonctionnement Actuel (EFA).

Pour chacun des 5 volets, le rapport surfacique EFA/EBF permet d'obtenir une évaluation de l'état de dégradation ou de préservation du fonctionnement actuel.

Ce rapport de surface entre l'espace de bon fonctionnement (EBF, en général théorique) et l'Espace de Fonctionnement Actuel (EFA, en général résiduel) donne en pourcentage l'évaluation de la préservation de la fonction concernée :

$$\frac{\text{Surface de l'Espace de Fonctionnement Actuel (EFA)}}{\text{Surface de l'Espace de Bon Fonctionnement (EBF)}} = \text{Estimation du degré de préservation de la fonction concernée}$$

Pour définir chacune des enveloppes l'opérateur devra bien entendu utiliser toutes les informations et moyens à sa disposition, définis dans son cahier des charges selon les objectifs et moyens arrêtés par son maître d'ouvrage : il peut s'agir d'un travail très synthétique reposant essentiellement sur des données existantes, plus ou moins précises, à vérifier par quelques jours de terrain, ou au contraire d'investigations plus exhaustives avec inventaires, prélèvements, parcours exhaustifs de la vallée concernée, enquêtes locales, recherches en archives, missions complémentaires par des sociétés spécialisées, etc.

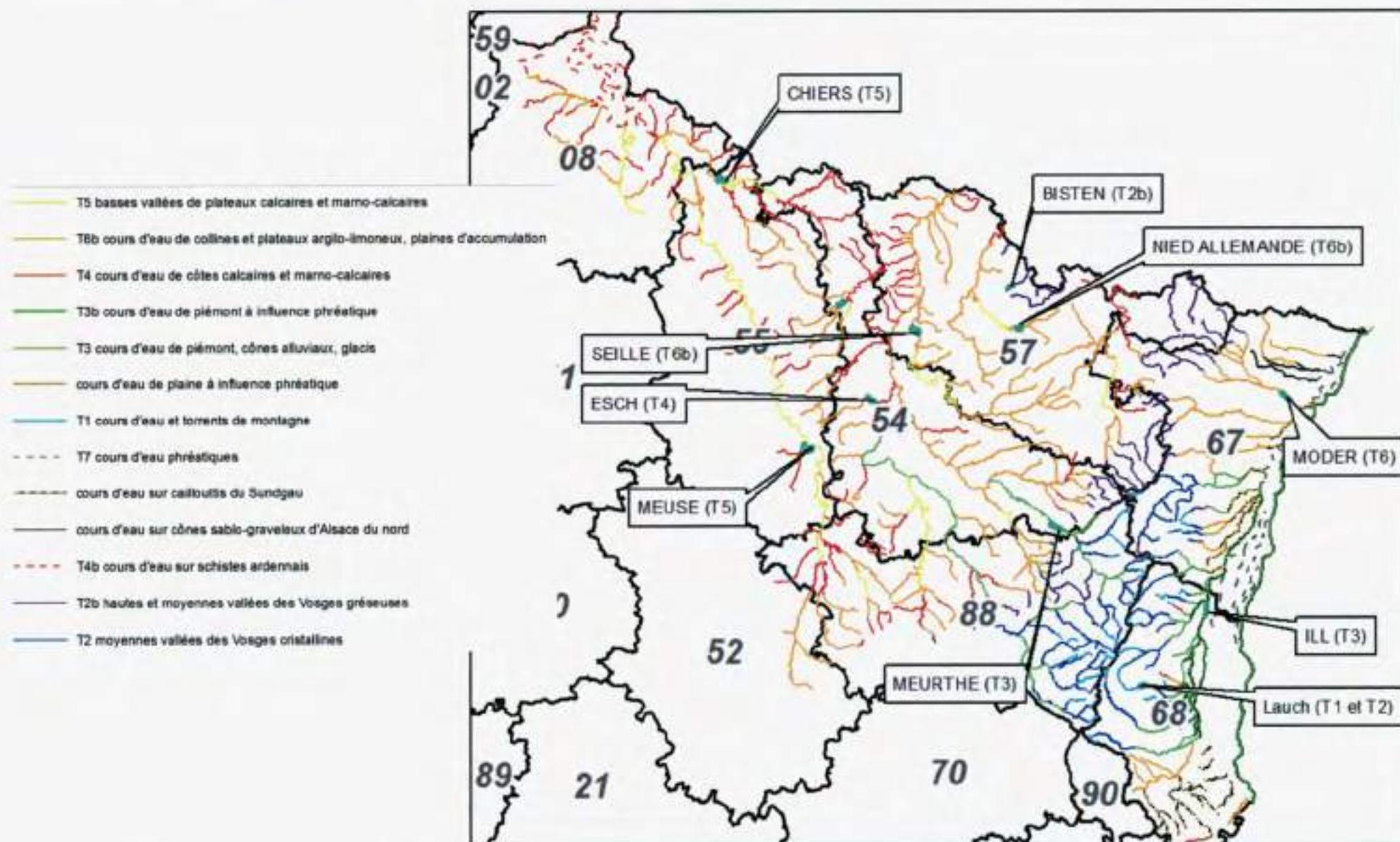
Il est donc important de préciser que tous les choix techniques présentés ci-après constituent des propositions destinées à pallier les lacunes de données. Ils ont été construits de telle sorte qu'à partir des données disponibles pour tous les cours d'eau (Scan25, BD Ortho, BD Topo, Géoportail © IGN, données SRCE, Infoterre © BRGM, BD Lisa, Banque Hydro, etc.) et un minimum de prospections de terrain une évaluation puisse être possible. Dans ce cas, cette évaluation est certes simplificatrice, mais constitue en l'état actuel des choses une information précieuse pour une première réflexion sur des enjeux qui ne sont actuellement souvent pas ou peu évalués dans les diagnostics de cours d'eau.

Bien évidemment, lorsque des données plus précises sont disponibles (inventaire piscicole, étude hydrogéologique, Modèle Numérique de Terrain, modélisations hydrauliques, etc.), il est préférable de les prendre en compte pour amender les définitions des différentes enveloppes.

La méthode est, à ce stade de l'étude, testée sur plusieurs cours d'eau de types différents (tableau ci-dessous).

Cours d'eau	Principales caractéristiques (typologie des cours d'eau Rhin-Meuse)	Secteurs test (nom du cours d'eau, ml)
Torrentiel ou de moyenne montagne	Les vallées ont une forme générale en V avec des lits plutôt rectilignes, sinuant parfois sur une fine pellicule alluviale. La pente de la vallée est souvent supérieure à 5‰, la granulométrie des éléments du lit grossière. (T1 et T2)	La Lauch 1274 ml
		La Bisten, 2900 ml
De piémont	Il s'agit de cours d'eau puissants de pente moyenne (environ 3-2‰) et à forte charge solide, en grande partie grossière. Ces cours d'eau peuvent être parmi les plus mobiles du bassin. (T3)	La Meurthe 7075 ml
		L'Ill, 6610 ml
De côte calcaire et marno-calcaire	Les vallées sont aussi souvent encaissées, le lit majeur assez étroit, la granulométrie grossière, mais il s'agit de cours d'eau de dynamique latérale moyenne (T4)	L'Esch, 5760 ml
Basses vallées de plateau calcaire	La forme de la vallée est plus évasée (U), la granulométrie reste encore assez grossière mais le transport en suspension issu de l'amont peut être important (possibilité de colmatage). La dynamique reste moyenne à modérée. (T5)	La Chiers, 6370 ml
De basses vallées calcaires ou argilo-limoneuses	Les vallées sont plus élargies que pour les autres types, les lits majeurs sont souvent étendus. La cohésion des berges est plus forte et la dynamique le plus souvent modérée à très faible. (T6)	La Meuse, 9460 ml
		La Moder, 6171 ml
		La Seille, 6585 ml
		La Nied, 3605 ml

Les secteurs de cours d'eau concernés sont sur la carte ci-après.



4.1. Les contraintes imposées par l'échelle de travail

4.1.1. Principes généraux

Description du contexte hydrosystémique

La description du contexte hydrosystémique a pour objectif la compréhension du fonctionnement naturel du secteur d'étude, de ses éventuelles modifications artificielles et des réactions du système naturel à ces modifications (reconstitution des évolutions passées, estimations des tendances futures).

Volet	Points à décrire	Sources
Morpho-dynamique	Pente, débits dominants, contexte géologique, ouvrages transversaux et latéraux, plans historiques (1850-2000)	BD Hydro, BD Carto, Scan25, BD Topo, BD Ortho, Géoportail © IGN, BRGM, SYRAH, monographies, études fuseaux, INERIS, SDC, locales... ,terrain
Hydraulique	Hydrologie générale, climat, hydrographie, ouvrages hydrauliques amont, dérivations, encaissement du lit, etc.	BD Hydro, AZI, PPRI, études hydrologiques locales, terrain
Ecologie	Composition et qualité des habitats naturels, identification des zones humides, hydrographie, contexte hydrogéologique, contexte hydraulique, ouvrages transversaux longitudinaux, imperméabilisation, gestion et production sur le bassin versant, ...	SRCE, documents AERM, SAGE, ROE, Scan25, BD Topo, BD Ortho, études locales, inventaires, terrain
Hydrogéologie	Climat, perméabilité de l'encaissant, nature et composition du sous-sol, exploitation minière, hydrographie, exploitation de la ressource en eau	BD Lisa, BD ARS, cartes du BRGM, SDC, terrain, études locales
Biogéochimie	Nature des alluvions, extension du bassin versant, pente, occupation des sols, sources de pollution amont, prélèvements, etc.	BD Lisa, cartes du BRGM, terrain, études locales

La description du contexte hydrosystémique permet aussi de relativiser les limites de l'espace de très bon fonctionnement. Elle doit aider à replacer cet espace de bon fonctionnement dans son contexte à la fois hérité et toujours en évolution. Le contexte actuel peut être en état d'équilibre, en évolution ou au contraire figé.

Si l'étude locale d'un secteur de cours d'eau ou d'une portion de bassin versant ne peut pas toujours appréhender tout un bassin, elle doit néanmoins pouvoir prendre en compte des influences extérieures, amont ou aval, susceptibles de modifier le fonctionnement local.

De l'Espace de Très Bon Fonctionnement vers l'Etat de Fonctionnement Actuel

Nous proposons d'adopter une démarche similaire pour les 5 fonctions étudiées avec la définition :

- d'un *Espace de Très Bon Fonctionnement* : il permet de rappeler quelles seraient les conditions optimales pour que le cours d'eau remplisse pleinement ses fonctions hydrologiques, hydrauliques, hydro-géologiques, morpho-dynamiques, bio-géochimiques, écologiques et hydrobiologiques.
- de l'*Espace de Bon Fonctionnement* : il s'agit également d'un espace théorique, mais celui-là permettrait aux fonctions énoncées d'être accomplies pour l'essentiel librement, sans perturbations significatives pour les services rendus à la collectivité (préservation de la ressource).
- de l'*Espace de Fonctionnement Actuel* (le plus souvent résiduel) : il s'agit de l'espace dans lequel les différentes fonctions doivent aujourd'hui se réaliser selon un degré plus ou moins important de perturbations, de dégradations, voire de dysfonctionnement.

Echelles de travail✓ *Echelle d'application de la méthode*

Etant donné qu'une grande partie de la collecte de données pour la réalisation d'une étude des espaces de bon fonctionnement dépend directement de relevés sur le terrain, l'échelle d'application de la méthode sera très directement liée aux moyens attribués à la mission. En fonction des moyens donnés par le maître d'ouvrage ou l'état des données existantes, l'opérateur devra compléter la méthode ici proposée par les résultats de ces investigations plus précises.

Les investigations ne porteront pas seulement sur le linéaire de lit mineur, mais également sur le fond de vallée, sur les connexions latérales avec les versants ainsi que ponctuellement sur le contexte du bassin versant.

Considérant que la cohérence de la gestion actuelle recommande de mener des études à l'échelle de bassins versants ou sous-bassins versants, il semble qu'une échelle de travail entre 200 et 1 000 km² de bassin versant ou 25 à 150 km de cours d'eau semble optimale à la fois quant à la cohérence de l'unité hydrographique et à la gestion de la mission.

Ces échelles de travail permettent d'envisager des investigations de terrain de l'ordre de 5 à 30 jours de terrain, que l'on peut estimer représenter environ 15 % (± 5 %) du coût total de la mission.

✓ *Echelle de travail et échelle de représentation*

Pour le moment sont retenues les échelles de représentation suivantes, mais à adapter aux enjeux locaux et aux possibilités de représentation :

- Grands cours d'eau (> 30 m de large) : 1/25000
- Petits cours d'eau (< 30 m de large) : 1/15000

L'échelle de travail doit par contre être plus grande :

- Grands cours d'eau (> 30 m) : 1/5000 - 1/10000

- Petits cours d'eau (< 30 m de large à pb) : environ 1/3000 voire moins.

Dans le cadre des tests de calibrage de la méthode le secteur d'étude doit présenter une certaine homogénéité générale.

Choix des sources pour la préparation des relevés de terrain

Les sources mobilisées en l'état actuel de l'étude sont susceptibles ou ont été les suivantes :

éléments limitants	FONCTIONS source	morpho-dynamique			hydrologique		
		ETBF	EBF théorique	EF actuel	ETBF	EBF théorique	EF actuel
Bassin versant		?			X		
EBFET	étude EBF						
Alluvions	étude fuseau	X			X		
Amplitude d'équilibre théorique	étude fuseau		X			X	
Remontée de nappe	BRGM						
Plus Hautes Connues	AZI Région				X	X	
Ouvrages transversaux	ROE			X	X	X	
Remous hydraulique	ROE/scan25			X			
Chemins non asphaltés et leurs ponts	BD Topo			?			
Voies asphaltées et leurs ponts	BD Topo			X			X
Chemin de fer	BD Topo			X			X
Construction légère	BD Topo			X			
Habitat groupé	BD Topo			X			X
Habitat isolé	BD Topo			X			
Seuils de fond	?			?			
Orographie	BD Topo						X
Canaux	BD Topo			X			X
Stations d'épuration	scan25			X			
Etangs et plans d'eau...	orthophoto			X			X
Autres activités socio-économiques (campings, cimetière, ...)	BDTopo			X			
Autres activités de loisirs (terrains de sport...)	BD Topo			X			
Réseaux enfouis	INERIS			?			
Réseaux aériens	BDOPO			?			
Protections de berge	Terrain			?			

FONCTIONS		hydrogéologie			biogéochimique		
éléments limitants	source	ETBF	EBF théorique	EF actuel	ETBF	EBF théorique	EF actuel
bassin versant ?		X			X		
EBFET	étude EBF						
alluvions	étude fuseau	X				X	
amplitude d'équilibre théorique	étude fuseau					X	
Zones humides potentielles	Zones Humides remarquables de l'Agence de l'Eau Rhin Meuse		X				
Remontée de nappe	BRGM		X				
Plus Hautes Connues	AZI Région						
ouvrages transversaux	ROE			X			
remous hydraulique	ROE/scan25			X			
canaux	BD Topo			X			
stations d'épuration	scan25						
étangs et plans d'eau...	orthophoto			X			
protections de berge	terrain			X			
Ripisylve	Orthophotoplan, terrains					x	
Affluents, bras, diffluences ...	couche cours d'eau / orthophoto / terrain		X			x	
Altération des cours d'eau	SYRAH, terrain			X			X
Carrières en activités	SDC, BD TOPO, Orthophotoplans, terrains						X

FONCTIONS		hydrobiologie			Ecologie		
éléments limitants	source	ETBF	EBF théorique	EF actuel	ETBF	EBF théorique	EF actuel
bassin versant ?					?		
EBFET	étude EBF				x		
alluvions	étude fuseau	x	x		x		
TVB	SRCE (couches herbacées, alluvial, réservoir de Biodiversité)				x		
Zones humides potentielles	Zones Humides remarquables AERM					x	x
Remontée de nappe	BRGM					x	x
Plus Hautes Connues	AZI Région					x	x
ouvrages transversaux	ROE			x			x
remous hydraulique	ROE/scan25			x			
chemins non asphalté et leurs ponts	BD Topo			x			
voies asphaltées et leurs ponts	BD Topo			x			x
chemin de fer	BD Topo			x			x
construction légère	BD Topo			x			x
habitat groupé	BD Topo			x			x
habitat isolé	BD Topo			x			x
seuils de fond	?						
Orographie	BD Topo						x
canaux	BD Topo						x
stations d'épuration	scan25			x			x
étangs et plans d'eau...	orthophoto	x	x				x (BD Topo)
autres activités socio-économiques (campings, cimetière, ...)	BDTopo			?			x
autres activités de loisirs (terrains de sport..)	BD Topo			?			x
protections de berge	terrain						x
Plantation (résineux, peupleraie, arboriculture)	Orthophotoplan, terrains						x
Ripisylve	Orthophotoplan, terrains						x
Culture	RGP, terrains						x
Affluents, bras, diffluences ...	couche cours d'eau / orthophoto / terrain	x	x			x	
Altération des cours d'eau	SYRAH, terrain						x
Carrières en activités	SDC, BD TOPO, Orthophotoplans, terrains						x

✓ *Construction de tronçons à l'intérieur des secteurs tests*

Pour les besoins de l'élaboration de la méthode un certain nombre de secteurs tests ont été sélectionnés à travers le bassin Rhin-Meuse ; bien que le cahier des charges prévoyait un échantillon de 6 secteurs de 10km de long chacun, il a été préféré de sélectionner un plus grand nombre de tronçons plus courts mais mieux représentatifs des gabarits, des types de rivières et des enjeux du bassin.

Les secteurs tests ont été choisis pour atteindre des longueurs qui permettent de traiter un maximum de cas de figures. Ils ne sont donc pas forcément homogènes. Il a donc été nécessaire de définir des tronçons plus homogènes afin que les modifications des fonctions du cours d'eau ne soient pas lissées selon des situations différentes.

Pour chacun des secteurs choisis sur des cours d'eau différents, des tronçons ont été définis afin de tester les différentes problématiques pour les besoins de l'élaboration de la méthode. Cette sectorisation n'est pas celle qui est préconisée pour l'application de la méthode.

Il a en effet été choisi de préconiser pour les applications futures de se baser sur la sectorisation SYRAH-CE (Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau)⁵. Cette sectorisation présente l'avantage d'éviter les biais liés aux interprétations de l'opérateur qui pourrait privilégier l'approche de l'un ou l'autre volet sur les autres. Néanmoins, il est envisageable de préciser cette sectorisation en fonction des enjeux locaux ou des objectifs du diagnostic à établir sans remettre en cause les principes de la méthode.

⁵ <https://hydroeco.cemagref.fr/hydromorphologie/documents-a-telecharger>

✓ Exemple des caractères à préciser avant la cartographie des différents espaces

4.1.2. Construction de l'EBF morpho-dynamique

L'espace de bon fonctionnement morpho-dynamique se base sur l'équilibre durable des formes (§ 3.3.1). Il ne s'agit pas ici d'évaluer l'état physique des cours d'eau (comme par exemple avec l'outil Qualphy de l'AERM, 1999) ni même l'état hydromorphologique, mais bien la préservation du potentiel de mobilité de la rivière en fonction de ses caractéristiques intrinsèques (type de cours d'eau).

Il s'agit de la capacité de la rivière à utiliser ses rives pour adapter ses formes à ses contraintes de débits, de pentes, de structure. Ainsi les dégradations morphologiques consécutives à des opérations de curage, de retrait excessif d'embâcles, et toutes autres opérations qui peuvent avoir des impacts sur les formes sans directement avoir d'effets significatifs ou immédiats sur la dynamique ne sont pas évalués ici (mais plutôt dans le volet biogéochimie (capacité auto-épuratoire du lit)

L'extension du fond alluvial

Elle concerne uniquement les cours d'eau qui s'écoulent sur un fond de vallée relativement plat latéralement, constitué d'alluvions plus ou moins anciennes. Il existe des nuances parmi les cours d'eau alluviaux entre les cours d'eau s'écoulant dans les « vallées d'érosion à pellicule alluviale » (qu'on appellera ici cours d'eau alluviaux de montagne) jusqu'aux cours d'eau de plaine alluviale (Bravard et Petit, 1997), mais globalement il s'agit de cours d'eau qui peuvent, à l'échelle humaine, développer une certaine mobilité. Naturellement, selon les caractères de pente, de nature des alluvions, d'hydrologie, de végétation riveraine, ces cours d'eau vont disposer de potentiels de mobilité très variables.

Le potentiel de mobilité

Il s'agit d'estimer le potentiel de mobilité théorique, c'est-à-dire l'intensité de la mobilité du cours d'eau en l'absence de modifications du cours d'eau.

Si la puissance fluviale est un bon indicateur pour approcher la dynamique d'une rivière, il est nécessaire pour estimer le potentiel de mobilité de tenir compte des facteurs susceptibles de l'influencer, notamment :

- le rôle joué par la végétation rivulaire (Figure 18, p. 36);
- la structure et la cohésion des berges (Figure 17, p. 34);
- la structure et la cohésion des fonds (affleurement du substratum par exemple).

En règle générale il est très difficile de connaître sans une étude spécifique le rôle que peut jouer la nature des fonds (affleurements du substratum) ou son organisation (pavage, armure) sur la mobilité. Néanmoins, en cas d'information spécifique, il pourra en être tenu compte au travers de la définition de l'indice de mobilité des berges qui sera élargi à la stabilité des berges et des fonds.

Etape 1 : définition du type morpho-dynamique

Pour ce volet, les deux facteurs discriminants sont :

- 1) l'extension du fond alluvial ;

2) le potentiel de mobilité (pente, débit, cohésion des berges et végétation rivulaire).

Ainsi différents types de cours d'eau seront définis sur la base de la mobilité potentielle (théorique)

Type de mobilité	Description indicative	Indice de mobilité théorique
Rivière pas ou très peu mobiles (TPM)	Encoches d'érosion des alluvions et atterrissements rares à absents. Léger comblement des annexes. Si atterrissements, végétalisés.	<0,85
Rivières peu mobiles (PM)	Présence anecdotique des encoches d'érosion. Les annexes hydrauliques se comblent lentement. Présence ponctuelle possible d'atterrissements non végétalisés	0,85 – 1,7
Rivières mobiles (M)	Atterrissements non végétalisés et encoches d'érosions présents voir fréquents. Possibilité d'alternances mouilles / radiers avec un rythme plus ou moins rapide	1,7 - 4
Rivières très mobiles (TM)	Les encoches d'érosion représentent plus de 30 % du linéaire. Les atterrissements deviennent importants. A l'étiage les écoulements peuvent être divisés (tresse).	> 4

On classera les cours d'eau non alluviaux parmi les cours d'eau très peu mobiles.

Etape 2 : définition de l'espace de Très bon fonctionnement (ETBF)

✓ *L'espace de Très bon fonctionnement*

Pour les cours d'eau non alluviaux l'Espace de Très Bon Fonctionnement pourra être assimilé aux versants voire au bassin versant. Il s'agit en général de cours d'eau encaissés entre des versants à forte pente, susceptibles d'approvisionner assez efficacement le lit mineur en sédiments notamment. Dans ce cas, l'opérateur doit estimer l'opportunité ou non de le représenter.

Pour les cours d'eau alluviaux, quel que soit leur mobilité actuelle, il est logique que l'espace de fonctionnement optimal corresponde à l'emprise des alluvions.

Les matériaux déposés par le cours d'eau depuis la dernière période glaciaire représentent l'espace maximal que le cours d'eau serait susceptible de mobiliser pour réussir à adapter sa morphologie et sa dynamique à des évolutions de contraintes amont et aval.

Elles se caractérisent par une topographie relativement plane, sans talus marqués en général (sauf présence de lit moyen pour les cours d'eau à forte charge solide grossière). L'idéal étant de disposer de leviers topographiques ou mieux d'un MNT pour les délimiter, mais la plupart du temps il faudra les délimiter à notre échelle de travail à partir des cartes géologiques du BRGM, complétées par l'examen des cartes topographiques (Scan25) et de repérage de terrain pour préciser le pied des versants. La méthodologie développée pour la cartographie des zones inondables selon la méthode *hydrogéomorphologique* est dans ce cas recommandée (Ballais, *et al.* 2011, <http://www.physio-geo.fr/infos/ballaislourd.pdf>).

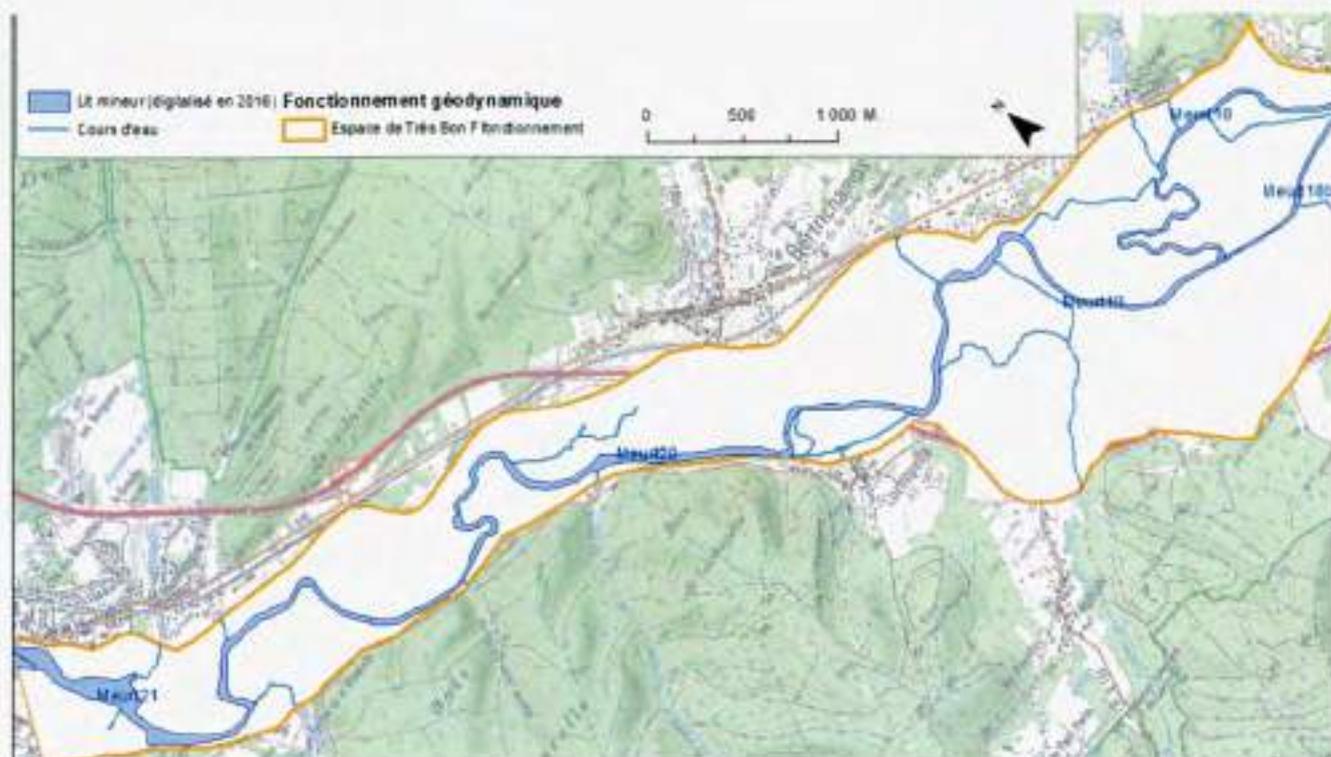


Figure 53 : délimitation de l'Espace de Très Bon Fonctionnement morphodynamique sur la Meurthe

Etape 3 : Définition de l'espace de bon fonctionnement (EBF)

Il s'agit de l'espace qui permet à la rivière d'exprimer librement sa dynamique latérale compte tenu du type de cours d'eau (TM, M, PM, TPM). Afin de prendre en compte la réalité de la dynamique potentielle des cours d'eau, il convient de moduler la largeur de l'espace de bon fonctionnement géodynamique selon les capacités réelles de divagation. En adoptant une démarche comparable à ce qui a été adopté pour la définition de l'amplitude d'équilibre des cours d'eau mobiles de Lorraine (vol. 1), nous proposons donc de délimiter les enveloppes selon les principes suivants de :

- cours d'eau très mobiles (TM) : 5 fois la largeur à pleins bords de part et d'autre de l'axe des sinuosités (largeur totale $2X5 * l_{pb}$);
- cours d'eau mobile (M) : 5 fois la largeur à pleins bords pour les cours d'eau mobiles, à partir de chaque haut de berge (largeur totale $2X5 * l_{pb}$);
- cours d'eau peu mobile (PM) : 2,5 fois la largeur à pleins bords pour les cours d'eau alluviaux peu mobiles (largeur totale $2X2,5 * l_{pb}$), à partir du haut de berge élargie à 5 fois dans les concavités de sinuosités ;
- cours d'eau très peu mobiles (TPM) 1 fois la largeur à pleins bords pour les cours d'eau alluviaux très peu mobiles (largeur totale $2X1 * l_{pb}$), à partir du haut de chaque berge, élargie à 2 fois dans les concavités de sinuosités.

Valeur de l'indice de mobilité potentielle	0 – 0,85	0,85 – 1,7	1,7 – 4	> 4
Type de mobilité	Très peu mobiles	Peu mobiles	Cours d'eau mobiles	Cours d'eau très mobiles
Enveloppe de base	1 fois la largeur à pleins bords à partir de chaque haut de berge,	2,5 fois la largeur à pleins bords à partir de chaque haut de berge,	5 fois la largeur à pleins bords à partir de chaque haut de berge	10 fois la largeur à pleins bords dans l'axe des sinuosités (5 fois de chaque côté)
Enveloppe secondaire	2 fois à partir des berges en arrière des sinuosités	5 fois à partir des berges en arrière des sinuosités	Sans objet	Sans objet
Principes				

Cas particuliers :

Pour les cours d'eau de montagne torrentiels (sans pellicule alluviale), la démarche est similaire à celle des cours d'eau alluviaux très peu mobiles : on considèrera qu'une largeur de lit sur chaque rive est suffisante pour le bon fonctionnement hydromorphologique (naturalité des berges, recharge locale, etc.) sans considération des sinuosités du lit, très liées à celles des versants. Dans ce cas, la précaution sur les rives concaves n'est par contre pas nécessaire (1 largeur de lit sur chaque rive pour garantir la bonne expression de la ripisylve sur le cours d'eau).

Pour le cas des cours d'eau très peu mobiles et peu mobiles où l'espace de fonctionnement est variable (1 à 2 fois la LPB pour les TPM et 2,5 à 5 fois pour les PM), l'EBF sera élargi jusqu'à l'enveloppe extérieure à l'arrière et légèrement en aval des sinuosités et ce afin d'anticiper les secteurs les plus sujets à l'érosion dans les courbes (cf tableau précédent).

Pour estimer l'espace de bon fonctionnement il est donc nécessaire d'estimer :

- la largeur actuelle du lit mineur à pleins bords ;
- la largeur théorique du lit mineur (cf Schumm, ...) : cela permet de poser éventuellement une hypothèse de recalibrage du lit mineur (suriargeur, dérivation d'une partie des débits, etc.)
- le style fluvial naturel en recherchant des traces d'anciens lits, (bras secondaires, annexes, limites cadastrales, plans d'archive, etc.) ;
- la pente de référence du cours d'eau : pente en rive hors remblais, ligne d'énergie si l'on dispose d'une modélisation, pente des fonds, etc.
- l'énergie et le potentiel de mobilité de référence pour le bon fonctionnement.

Nous proposons la démarche minimale suivante :

Paramètre à rechercher	Valeur seuil	action
Sinuosité actuelle du lit (longueur du lit mineur/longueur de l'axe de la vallée)	1,2	Si sinuosité actuelle <1,2 : hypothèse de rectification à vérifier : Correction de la sinuosité de référence (cf. cartes anciennes, traces d'anciens lits, etc.). A défaut appliquer une valeur d'1,2. Nota : lit mineur éloigné du talweg sur un long linéaire : indice de rectification ou de dérivation
Largeur du lit mineur / largeur théorique	50 %	Si écart de + de 50 % utilisation de la largeur théorique pour définir la largeur de l'EBF (à partir de 20% pour les grands cours d'eau : vérifier si possible une hypothèse de recalibrage historique)
Ouvrage barrant le lit à pleins bords	20% sous le niveau de pleins bords	Correction des valeurs de pente, donc de puissance fluviale spécifique et de mobilité potentielle.

Si des écarts de plus de 20 % sont observés entre les valeurs théoriques de largeur du lit et les valeurs actuelles, il conviendra d'en rechercher les causes afin de vérifier la plausibilité des données (valeurs réelles, historiques ou valeurs théoriques ou modélisées). Par prudence, on considèrera la largeur du théorique comme largeur de référence lorsqu'elle sera inférieure de plus de 50% à la largeur actuelle du lit mineur.⁶

Par exemple, s'il apparaît que le lit mineur est large de 13 m alors qu'en théorie il devrait n'être large que de 8 m, il s'agira de rechercher les causes de cette surlargeur (si elle n'a pas été expliquée lors de l'étude du contexte).



Figure 54 : cas d'une surlargeur. A Marly (57), la Seille présente une surlargeur du lit mineur à l'aval de l'ouvrage hydraulique. La largeur de l'EBF et de l'EFA a donc été calculée sur la base de la largeur théorique en excluant l'espace du lit mineur qui est en surlargeur au même titre que les équipements et bâti en rives.

Même dans les secteurs encaissés, (c'est-à-dire où l'ETBF est restreint par la proximité des deux versants), les enveloppes de l'EBF et à fortiori l'EFA n'excéderont pas les limites de l'ETBF.

⁶ Après un essai de considérer 20% comme surcalibrage par rapport à la largeur théorique, il a été considéré que ce seuil était trop bas, surtout pour les petits gabarits. Finalement nous avons retenu 50%.

Etape 4 : Définition de l'espace fonctionnement actuel (EFA)

L'espace de fonctionnement actuel est réduit par rapport à l'espace de bon fonctionnement lorsque des installations et des équipements y ont été implantés :

- ouvrages transversaux dans le lit mineur : forte réduction de la pente du lit mineur, annihilation de la puissance de la rivière, absence de dynamique latérale, blocage d'une partie du transport solide, etc. On considérera les ouvrages impactants sur la dynamique c'est-à-dire généralement ceux barrant le lit aux trois quarts de la hauteur du lit à pleins bords.
- les voies de communications, le bâti : en raison des enjeux qu'ils représentent en général, ils réduisent les possibilités de recharge sédimentaires par érosion des berges ou d'adaptation de la pente et du profil en travers du lit mineur. Leur stabilité est en général garantie par des protections de berges qui sont entretenues et renouvelées si besoin.
- les réseaux aériens ou enfouis : même enjeu que ci-dessus.
- les plans d'eau artificiels : en fonction de leur volume et des caractéristiques de la rivière, ils peuvent représenter un danger pour son équilibre en cas de capture. Mais de toute façon, ces anciennes carrières (le plus souvent) perturbent les conditions d'adaptation de la rivière.
- les artificialisations de berge : protections en enrochements, berges bétonnées, palplanches, digues, murs maçonnés, palissades, mais également protections en techniques végétales vivantes telles que les fascines, les tressages, etc. qui conservent un effet bloquant sur la dynamique latérale.

Les remous hydrauliques provoqués par des ouvrages au moins à partir du débit de pleins bords et au-delà excluent de l'EFA les zones riveraines concernées (fig. ci-après). Néanmoins, le lit mineur est conservé dans l'EFA.



Figure 55 : l'espace de fonctionnement (EFA) de la Meurthe entre Raon-l'Étape et Baccarat

D'autres modifications anthropiques sont susceptibles de faire évoluer l'écart entre le bon fonctionnement théorique et le fonctionnement actuel :

- déplacement du cours d'eau hors du talweg ;
- recalibrage du lit (excès de largeur, de profondeur, etc.) ;
- rectification du tracé qui engendre une modification de la pente, donc de l'énergie du cours d'eau et sa mobilité potentielle ;
- modification des écoulements (dérivation d'une partie des débits, ouvrage transversal modifiant la pente pour les débits dominant, etc.).

Les travaux hydrauliques ont pu ainsi faire évoluer la puissance fluviale spécifique et donc exagérer ou au contraire minorer la dynamique latérale de la rivière. Cela peut être estimé en comparant la « mobilité théorique » (calculée à partir des valeurs théoriques de la pente, de la largeur et des débits dominants).

Néanmoins, on conservera le type de mobilité théorique (très mobile, mobile, peu mobile, très peu mobile) comme base de calcul de l'EFA, même si les modifications ont pu être telles que le potentiel de mobilité soit réduit par rapport à l'état de référence.

Cas des surlargeurs

Afin d'éviter lors de son estimation, une exagération de l'EBF par des sur-largeurs à la suite d'opérations de recalibrage, on retiendra, la largeur théorique du lit mineur, lorsqu'un recalibrage important (>50%) aura été constaté. Dans ce cas, l'enveloppe à retenir est celle d'un EBF tracé à partir de la largeur théorique du lit mineur ($L_{0b} = 2,12Q_2^{0,5}$). Pour éviter le biais de la surlargeur, on comparera par la suite l'espace de fonctionnement actuel hors lit mineur actuel avec l'EBF théorique hors lit mineur théorique.

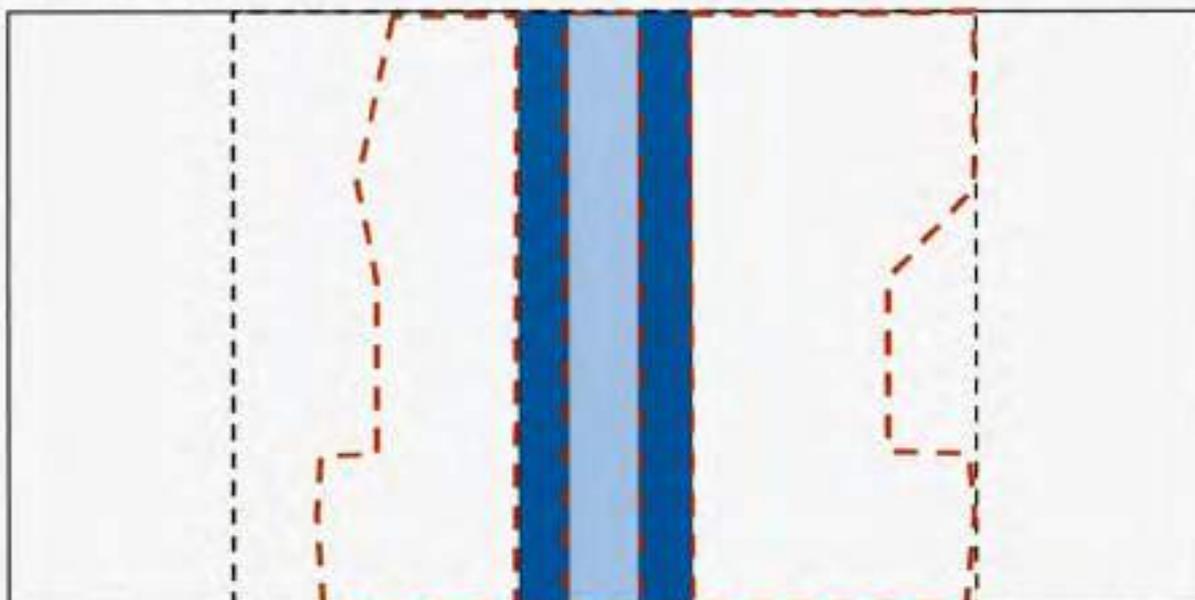


Figure 56 : principe de construction de l'EFA dans le cas d'un surcalibrage : le lit mineur théorique (bleu pâle) a été élargi (bleu foncé). L'EBF (pointillés noirs) est égal ici à 10 fois la largeur du lit théorique. L'EFA (pointillés bruns) ne prend pas en compte la surface correspondant aux surlargeurs qui est une surface anthropisée

Ainsi, le cas des surlargeurs peut être détaillé comme suit:

- 1) calcul de l'EBF : lorsqu'un cours d'eau exprime une surlargeur (estimée à un écart > 50% par rapport à la largeur théorique (largeur historique naturelle ou à défaut $2.12Q_2^{0.5}$), on calculera l'EFA à partir de la largeur théorique et non pas de la largeur réelle.
- 2) La surface de l'EFA comprise dans les limites du lit mineur actuel (en surlargeur) ne peut pas être considérée comme disponible pour la dynamique de la rivière puisqu'en général cet espace est entretenu pour des raisons hydrauliques. Il conviendra donc de retirer de l'EFA la surface recalibrée du lit mineur actuel

Le cas des rivières dont le type de potentiel de mobilité actuel est différent du théorique

Si le potentiel de mobilité actuel est différent du potentiel de mobilité théorique, il devient alors possible que le type de mobilité (TM, M, PM, TPM) soit également différent. Dans ce cas, il est donc logique d'estimer le fonctionnement actuel sur la base de l'enveloppe correspondant au type de mobilité actuel.

Il peut être intéressant à titre d'information de vérifier l'évolution du potentiel de mobilité en fonction de la transformation de ses composants :

- modification de la cohésion des berges (protections de berges...);
- entretien de la végétation (réduction du rôle morphogénique de la ripisylve...);
- rôle du recalibrage du lit sur la puissance;
- modification de la pente du cours d'eau;
- modification des crues significatives.

Ainsi, un cours d'eau peut être qualifié de « très peu mobile » dans sa situation actuelle (ripisylve très entretenue, cohésion forte des berges, élargissement du lit) alors qu'à l'état naturel il serait considéré comme « peu mobile » ou même « mobile ». La largeur de l'enveloppe de référence pour tracer l'EBF d'une part (état théorique) et l'EFA d'autre part (état actuel) n'appliquerait pas la même méthode.

A titre d'exemple, on a pu ainsi traiter le cas de l'Esch. Pour ce cours d'eau, nous ne disposons pas de données précises pour la topographie du fond de vallée (scan25 trop imprécis du fait du gabarit du cours d'eau) ni pour les débits (pas de station à proximité, modifications dues aux étangs sur l'amont du bassin).



Figure 57 : le cas de l'Esch (54) : le potentiel de mobilité théorique de l'Esch est celui d'un cours d'eau Peu Mobile (PM=5 Largeurs à pleins bords). A gauche l'EFA est calculé sur la base d'un potentiel actuel correspondant à un cours d'eau Très Peu Mobile (TPM=3 la largeur à pleins bords), à droite l'EFA est calculé sur la base du potentiel de mobilité théorique inchangé (PM=5Lpb). Sur ces deux tronçons, l'effet de cette modification est faire passer la note du tronçon 1 de 30 à 67, et sur le tronçon 2 de 18 à 84. Compte tenu des

incertitudes sur la pente et les débits et de la cohérence avec les autres fonctionnalités, il a été décidé de privilégier la seconde option (pas de changement de type de mobilité).

En l'absence de données plus précises on retiendra que l'EFA est calculé sur la base de l'EBF théorique, dépendant du potentiel de mobilité théorique (berges, pente et végétation de berge naturelles).

Cas des lits historiques

Dans le cas où des traces visibles d'anciens lits le permettent, il peut être intéressant à titre d'information de représenter l'EBF historique, de part et d'autre de l'axe de cet ancien lit.

Cas des canalisations souterraines

On réservera le retrait de toute surface du lit mineur de l'EFA au cas des passages du cours d'eau en souterrain.

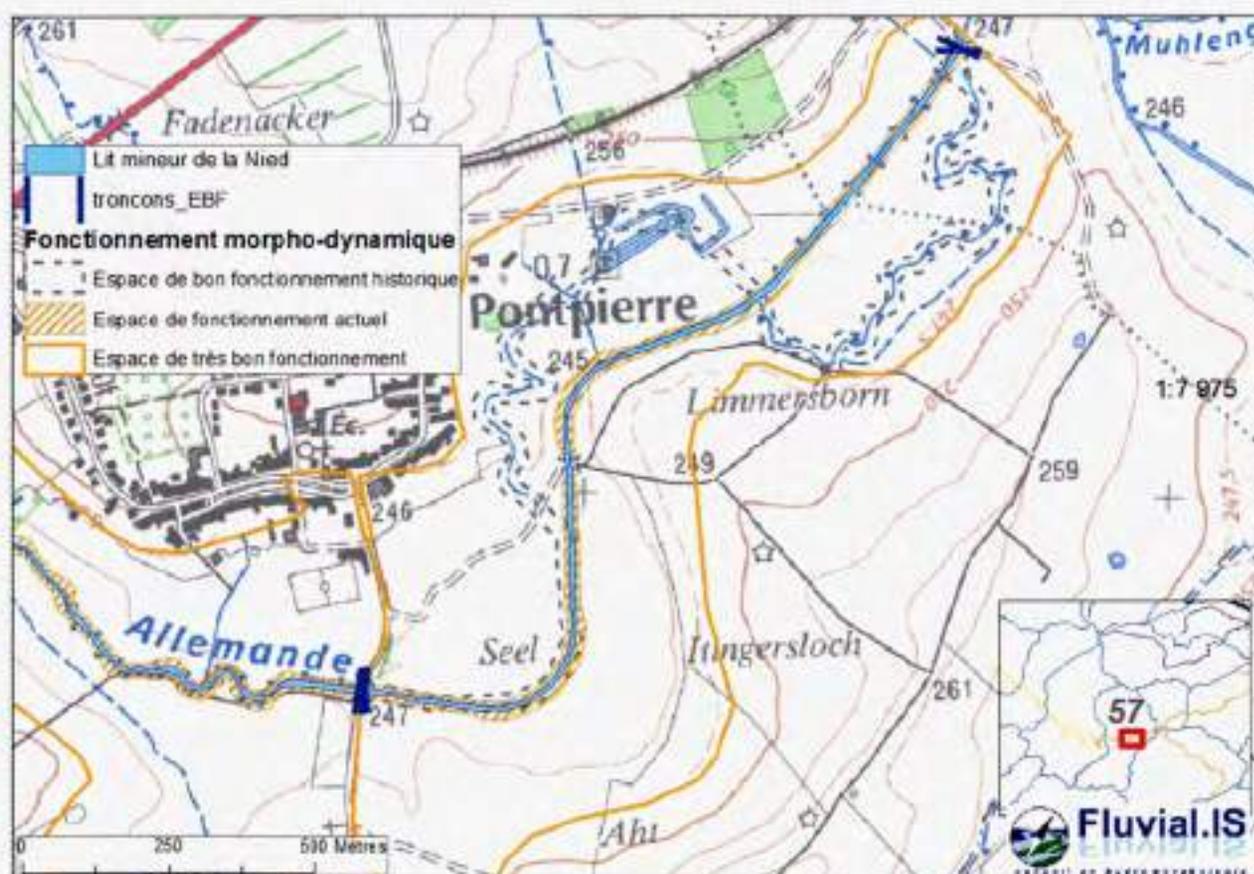


Figure 58 : espace de bon fonctionnement morpho-dynamique de la Nied Allemande à Pontpierre (57) : un EBF historique a pu être tracé sur le premier tronçon à l'Est afin de relativiser l'EBF théorique actuel autour du tracé rectifié au XIX^{ème} siècle : la sinuosité théorique ne peut pas être localisée mais elle sert de base au calcul de la surface théorique de bon fonctionnement. L'EBF historique, connu sur ce 1^{er} tronçon, est représenté pour information.

Synthèse EBF morpho-dynamique :

0 - Définition du type : alluvial / non alluvial – délimitation de l'ETBF

1 - Définition de l'EBF :

- a- estimation de la mobilité potentielle théorique (pente théorique, végétation théorique, cohésion des berges théorique...)
- b- définition du type de mobilité du cours d'eau (TM, M, PM, TPM)
- c- calcul et représentation cartographique de l'espace de bon fonctionnement de part et d'autre du cours d'eau à partir de la largeur actuelle sauf si :
 - * rectification (sinuosité <1,2 ou lit déplacé) : EBF théorique non représenté sur carte mais uniquement calculé (surface) ;
 - * sur-largeur réelle (>50% largeur théorique) : EBF théorique estimé à partir de la largeur théorique et non pas de la largeur actuelle.

2 – Délimitation de l'EFA (sur la base de l'EBF actuel) :

- a- retrait des aménagements/infrastructures/enjeux bloquant la dynamique latérale : zones bâties, zones d'influence des remous d'ouvrages, réseaux connus, protections de berge, digues etc.
 - * cas des sur-largeurs : retrait des surfaces de sur-largeur entre lit théorique et lit actuel dans l'EFA
 - * cas du changement de type de mobilité théorique/actuelle : estimation d'une nouvelle enveloppe de référence pour l'EFA puis retrait des enjeux

4.1.3. Construction de l'EBF hydraulique / hydrologique

Etape 1 : délimitation de l'espace de travail

Espace de Très bon fonctionnement hydrologique

✓ *Cours d'eau non alluviaux*

Il s'agit en règle générale des cours d'eau à forte pente ou de tête de bassin. En absence d'autres informations, on retiendra que l'ETBF est équivalent à 3 largeurs du lit mineur, dans l'axe du fond de vallée (soit lorsque le cours d'eau est au centre du fond de vallée, sur chaque rive une largeur à pleins bords) (sauf pour les cours d'eau en gorge dont les limites sont délimitées par les talus des gorges).



Figure 59 : le ruisseau d'Albet (67) en tête de bassin de la Bruche. Les pointillés orange représentent les limites de l'espace de très bon fonctionnement pour un cours d'eau non alluvial

✓ *Cours d'eau alluviaux :*

L'espace maximal inondable est constitué des topographies planes du fond de vallée, soit approximativement à notre échelle de travail, l'espace couvert par les alluvions holocènes. A défaut de modélisation de la crue exceptionnelle, il sera retenu comme espace de Très Bon Fonctionnement (ETBF).

Dans le cas où l'on dispose de données topographiques ou de données de crues, elles peuvent permettre d'affiner la démarche inspirée de la méthode hydrogéomorphologique de cartographie des zones inondables (fig. ci-dessous).

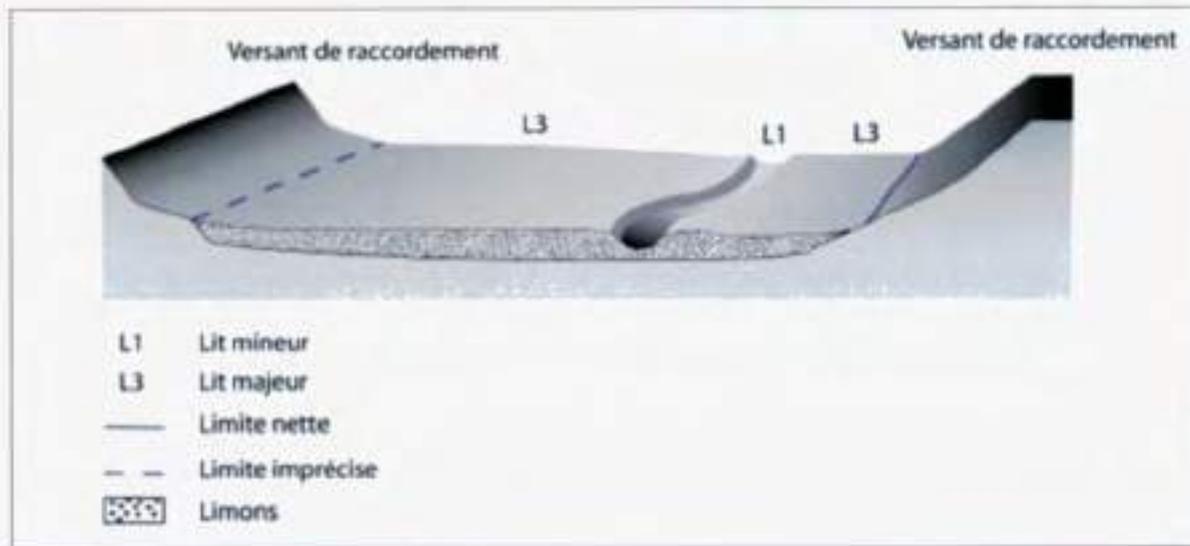


Figure 60 : Relations topographiques entre les unités constituant la plaine alluviale : l'ensemble de la surface occupée par les limons est reconnue comme potentiellement inondable ("cru exceptionnelle", méthode HGM) (illustration V. Delorme, Fluvial.IS, 2010)

Cet espace peut être corrigé par la superposition des couches des plus hautes eaux connues et vérifié sur le terrain (fig. ci-dessous)

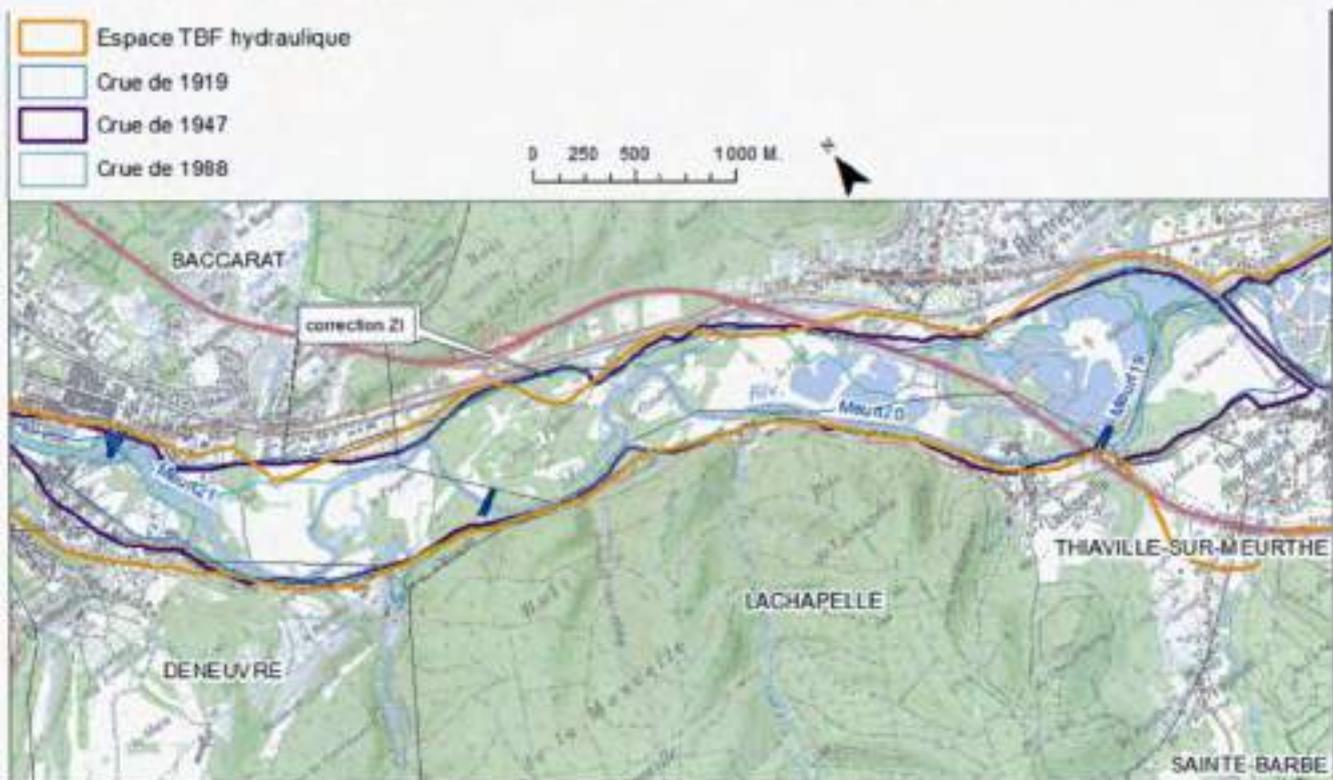


Figure 61 : représentation de l'espace de Très Bon Fonctionnement hydraulique : le fond de vallée inondable par une crue "exceptionnelle", entre Raon-l'Étape et Baccarat

Etape 2 : définition de l'espace nécessaire au bon fonctionnement

104

L'Espace de Bon fonctionnement Hydraulique

Le principe général est que l'espace de bon fonctionnement hydraulique correspond à la zone inondable par la crue centennale modélisée, ou à la zone inondée par une crue centennale connue, ou à défaut par une crue de référence reconnue localement.

A défaut de données connues d'inondabilité, l'EBF hydraulique sera une surface théorique représentant une surface réduite par rapport à l'ETBF hydraulique.

✓ *L'espace nécessaire à la rétention de crue*

Pour les cours d'eau alluviaux, on considérera que la valeur de référence étant le « bon fonctionnement », celui-ci représente un « compromis » par rapport à l'espace de très bon fonctionnement.

En fonction de la pente de la vallée, le bon fonctionnement est reconnu comme atteint lorsque les critères suivant sont atteints :

Pente de la vallée	% de l'ETBF (ou du fond de vallée inondable)
>10 ‰	40 %
5-10 ‰	50 %
3 – 5 ‰	60 %
<3 ‰	80 %

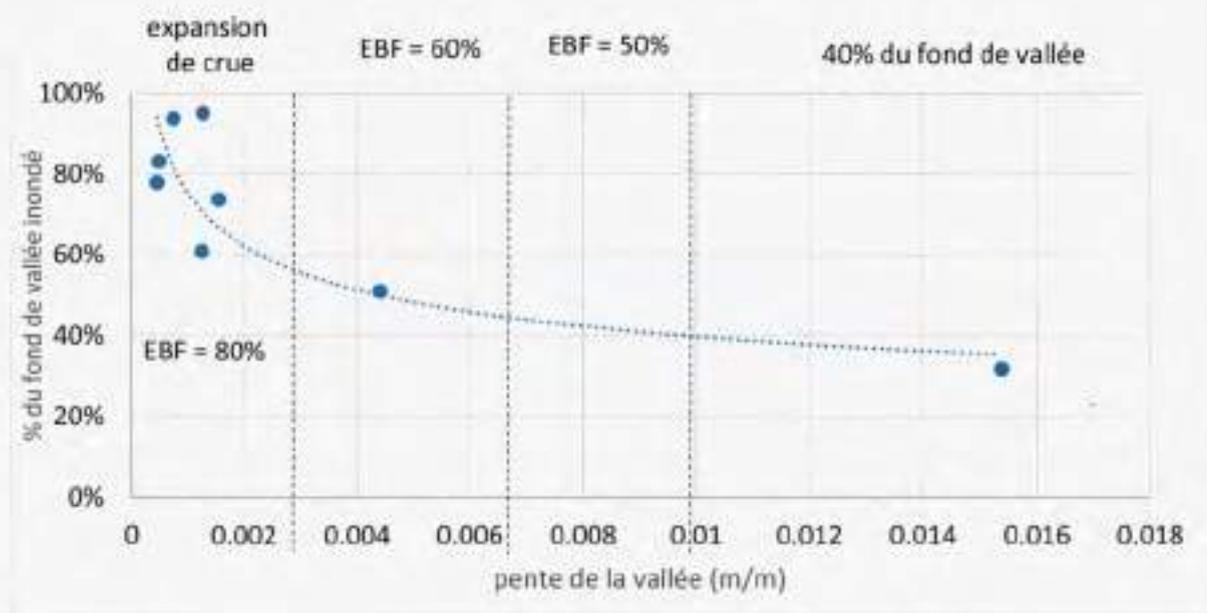


Figure 62 : part du fond de vallée inondé sur quelques cours d'eau alluviaux de l'Est de la France en relation avec la pente de la vallée (plus hautes eaux connues)

Lorsqu'aucune cartographie d'une crue centennale (modélisée ou historique) n'est disponible, l'EBF hydraulique n'est pas représenté sur la cartographie. Seule sa superficie est estimée afin de pouvoir être utilisée comme référence pour l'estimation de la note du fonctionnement actuel hydraulique.

105

Pour les cours d'eau non alluviaux, on considérera que l'EBF hydraulique correspond à l'ETBF hydraulique (soit 3 largeur à pleins bords dans l'axe de la vallée).

Etape 3 : délimitation de la zone de grand écoulement

✓ La zone de grand écoulement (cours d'eau alluviaux)

La représentation des zones de grand écoulement (vitesses fortes, niveaux d'inondations de 0 – 1 m environ) peut être une information intéressante sur le degré de modification des conditions hydrauliques.

Lorsqu'une topographie et une modélisation suffisamment précises permettent de la représenter, elle sera jointe à la cartographie.

La zone de grand écoulement est reprise pour l'évaluation du Bon Fonctionnement hydrobiologique.

Lorsque ces données font défaut, nous proposons donc de délimiter une zone de grand écoulement théorique. Lors de la réalisation d'Atlas de Zones Inondables (Fluvial.IS, 2010,2011), nous avons développé le concept de « zone théorique d'écoulement privilégié » (ZTEP). Le postulat qui avait été retenu était que « la zone la plus proche et la plus soumise à l'hydrodynamisme de la rivière est également celle qui serait potentiellement la plus mobile en l'absence d'interventions et d'entretiens anthropiques » (Fluvial.IS 2010 et 2011 pour la DDT57).

Ce concept rejoint l'approche de la zone de bon écoulement (« Espace hydraulique nécessaire », cf. § 2.1.1, Raccasi et al., 2016). Nous avons en effet pu vérifier sur plusieurs cours d'eau (la Horn et l'Albe en Moselle, la Bruche dans le Bas-Rhin) que la crue décennale (Q_{10}) englobait approximativement l'enveloppe de mobilité définie par le facteur 5*largeur actuelle à pleins bords depuis le haut de berge. Cette enveloppe ne peut aller au-delà de celle de l'ETBF pour les cours d'eau encaissés.



Figure 63 : principe de la ZTEP : sur la base de plusieurs cartographies de la crue décennale, on estimait, en absence de lit moyen que la zone située à moins de 5 fois la largeur à pleins bords de la rivière était également la zone qui présentait le plus fort risque d'être inondée tous les 10 ans

Lorsque la donnée de la crue décennale ou quinquennale n'est pas disponible, nous proposons une approche similaire dans le cadre de cette mission à compléter par un travail d'investigation de terrain sur les secteurs test.

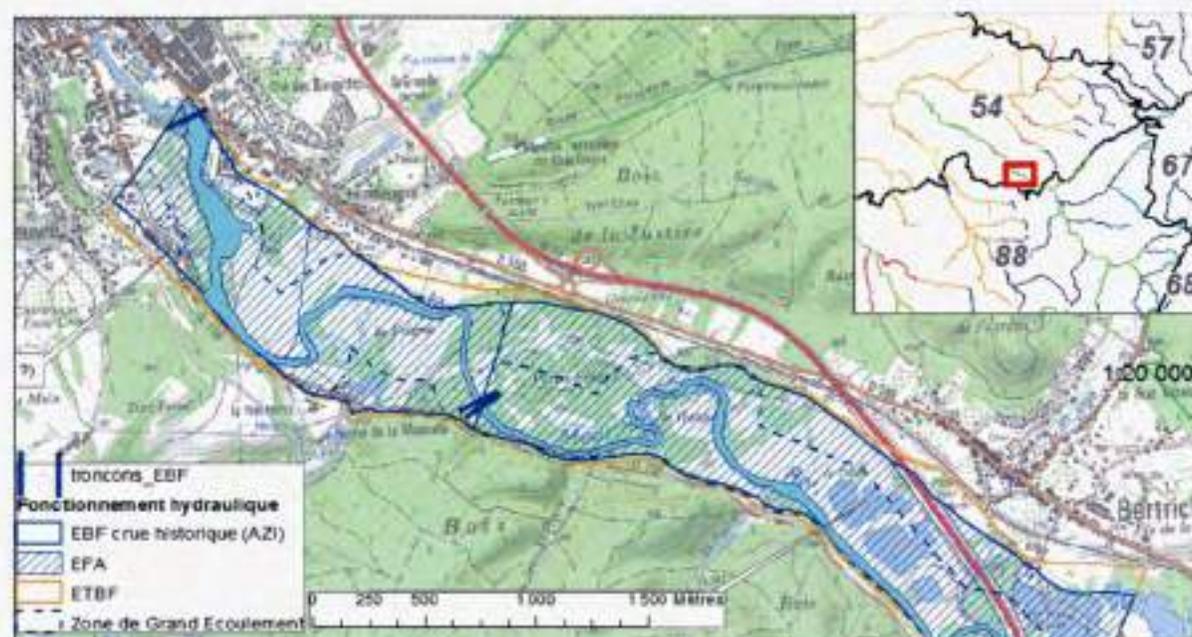


Figure 64 : l'espace de bon fonctionnement hydraulique (EBF hydraulique) entre Raon-l'Étape et Baccarat

Il s'agit donc d'un espace théorique, de plus forte concentration des écoulements, de plus grande fréquence de submersion également.

Cette enveloppe théorique doit logiquement tenir compte des limites des crues historiques ou modélisées qui seraient disponibles et de fréquences plus rares.

Étape 4 : délimitation de l'espace de fonctionnement actuel

✓ Espace de fonctionnement actuel (EFA)

Il s'agit de l'EBF hydraulique (correspondant à l'ETBF en l'absence de données plus précise) mais modifié de la façon suivante :

- retrait des zones bâties, des voies sur remblais, des espaces à l'arrière des remblais et digues ;
- ajout des zones de déblais (anciennes gravières) par exemple.

Toutes les sources de données disponibles à l'échelle d'étude doivent être utilisées, ainsi qu'une enquête auprès des gestionnaires des Zones Inondables ainsi que des observations de terrain. L'état des digues et des protections rapprochés est éventuellement à indiquer.

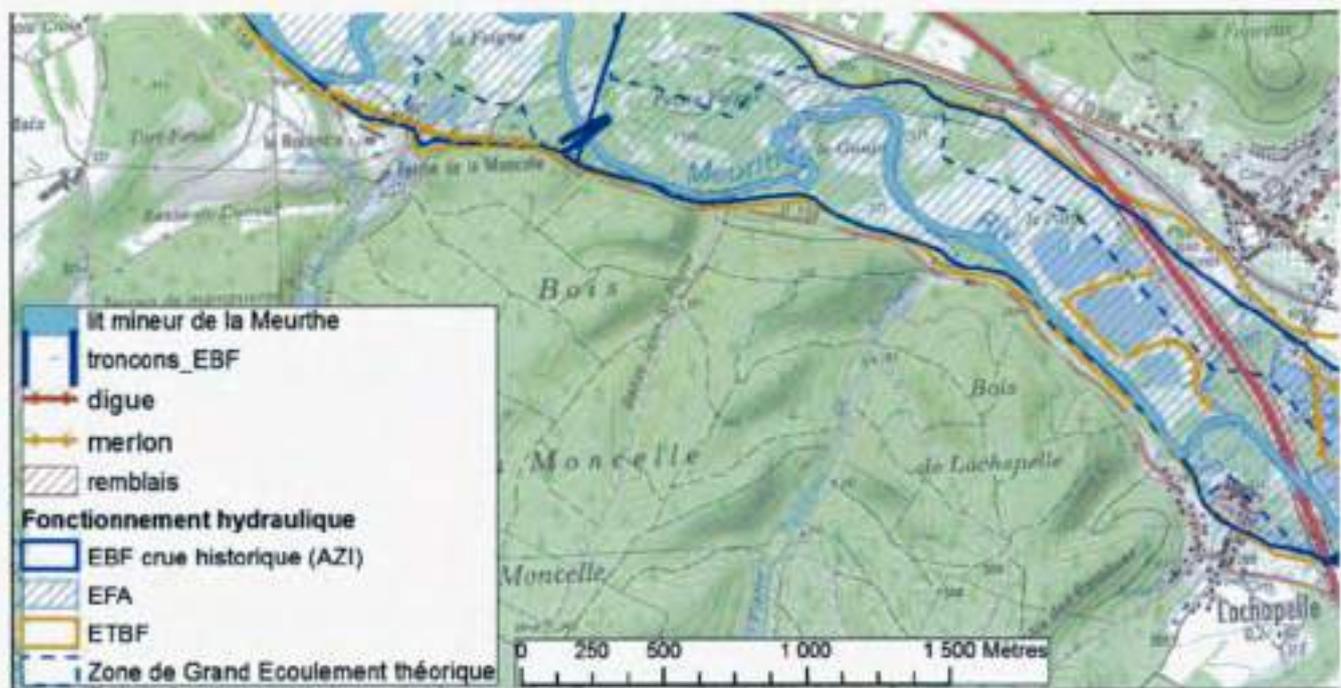


Figure 65 : Espace de fonctionnement hydraulique actuel (EFA hydraulique) sur la Meurthe (S4)

Synthèse EBF hydraulique

0 – Reprise des limites du fond alluvial : ETBF (= ETBF morpho-dynamique)

1 - Définition de l'EBF hydraulique:

- a- report des limites de la crue centennale ou quinquennale (à défaut : estimation d'une proportion du fond alluvial selon la pente : pas de représentation cartographique)
- b- Délimitation et représentation de la zone de grand écoulement (crue quinquennale ou décennale) (à défaut : 10 fois la largeur à pleins bords à partir du lit mineur + annexes hydrauliques et zones d'écoulements préférentiels)

2 – Délimitation de l'EFA (sur la base de l'EBF actuel) :

- c- retrait des aménagements/infrastructures/enjeux bloquant l'expansion des crues : zones bâties, remblais, zones à l'abri des digues, des merlons, etc.
- d- cas des recalibrages : le mentionner sur les cartes

4.1.4. Construction de l'EBF hydrogéologique

Le bon fonctionnement hydrogéologique du cours d'eau est lié directement à la présence ou non d'une nappe alluviale en connexion avec la rivière. Les torrents de montagne et les cours d'eau de tête de bassin peuvent ne pas être concernés, au moins une partie de l'année.

Etape 1 : Identification de la présence d'une nappe alluviale

✓ *Préalable*

Si à l'état naturel aucune nappe alluviale significative n'existe (cours d'eau torrentiel), la délimitation d'un EBF ou même d'un ETBF est sans objet.

Si à l'état naturel une nappe alluviale est présente, l'espace de bon fonctionnement correspondra à l'espace de bon fonctionnement hydraulique, considéré comme l'espace qui permet le rechargement optimal de la nappe lorsqu'elle existe. L'espace de très bon fonctionnement se confond alors à l'ETBF hydraulique.

Afin d'estimer le degré d'impact des activités humaines sur la nappe en connexion avec la rivière, il sera nécessaire d'estimer les caractéristiques hydrogéologiques du contexte (fissuré, poreux, perméable, imperméable, etc.).

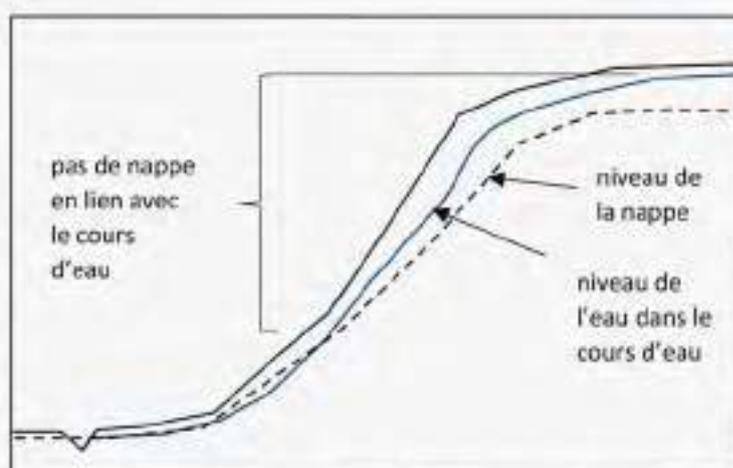


Figure 66 : vue en coupe explicative d'un cours d'eau non alluvial sans lien avec la nappe (écoulement en général intermittent)

Etape 2 : définition de l'EBF hydrogéologique (cours d'eau alluviaux)

✓ *Caractérisation de la nappe alluviale*

Comme pour les autres compartiments, les études locales et les expériences déjà rassemblées sur le secteur d'étude seront déterminantes pour délimiter le contexte hydrogéologique.

A défaut, l'utilisation de la [BD Lisa](#) permettra de préciser pour les entités hydrogéologiques :

- 1) la nature : aquifère, semi-perméable, imperméable
- 2) l'état : nappe captive, libre, semi-captive

- 3) le milieu : porosité matricielle, fissurée, karstique.

En l'absence de points de forages d'eau (BSS de la BD Lisa), la structure naturelle des berges renseignée sur le terrain pourra être une information complémentaire sur la conductivité des alluvions. Par exemple, à défaut d'information hydrogéologiques plus précises on pourra considérer que dans un contexte de berges argilo-limoneuses (cohésion >8), la réactivité de la nappe étant plus longue, sa dégradation est en principe moins sensible.

Etape 2 : estimation de l'ETBF et de l'EBF hydrogéologiques :

Si une nappe alluviale est identifiée :

- l'ETBF hydrogéologique est alors assimilé à l'ETBF hydraulique, par souci de simplification, c'est-à-dire l'espace qui permet la recharge par le cours d'eau de la nappe alluviale ;
- l'EBF hydrogéologique est assimilé à l'EBF hydraulique selon le même principe (non représenté cartographiquement).

Etape 3 : estimation de l'EFA, espace de fonctionnement hydrogéologique actuel

Afin de définir l'espace actuel de fonctionnement hydrogéologique du cours d'eau, il s'agit, comme pour les autres volets d'évaluer la fonctionnalité du cours d'eau sur les aspects hydrogéologiques, c'est-à-dire comment les activités humaines peuvent modifier le fonctionnement hydrogéologique du cours d'eau.

L'évaluation de la note de fonctionnement actuel par rapport au bon fonctionnement hydrogéologique se fera en 3 sous-étapes :

- 1) mesure de la surface modifiée (captages, influences d'ouvrages, imperméabilisation des sols, etc.) ;
- 2) pourcentage de la surface modifiée par rapport à la surface EBF ;
- 3) pondération de ce rapport en fonction de l'abaque suivant :
 - o milieux imperméables sur les deux rives,
 - o milieux aquifères sur les deux rives,
 - o milieux semi-perméables sur les deux rives.

Pour des milieux différents entre les deux rives on attribuera une note obtenue moyenne entre les deux lignes concernées de l'abaque.

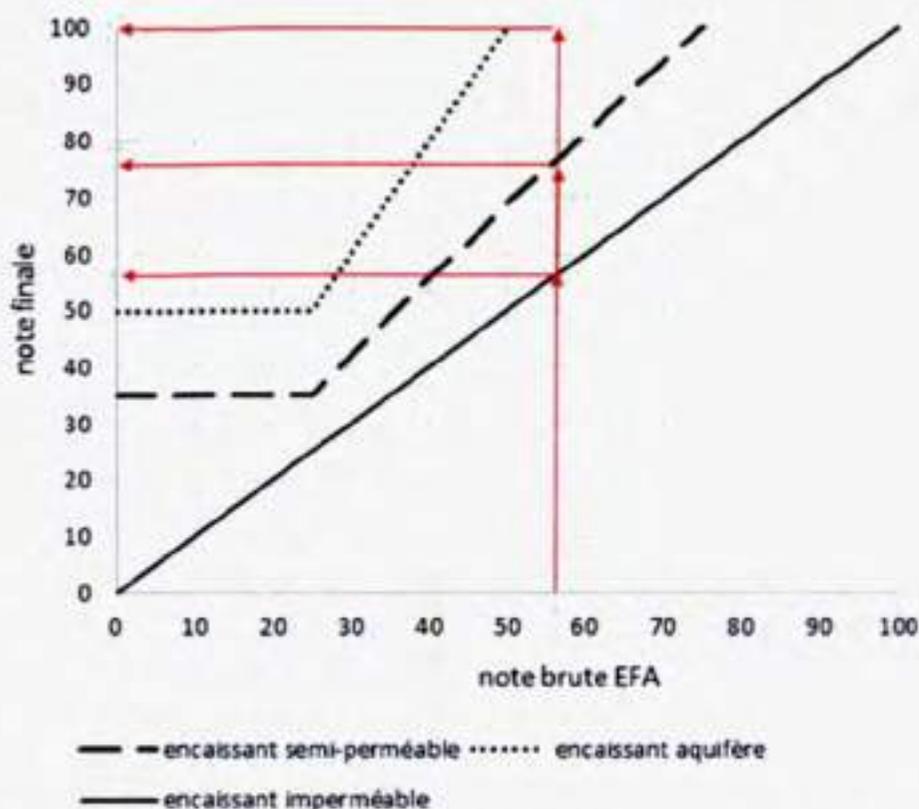


Figure 67 : pondération de la modification de l'espace de fonctionnement hydrogéologique en fonction de la perméabilité du milieu hydrogéologique : pour un rapport EFA/EBF de 56% on obtiendra une note de 56, 76 ou 100 respectivement pour un milieu imperméable, semi-perméable ou aquifère. Pour ces deux derniers milieux, la note ne pourra pas descendre en-deçà de 35 et 50.

Dans ce cas on retirera à l'EBF (part théorique de l'ETBF) les surfaces de modification de l'hydrogéologie (sans représentation cartographique). Seules les activités qui concernent la nappe alluviale sont considérées :

Activités/équipements	Impact potentiel
Captage, prélèvement dans les alluvions	Abaissement localisé de la nappe
Captage, pompage proche des alluvions	
Enfoncement du lit mineur	
Exploitation minière	Exhaussement du niveau de la nappe
Ouvrage transversal	
Réduction de l'inondabilité	Diminution du potentiel de recharge de la nappe
Imperméabilisation des berges sur un long linéaire	
Colmatage des fonds du lit et des berges	
Plans d'eau	Nappe à ciel ouvert

Les modifications du sous-sol (exploitation minière par exemple) sont prises en compte, notamment à la suite de l'arrêt des pompages des eaux d'exhaure dans la limite des données disponibles (phénomènes de pertes, puis de remontées de nappe). La délimitation en surface se fera en fonction de l'état des connaissances.

Les captages d'eau potable seront renseignés à partir de la BD Lisa. Lorsque les périmètres de protection rapprochés sont connus (données ARS), ils serviront de base à la délimitation d'un espace modifié. A défaut, une aire circulaire de 300 m de diamètre sera dessinée autour du point de captage. Pour les cours d'eau de forte pente (> 3%), l'aire prendra une forme oblongue.

Les modifications des niveaux d'eau moyens dans le lit mineur impactent durablement le comportement de la nappe. Ces modifications seront reportées perpendiculairement à l'axe d'écoulement de la nappe, le plus souvent dans l'axe de la vallée (fig. ci-dessous)

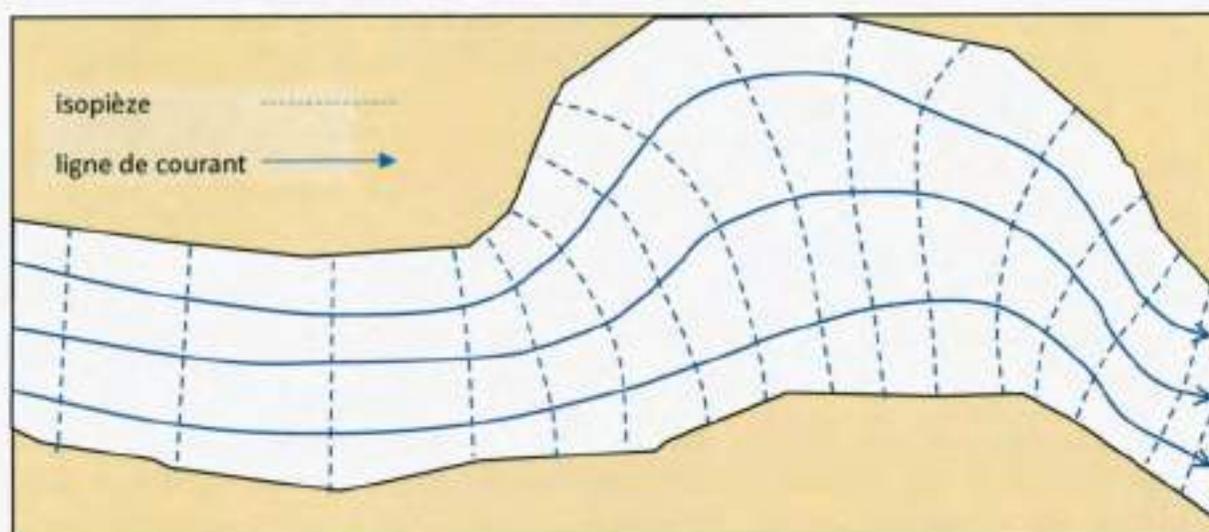


Figure 68 : allure de la surface piézométrique dans une vallée alluviale et lignes de courant (d'après Gilli et al., 2004)

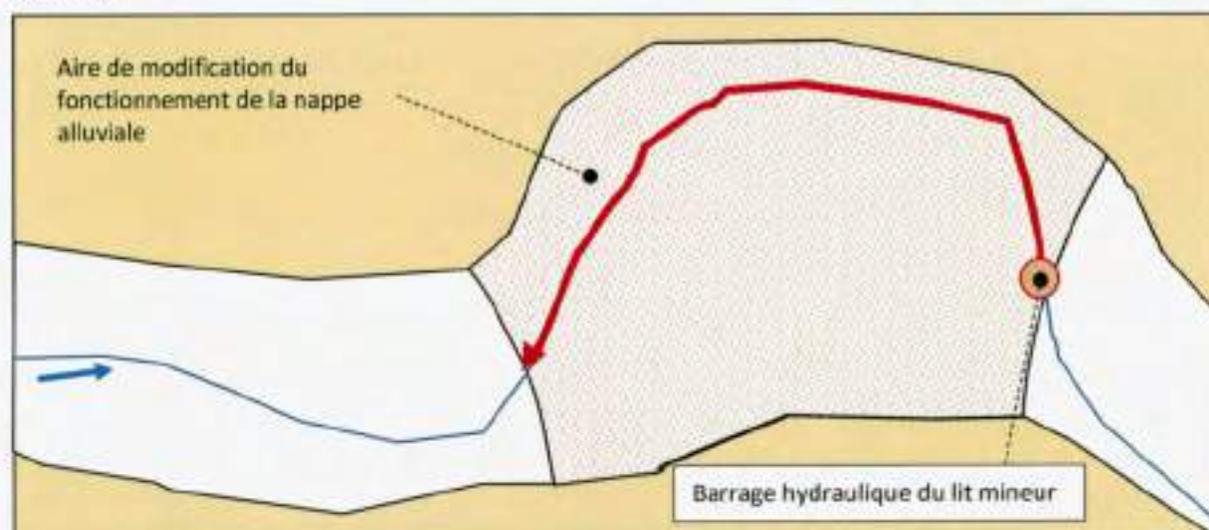


Figure 69 : principe de délimitation de l'espace hydrogéologique modifié dans le cas d'une élévation du niveau de l'eau dans le lit mineur sur un fond de vallée alluviale (en rouge : extension du remous hydraulique à l'amont de l'ouvrage en eaux moyennes)

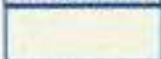
Les zones bâties et/ou imperméabilisées, la limitation de l'aire d'expansion des crues est également cartographiée comme une modification de l'espace de fonctionnement hydrogéologique.

Les talus de berges imperméabilisées (béton, murs maçonnés, palplanches, etc.) impactent également l'EBF hydrogéologique, mais pas les enrochements non liaisonnés ni les protections en techniques végétales.

Les étangs creusés dans les alluvions constituent une modification du contexte hydrogéologique. Seule la surface de l'étang est ici considérée.

Par contre, les phénomènes de colmatage ne sont pas considérés comme modifiant significativement le fonctionnement hydrogéologique, sauf informations particulières ou importance exceptionnelle.

Pour la représentation cartographique de l'EFA, on pourra représenter les différentes classes de zones à l'hydrogéologie modifiée selon un gradient en fonction de la nature de l'encaissant :

Nature hydrogéologique de l'encaissant	
	Imperméable sur les versants
	Semi perméable sur un versant, imperméable sur l'autre
	Semi- perméable sur les deux versants (ou aquifère et perméable)
	Aquifère sur un versant, semi- perméable sur l'autre
	Aquifère sur les deux rives ou absence de modification de la nappe

Afin de replacer les informations cartographiques dans leur contexte, les cartes seront complétées d'annotations précisant au minimum la nature (perméabilité), le milieu (type de porosité) et l'état (liberté ou captivité de la nappe) hydrogéologiques.

Synthèse EBF hydrogéologique

0 – Vérification de la présence d'une nappe alluviale (si cours d'eau non alluvial = pas de fonction hydrogéologique au cours d'eau)

1 - Définition de l'ETBF et de l'EBF (cours d'eau alluviaux):

a- report des limites de l'ETBF = ETBF morpho-dynamique

b- report des limites de l'EBF hydraulique = EBF hydrogéologique

2 – Délimitation de l'EFA (sur la base de l'EFA hydraulique) :

c- prise en compte des aménagements qui modifient l'alimentation de la nappe : retrait des aménagements/infrastructures/enjeux bloquant l'expansion des crues : zones imperméabilisées, remblais, zones à l'abri des digues, des merlons, recalibrages, etc.

d- prise en compte des aménagements qui modifient le niveau moyen des eaux dans le lit mineur (ouvrages transversaux, incision du lit, recalibrage, etc.

e- prise en compte des aménagements qui modifient la perméabilité des berges : palplanches, murs maçonnés, passages bétonnés, etc.

f- prise en compte des captages susceptibles d'impacter la nappe alluviale (captages dans la nappe ou à proximité)

3 - pondération de l'importance des impacts en fonction de la nature hydrogéologique des versants et de l'encaissant

4.1.5. Construction de l'EBF biogéochimique

Pour estimer la capacité des deux fonctions identifiées (auto-épuration et filtre des transferts de polluants en rive), nous retenons la démarche suivante :

Etape 1 : délimitation de l'Espace de Très Bon Fonctionnement (ETBF)

✓ *Espace de Très bon fonctionnement auto-épuratoire*

On peut considérer que l'espace optimal est celui de la nappe alluviale. On reprendra donc la couche des limites du lit alluvial (pour les cours d'eau alluviaux) comme limites de l'ETBF biogéochimique. Pour les cours d'eau non alluviaux on reprendra la couche de l'ETBF hydraulique.

Etape 2 : délimitation de l'Espace de Bon Fonctionnement (EBF) – fonction auto-épuration

✓ *Espace de bon fonctionnement auto-épuratoire*

Le fonctionnement qui permet une bonne auto-épuration est déterminé par les conditions de circulation de l'eau dans le lit mineur, et pour les cours d'eau à berges poreuses, dans la bande de méandrage ou de sinuosité. On prendra alors en compte :

- la structure des berges et mobilité du cours d'eau ;
- la multitude des atterrissements, les alternances radiers/mouilles, la porosité des talus de berges, les circulations à travers les ombilics de méandres favorisent l'auto-épuration du cours d'eau. La diversité des formes susceptible de produire les variations de profondeurs et les sinuosités propres à la création d'une charge solide grossière est un des facteurs favorables à une auto-épuration efficace.

Par ailleurs, plus la berge sera poreuse moins l'espace en rive pourra jouer son rôle de filtre des polluants diffus (polluants agricoles par exemple).

La porosité des berges est commandée directement par leur structure (figure suivante). On considérera qu'elle est :

- forte pour des valeurs de cohésion de 0 à 3 ;
- moyenne pour des valeurs de cohésion de 3 à 8 ;
- faible pour des valeurs de 8 à 10.

Cette porosité doit être considérée en l'absence d'artificialisations de berge étanches (béton, palplanches, argiles, etc.) qui lorsqu'elles sont dominantes peuvent transformer une berge naturelle de forte porosité en une berge de faible porosité.

Lorsque les berges ne sont pas ou peu poreuses (indice de cohésion > 8), on pourra considérer que l'EBF auto-épuratoire se limite au lit mineur, correspondant à l'EFA_{lgm}.

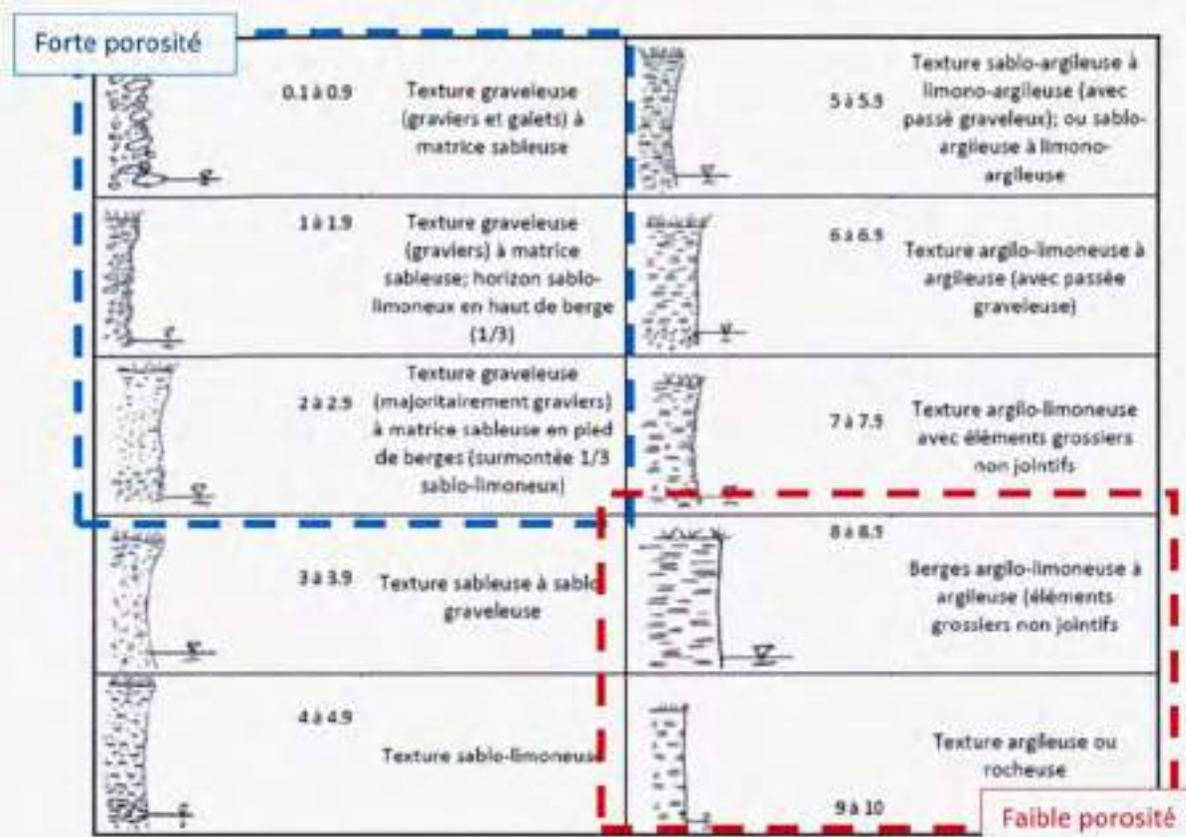


Figure 70 : structure de berge déterminant une porosité forte (0-3), moyenne (4-7) ou faible (8-10)

Lorsque les berges sont fortement poreuses (indice de structure < 3), on retiendra que l'EBF auto-épuration correspond à l'EBF morpho-dynamique, pour les berges moins poreuses (indice > 3) on ne considère pas d'EBF en dehors du lit. Par souci de simplification, on utilisera l'EBF morphodynamique uniquement pour les cours d'eau mobiles et très mobiles.

Etape 3 : délimitation de l'Espace de Bon Fonctionnement (EBF) – fonction de filtre

✓ *Espace de bon fonctionnement pour la limitation des transferts*

Nous choisissons de retenir une largeur de ripisylve de 10 m efficace pour l'abattement de l'azote (80% de l'azote), de 60-80% des phytosanitaires (Raccasi *et al.*, p2016). Cela correspondrait également à un taux d'abattement des MES de + 70 % pour des pentes latérales en rive < 0,5 % (Castelle *et al.* 1994, in Catalogne *et al.*, 2016).

Etape 4 : évaluation de l'Espace de fonctionnement actuel (EFA)

Espace de fonctionnement actuel auto-épuratoire

Deux aspects seront évalués :

- cours d'eau mobiles et très mobiles : la préservation de l'espace de fonctionnement actuel.
- la diversité des formes du lit mineur (variations de largeur, de profondeur et préservation de la diversité des substrats). Une note est attribuée au tronçon selon que ces critères sont préservés, modifiés ou sont totalement perturbés par rapport à l'état naturel.

Pour ce critère, on notera la préservation des formes du lit mineur selon la démarche suivante :

- isolement des caractères du lit mineur en fonction du linéaire / surface concerné
- lit modifié : on retient 50% de la surface (ou du linéaire)
- lit non modifié : on considère que le linéaire concerné conserve ses capacités auto-épuratoires.

Les modifications à prendre en compte sont :

- artificialisation des berges généralisées (conduisant à la banalisation du lit)
- recalibrage, surlargeur, rectification importantes du lit mineur
- traces de curage,
- etc.

Espace de fonctionnement actuel pour la limitation des transferts

La bande rivulaire de 5 m (ou 10m) à partir du haut de berge est évaluée en fonction de l'occupation des sols (orthophotos et levés de terrain) : un facteur d'efficacité est attribué aux superficies respectives des types d'occupations des sols selon l'échelle suivante :

Ripisylve diversifiée sur 10 m de large	Ripisylve discontinue < 10 m de large	Bande enherbée sur 10 m	Bande enherbée réduite	Absence de végétation ou labour
1	0,75	0,50	0,25	0



Figure 71 : exemple de cartographie de l'Espace de Fonctionnement Actuel pour la fonction filtre en rive des intrants (Nied Allemande à Pontpierre, 57)



Figure 72 : principe de délimitation de la bande rivulaire de 10 m en rive, à partir du haut du talus de berge, en limites de pleins bords (la berge fait partie du lit mineur)

Le cas de la sylviculture

Le cas des peupleraies : il faut considérer que sous les peupleraies, fréquemment on observe le développement d'un étage herbacé qui sera plus efficace pour filtrer les fines, le facteur d'efficacité n'excédera toutefois pas 0,75).

Au contraire, sous les pessières, les apports de fines au cours d'eau, depuis les rives, seront facilités, le facteur d'efficacité n'excédera pas 0,25.

C'est à l'opérateur d'estimer la note à attribuer pour représenter au mieux les qualités de la bande rivulaire.

Le cas des bordures d'étangs installés en série sur le cours d'eau :

Dans la même logique que sur un lit aux écoulements nivelés par un ouvrage transversal, on considérera que le long des étangs ou des zones de retenue en amont de barrage, la bande rivulaire peut tout de même filtrer les intrants. Elle sera donc évaluée comme sur un lit naturel.

Remarques : pour les cours d'eau mobiles susceptibles d'avoir été rectifiés, la bande rivulaire de référence (EBF) atteindra au minimum 5 X le linéaire d'une sinuosité minimale de 1,2.

Synthèse :

0 – Délimitation de l'ETBF biogéochimique : reprise de l'ETBF morpho-dynamique

1 - Définition du fonctionnement auto-épuratoire :

- a- En rives : si cours d'eau à berges poreuses (cohésion < 3) EBF = EBF morpho-dynamique / EFA = EBF – surfaces imperméabilisées, construites, étangs, voies de communications, etc.
- b- Lit mineur : diversité des formes : surface du lit mineur (EBF) X facteur de dégradation : préservée 100%, modifiée 50%, busée : 0 % (EFA)
- c- EBF autoépuratoire = moyenne EFA en rive + EFA lit mineur

2 – Définition du fonctionnement filtrant en rives:

- d- EBF : bande de 10 m de large sur chaque rive.
- e- EFA : réduction de cette bande : pondération des surfaces : dégradation de la ripisylve ou forêt alluviale : herbacées, cultures, sylviculture, surfaces imperméabilisées, etc.

3 - EFA biogéochimique : = moyenne EFA auto-épuratoire + EFA filtrant

4.1.6. Construction de l'EBF écologique

Le fonctionnement écologique est évalué au travers de deux composantes :

- la composante écologie terrestre et palustre : rives du cours d'eau incluant les zones humides (y compris zones humides de versants), les zones d'intérêt écologique parfois au-delà du fond alluvial.
- la composante hydrobiologique : elle sera évaluée à partir de l'indicateur « poissons ».

Le bon fonctionnement écologique « terrestre et palustre »

Le bon fonctionnement écologique du cours d'eau est directement lié aux fonctions hydraulique, hydrogéologique et morphologique. La définition des Espaces de Bon Fonctionnement hydraulique, hydrogéologique et morphologique sont donc les clefs d'entrée à la définition d'un Espace de Très Bon Fonctionnement Ecologique, de Bon Fonctionnement Ecologique et de Fonctionnement Actuel.

Nous retiendrons ainsi la démarche suivante :

Préalable : délimitation de l'Espace de Très Bon Fonctionnement (ETBF)

On peut considérer que l'espace de Très Bon Fonctionnement est identique à celui de l'ETBF Hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique le plus large déterminé dans le cadre des méthodes précédemment développées ; compléter par l'identification des zones humides, des zonages du patrimoine naturels liés aux zones humides et des sous-trames alluviales/ humides supra-locales sur les bassins versant considérés. On reprendra donc :

- Pour les cours d'eau non alluviaux :
 - la couche de l'ETBF hydraulique et morphodynamique ;
 - les enveloppes de zones humides considérées brutes (Supra et infra-régionale) ;
 - les zonages du patrimoine naturel liés aux zones humides ;
 - les couches SRCE liées aux milieux humides.
- Pour les cours d'eau alluviaux :
 - les couches de l'ETBF hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique,
 - les enveloppes de zones humides considérées brutes (Supra et infra-régionale) ;
 - les zonages du patrimoine naturel liés aux zones humides ;
 - les couches SRCE liées aux milieux humides et alluviaux.

En absence d'autres informations (cours d'eau à forte pente, de tête de bassin ou non alluviaux), on retiendra que l'ETBF est équivalent à 3 largeurs du lit mineur, dans l'axe du fond de vallée (soit lorsque le cours d'eau est au centre du fond de vallée, sur chaque rive une largeur à pleins bords) (sauf pour les cours d'eau en gorge dont les limites sont délimitées par les talus des gorges).

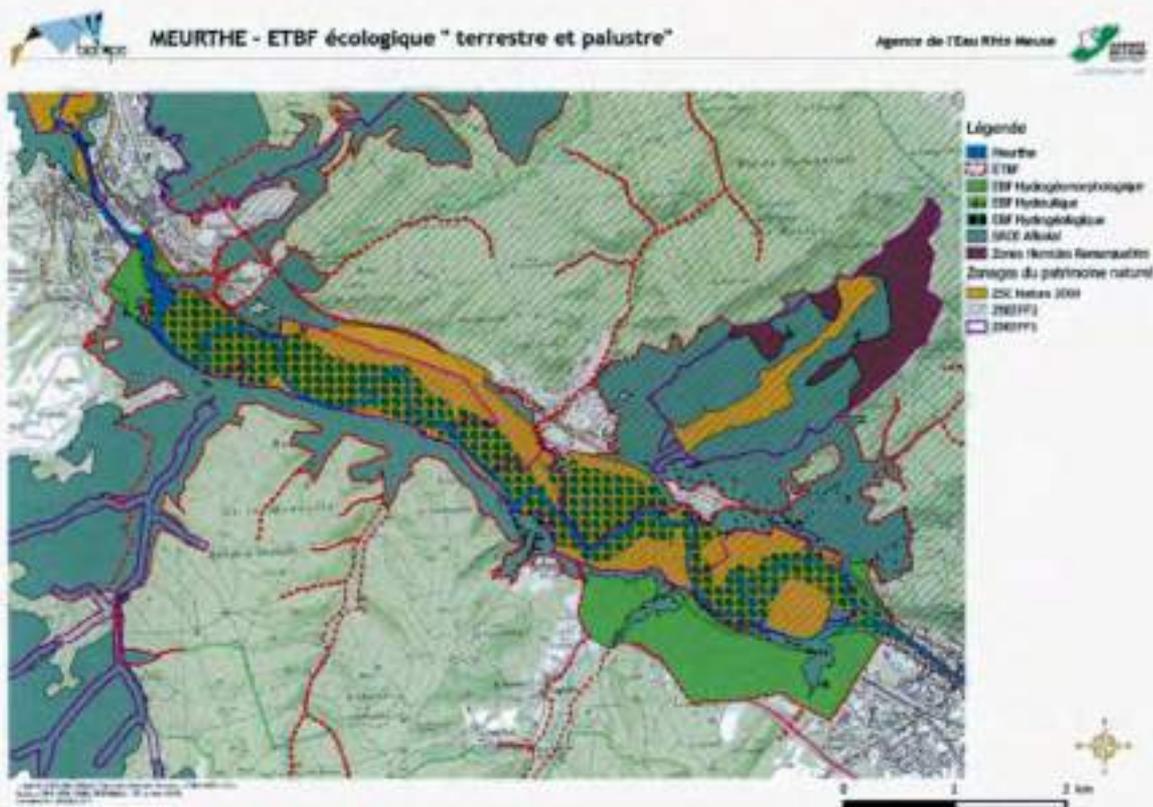


Figure 73 : Composition de l'Espace de Très Bon Fonctionnement Ecologique « terrestre et palustre » sur la Meurthe

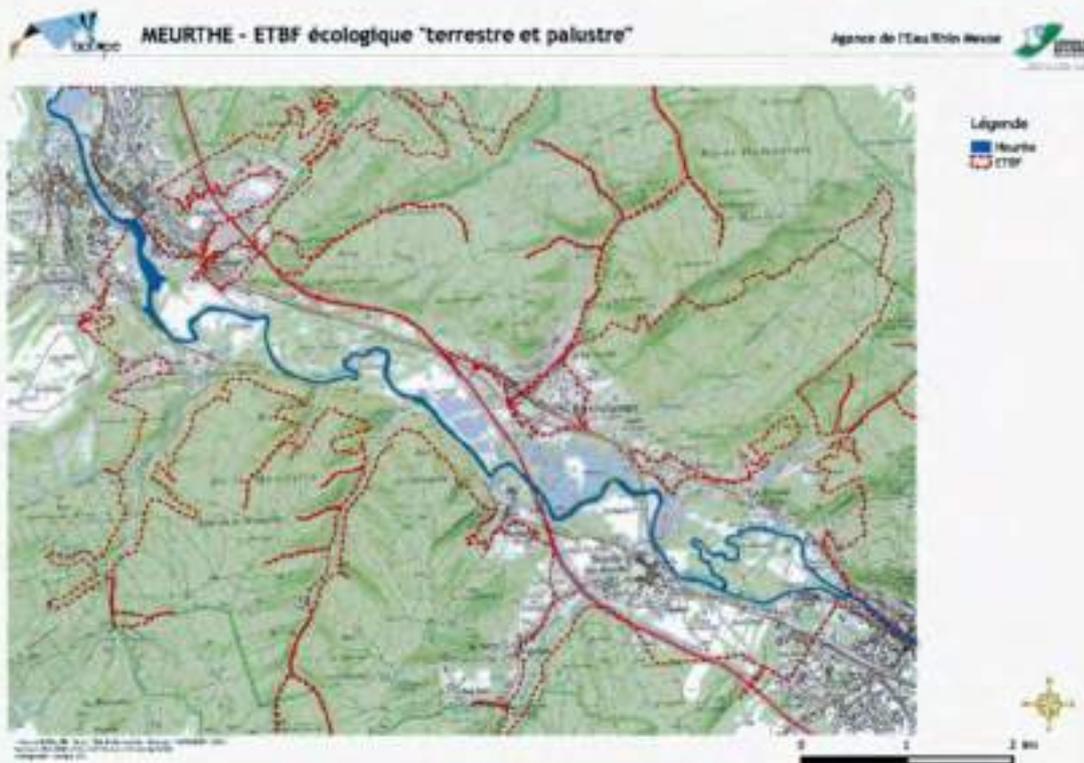


Figure 74 : Espace de Très Bon Fonctionnement Ecologique « terrestre et palustre » sur la Meurthe

Nb : le lit des affluents sans données n'ayant pas été digitalisé, la largeur de 3 fois en portant de l'axe n'a pas été respectée pour cette représentation, nous avons pris les premières courbes de niveau ou les fonds de talus

Etape 1 : définition de l'Espace de Bon Fonctionnement

Pour délimiter l'Espace de Bon Fonctionnement, trois méthodes peuvent être utilisées en fonction des données mobilisables. Toutefois, sur chacune de ces méthodes, il est nécessaire d'avoir l'EBF hydraulique, hydrogéologique voire morphodynamique.

La fusion des EBF hydraulique et hydrogéologique est primordiale pour comprendre la connexion lit mineur/ lit majeur et estimer une limite théorique d'alimentation des milieux humides par le cours d'eau. Au-delà de cette limite, on observe bien souvent une modification de l'hydromorphie des sols, une diminution du caractère hygrophile des habitats naturels marquant progressivement la transition entre des milieux humides à moyennement humides et des milieux secs.

Cette transition naturelle est également valable pour les espèces de flore et de faune, même si elle s'observe moins chez la faune. Les espèces typiques de cours d'eau et de milieux palustres sont sensibles aux conditions stationnelles de leur habitat (humidité et typologie) influencée directement par la rivière.

Concernant, l'EBF morphodynamique, il est également pris en considération pour l'EBF écologique car il permet de prendre en compte le potentiel de régénération et d'évolution des milieux naturels par la dynamique alluviale.

Les trois méthodes vous sont donc présentées ci-dessous.

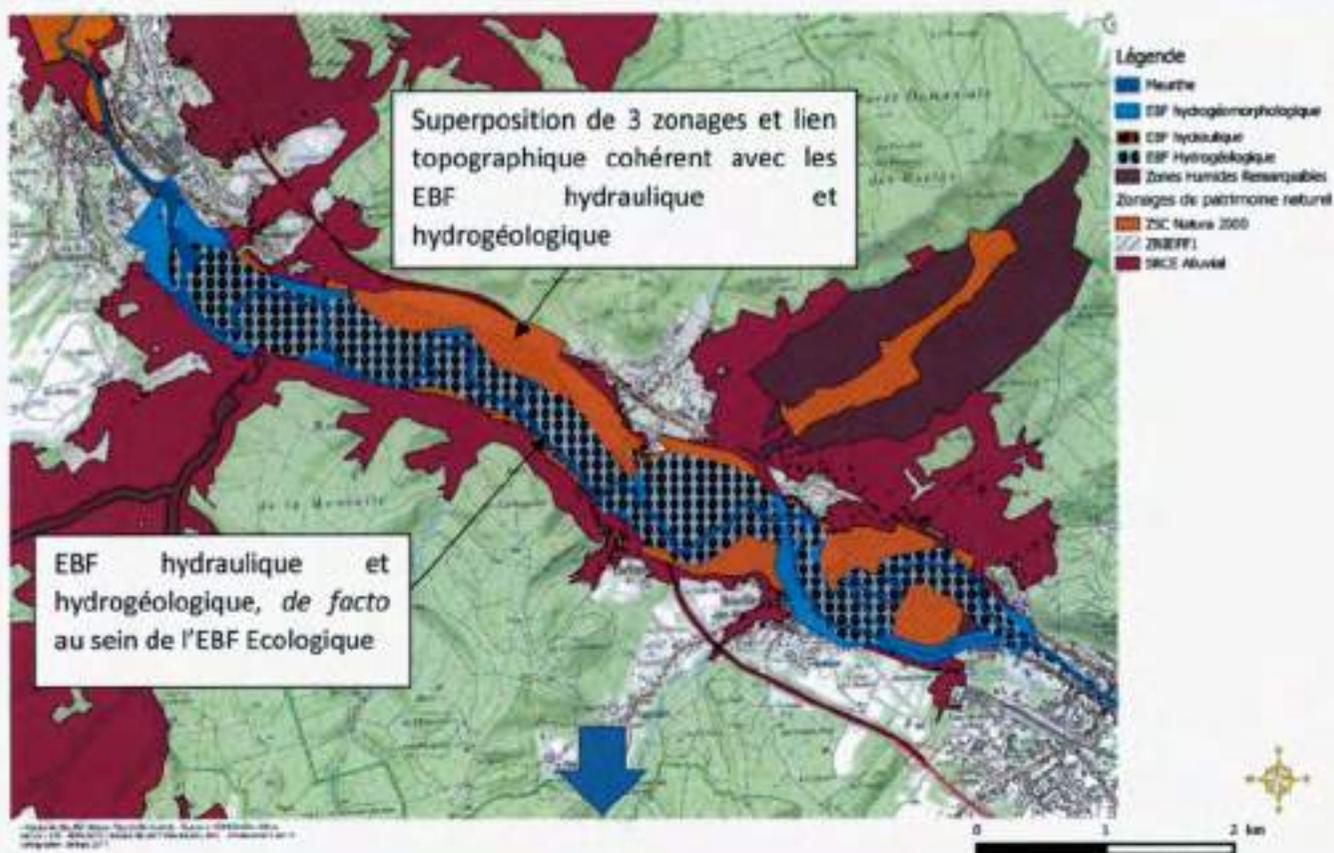
NB : La représentation des affluents sur les tronçons de cours d'eau concernés n'est pas le résultat de l'application de la méthode. Elle permet seulement d'identifier et d'appréhender les portes vers les principaux affluents pour les espèces inféodées aux cours d'eau.

Cas 1 : Superposition de l'EBF hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique avec les zones humides potentielles régionales du bassin Rhin Meuse

L'objectif de cette première approche est de délimiter l'EBF sur la base d'une partie des données utilisées pour délimiter l'ETBF (zones humides régionales et de bassin, données du SRCE, zonages du patrimoine naturel uniquement ENS, RNR, RNN, ZSC Natura 2000 et ZNIEFF de type 1 avec des toponymes de milieux humides ou aquatiques). La superposition de plus de 3 zonages permet de délimiter l'EBF Ecologique sur un même secteur. Ce croisement sera ensuite superposé et comparé aux EBF hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique dans l'objectif de compléter et d'affiner les limites du zonage EBF Ecologique concernant la fonctionnalité des milieux (Cf. exemple ci-dessous de la Meurthe).



MEURTHE - Composition de l'EBF écologique "terrestre et palustre"



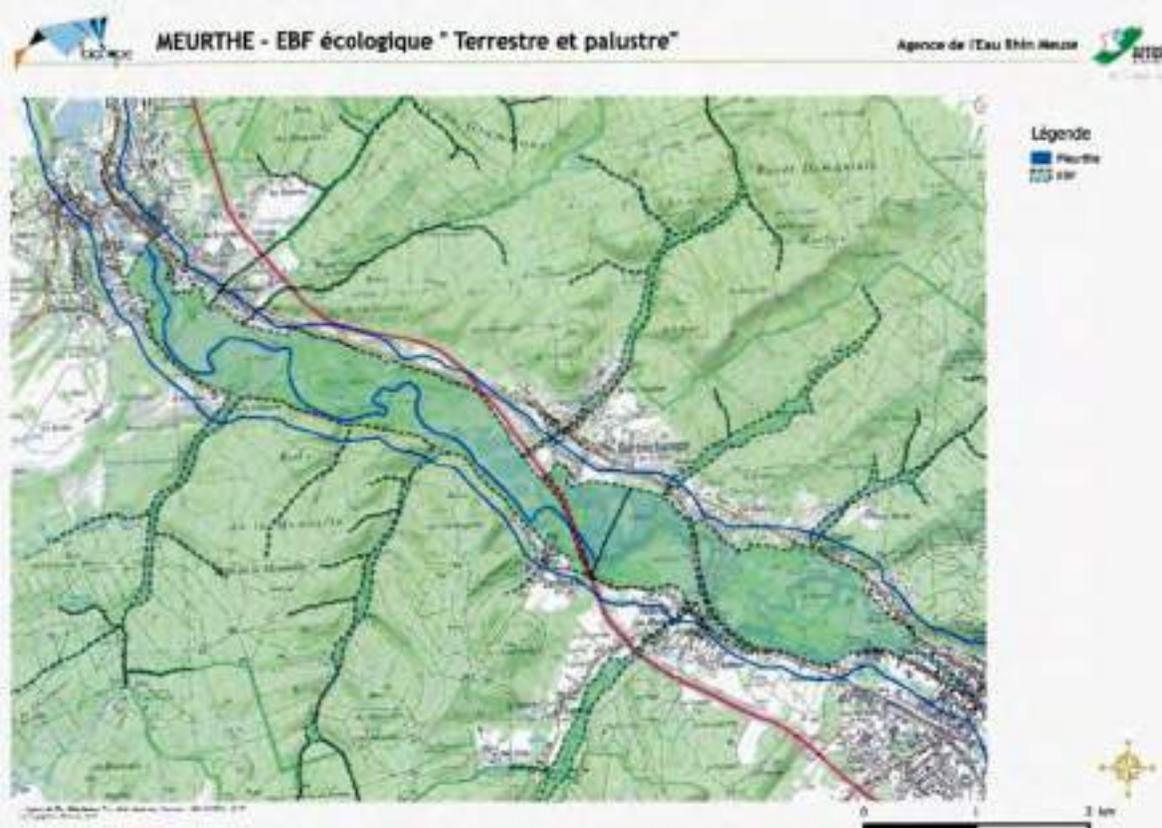


Figure 75 : exemple de cartographie de l'EBF sur la Meurthe (54)

Cas 2 : Superposition de l'EBF hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique avec les zones humides identifiées à une échelle infra-régionale

Dans la mesure où il est possible de disposer d'informations plus précises sur les milieux humides (étude d'identification de zones humides à une échelle infra-bassin – SAGE, Unité hydrographique – étude d'identification des zones humides « Loi sur l'eau »), ces données seront directement prises en compte. Elles seront toutefois confrontées aux EBF hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique afin d'évaluer le lien fonctionnel avec l'alimentation superficielle et souterraine. Enfin, elles seront ajustées via les orthophotoplans et le Scan 25 (Cf. exemple ci-dessous de la Chiers).

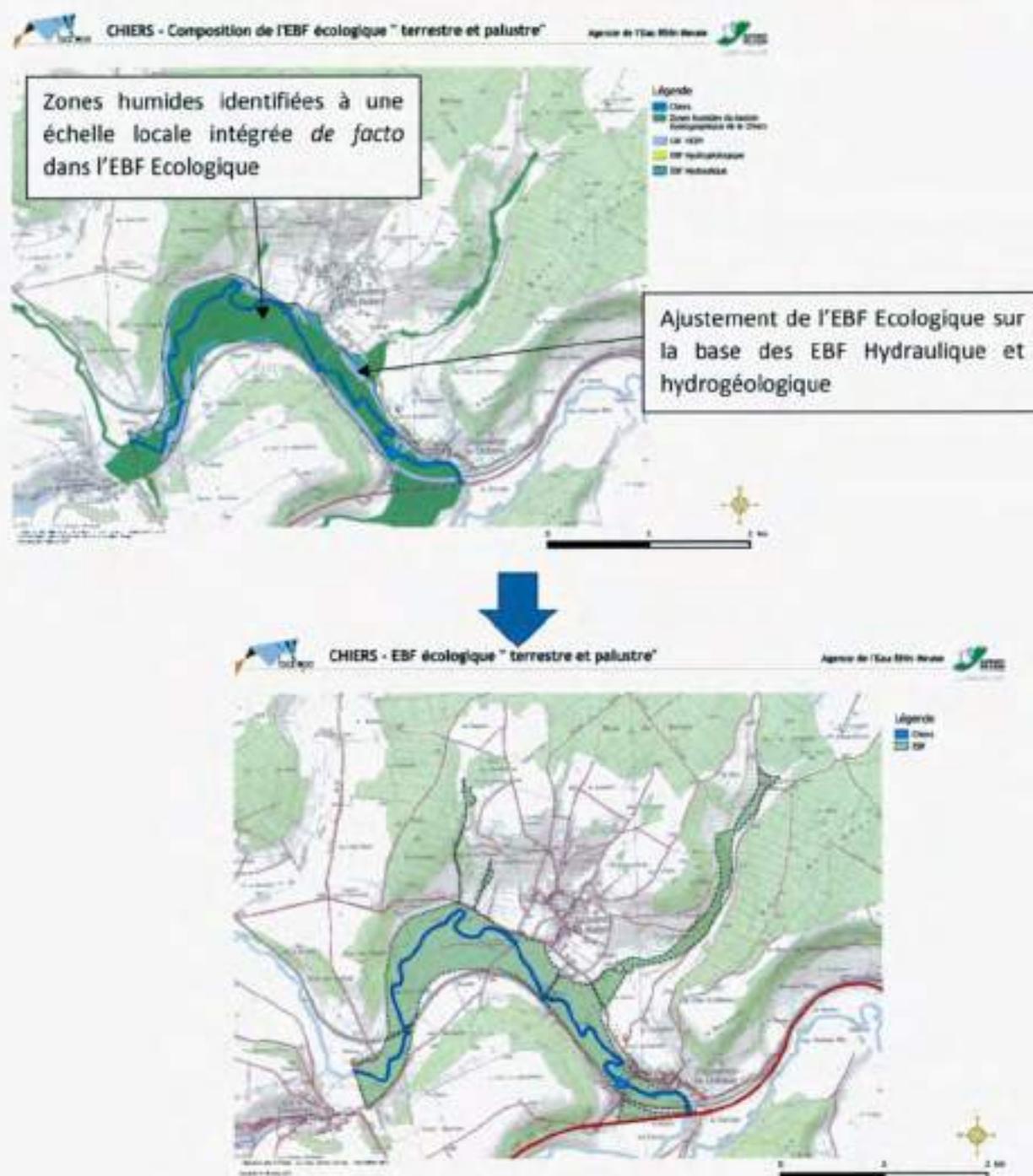


Figure 76 : exemple de cartographie de l'EBF sur la Chiers

Cas 3 : Délimitation sans données d'entrées disponibles ou sans EBF hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique

Dans le cas où aucune des informations précédentes n'est disponible ou seulement les données écologiques supra-régionales, notamment pour les petits cours d'eau ou tête de bassin versant aux, on retiendra que l'EBF est équivalent à 2 largeurs du lit mineur, dans l'axe du fond de vallée (soit lorsque le cours d'eau est au centre du fond de vallée, sur chaque rive une largeur à pleins bords) (sauf pour les cours d'eau en gorge dont les limites sont délimitées par les talus des gorges). Cette

information permet de prendre en compte les bordures d'hélophytes autour des surfaces en eau et le long des cours d'eau, ainsi que les ripisylves de faible largeur. Cette étape permettra d'alerter sur la présence potentielle de ce type de structures végétales notamment sous couvert forestier ou l'identification visuelle est impossible (petit chevelu au sein des grands massifs forestiers).

Pour les affluents de grandes plaines alluviales, l'EBF prendra la forme du talweg de fond de vallées (hors grandes zones urbanisées et voies de communication primaire et voie ferrée circulée).

Etape 2 : Délimitation de l'Espace de Fonctionnement Ecologique Actuel

L'objectif de cette dernière étape est de fournir un outil d'aide à la décision, en vue de l'application de la méthode sur le terrain via des tronçons tests. Il s'agit donc via l'utilisation de l'enveloppe théorique défini précédemment, d'analyser les contraintes en vue de définir un Espace de Fonctionnement Ecologique Actuel.

Afin de délimiter l'Espace de Bon Fonctionnement Ecologique Actuel, trois filtres (étapes) vont être appliqués.

✓ Etape 1 : La photo-interprétation pour observer les contraintes sur l'EBF

Une phase de photo-interprétation sur la base des orthophotoplans (résolution 0,5m), à l'échelle choisie du 1/5000 maximum, a été menée afin d'identifier ou préciser la présence de milieux anthropisés ou modifié.

La photo-interprétation des milieux au sein de l'Espace de Bon Fonctionnement Ecologique « terrestre et lacustre » a nécessité l'utilisation croisée des images aériennes (orthophotos), des cartes IGN au 1/25 000ème. Pour certains éléments en contexte urbains, l'application Google Street View® a été utilisée (visualisation de la végétation ou des types de protection de berge de cours d'eau et plans d'eau) ainsi que la BDTopo et le RPG.

Cette phase de photo-interprétation a permis de mettre en exergue :

- Les voies de communication (échangeur, route principale, route secondaire (niveau 3 et 4), voie ferrée et espaces associés),
- Les constructions linéaires, surfaciques et ponctuelles (Poste de transformation, Bâti indifférencié, industriel, remarquable ; les zones d'activité ; construction légère, linéaire, ponctuelle, construction surfacique, (au cas par cas dans le cas de construction légère et ponctuelle, ainsi que les zones de jardins ou de fond de parcelle) ;
- Les surfaces imperméabilisées (Décharge, cimetière, piste aérodrome, Equipements sportifs et de loisirs),
- Les éléments orographiques,
- Les cours d'eau artificialisées, ainsi que les berges artificielles,
- Les éléments surfaciques peu fonctionnels (bassins),
- Les espaces cultivés, les prairies permanentes et temporaires ou les estives de landes et fourrage ne sont pas considérées comme des pressions (analyse au cas par cas),

NB : dans le cas où les prairies permanentes (pâturées ou fauchées) subissent des pressions ponctuelles (bâti, drain, voie de communication, etc.) mais qui pourraient nuire à leurs bonnes fonctionnalités et à leurs fonctions, le choix de conserver ou de les retirer de l'EFA reviendra à l'Instance décisionnaire (COPIL, COTEC). (Ex : cas de la Chiers avec les zones humides dégradées, bien souvent liées à des prairies de fauche et/ou des pâtures.)

- Les plantations/ l'arboriculture (résineux, peupleraies, vergers intensifs),

NB : de la même manière que pour les prairies sous influence, la question du maintien ou de l'exclusion de forêts naturelles, subissant des pressions pouvant nuire à leurs fonctionnalités, au sein de l'EFA doit être tranché en COPIIL, COTEC.

- Les carrières en activités ou restaurées.

Pour rappel, l'analyse cartographique effectuée à partir des données d'études collectées et d'une phase de photo-interprétation ne peut être vue comme exhaustive et nécessite donc une consultation des acteurs locaux pour affiner la délimitation et l'inventaire de l'EFA.

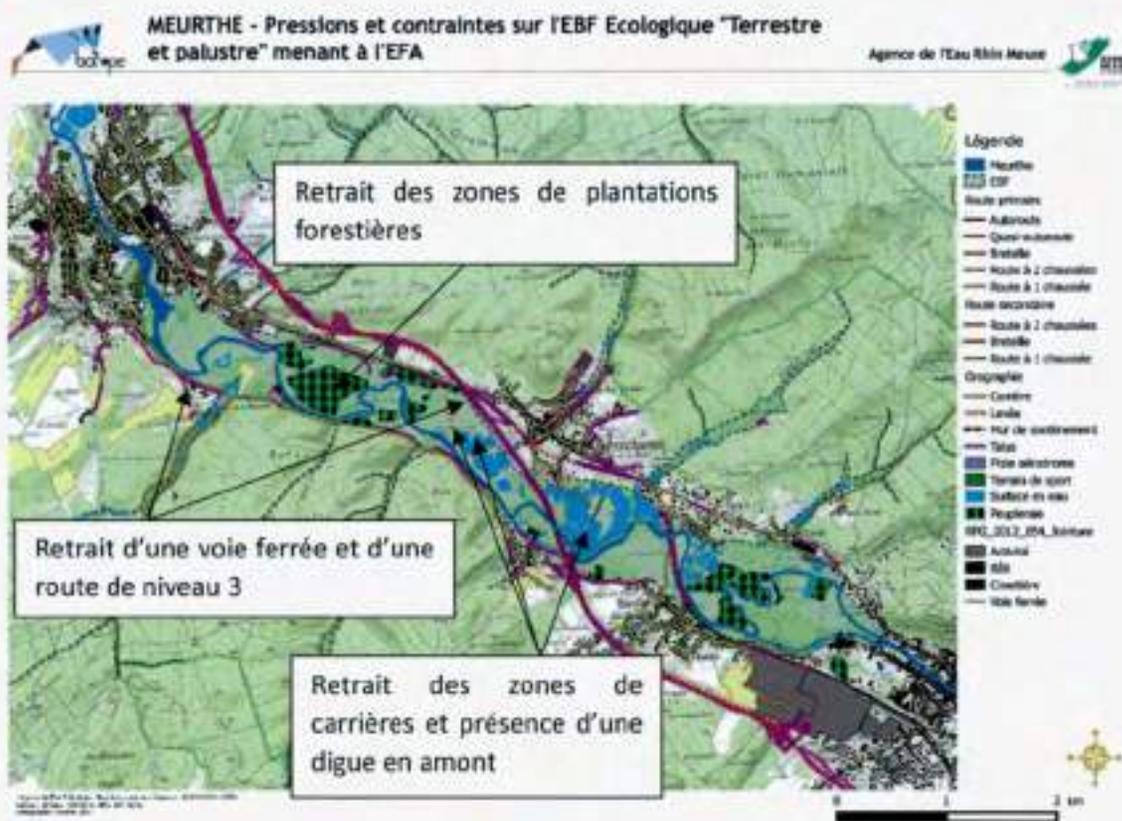


Figure 77 : exemple de cartographie des pressions et contraintes sur l'EBF de la Meurthe



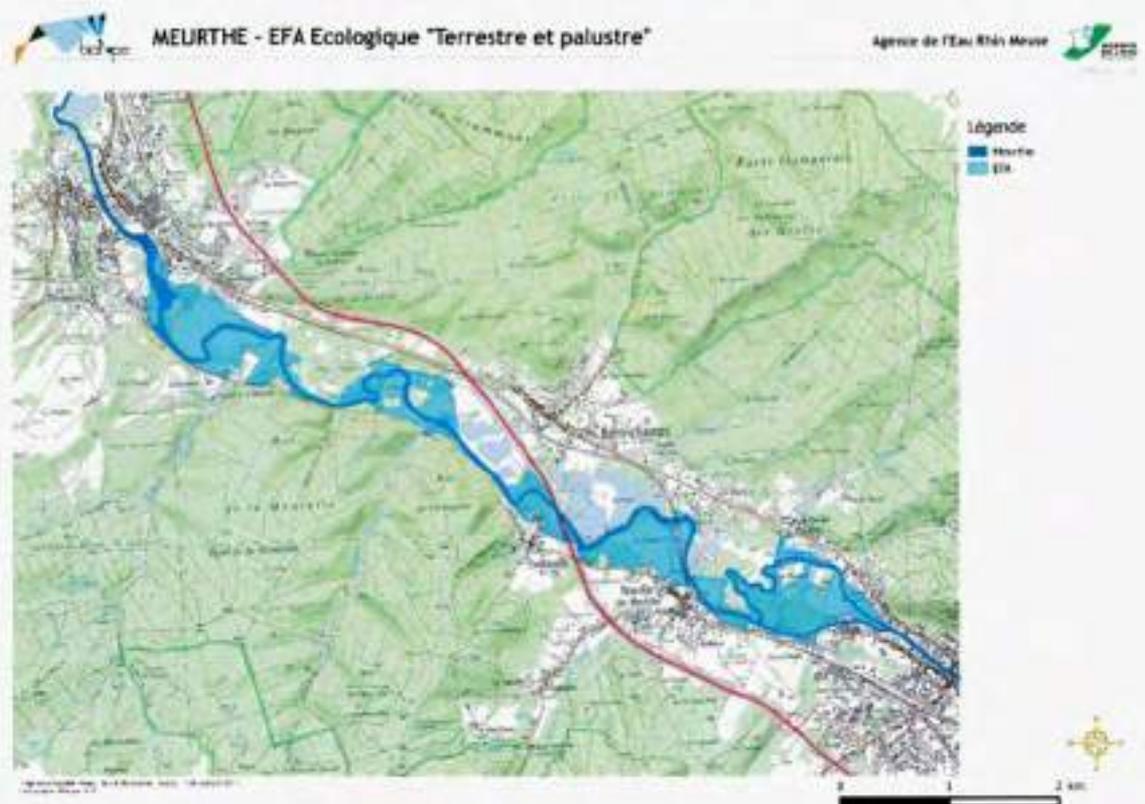
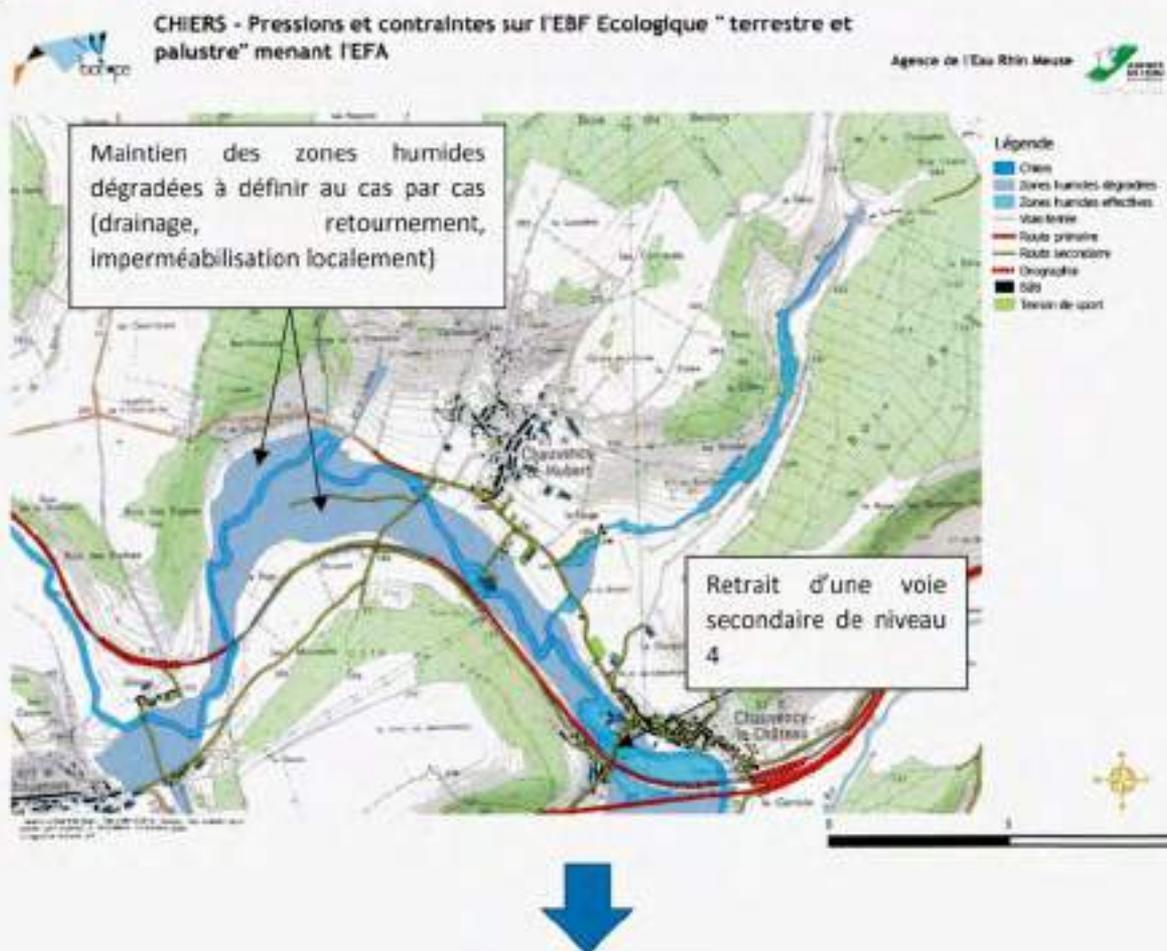


Figure 78 : exemple de cartographie de l'EFA sur la Meurthe



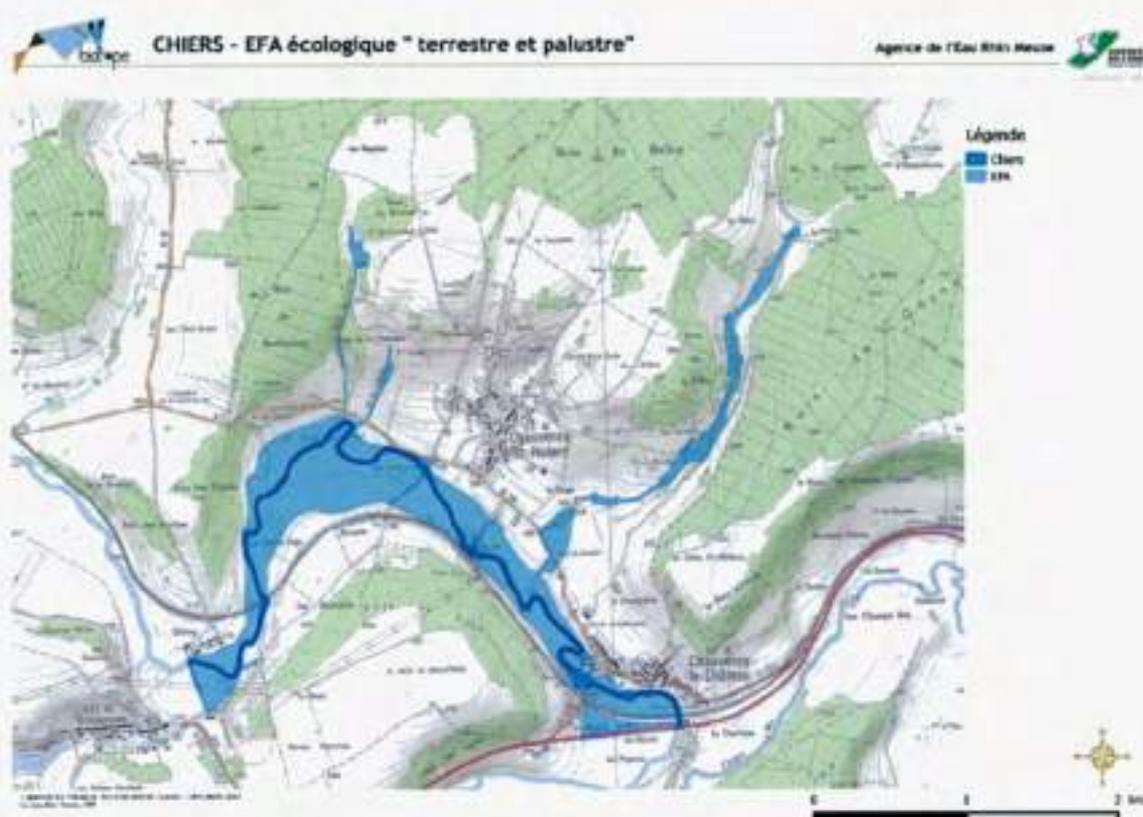


Figure 79 : exemple de cartographie de l'EFA sur la Chiers

Etape 2 : Superposition des EFA hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique

La superposition de l'EFA hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique, aux contraintes anthropiques citées ci-dessus, permet de dessiner les limites probables des milieux naturels humides à méso-hygrophiles encore connectés au cours d'eau et probablement encore fonctionnels pour le cycle biologique des espèces.

✓ Etape 3 : Phase de terrain

La phase de terrain permettant de valider ou modifier les observations de la cartographie et de la phase de photo-interprétation en relevant le type de milieu observé en photointerprétation, la qualité du milieu, le degré de connectivité entre les habitats naturels, la relation cours d'eau/ lit majeur, etc..

La définition d'une enveloppe de prospection a vocation à cibler les secteurs à prospector au regard :

- de la surface et surtout de la fragmentation de l'EBF par rapport à l'EFA (à l'issue de la phase de prélocalisation),
- des aspects contractuels : nombre de jours prévus en fonction de la surface en question,
- du caractère plus ou moins menacé des zones (niveau de pression urbaine, statut de protection...),
- de l'accessibilité aux sites (parcelles privées clôturées).

La finalité de ce terrain permettra de renseigner plusieurs informations pour chaque tronçon de l'EFA (calé sur un tronçon de cours d'eau) lors des prospections de terrain. Ces informations reprendront l'ensemble des informations suivantes (non exhaustif) :

- Critères généraux : Toponymies, numéro de tronçon, carte de localisation, photo du site,
- Critères écologiques : fonctions support de biodiversité (type et diversité de milieux observés),
- Etat de conservation des milieux,
- Etat de la connectivité/ fonctionnalité ;
- Activités et usages.

L'objectif de ces relevés est de caractériser de manière simplifiée l'EFA et l'EBF ; et de permettre une visualisation rapide des caractéristiques générales recensées sur le terrain dans un format directement diffusable.

Synthèse EBF écologie terrestre et palustre

0 - Définition du type : alluvial / non alluvial – délimitation de l'ETBF + affluents, sources et résurgences, enveloppes de dispersion potentielles des espèces inféodées au cours d'eau et ses annexes (Zonages PatNat, Réseau écologique, Zones humides, Scan25)

1 - Définition de l'EBF (2 approches) :

- a- Superposition de l'EBF hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique avec les zones humides potentielles régionales et du bassin Rhin Meuse (cumuls à minima de 3 zonages en partie utilisés par l'ETBF)
- b- Superposition de l'EBF hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique avec les zones humides identifiées à une échelle infra-régionale (SAGE, CdR, Unité hydrographique, zones humides échelle 1/5000^{ème} Loi sur l'eau, Scan25)

2 – Délimitation de l'EFA (sur la base de l'EBF actuel) :

- 1- Retrait de milieux anthropisés, modifiés limitant le bon fonctionnement des habitats de vie des espèces :
 1. Photo-interprétation : analyse visuelle et préparation de la phase terrain ;
 2. Superposition EFA hydraulique, hydrogéologique et morphodynamique ;
 3. Phase de terrain (confirmation, modification, caractérisation)

Concernant la cartographie, il est nécessaire de réaliser 2 cartes par étape (notamment EBF et EFA) :

- 1- Une carte avec tous les éléments permettant de délimiter les enveloppes ETBF, EBF et EFA (Zonages PatNat, Zones humides, SRCE, contraintes/pressions/autres éléments d'information utiles à la compréhension/analyse du fonctionnement écologique) et tout autre élément d'information que l'opérateur jugera utile d'afficher.
- 2- Une carte avec la délimitation des enveloppes (ETBF, EBF, EFA), issues du croisement des données ci-dessus, permettant de calculer et d'évaluer la différence de fonctionnalité entre les EBF et EFA. Le Fond Scan25, pour ce rendu, est préférable car il aide à la localisation.

Le bon fonctionnement hydrobiologique

De la même manière que pour le fonctionnement écologique terrestre et palustre, la fonction hydrobiologique est directement liée aux fonctions hydrauliques et morphologiques. Ces deux approches constituent donc les socles de départ pour la définition de l'ETBF et de l'EBF hydrobiologique. Selon que la portion de cours d'eau concernée corresponde à un contexte alluvial ou non alluvial, mais aussi en fonction de sa pente, nous considérerons plutôt une typologie à tendance salmonicole ou, au contraire à tendance cyprino-esocicole. Suivant la typologie de travail retenue, l'enveloppe fonctionnelle physique sur laquelle se basera la définition de l'enveloppe hydrobiologique sera :

- L'enveloppe hydromorphologique pour les cours d'eau à tendance salmonicole ainsi que ceux à tendance cyprino-esocicole sans enjeu de débordement latéral vis-à-vis des potentialités de reproduction
- L'enveloppe hydrologique pour les cours d'eau à tendance cyprino-esocicole avec enjeu de débordement latéral vis-à-vis des potentialités de reproduction

Ainsi, l'Espace de Très Bon Fonctionnement hydrobiologique peut être considéré comme l'équivalent de l'ETBF morpho-dynamique (l'ensemble des versants) pour les cours d'eau alluviaux, étant donné que la bonne fonctionnalité hydrobiologique est une résultante directe de la bonne fonctionnalité hydromorphologique. Pour les cours d'eau alluviaux (peu importe cette fois qu'il y ait ou non un enjeu de débordement latéral vis-à-vis des potentialités de reproduction), c'est l'intégralité du fond alluvial qui est considéré pour l'ETBF (comme pour la fonction hydrologique) car toute annexe hydraulique (donc réservoir de biodiversité potentiel) incluse dans le fond alluvial et donc susceptible de se retrouver ponctuellement reconnectée au cours d'eau à un moment ou à un autre (participant ainsi aux échanges faunistiques permettant le brassage génétique et le soutien de la biodiversité) est ainsi considérée. En outre, dans ce cas également la bonne fonctionnalité hydrobiologique est une résultante directe de la bonne fonctionnalité hydrologique.

Enfin, une dernière dimension reste à prendre en compte pour la fonctionnalité hydrobiologique : la continuité longitudinale sur le réseau hydrographique, nécessaire à l'ensemble des communautés biologiques aquatiques (mais plus particulièrement encore à la faune piscicole). Cette dimension étant trop large pour être raisonnablement prise en compte de manière exhaustive (par exemple en ce qui concerne les poissons grands migrateurs dont le cycle biologique implique des échanges entre les océans et les têtes de bassin), la solution retenue consiste à identifier physiquement toutes les « portes » entre le tronçon étudié et le reste du réseau hydrographique. Concrètement, ces « portes » correspondent à l'intersection de l'enveloppe fonctionnelle établie et de tout élément du réseau hydrographique en lien continu avec le tronçon de cours d'eau considéré.

Pour la démarche de construction de l'EBF, deux approches distinctes sont donc employées en fonction du type piscicole de cours d'eau concerné. Pour les cours d'eau « de montagne » non alluviaux, c'est la méthode basée sur l'EBF hydromorphologique qui sera systématiquement utilisée. En effet, de par leur nature, ces cours d'eaux ne présentent pas d'intérêt relatif au débordement latéral). En revanche, pour les cours d'eau alluviaux, il faut préalablement déterminer le contexte piscicole pour savoir quelle approche de construction des enveloppes EBF_{hydrobio}/EFA_{hydrobio} choisir. Pour ce faire, nous proposons de retenir que les cours d'eau alluviaux de pente au moins égale à 2,5‰ correspondent à un contexte salmonicole ou cyprino-esocicole sans enjeu de débordement

latéral. Les autres (pente <2,5‰), sont considérés associés à un contexte cyprino-esocicole avec enjeu de débordement latéral. Cette valeur seuil de 2,5‰ reste cependant un choix méthodologique indicatif. Ainsi, s'il apparaît justifié de s'affranchir de cette règle de valeur de pente pour ajuster la méthode à la réalité d'une situation rencontrée (par exemple un cours d'eau de pente inférieure à 2,5‰ dont le contexte piscicole théorique resterait cependant purement salmonicole, ou inversement), l'opérateur est libre de suivre la méthodologie qui lui semble la plus adaptée parmi les deux approches proposées. Le cas échéant, cet ajustement devra faire l'objet d'une justification étayée (données sur le peuplement piscicole, expertise du contexte, ...).

Les deux approches de construction de l'EBF/EFA sont présentées ci-après en fonction du type de cours d'eau concerné et/ou de sa pente.

- ✓ *Cours d'eau alluviaux à tendance cyprino-esocicole avec enjeu de débordement latéral (par défaut, pente <2,5‰)*

Etape 1 : délimitation de l'espace de bon fonctionnement

Sur la base des choix présentés dans le paragraphe 3.3.5, pour un cours d'eau alluvial en contexte cyprinico-esocicole, l'enveloppe de travail de départ est celle de l'aire d'expansion de la crue décennale ($EBF_{hydrobio}$ théorique) ou, si la modélisation de cette couche n'existe pas, son équivalent théorique défini comme une enveloppe de 10 fois la largeur à pleins bords du cours d'eau depuis le haut de berge, ce qui correspond à l'espace de grand écoulement établi pour le volet hydraulique (quel que soit le type morphodynamique et la mobilité latérale du cours d'eau). Le cas échéant, les annexes hydrauliques (hors plans d'eau anthropiques) entrecoupées par ce périmètre font l'objet d'un élargissement de celui-ci suivant la géométrie des annexes concernées.

Etape 2 : délimitation de l'espace de fonctionnement actuel

Quand l'information est disponible (études spécifiques, relevés de terrain complémentaires, connaissance des acteurs locaux ...), tout élément identifié comme limitant vis-à-vis du champ effectif d'inondation de la crue décennale (digues, ...), de EBF_{reg} , et/ou de la libre circulation des espèces piscicoles entre le lit mineur et les annexes latérales situées au sein de ce périmètre (rehaussement topographique, buse infranchissable, ...) devra être retenu comme élément restrictif de la fonctionnalité hydrobiologique. Si ces éléments n'existent pas, ils seront à obtenir dans le cadre des futures études EBF mises en œuvre. Les informations seront de même ordre que celles collectées pour la délimitation de l'EFA Hydraulique. De même, tout plan d'eau anthropique situé (entièrement ou partiellement) au sein de $EBF_{hydrobio}$ est à considérer comme dégradant vis-à-vis de la fonctionnalité écologique initiale théorique. Ce constat est également valable pour les espaces dont l'occupation du sol correspond à du tissu urbain, de la culture ou des plantations de type « peupliers » ou « résineux ». En ce sens, l'Espace de Fonctionnement hydrobiologique Actuel ($EFA_{hydrobio}$) devra exclure toutes les surfaces concernées par ces différentes contraintes et pressions par rapport à l' $ETBF_{hydrobio}$ précédemment défini.

Les remous hydrauliques ne sont pas à retirer de l'EBF pour dessiner l'EFA mais on considérera une réduction arbitraire :

- de 33 % pour les cours d'eau cyprinicoles ;
- de 66% de la surface concernée pour les cours d'eau salmonicoles.



La prise en compte de ces valeurs se fait par la réduction de la surface influencée par le remous pour le calcul de la note finale « surface EFA / surface EBF ». L'évaluation de l'impact réel du remous sur la fonctionnalité hydrobiologique (et notamment piscicole) reste dépendante de relevés complémentaires plus poussés (inventaires faunistiques en particulier).

Sur cette enveloppe finale d'EFA_{hydrobio}, il conviendra encore de faire apparaître les éléments (compléments utiles d'informations et pressions) suivants :

- Les linéaires de cours d'eau (couche « hydrographie » de la BD Topo) qui devront aussi être visibles au-delà des limites de l'EFA_{hydrobio} (voire au-delà de l'EBF_{hydrobio} théorique)
- Les « portes » vers l'amont (ou l'aval) de l'ensemble des affluents (ou bras, diffluent ...) à la limite de l'EFA_{hydrobio}
- Les ouvrages hydrauliques (couche « ROE » avec hauteur de chute) et leur zone d'influence de remous (et si disponibles, la hauteur de chute / le diagnostic de franchissabilité)
- Les voies de communications (couches « réseau routier » et « voies ferrées » de la BD Topo)
- A partir des éléments relatifs aux inventaires des milieux humides alluviaux qui sont théoriquement demandés dans les études globales de bassin versant/cours (qui sont celles ciblées pour intégrer la présente méthodologie de définition de l'EBF), les « annexes hydrauliques » (frayères potentielles) qui seront précisément identifiées (sans restriction d'échelle) seront aussi à reporter dans la représentation des EBF/EFA

Synthèse :

Etape 1 : reporter la couche de la crue décennale sur le tronçon de cours d'eau étudié. Si celle-ci n'est pas disponible, utiliser à la place l'enveloppe théorique de 10 fois Lpb.

Etape 2 : si cette première enveloppe coupe des annexes hydrauliques (connectées ou non au lit mineur), élargir le périmètre selon la géométrie de ces annexes. Les plans d'eau anthropiques ne sont pas à prendre en compte comme annexes hydrauliques mais les annexes d'origine anthropique ancienne de type « bras de moulins » peuvent être considérées si elles sont évaluées comme écologiquement pertinentes.

⇒ **L'enveloppe obtenue à l'issue de l'étape 2 constitue l'EBF_{hydrobio}**

Etape 3 : retrancher de l'EBF_{hydrobio} le tissu urbain, les cultures, les plantations de peupliers et de résineux ainsi que les plans d'eau anthropiques.

Etape 4 : retrancher également les zones qui ne seraient pas effectivement « inondables » en situation de crue décennale (du fait de digues, rehaussement topographiques, obstacles divers ...) si elles sont clairement identifiables (études existantes, observations de terrain, connaissances des acteurs locaux ...).

Etape 5 : retrancher aussi les portions d'annexes hydrauliques qui ne seraient pas effectivement accessibles pour la faune piscicole en situation de crue décennale (connexion

obstruée, hauteur d'eau limitante ...) si elles sont clairement identifiables (études existantes, observations de terrain, connaissance des acteurs locaux ...).

133

- **Etape 6** : retrancher une partie de la surface influencée hydrauliquement en eaux moyennes par les ouvrages selon le type de cours d'eau (salmonicole/cyprinicole).

⇒ **L'enveloppe obtenue à l'issue de l'étape 6 constitue l'EFA**

Chaque type d'élément ayant conduit à la restriction de l'EBF pour aboutir à l'EFA pourra utilement être cartographié/quantifié à ce stade de la démarche, ces informations étant à apporter ultérieurement pour préciser/hierarchiser les raisons de la dégradation de la surface EFA par rapport à la surface EBF. En l'occurrence, la surface réduite (fraction de 50%) en cas de présence d'un remous hydraulique est à préciser.

Etape 7 : faire apparaître l'ensemble des contraintes/pressions/autres éléments d'information utiles cités précédemment : linéaires de cours d'eau, portes vers le reste du réseau hydrographique, ouvrages hydrauliques (avec, si disponibles, hauteur de chute et évaluation de franchissabilité) et remous amont associé, voies de communications et annexes hydrauliques (ou tout autre élément que l'opérateur jugera utile d'afficher).

⇒ **La cartographie obtenue à l'issue de l'étape 6 constitue la restitution graphique de l'enveloppe EFA**

- ✓ *Cas des cours d'eau non alluviaux et des cours d'eau alluviaux à tendance salmonicole ou cyprino-esocicole sans enjeu de débordement latéral (par défaut, pente $\geq 2,5\%$)*

Comme précédemment présenté, les enveloppes de l'EBF_{hydrobio} et de l'EFA_{hydrobio} dans le cas des cours d'eaux non alluviaux et des cours d'eau alluviaux sans enjeu de débordement latéral (pente supérieure ou égale à 2,5‰) est le strict report de celles de l'EBF_{hgm} et de l'EFA_{hgm}. La seule modification éventuelle à apporter à ces enveloppes intervient dans le cas où le tronçon de cours d'eau étudié comporterait un (ou plusieurs) bras secondaire(s) d'origine anthropique (par exemple, bras de moulin) qui constituerai(en)t un intérêt hydrobiologique avéré (par exemple en tant que « pépinière » pour la reproduction de la truite). Dans ce cas, les deux enveloppes EBF_{hgm} et EFA_{hgm} seront à augmenter de la surface de lit concernée pour ce(s) bras secondaire(s) pour générer les enveloppes EBF et EFA.

D'autre part, comme précédemment, en cas d'ouvrage générant un remous hydraulique, ce dernier n'est pas retiré de l'EBF pour dessiner l'EFA mais on considérera une réduction arbitraire de la surface concernée par le remous pour le calcul de la note finale « surface EFA / surface EBF » dans les mêmes proportions que précédemment (l'évaluation de l'impact réel du remous vis-à-vis de la fonctionnalité biologique pourra être appréciée de façon plus précise grâce à des études complémentaires ou des inventaires de terrain).

Quelle que soit la situation rencontrée (avec ou sans bras secondaire à prendre en compte), sur l'enveloppe finale d'EFA il conviendra aussi de faire apparaître les éléments (compléments utiles d'informations et pressions) suivants :

- Les linéaires de cours d'eau (couche « hydrographie » de la BD Topo) qui devront aussi être visibles au-delà des limites de l'EFA_{hydrobio} (voire au-delà de l'EBF_{hydrobio} théorique)
- Les « portes » vers l'amont (ou l'aval) de l'ensemble des affluents (ou bras, diffluents ...) à la limite de l'EFA_{hydrobio}
- Les ouvrages hydrauliques (couche « ROE » avec hauteur de chute) et leur zone d'influence de remous (et si disponibles, la hauteur de chute / le diagnostic de franchissabilité)
- Les voies de communications (couches « réseau routier » et « voies ferrées » de la BD Topo).

Synthèse EBF hydrobiologique

Etape 1a (contexte cyprinicole) : report de la couche de la crue décennale sur le tronçon de cours d'eau étudié.

Si celle-ci n'est pas disponible, utiliser à la place l'enveloppe théorique de 10 Lpb.

Etape 1b (contexte salmonicole) : report de la couche de l'EBF morpho-dynamique sur le tronçon de cours d'eau étudié.

Etape 2 : intégrer les annexes hydrauliques à cette enveloppe

Si cette première enveloppe recoupe des annexes hydrauliques (connectées ou non au lit mineur), élargir le périmètre selon la géométrie de ces annexes, en tenant compte de leurs caractéristiques topographiques et floristiques. Les plans d'eau anthropiques, les canaux d'amenée,... ne sont pas à prendre en compte comme annexes hydrauliques. Toutefois, les milieux anthropiques anciens, ayant évolué vers des annexes hydrauliques, peuvent être considérés s'ils présentent des caractéristiques écologiques favorables à la faune piscicole du cours d'eau (reproduction notamment).

⇒ L'enveloppe obtenue à l'issue de l'étape 2 constitue l'EBF hydrobiologique

Etape 3 : retrait des surfaces impactant les fonctions piscicoles

- le tissu urbain, les cultures, les plantations de peupliers et de résineux ainsi que les plans d'eau anthropiques ;
- les zones qui ne seraient pas effectivement « inondables » en situation de crue décennale du fait de digues, rehaussement topographiques d'origine anthropique, recalibrages du lit mineur ... ;
- les portions d'annexes hydrauliques qui ne seraient pas effectivement accessibles pour la faune piscicole en situation de crue décennale (connexion obstruée par une buse, hauteur d'eau limitante par recalibrage...).

⇒ L'enveloppe obtenue à l'issue de l'étape 3 constitue l'EFA hydrobiologique

Etape 4 : pondération des aires de retenues d'eau par les ouvrages transversaux

Pour les ouvrages qui provoquent une simplification des faciès d'écoulements et des habitats en moyennes et basses eaux, retirer par pondération une partie de la surface du lit mineur influencée hydrauliquement en eaux moyennes par les ouvrages selon le type de cours d'eau (par défaut : 2/3% de la surface en contexte salmonicole et 1/3 de la surface en contexte cyprinicole).

⇒ L'étape 4 permet l'évaluation du ratio surface EFA/ surface EBF

Chaque type d'élément ayant conduit à la restriction de l'EBF, pour aboutir à l'EFA, pourra être utilement cartographié/quantifié à ce stade de la démarche, ces informations étant à apporter ultérieurement pour préciser/hierarchiser les raisons de la dégradation de la surface de l'EFA par rapport à la surface de l'EBF.

Concernant la surface réduite en cas de présence d'un remous hydraulique, la représentation cartographique de cette restriction n'est pas à faire, seule la longueur du remous hydraulique sera matérialisée par une flèche sur les cartes (voir figures 28 à 30).

Etape 5 : compléments à la cartographie hydrobiologique

Faire apparaître l'ensemble des contraintes/pressions/autres éléments d'information utiles à la compréhension/analyse du fonctionnement hydrobiologique : linéaires de cours d'eau (cours principal et affluents), « portes » vers le reste du réseau hydrographique, ouvrages hydrauliques (avec, si disponibles, hauteur de chute et évaluation de franchissabilité) et remous amont associé, voies de communication, annexes hydrauliques et tout autre élément d'information que l'opérateur jugera utile d'afficher.

5. CONCLUSIONS

5.1. Généralités

Finalement, nous avons donc choisi de définir séparément selon 5 fonctions les Espaces de Bon Fonctionnement (et de Très Bon Fonctionnement).

Cela présente également l'avantage et l'intérêt de pouvoir différencier l'approche selon les territoires, une ou plusieurs fonctions pouvant faire l'objet d'investigations et d'évaluations plus détaillées si elles présentent des enjeux spécifiques (comme par exemple en dénominateur commun des EBF : le fond alluvial auquel on rajoute des marges spécifiques) :

- quel espace nécessaire pour un fonctionnement satisfaisant dans chaque compartiment (EBF) ?
- quel espace de fonctionnement actuel ?

Les Espaces de Très Bon Fonctionnement permettent de rappeler le contexte originel ou optimal des différents processus morpho-dynamique, hydraulique, biogéochimique, hydrogéologique et écologique (écologie terrestre et hydrobiologie).

Les Espaces de Bon Fonctionnement sont finalement simplement les références de l'évaluation des Espaces de Fonctionnement Actuels respectifs en lien avec le cours d'eau.

Ce ne sont pas des évaluations de la qualité du milieu cartographié : des écarts importants entre les évaluations de fonctions différentes pourtant liées ne sont donc pas forcément contradictoires : un même cours d'eau peut disposer d'un espace de fonctionnement biologique relativement préservé (frais, alimentation, déplacement possibles) alors que son espace de fonctionnement morpho-dynamique sera fortement perturbé.

L'objectif de cette méthode est de pouvoir disposer d'un outil qui mette en perspectives différents zonages successifs, d'une situation intacte théorique à une situation impactée afin de pouvoir construire des programmes de restaurations, des programmes de gestion, basés sur la préservation et/ou la restauration des milieux,... avec leur panels de stratégies plus ou moins ambitieuses, plus ou moins opportunes. En complément des indicateurs de qualité de l'eau de la DCE (état biologique, état physico-chimique, état chimique), la finalité du travail vise ainsi à **orienter et à illustrer la gestion des cours d'eau vers une préservation voire une restauration des fonctionnalités des écosystèmes qui sont autant de services rendus à la société.**

Compte tenu de l'importance des informations à rassembler un certain nombre de solutions par défaut sont proposées. Il a été à plusieurs reprises rappelé la nécessité pour l'opérateur d'apprécier toujours l'opportunité d'appliquer ces choix méthodologiques en rapport avec le contexte local, les informations disponibles par ailleurs.

Les vérifications de terrain sont naturellement indispensables et ne seront limitées que par l'étendue de la zone d'étude et les moyens financiers disponibles pour la réalisation de la synthèse des 5 compartiments.

5.2. Notation des Espaces de Fonctionnement Actuels

5.2.1. Notation générale des Espaces de Fonctionnement Actuel (EFA)

Le principe général de notation est que, pour chacun des 5 compartiments scientifiques, la superficie résiduelle de l'EFA est comparée à celle de l'EFB selon les classes suivantes :

Rapport EFA/EBF (%)	Evaluation de l'espace de fonctionnement actuel
100-80	Bon fonctionnement
80-60	Fonctionnement passable
60-40	Fonctionnement moyen
40-20	Mauvais fonctionnement
20-0	Très mauvais fonctionnement

Nota : cette échelle n'évalue pas le Très Bon Fonctionnement qui correspondrait donc à une note > 100 %.

5.2.2. Construction des notes de synthèse

A partir des secteurs tests répartis sur un effectif variés de type de contexte fluviaux, par choix, il a été décidé avec le maître d'ouvrage de proposer deux notes de synthèse par tronçon homogène (partition de secteur) de cours d'eau :

- 1- une note de fonctionnement écologique : écologie terrestre et hydrobiologie,
- 2- une note de fonctionnement physique : morpho-dynamique, hydraulique, hydro-géologie et biogéochimie.

Les notes obtenues sont évidemment influencées par les choix de délimitation des tronçons. Nous avons proposés une méthodologie relativement simple ici mais qui permet de l'adapter en fonction des objectifs propres aux études appliquées, à leur échelle de travail et à leurs enjeux.

La note de fonctionnement physique suit les pondérations suivantes selon les compartiments scientifiques et en fonction du type de cours d'eau :

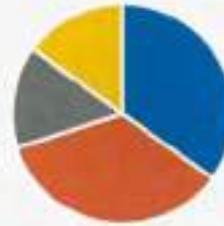
	Pondération par type de cours d'eau				
	torrent de montagne	moyenne montagne - cote calcaire	cours d'eau de piémont	cours d'eau de plaine argilo-limoneuse	cours d'eau de plaine sablo-graveleuse
Morpho-dynamique	45%	40%	35%	15%	35%
Hydraulique	5%	10%	25%	50%	35%
Hydro-géologie	5%	10%	20%	15%	15%
Bio-géochimie	45%	40%	20%	20%	15%
	1	1	1	1	1

torrent de montagne



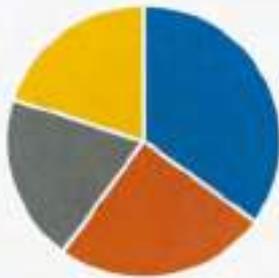
- morpho-dynamique
- hydraulique
- hydro-géologique
- bio-géochimique

plaine sablo-graveleuse



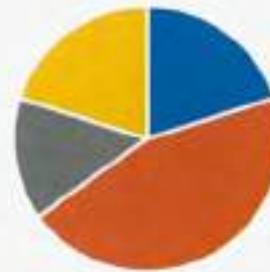
- morpho-dynamique
- hydraulique
- hydro-géologique
- bio-géochimique

cours d'eau de piémont



- morpho-dynamique
- hydraulique
- hydro-géologique
- bio-géochimique

cours d'eau argilo-limoneux



- morpho-dynamique
- hydraulique
- hydro-géologique
- bio-géochimique



La note de la qualité écologique est constituée de la moyenne des notes d'écologie terrestre et d'hydro-biologie.

Les pondérations appliquées aux différentes fonctions de la note physique ne dégagent pas de différences notables entre les notes par type (tableau ci-dessous).

Note Physique	torrent de montagne	moyenne montagne - cote calcaire	cours d'eau de piémont	cours d'eau de plaine argilo-limoneuse	cours d'eau de plaine sablo-graveleuse
Bisten01	28	29	28	23	25
Bisten02	53	58	70	82	72
Bisten03	24	29	38	55	41
Bisten04	67	71	83	86	85
Chiers1	35	39	49	69	54
Chiers2	76	79	84	91	85
Esch1	60	64	72	86	73
Esch2	45	51	63	80	65
Esch3	80	83	87	93	88
Esch4	55	60	71	83	73
Meurthe01	75	78	83	87	84
Meurthe02	68	71	78	83	79
Meuse	67	70	77	85	80
Nied01	64	68	81	85	84
Nied02	47	53	67	80	70
Seille1	86	87	91	92	93
Seille2	41	44	49	69	54
Seille3	24	24	22	24	20
Ill	45	51	65	79	68
Lauch	59	60	61	62	62

en encadré, les notes correspondants aux types retenus



5.2.1. Signification des unités spatiales pour la détermination des différents espaces de fonctionnement théoriques (EBF et ETBF)

Espace géographique	Morpho-dynamique	Biogéochimie	Hydrobiologie	Hydraulique	Ecologie terrestre	Hydrogéologie
Fond de vallée alluvial (hors terrasses), zone aquifère alluviale	ETBF					
Aire d'expansion de la crue centennale ou de référence				EBF		
Extension de la crue décennale ou à défaut de 10Lpb				« zone de grand écoulement »		
Espace de mobilité potentielle (TM,M, PM, TPM)	EBF	EBF capacité auto-épuratoire (TM et M)	EBF (contexte salmonicole)			
Bande des 10 m sur chaque rives	EBF filtre des intrants					
Annexes hydrauliques			EBF			
Données zones humides, SRCE					EBF et ETBF	
Périmètres de captage						EFA

6. ANNEXES

6.1. Bibliographie

AERMC, 2011, Restauration hydromorphologique et territoires, concevoir pour négocier, Avril 2011, Guide technique SAGE

AMOROS C. & PETTS G.E.,(1993),*Hydrosystèmes fluviaux*, Masson, collection écologie, Paris, Milan, Barcelone, Bonn, 274 p.

ANONYME, 2015, *Espace de Bon Fonctionnement (EBF). Eléments techniques pour son identification* cahier technique n°2 Réseau Régional du Gestionnaires de Milieux Aquatiques de PACA

BREIL P., NAMOUR P., PONS M.-N., REMY G., 2015, Epuraton en Eaux Courantes, Programme Ecotech 2010, ANR, groupe de travail Fluvial.IS, LRGP, IRSTEA, ISA, 12 livrables

CATALOGNE C., LE HENAFF G, 2016, Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole, Irstea ONEMA, Groupe technique Zones Tampons

CAZELAS S. GAGNON, A., LAROCHE, R., SAVOIE V., GUILLOU M., CHRETIEN F., BREUNE L., 2008, Diagnostic et solutions des problèmes d'érosion des berges de cours d'eau, Fiche technique, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 14 p.

CEMAGREF, 2004, Le ralentissement dynamique pour la prévention des inondations, Guide des aménagements associant l'épandage des crues dans le lit majeur et leur écrêtement dans de petits ouvrages, sept. 2004, 131 p.

CHANCEREL F., 2003. Le Brochet. Biologie et gestion. Collection Mise au point, Ed. Conseil supérieur de la Pêche : Paris. 199 p.

CHARRIER P., WEBEL G., DELORME V., 2014, Etude du Transport Solide des Rivières du Bassin Saulx et Ornain, Fluvial.IS, Institut Prof. Webel GmbH, Agence de l'Eau Seine-Normandie, 2 vol. + annexes

DEGOUTTE G., 2006, Diagnostic, aménagement et gestion des rivières, Hydraulique et morphologie fluviale appliquées, Lavoisier, 394 p.

DUFOUR S. & H. PIEGAY

EPAMA, 2006, Aménagement de la Zone de Ralentissement Dynamique de Crue de Mouzon, 28 p.

GOMEZ B., 1995, Bedload Transport and Changing Grain Size Distribution, in Gurnell A., Petts G., *Changing river channel*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, p. 177-199

GILLI E., MANGAN C., MUDRY J., 2004, Hydrogéologie, objets, méthodes, applications, Sciences Sup, Dunod, 303 p.

HOFFMANS G.J.C.M., Verheij H.J., 1997, Scour Manual, CRC Press, 224 p.

HONECKER U., 2005, Bewertung des naturnahen Retentionspotentials in Gewässer-Aue-Systemen, Universität des Saarlandes, Geographische Arbeiten Band 49, 168p.

HOOKE J.M., 1995, Processes of Channel Planform Change on Meandering Channels in the UK, in Gurnell A., Petts G., *Changing river channel*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, p. 87-115

HUET M., 1954. Biologie, profils en long et en travers des eaux courantes. Bulletin français de Pisciculture 175, pp. 41-53

HUET M., 1959. Profiles and biology of western European streams as related to fisheries management. T. Am. Fish. Soc., 88, pp. 155-163

KEITH P. PERSAT H., FEUNTEN E. & ALLARDI J. (coords), 2011. Les poissons d'eau douce de France. Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité). 552 p.

KNIGHTON D., 1987, Fluvial forms and processes, E. Arnold Publishers Ltd, London, 218 p.

LACHAT Bernard, CONSUEGRA David, HOFMAN Frédéric, 2003, Etude du colmatage sur les cours d'eau jurassiens – application à la rivière Allaine, Biotec, 111 p.

LAJCZAK A. , 1995, The impact of river regulation, 1850-1990, on the channel and Floodplain of the Upper Vistula River, Southern Poland, in Edward J. Hickin, *River Geomorphology*, John Wiley & Sons Ltd, p. 209-233 Larras J., 1972, Hydraulique et granulats, Eyrolles, 254 p.

LEOPOLD L. B., WOLMAN M. G., 1957, *River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight*, Physiographic and hydraulic studies of rivers, Geological survey professional paper 282-B, United States Government Printing Office, Washington, 85 p.

MALAVOI, 2009, *Guide de détermination des Espaces de Bon Fonctionnement*

MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORET, MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, Mai 2010 La généralisation des bandes enherbées le long des cours d'eau [article 52 du projet de loi Grenelle 2] : réflexion sur l'impact et la mise en œuvre de cette disposition, 88p.

MUSY A., HIGY C., 1998, Hydrologie appliquée, Tempus, HGA, 368 p.

Musy A., Higy C., 2003 , Hydrologie, une science de la Nature, PPUR, 314 p.

OPDYKE M.R., DAVID M.B. & RHOADS B.L., 2006, Influence of geomorphological variability in channel characteristics on sediment denitrification in agricultural streams, *Journal of Environmental Quality*, 35 (6), pp. 2103-2112

PACAUD G., ROULIER C., HUNZIKER L., 2013, Espace nécessaire aux grands cours d'eau de Suisse, OFE-CH, 110 p.

PETIT F., DAXHELET C., 1989, Détermination du débit à pleins bords et de sa récurrence dans différentes rivières de moyenne et haute Belgique, *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 25, pp. 69-84

PETTS Geoffrey.E., 1989, Historical Analysis of Fluvial Hydrosystems, in Petts G.E., Möller H. , Roux A.L., *Historical change of large alluvial rivers : Western Europe*, Wiley & Sons, Chichester, p 1- 17 Piégay H., Pautou G., Ruffinoni C., 2003, les forêts riveraines des cours d'eau, Institut pour le développement forestier, 464 p.

PIÉGAY H., BRAVARD J.P, 1993, Processus biomorphodynamiques et métamorphose fluviale : exemple du secteur de Mollon dans la plaine alluviale de la Basse vallée de l'Ain, *Revue de Géographie Dynamique*, t. XLII, n°4, p. 123-138

PIÉGAY H. , PEIRY J.-L., GAZELLE F, 2003, Effets des ripisylves sur la dynamique du lit fluvial et de son aquifère, in Piégay et al. *Les forêts riveraines des cours d'eau*, IPDF, pp. 134-154

RACCASI G., LAMBERET T. LAVAL F. BECK T., TIRIAU E., 2016, *Elaboration de méthodes de définition de l'espace de Bon Fonctionnement des cours d'eau*, Burgeap, Artelia, Grontmij, Oteis, AERMC, Eau et connaissance, 161 p.

POULARD, C., CHASTAN, B., ROYET, P., DEGOUTTE, G., GRELOT, F., ERDLLENBRUCH, K., NEDELEC, Y., 2008, "Prévention des inondations par ralentissement dynamique : principe et recommandations", *Ingénieries E.A.T.*, special issue no. 14, 5-24

REID I., BATHURST J.C.; CARLING P.A.; WALLING D.E., WEBB B.W., 2003, Sediment Erosion, Transport and Deposition, *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, Ed. Colin R. Thorne, Richard D. Hey, Malcom D. Newson, Wiley and Sons Ltd, Chichester, 95-135

RANGER J, COLIN-BELGRAND M., NYS C., 1995, le cycle biogéochimique des éléments majeurs dans les écosystèmes forestiers, importance dans le fonctionnement des sols, *Etude et gestion des sols*, 2,2 pp. 153-174

RICHARD Keith, 1982, *Rivers, form and process in alluvial channels*, Methuen, London and New York, 357 p.

ROLLET A.-J, 2008, Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée de l'Ain, Thèse de 3^{ème} cycle, Université Jean Moulin, Lyon, 30p p.

RUFFINONI C., TREMOLIERES M. , SANCHEZ-PEREZ J.-M., 2003, Végétation alluviale et flux de nutriments : des liens interactifs, in Piégay et al. *Les forêts riveraines des cours d'eau*, IPDF, pp. 134-154

SCHUMM S. A., 1977, *The fluvial System*, John Wiley & Sons, New-York, Chichester, 377 p.

TENDRON G., 1994. Gestion piscicole et plans de gestion. Conception et pratique. Collection Mise au point, Ed. Conseil supérieur de la Pêche : Paris. 240 p.

VANNOTE R.L., MINSHALL G.W., CUMMINS K.W.; SEDELL J.R., CUSHING C.E., 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, pp. 130-137

VERNEAUX J., 1973. Cours d'eau de Franche-Comté (massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau Hydrographique du Doubs – essai de biotypologie. *Ann. Scient. Univ. Fr. Comté, Biol. Anim.* 3 (9), pp. 1-260

WELLER D.E., CORRELL D.L., JORDAN T.E., 1994, Denitrification in riparian forests receiving agricultural discharges, in *Global wetlands – Old world and new*, William J. Mitsch Ed., Elsevier, 117-131

WELSCH D. J., 1995, Riparian Forest Buffers, Functions and Design for Protection and Enhancement of Water Resources, Department of Agriculture, Northeastern Area, State & Private Forestry, Forest Resources Management, Radnor, PA NA-PR-07-91

6.2. Choix des tronçons

En coordination avec le maître d'ouvrage et le COPIL des secteurs ont été sélectionnés dans le bassin Rhin-Meuse de telle sorte que la plus grande diversité dans les types de cours d'eau soit représentée. Sur proposition des bureaux d'étude, plutôt que de se limiter à 6 secteurs de 10 km comme prévu au cahier des charges, un échantillon d'un linéaire similaire mais d'un effectif plus important de secteur a été préféré (10 secteurs plutôt que 6 pour 60 km au total).

type Rhin-Meuse	cours d'eau	limite amont	limite aval	Longueur de lit mineur (ml)	largeur moyenne actuelle	penne lit (m/m)
T1 - Cours d'eau et torrents de montagne	Lauch	Bois de Muhlbach (800 m)	confluence Trouselrunz	1274	2	0.1491
T2 - Moyennes vallées des Vosges cristallines	Lauch	confluence Trouselrunz	Aval Muhlrain	913	2	
T2b - hautes et moyennes vallées des Vosges gréseuses	Bisten	source	pont Ham-sous-V	2898	3	0.04486
T3 - cours d'eau de piémont	Meurthe	La Chapelle	Baccarat	7075	29	0.0027
	Ill	Colmar (barrage Kaelberweider)	Illhausern	6609	25	0.00151
T4 - cours d'eau de côtes calcaires et marno-calcaires	Esch	Bois de la Couleur	limite de commune Martincourt	5757	8	0.0024
T5 - basses vallées de plateaux calcaires	Chiers	Brouennes	Chauvency-le-Château	6371	24	0.00031
	Meuse	Amont Sorcy-St-Martin	aval Sorcy-St-Martin	9458	37	0.00032
T6 - cours d'eau de plaines argilo-limoneuses	Moder	sortie Haguenau	D37, Bischwiller	6171	25	0.0021
T6b - cours d'eau de collines argilo-limoneuses	Seille	Pont D66 à Coin-lès-Cuvry	Pont D113a à Marly	6584	20.0	0.00038
	Nied	Pont de Téting/Nied	Confluence Mohrengreat (aval pont 2X2voies)	3605	7.9	0.00078

6.3. *Fiches de synthèse et cartographie des tronçons test*



Secteur test :

Borne amont

Borne aval

La Bisten

de Bisten-en-Lorraine (impasse du Moulin)

à Varsberg (pont de la rue de l'église)

SYNTHESE

type Rhin-Meuse

pente du cours d'eau

T2b -hautes et moyennes vallées des Vosges gréseuses

44.9 ‰

Résultats par compartiments

note paramètres dégradants

A-Morpho-dynamique

Tronçon 01

26 urbanisation et enfoncement du lit aval

Tronçon 02

39 rectification et enfoncement du lit sur le 1/3 amont

Tronçon 03

0 étangs en série et en parallèle sur le tronçon

Tronçon 04

81

B-Hydraulique

Tronçon 01

11 surcalibrage et remblaiements

Tronçon 02

100 pente forte de la vallée : EBF=50% du fond de vallée

Tronçon 03

78 étang en série qui peut tamponner, endiguement partiel

Tronçon 04

100

C-Hydrogéologie

Tronçon 01

50 urbanisation discontinue et enfoncement du lit

Tronçon 02

100 enfoncement de la nappe sur le 1/3 amont du tronçon, compensé par le cor

Tronçon 03

50 rehausse de la nappe du fait de l'étang

Tronçon 04

100 contexte aquifère qui compense les remblais locaux

D-Biogéochimie

Tronçon 01

30 contexte urbain en rive, recalibrage du lit mineur

Tronçon 02

56 lit rectifié (pas d'autoépuration en rives)

Tronçon 03

40 aucun écoulement et chemin en rive de l'étang

Tronçon 04

46 lit rectifié (pas d'autoépuration en rives)

D-Ecologie terrestre

Tronçon 01

1 contexte urbain

Tronçon 02

66 quelques cultures, mais majorité zone humide

Tronçon 03

12 modification totale du fond de vallée (2 étangs)

Tronçon 04

57

E-Hydrobiologie

Tronçon 01

32 urbanisation et simplification des habitats du lit mineur

Tronçon 02

52 dégradation du lit mineur et de sa dynamique naturelle

Tronçon 03

0 étang en série en contexte salmonicole

Tronçon 04

83 restrictions amont direct pont aval

Notes globales

physique

écologique

Tronçon 01

29

17

Tronçon 02

70

59

Tronçon 03

29

6

Tronçon 04

71

70

Notes moyennes

50

38

Remarques générales

Ce secteur de la Bisten affiche des valeurs contrastées sur un petit linéaire avec plusieurs phénomènes impactants : urbanisation, enfoncement du lit et recalibrage, déport du lit mineur, étang en série...

Sur le dernier tronçon, à l'aval de l'étang le cours d'eau profite d'une absence de pressions et du développement d'un milieu presque sans contraintes

Malgré la "naturalité" apparente du site, le fonctionnement global du cours d'eau est très moyen, plus particulièrement pour les aspects biogéochimiques, hydrobiologiques et morphodynamiques.

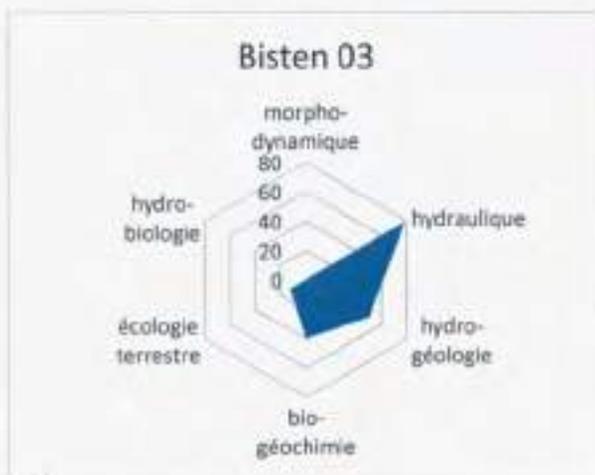
Résultats par tronçons

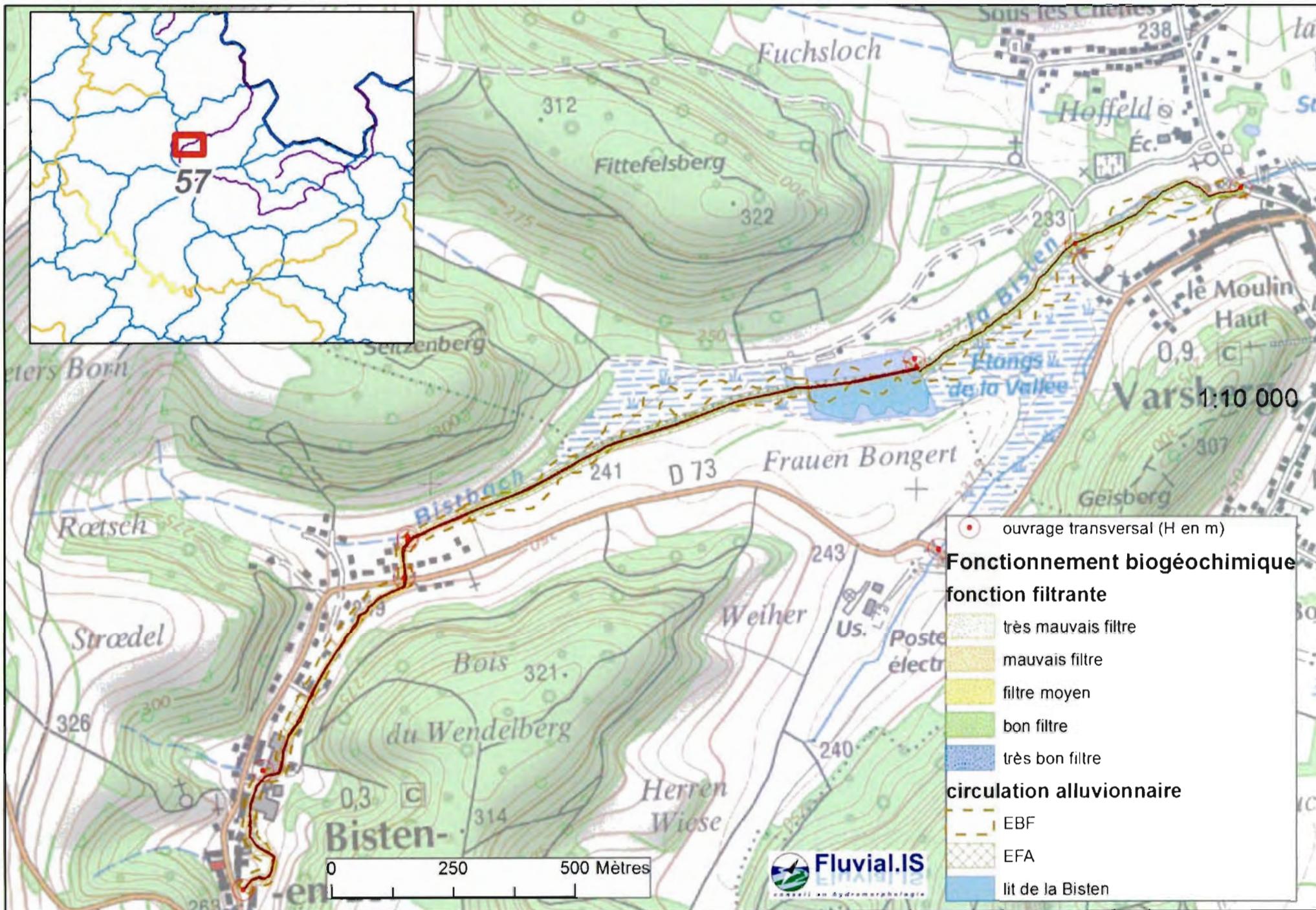
tronçon 01	morpho-dynamique	26
	hydraulique	11
	hydro-géologie	50
	bio-géochimie	30
	écologie terrestre	1
	hydro-biologie	32

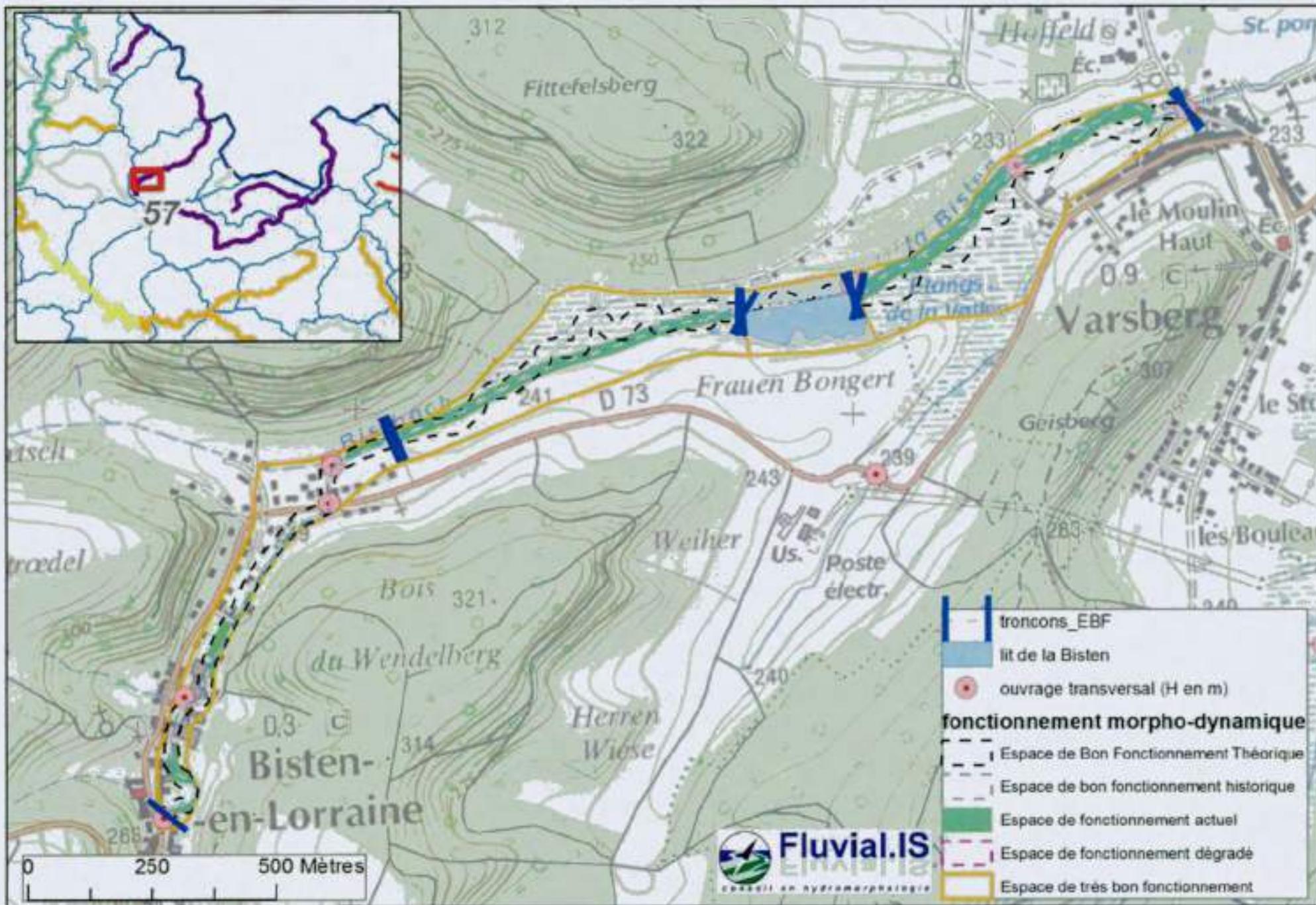
tronçon 02	morpho-dynamique	39
	hydraulique	100
	hydro-géologie	100
	bio-géochimie	56
	écologie terrestre	66
	hydro-biologie	52

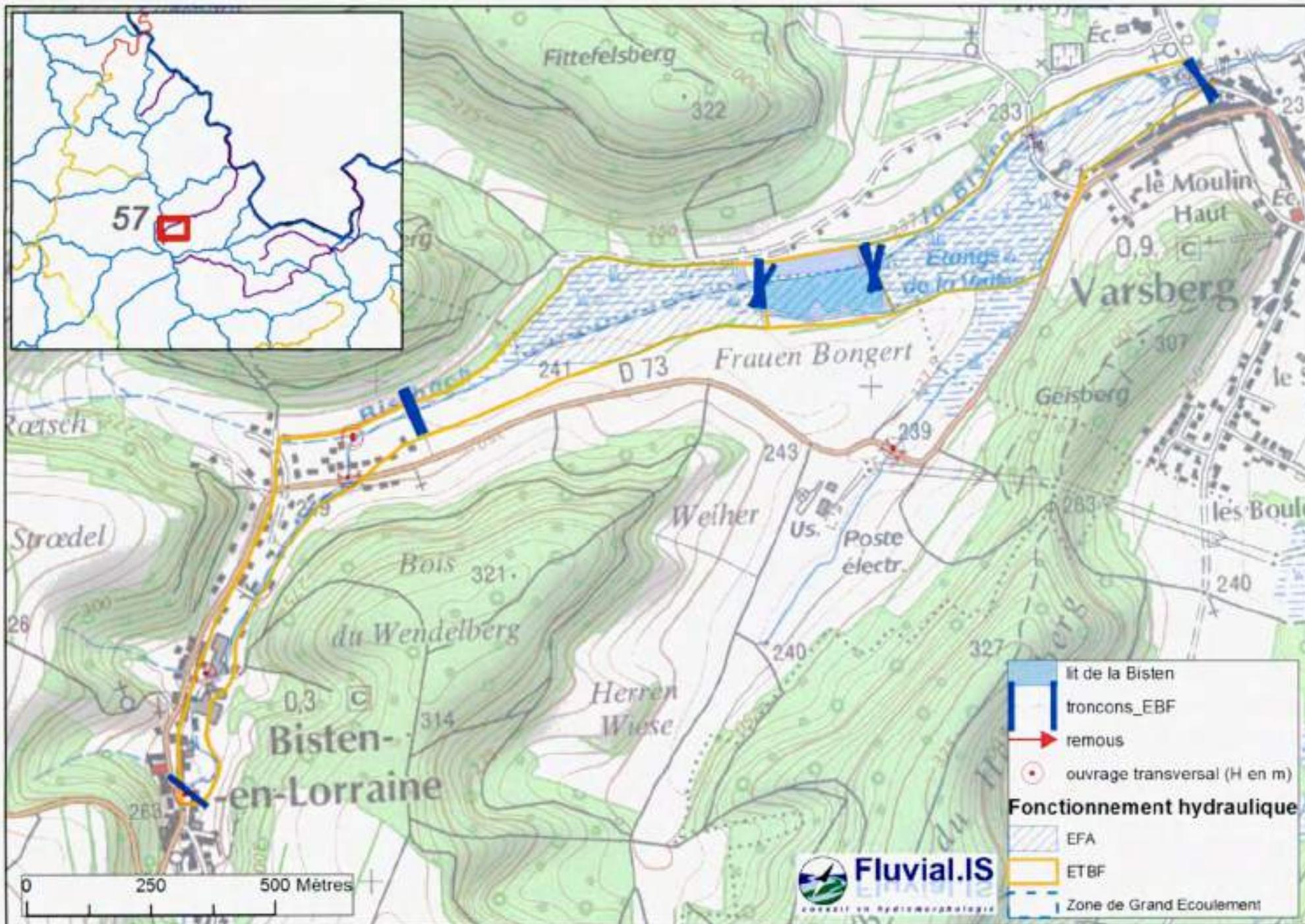
tronçon 03	morpho-dynamique	0
	hydraulique	78
	hydro-géologie	50
	bio-géochimie	40
	écologie terrestre	12
	hydro-biologie	0

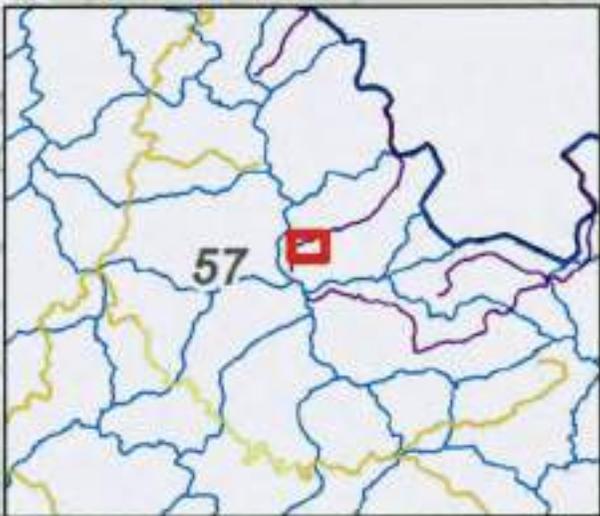
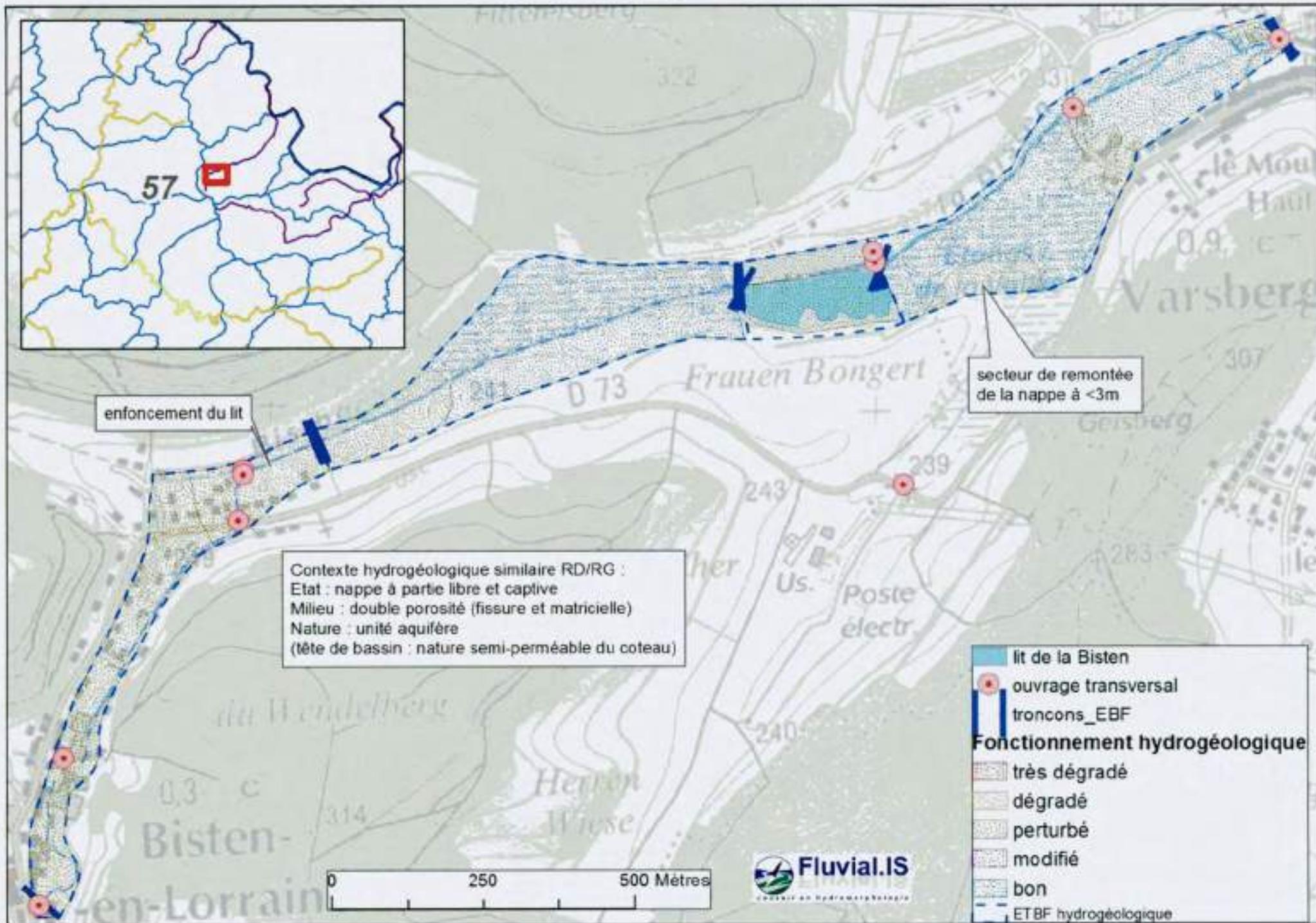
tronçon 04	morpho-dynamique	81
	hydraulique	100
	hydro-géologie	100
	bio-géochimie	46
	écologie terrestre	57
	hydro-biologie	83









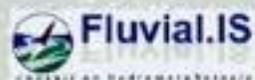
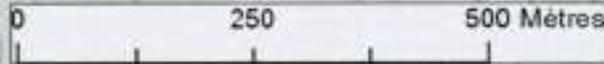


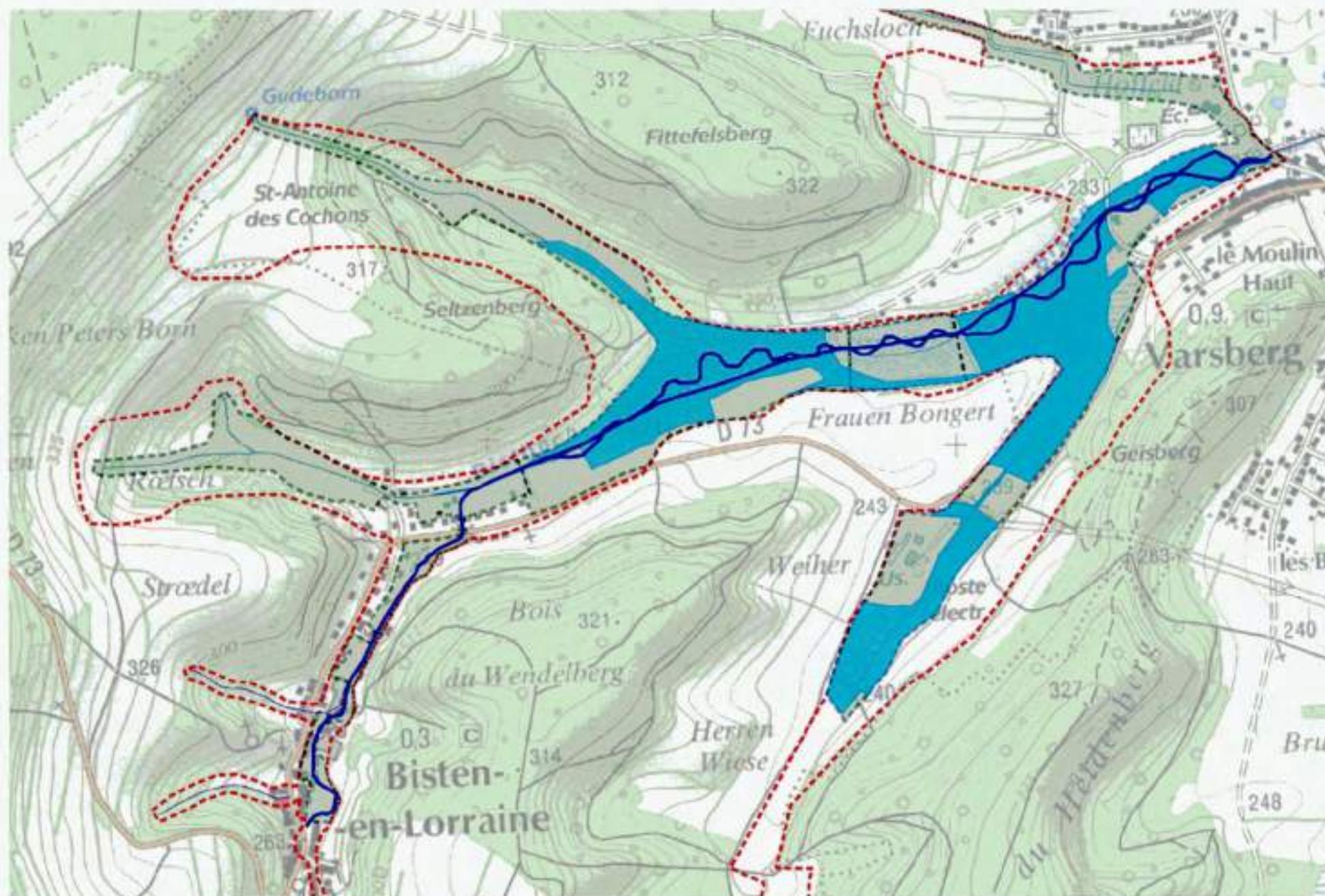
enfouissement du lit

secteur de remontée de la nappe à <3m

Contexte hydrogéologique similaire RD/RG :
 Etat : nappe à partie libre et captive
 Milieu : double porosité (fissure et matricielle)
 Nature : unité aquifère
 (tête de bassin : nature semi-perméable du coteau)

- lit de la Bisten
- ouvrage transversal
- ▬ tronçons_EBF
- Fonctionnement hydrogéologique**
- ▨ très dégradé
- ▨ dégradé
- ▨ perturbé
- ▨ modifié
- ▨ bon
- ▬ ETBF hydrogéologique

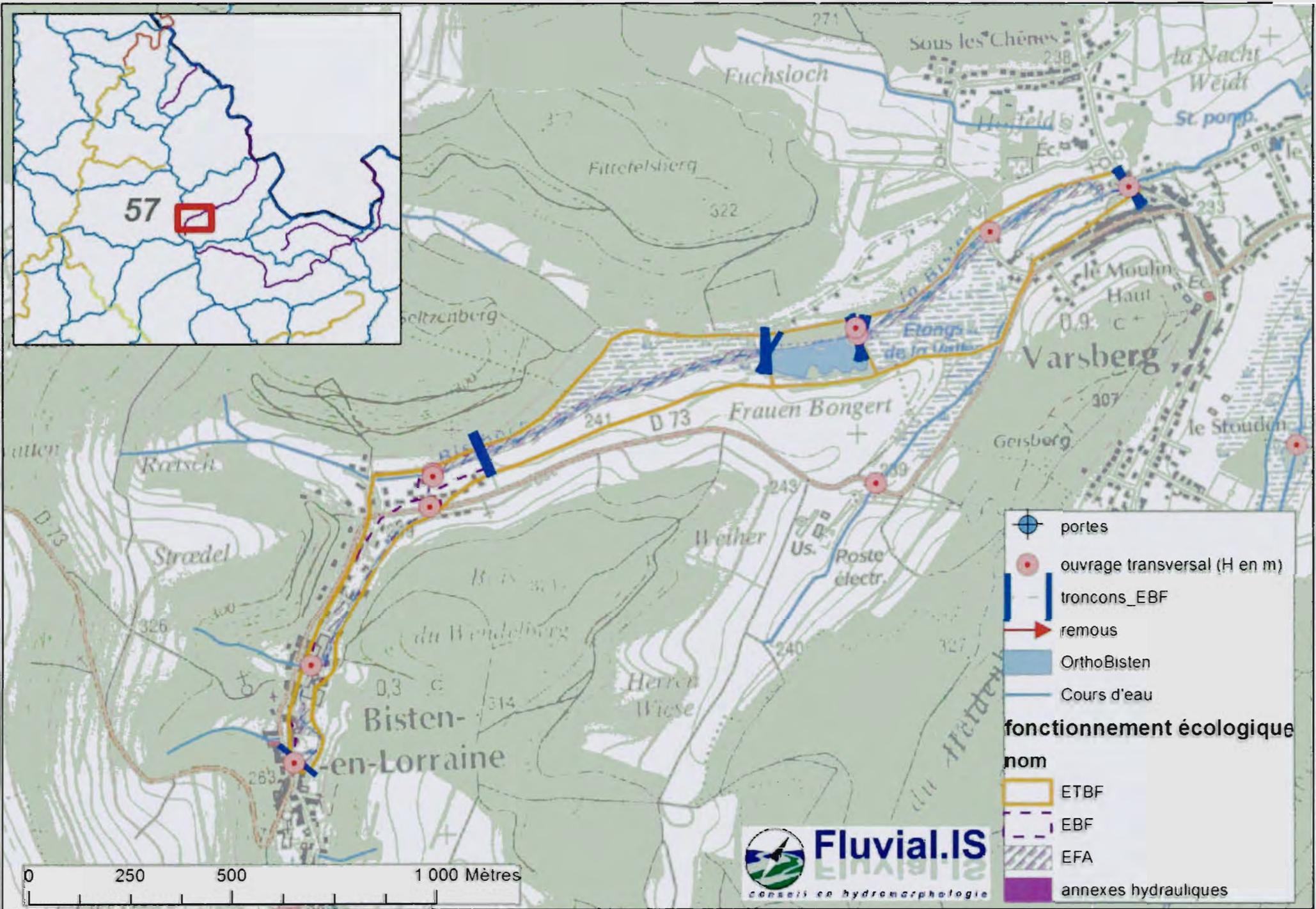




Légende

- ETBF
- EBF
- EFA





0 250 500 1 000 Mètres

Fluvial.IS
conseils en hydromorphologie

- portes
 - ouvrage transversal (H en m)
 - troncons_EBF
 - remous
 - OrthoBisten
 - Cours d'eau
- fonctionnement écologique nom**
- ETBF
 - EBF
 - EFA
 - annexes hydrauliques

Secteur test :

Borne amont

Borne aval

La Chiers

Chauvency-le-Château

Brouennes

SYNTHESE

type Rhin-Meuse

pente du cours d'eau

T5 - basses vallées de plateaux calcaires

0.309 ‰

Résultats par compartiments

note paramètres dégradants

A-Morpho-dynamique

Tronçon 01

14 remous hydraulique (2m de Hauteur de chute)

Tronçon 02

64

B-Hydraulique

Tronçon 01

100 inondabilité préservée

Tronçon 02

100 inondabilité préservée

C-Hydrogéologie

Tronçon 01

50 contexte aquifère qui tempère l'influence de l'ouvrage

Tronçon 02

100

D-Biogéochimie

Tronçon 01

47 influence de l'ouvrage

Tronçon 02

83

D-Ecologie terrestre

Tronçon 01

68 cultures

Tronçon 02

77

E-Hydrobiologie

Tronçon 01

43 rôle de l'ouvrage et cultures et bâti

Tronçon 02

92 peupleraies

Notes globales

physique

écologique

Tronçon 01

85

55

Tronçon 02

67

84

Notes moyennes

76

70

Remarques générales

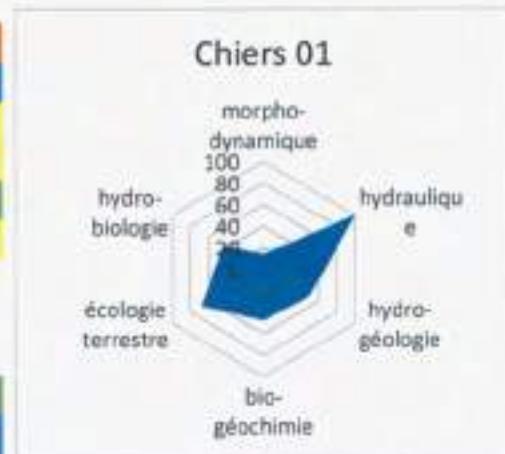
Le parti a été pris pour cette rivière d'isoler un remous d'ouvrage dans un tronçon. Cela a permis de mettre en évidence l'inconvénient de renoncer à l'évaluation de la fonctionnalité dégradée pour les poissons en surclassant la note hydrobiologique. Finalement, en considérant qu'en contexte piscicole la dégradation est des fonctionnalités est d'1/3 sur la zone de remous, celui-ci est ramené à une note moyenne (43) plutôt que bonne (72).

Par ailleurs, sur l'exemple du tronçon 2, il a été décidé de ne pas retirer de l'EFA écologique les prairies semées, même si effectivement elles peuvent représenter une dégradation par rapport à l'état fonctionnel idéal. Leur retrait aurait entraîné une note comparable à une situation urbanisée (classe très mauvaise).

Par contre, le tronçon 02 qui passe d'une situation de cours d'eau théoriquement mobile à peu mobile du fait du rôle de la végétation entraîne un recul d'une classe (de très bonne à bonne fonctionnalité) (EFA construit sur la base de 5 Lpb au lieu de 10)

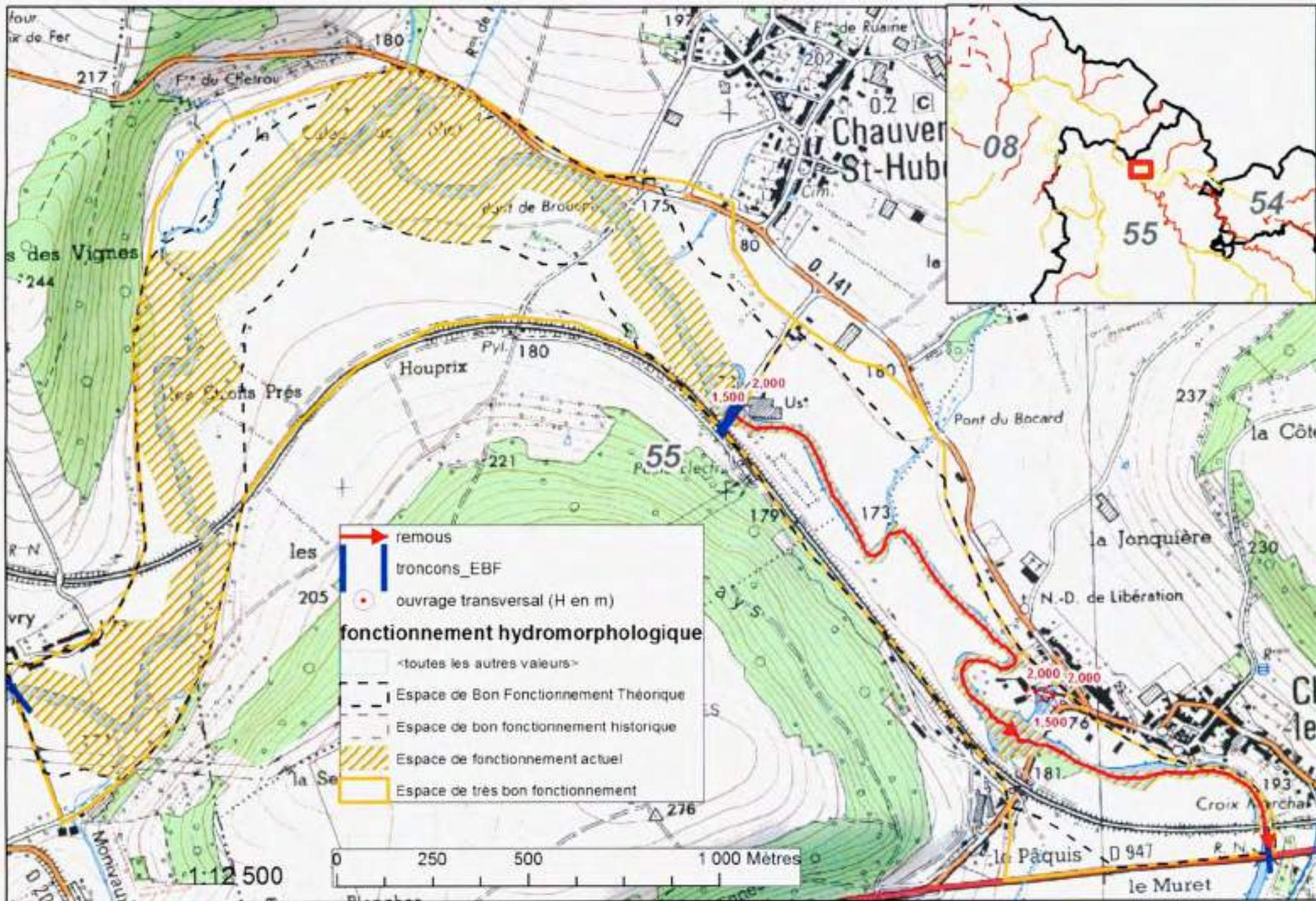
Résultats par tronçons

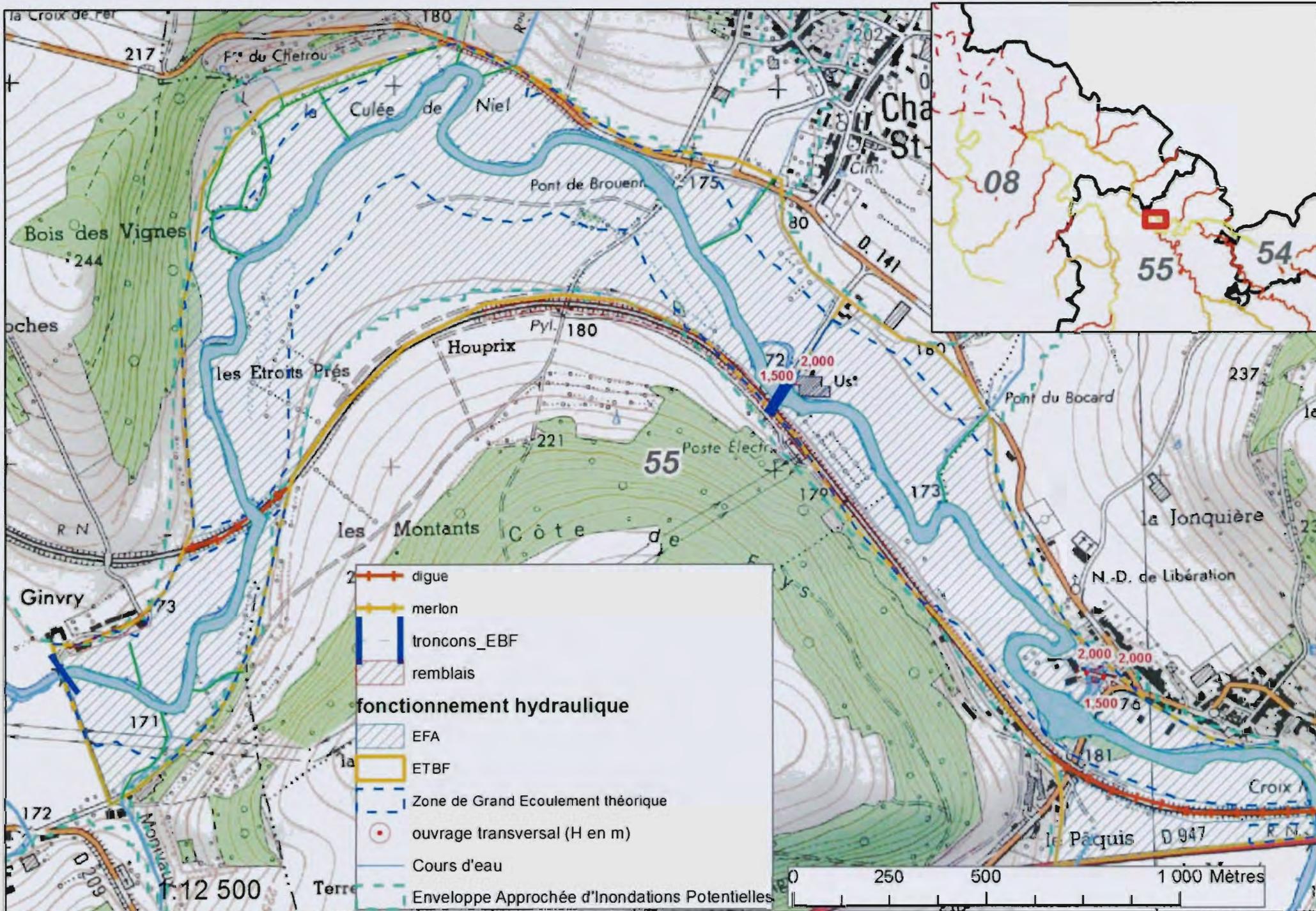
tronçon 01	morpho-dynamique	14
	hydraulique	100
	hydro-géologie	50
	bio-géochimie	47
	écologie terrestre	68
	hydro-biologie	43

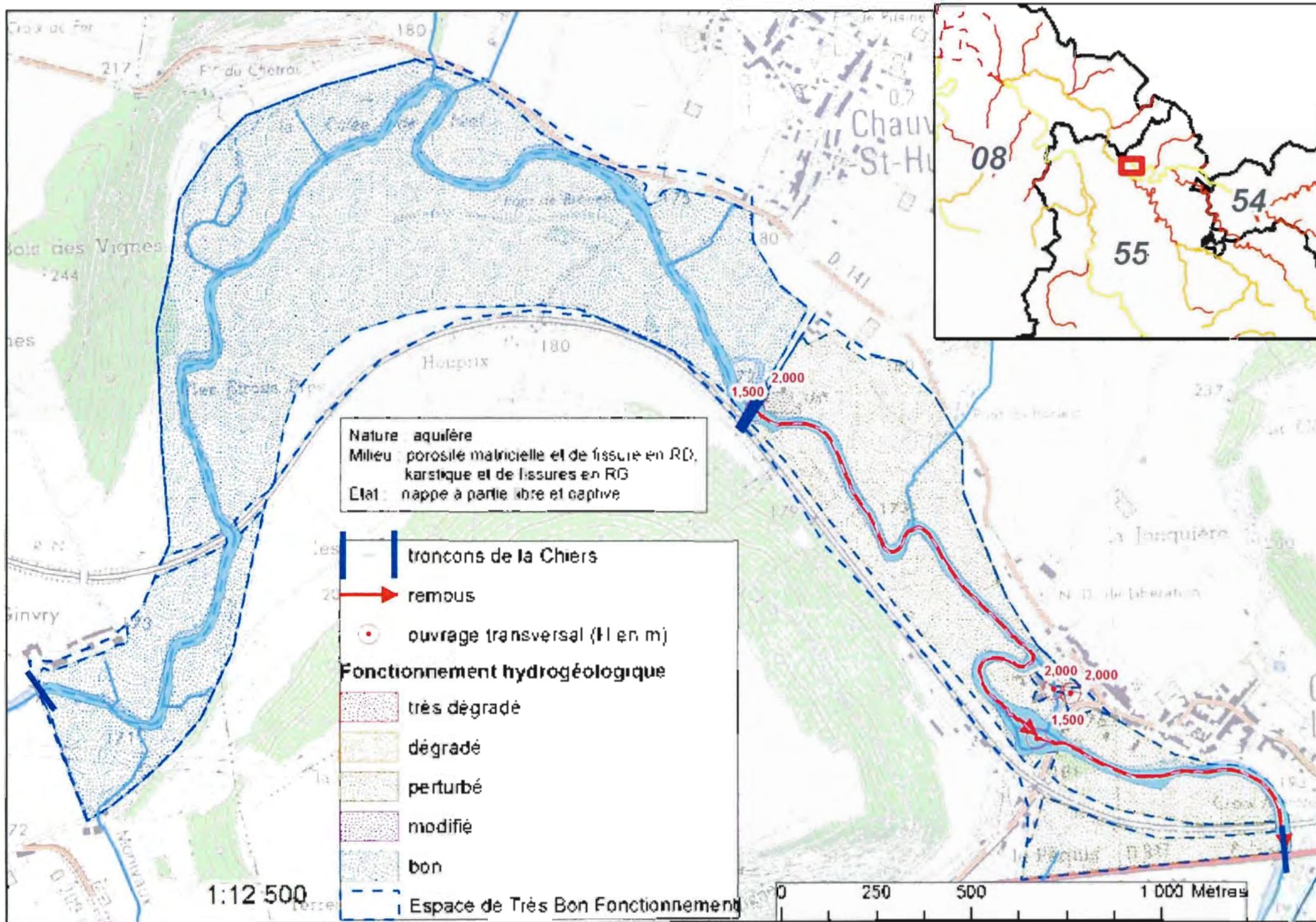


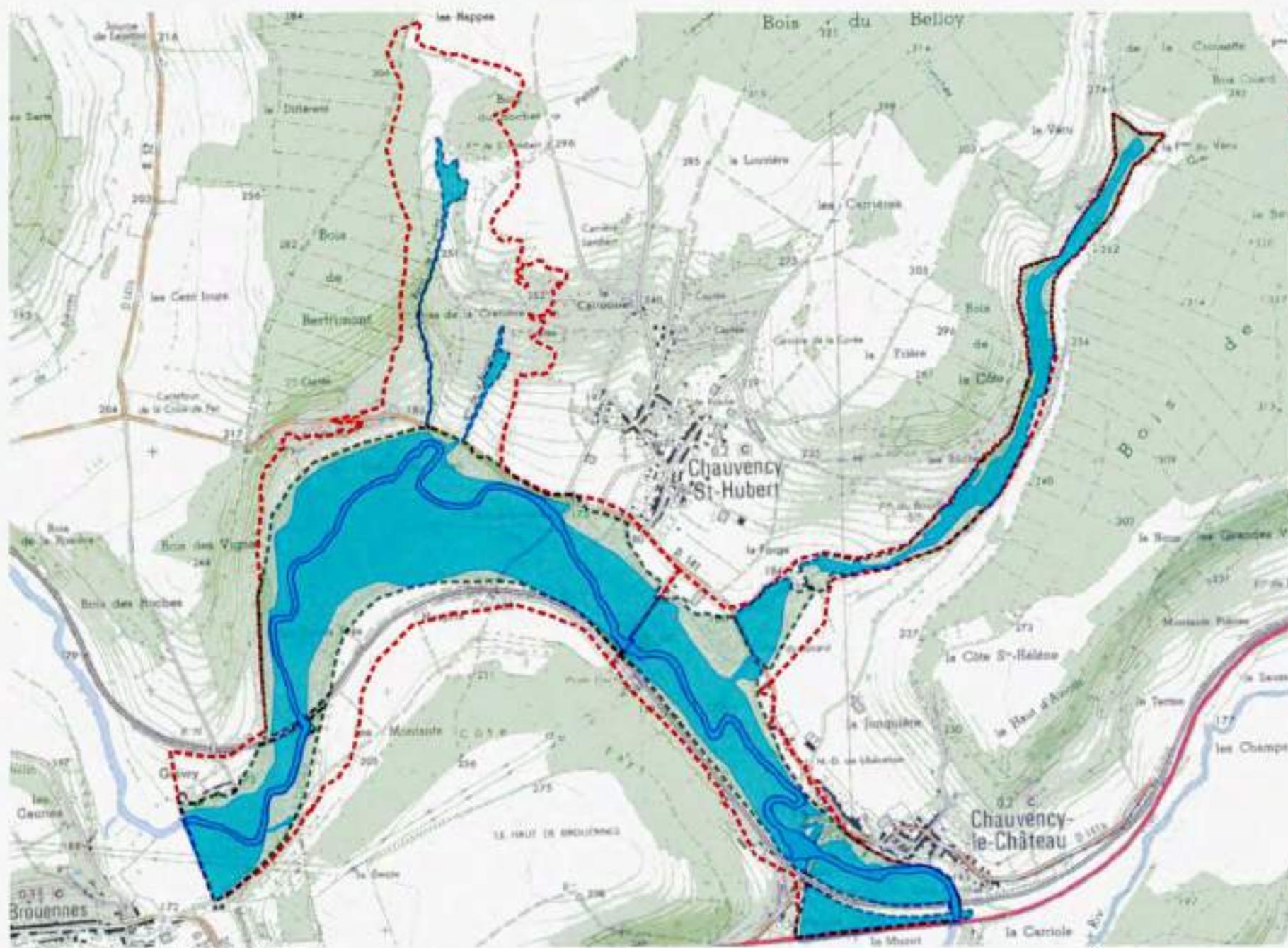
tronçon 02	morpho-dynamique	64
	hydraulique	100
	hydro-géologie	100
	bio-géochimie	83
	écologie terrestre	77
	hydro-biologie	92





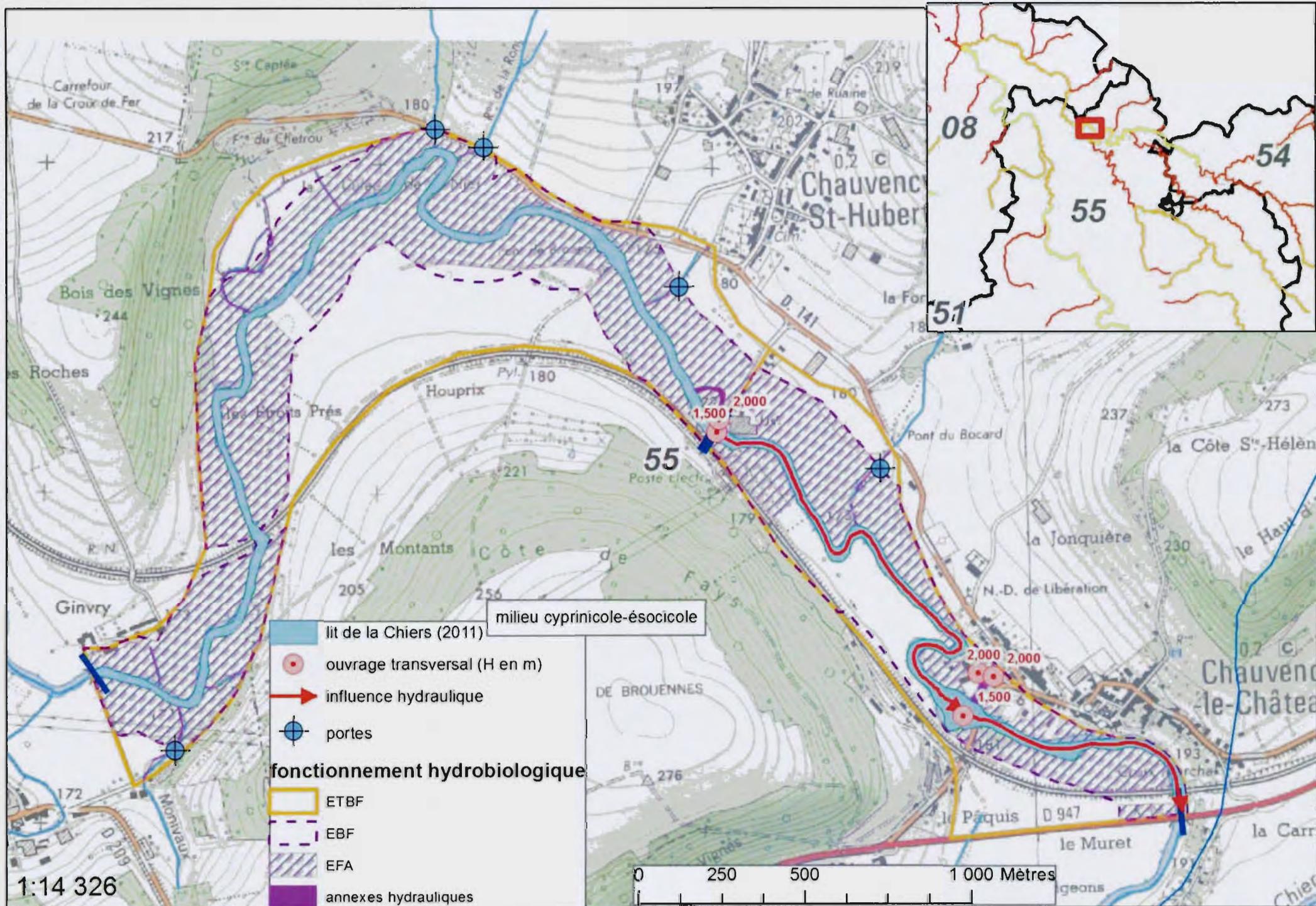






- Légende**
- Chiers
 - ETBF
 - EBF
 - EFA





1:14 326

Secteur test :
Borne amont
Borne aval

L'Esch
Manonville/Lironville (Ouhu)
Limite communale Martincourt

SYNTHESE

type Rhin-Meuse
pente du cours d'eau

T4
1.37 ‰ 0.0 m/m

Résultats par compartiments

A-Morpho-dynamique

Tronçon	note	paramètres dégradants	pas de chgt de classe
Tronçon 01	30	surlageur + chgt de classe de mobilité + remous	67
Tronçon 02	18	surlageur + chgt de classe de mobilité	84
Tronçon 03	73	préservé (mais buffer EFA + étroit que EBF)	98
Tronçon 04	39	surlageur + chgt de classe de mobilité+remous	87

B-Hydraulique

Tronçon 01	100	préservé
Tronçon 02	100	préservé
Tronçon 03	100	préservé
Tronçon 04	100	préservé

C-Hydrogéologie

Tronçon 01	100	périmètre rapproché captage Saint Jean en dehors des limites
Tronçon 02	100	préservé
Tronçon 03	100	préservé
Tronçon 04	100	préservé

D-Biogéochimie

Tronçon 01	81	colmatage des fonds, peu de diversité
Tronçon 02	60	colmatage des fonds, peu de diversité, ripi clairsemée
Tronçon 03	83	colmatage des fonds, peu de diversité
Tronçon 04	60	colmatage des fonds, peu de diversité, ripi clairsemée

D-Ecologie terrestre

Tronçon 01	97
Tronçon 02	94
Tronçon 03	63
Tronçon 04	100

E-Hydrobiologie

Tronçon	note	paramètres dégradants
Tronçon 01	97	préservé
Tronçon 02	82	remous
Tronçon 03	100	préservé
Tronçon 04	85	remous

Notes globales	physique	écologique
Tronçon 01	78	97
Tronçon 02	70	88
Tronçon 03	89	82
Tronçon 04	75	93
Notes moyennes	78	90

Remarques générales

Ce test est faussé par l'imprécision des valeurs de pente et de débit de référence qui peuvent modifier fortement les indicateurs morpho-dynamiques. C'est la raison pour laquelle nous avons testé deux méthodes :

- changement de classe de mobilité (lié à un potentiel de mobilité différent de la mobilité actuelle) de l'EBF par rapport à EFA max
- pas de changement de classe de mobilité EBF/EFA

Il apparaît alors que les notes de la morpho-dynamique sont plus cohérentes avec les notes des autres fonctionnalités. On peut donc émettre l'hypothèse d'une erreur dans l'estimation des valeurs de débits et/ou de pente

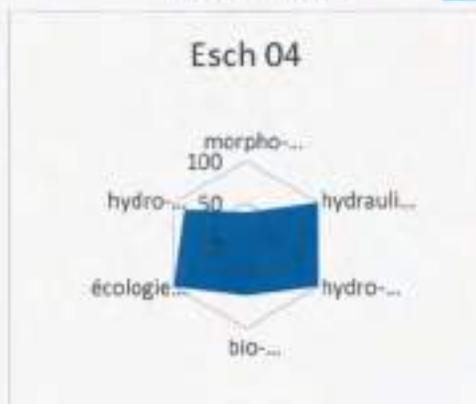
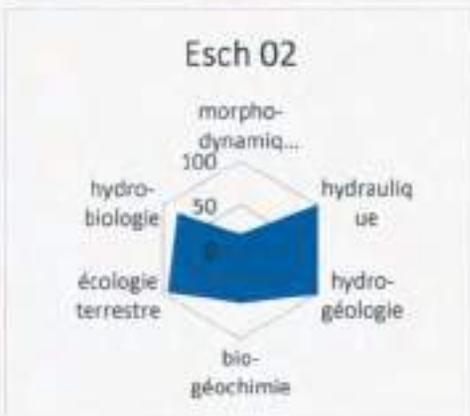
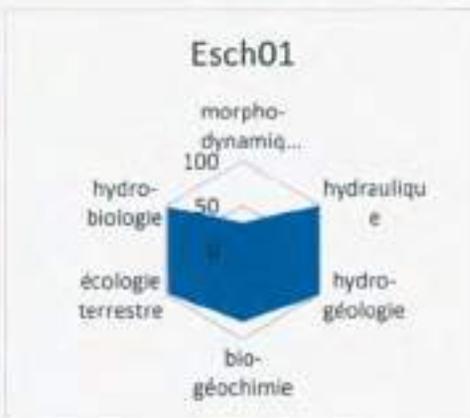
Résultats par tronçons

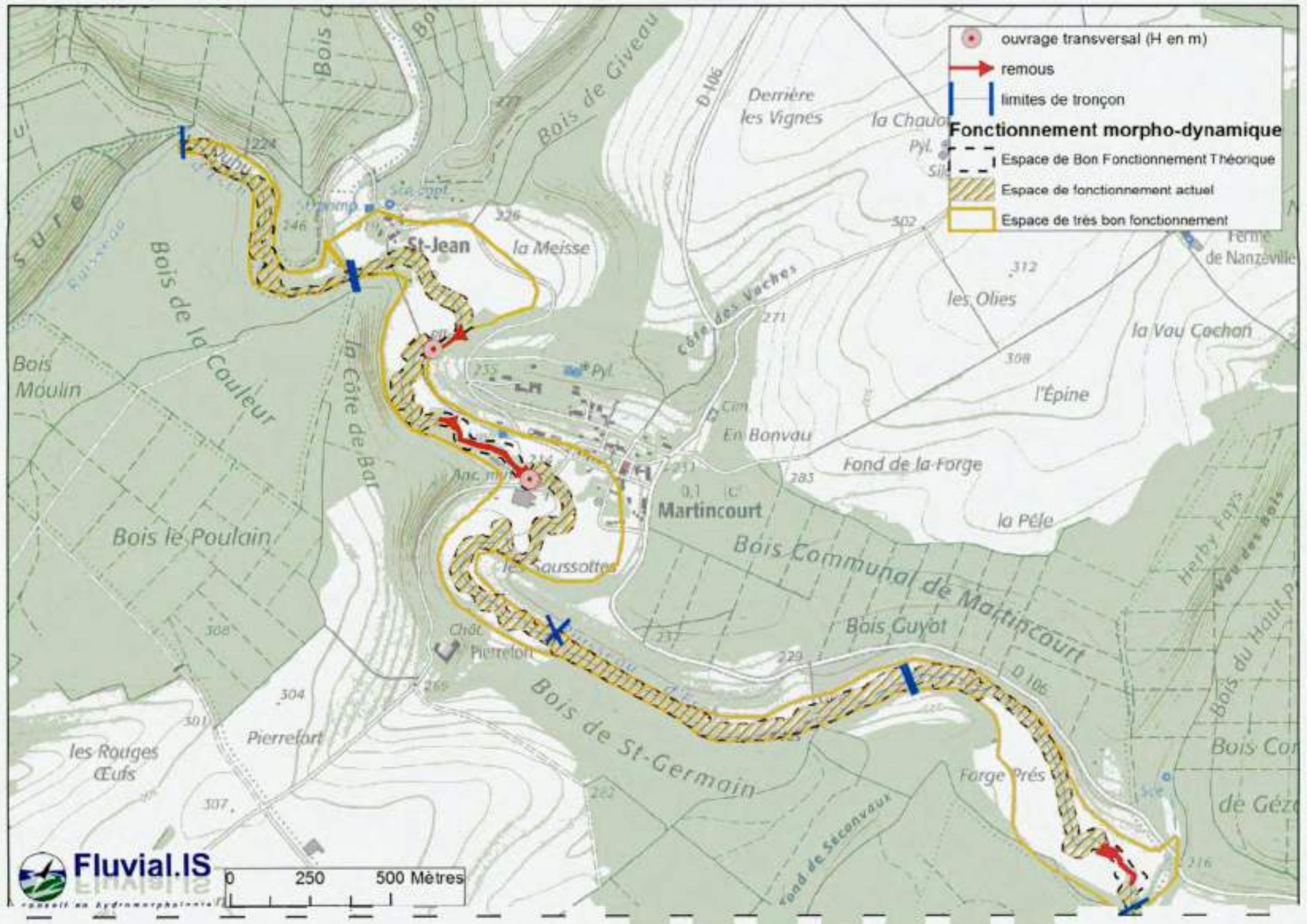
tronçon 01	morpho-dynamique	30
	hydraulique	100
	hydro-géologie	100
	bio-géochimie	81
	écologie terrestre	97
	hydro-biologie	97

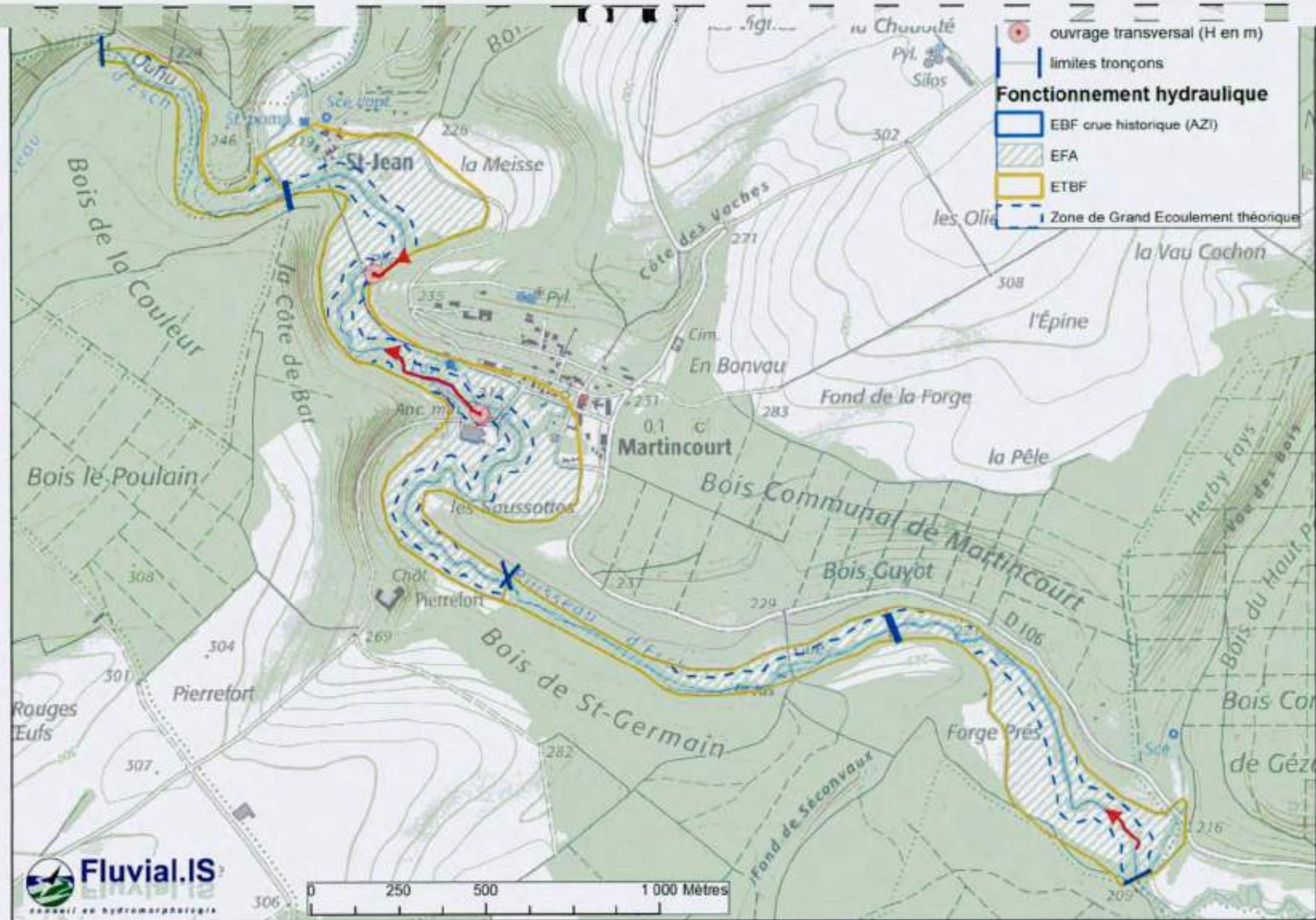
tronçon 02	morpho-dynamique	18
	hydraulique	100
	hydro-géologie	100
	bio-géochimie	60
	écologie terrestre	94
	hydro-biologie	82

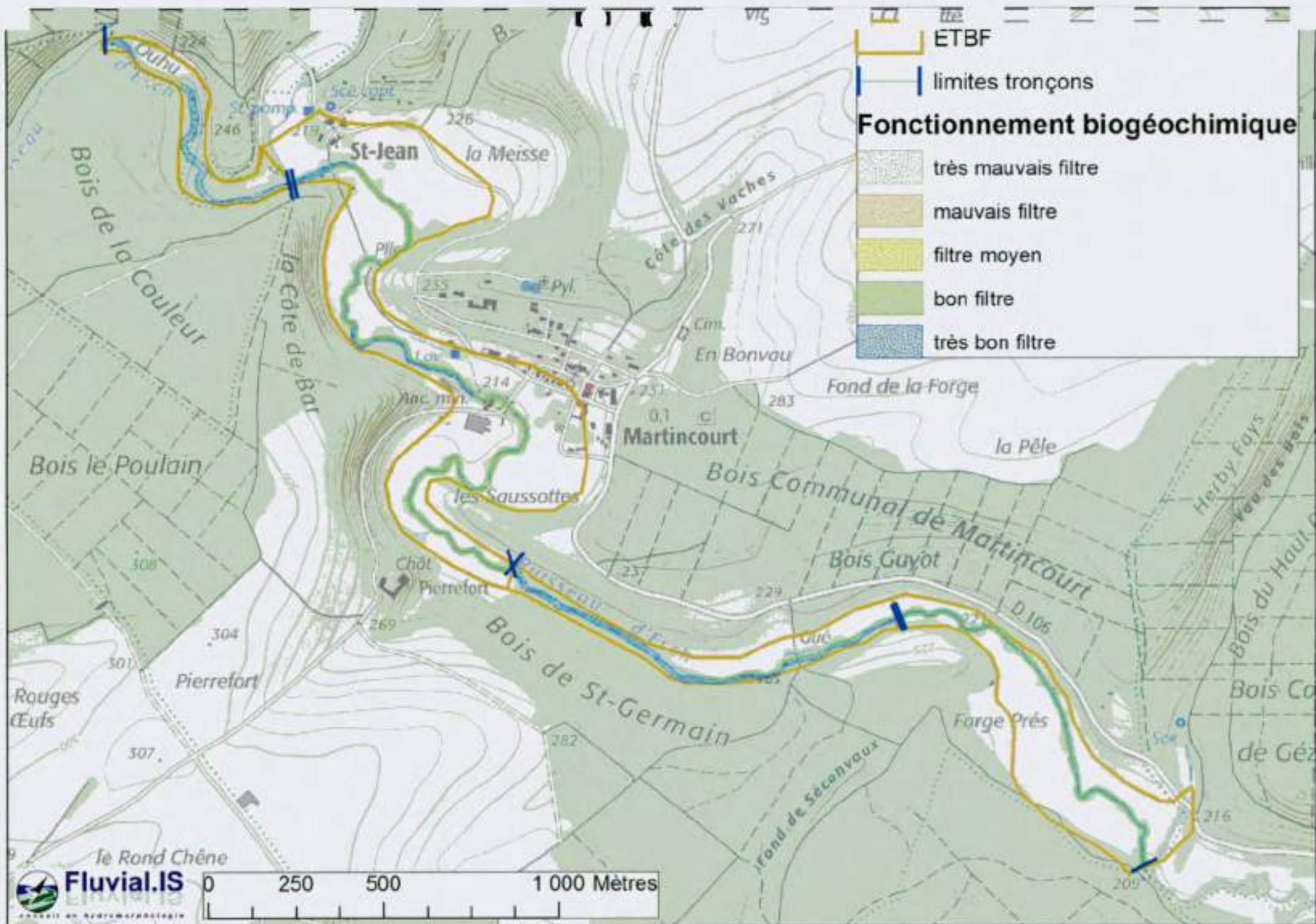
tronçon 03	morpho-dynamique	73
	hydraulique	100
	hydro-géologie	100
	bio-géochimie	83
	écologie terrestre	63
	hydro-biologie	100

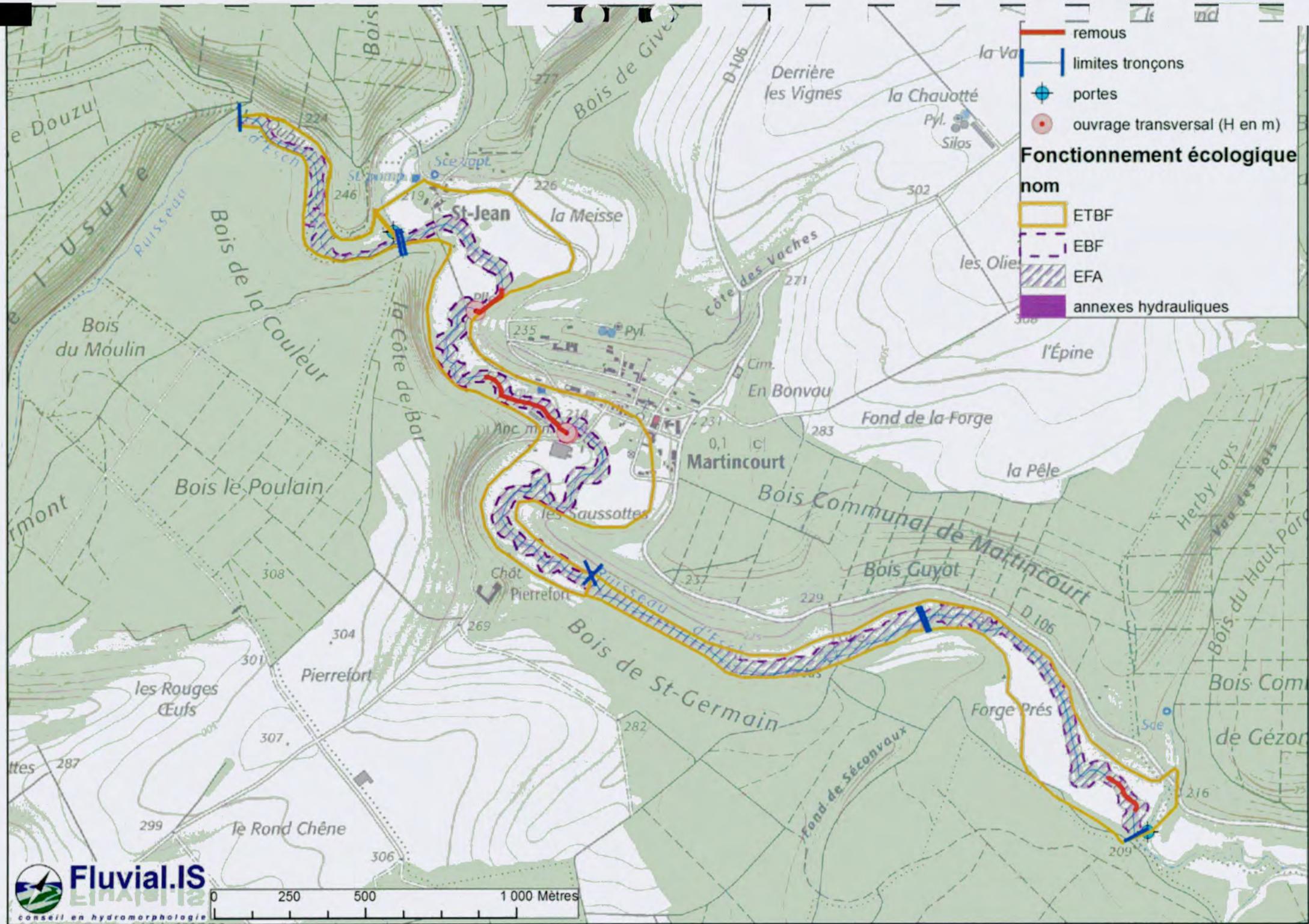
tronçon 04	morpho-dynamique	39
	hydraulique	100
	hydro-géologie	100
	bio-géochimie	60
	écologie terrestre	100
	hydro-biologie	85











Secteur test : L'Il
 Borne amont Colmar (barrage Kaelberweider)
 Borne aval Illhaeusern

type Rhin-Meuse T3 - cours d'eau de piémont
 pente du cours d'eau 1.51 ‰

Résultats par compartiments

note paramètres dégradants

A-Morpho-dynamique

Tronçon 01 **30** nombreuses protections de berge, blocage de la dynamique

B-Hydraulique

Tronçon 01 **100** inondabilité des fortes crues préservée
 (contexte aquifère, affleurement de la nappe)

C-Hydrogéologie

Tronçon 01 **100** forte influence de la nappe qui pallie aux modifications
 locales (urbanisation, remous, forage)

D-Biogéochimie

Tronçon 01 **48** risylve lacunaire fréquemment,
 cultures au-delà de la bande enherbée

D-Écologie terrestre

Tronçon 01 **46** cultures en fond de vallée

E-Hydrobiologie

Tronçon 01 **35** cyprinicole à inondabilité dégradée, cultures en lit majeur
 nombreuses annexes hydrauliques sans doute mal connectées.
 Les cultures en rives, même si l'inondabilité était préservée,
 limitent les fonctionnalités du milieu comme frayère.

Notes globales

Tronçon 01

physique

65

écologique

41

Notes moyennes

65

41

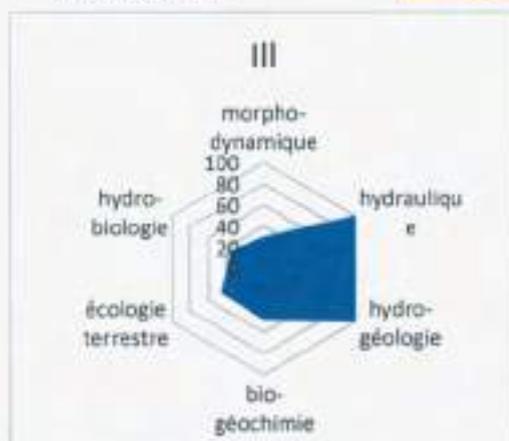
Remarques générales

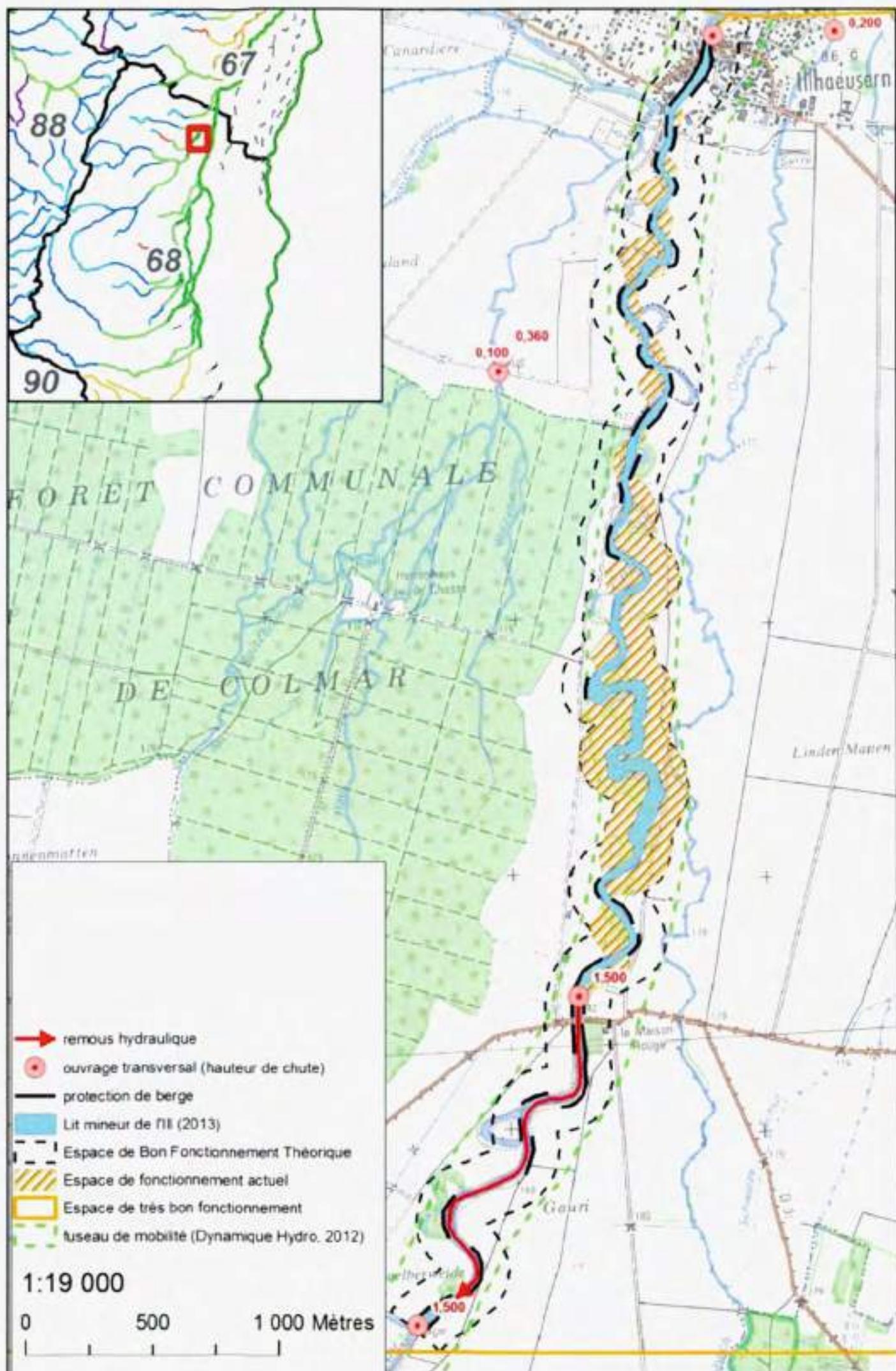
Il sur ce secteur est relativement peu endiguée contrairement à d'autres secteurs. Le caractère fortement aquifère favorise les débordements par la nappe. La seule donnée utilisée pour l'inondabilité est celle de l'Enveloppe Approchée d'Inondation Potentielle. Les remontées de nappe jouent un rôle déterminant dans l'inondabilité du lit majeur. Il est certain que ce paramètre est essentiel pour affiner le fonctionnement des différents compartiments. Ne disposant pas des moyens sans doute mobilisés pour une étude diagnostic, nous avons travaillé selon le scénario d'une inondabilité réduite des marges proches de l'Il (supérieure à 5 ans) probable compte tenu de l'exploitation en grande culture des parcelles riveraines.

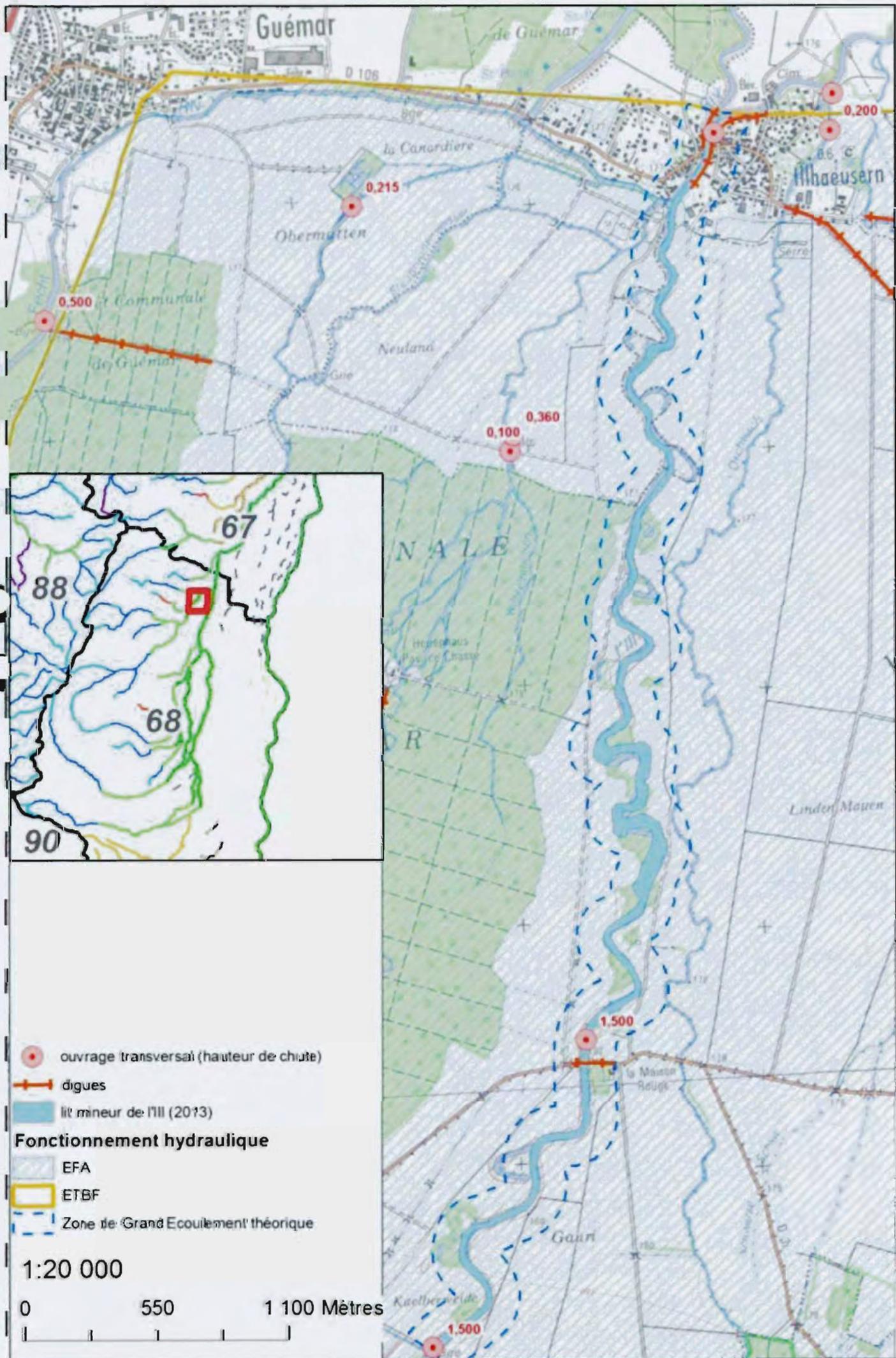
Le lit mineur de l'Il est fortement dégradé par des opérations de fixation de sa dynamique latérale (protections de berges, etc.). Le seul secteur mobile du tronçon montre une diversité d'habitat et de formes qui témoignent de l'écart par ailleurs entre la fonctionnalité théorique et réelle de cette rivière

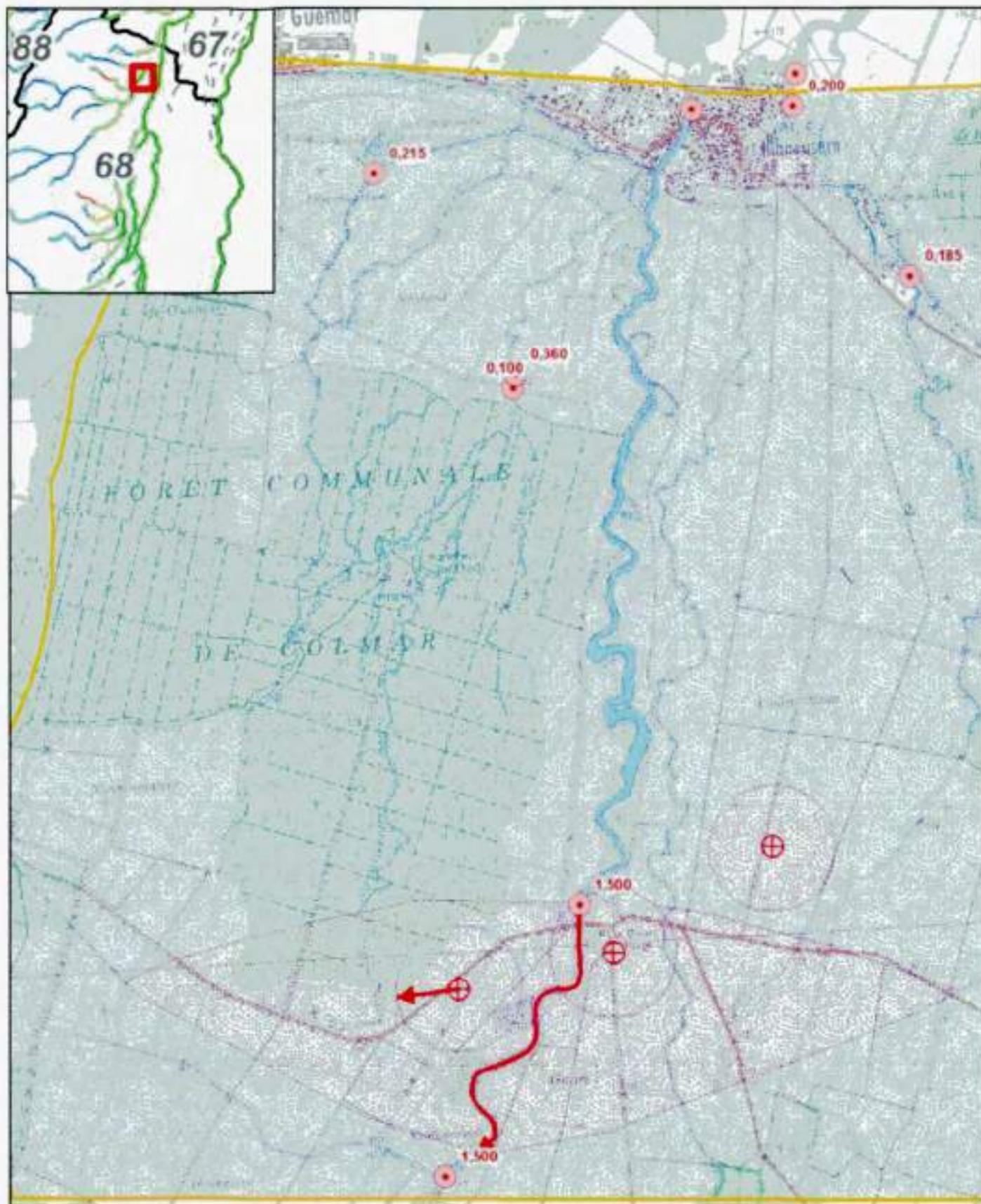
Résultats par tronçons

tronçon 01	morpho-dynamique	30
	hydraulique	100
	hydro-géologie	100
	bio-géochimie	48
	écologie terrestre	46
	hydro-biologie	35









→ remous hydraulique

⊕ forage

● ouvrage transversal (hauteur de chute)

lit mineur de l'Il (2013)

ETBF

Fonctionnement hydrogéologique

note

très dégradé

dégradé

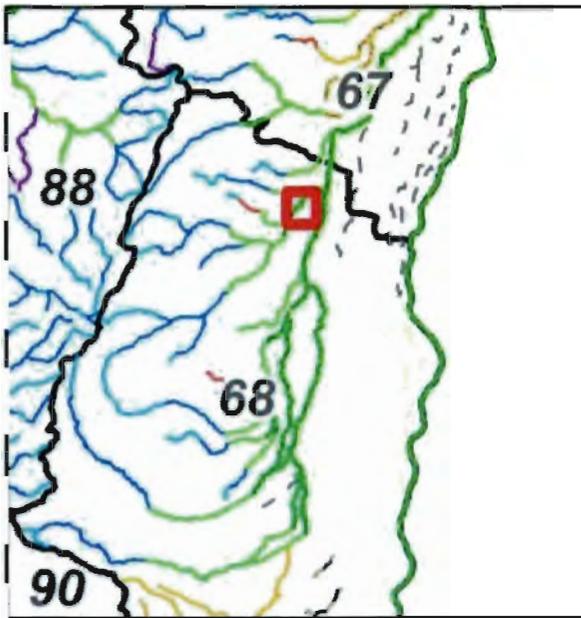
perturbé

modifié

bon

1:25 000

0 650 1 300 Mètres



1:19 000

→ remous hydraulique

— protection de berge

fonctionnement biogéochimique
filtre de la zone rivulaire

très mauvais filtre

mauvais filtre

filtre moyen

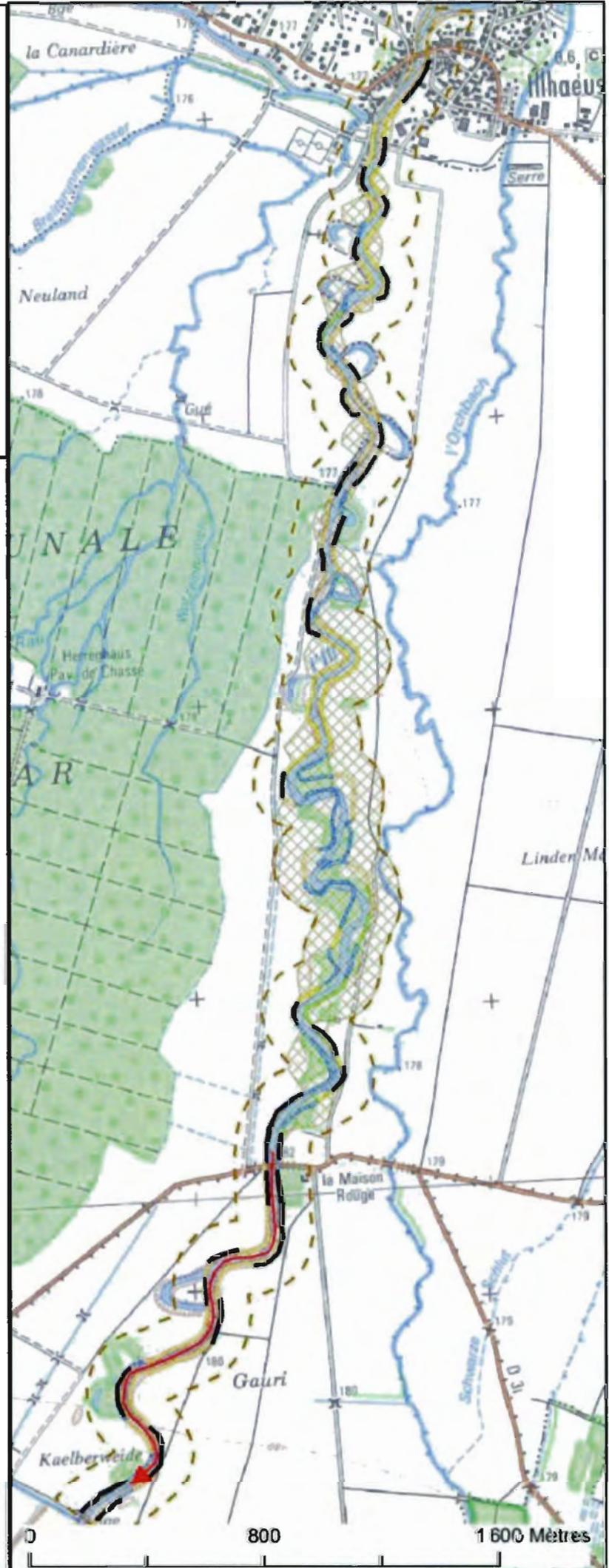
bon filtre

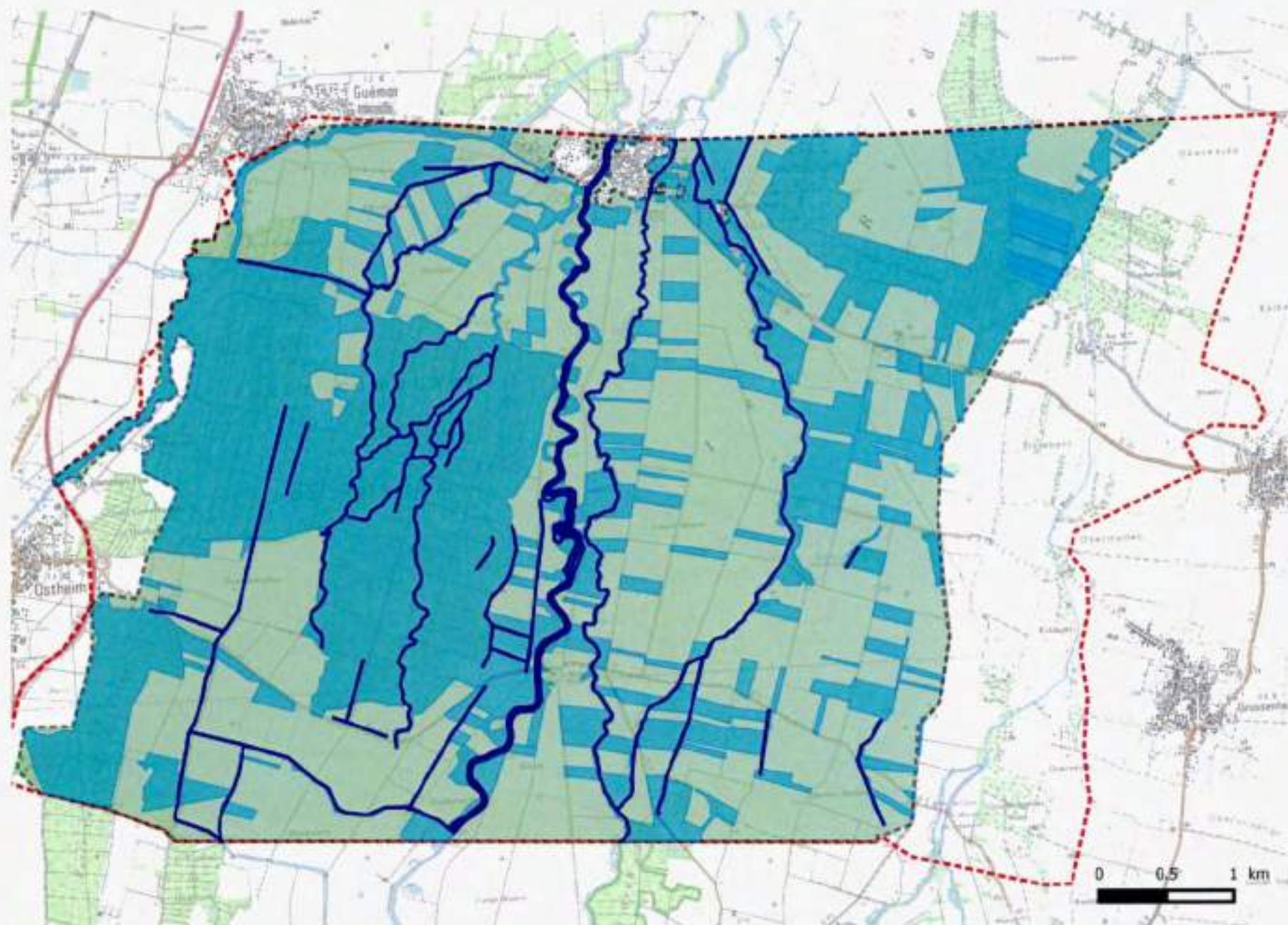
très bon filtre

circulation alluvionnaire

EBF

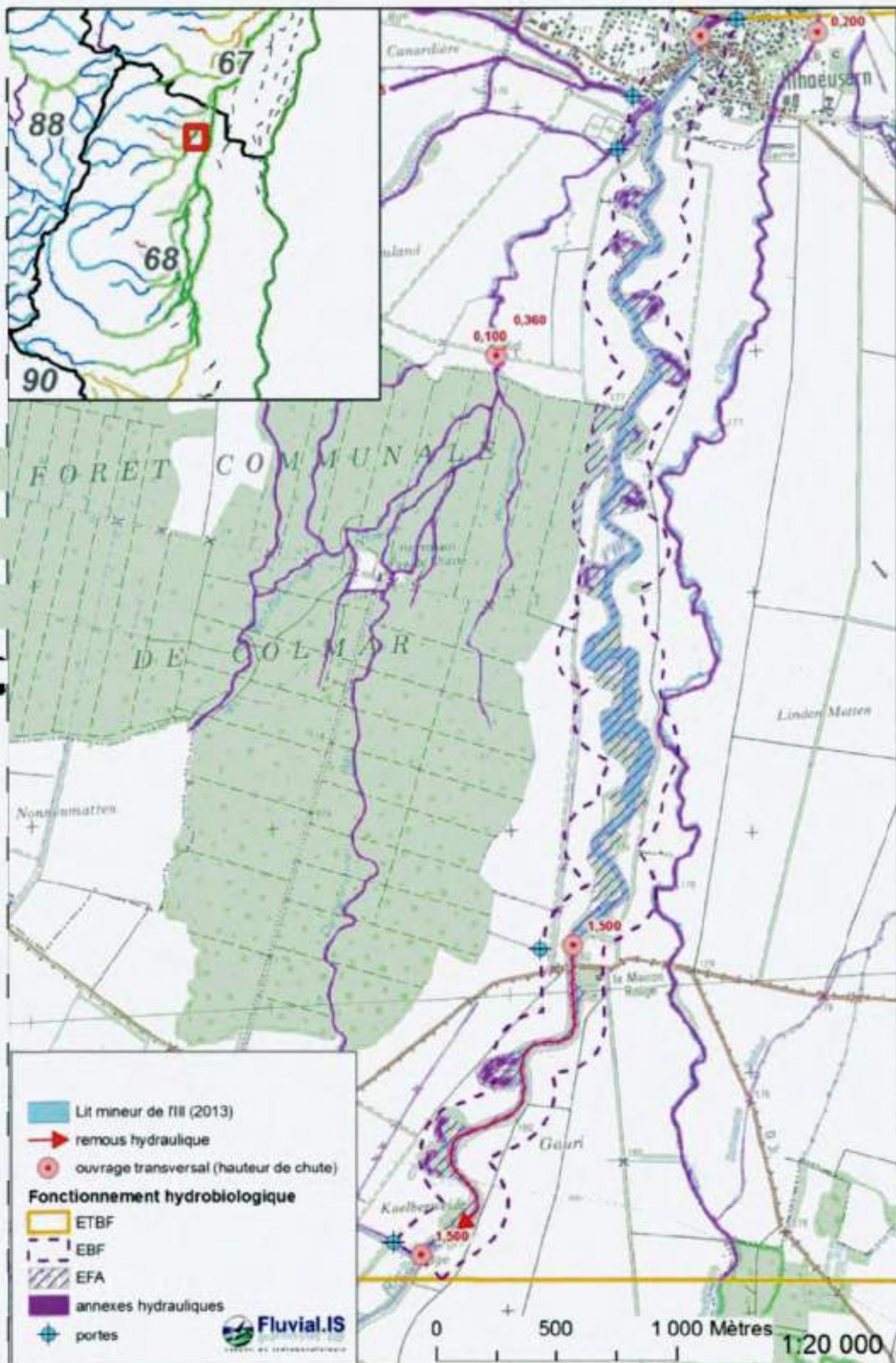
EFA





Légende

- ETBF
- EBF
- EFA



Secteur test : **La Lauch**
 Borne amont Bois de Muhlbach (800 m)
 Borne aval Aval de confluence du Trouselrunz

type Rhin-Meuse T1 - Cours d'eau et torrents de montagne
 T2b - hautes et moyennes vallées des Vosges gréseuses
 pente du cours d'eau 149.14 ‰

Résultats par compartiments

note paramètres dégradants

A-Morpho-dynamique

Tronçon 01 **59** nombreuses protections de berges diverses
 un tronçon préservé au centre amont du tronçon

B-Hydraulique

Tronçon 01 **64** lit recalibré

C-Hydrogéologie

Tronçon 01 **67**

D-Biogéochimie

Tronçon 01 **57**

D-Ecologie terrestre

Tronçon 01 **83**

E-Hydrobiologie

Tronçon 01 **71**

Notes globales

Tronçon 01

physique

59

écologique

77

Notes moyennes

59

77

Remarques générales

Le type de ce cours d'eau avec un espace de fonctionnement naturellement réduit en rive, limite l'impact de la traversée du village.

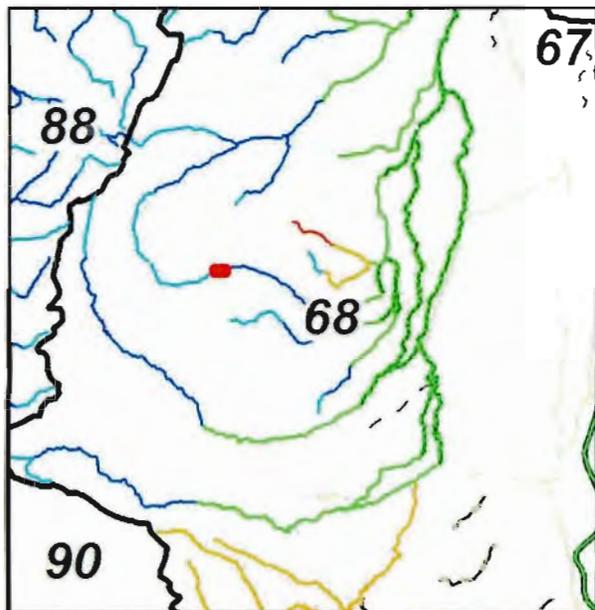
La difficulté pour l'évaluation de ce type de cours d'eau est habituellement l'absence de données hydrologiques fiables. Ici, nous bénéficions de la présence sur le tronçon de la première station de la banque Hydro. Compte tenu de l'échelle de travail due au gabarit du cours d'eau, la localisation de l'occupation en rive nécessite de descendre à l'échelle cadastrale pour l'analyse.

Malgré la traversée du village, les fonctionnalités sont relativement bien préservées (pas de canalisation souterraine), les remblais sont le principal impact sur le fonctionnement rivulaire. Dans le lit, grâce à la pente importante, les ouvrages transversaux ont un effet limité. Les annexes hydrauliques sont rares. L'ancien bras de moulin ne présente pas de potentialités (transformé en pisciculture).

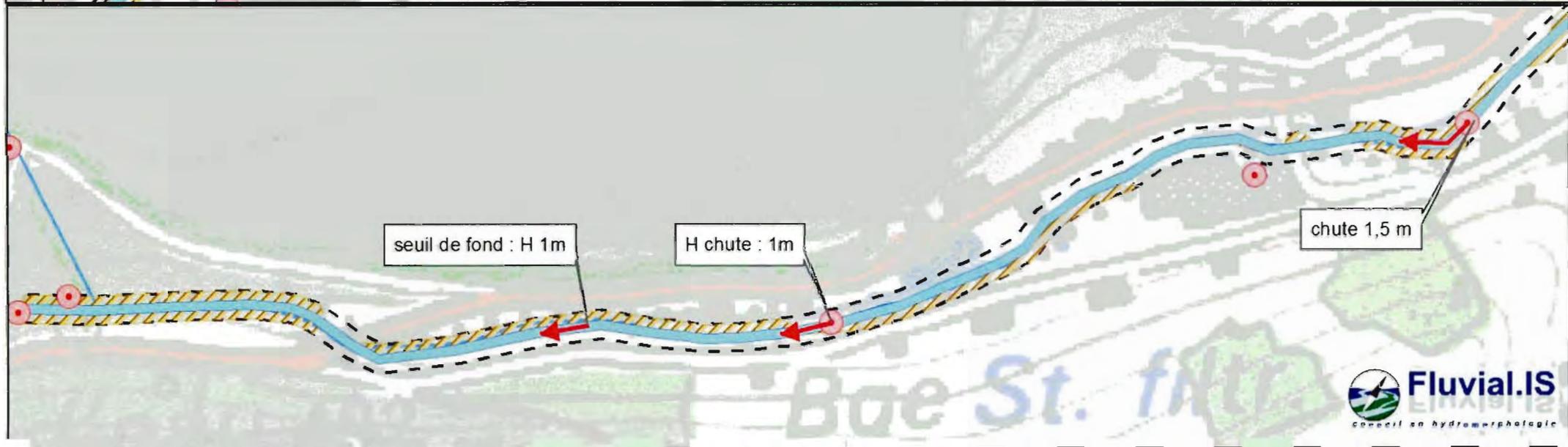
Résultats par tronçons

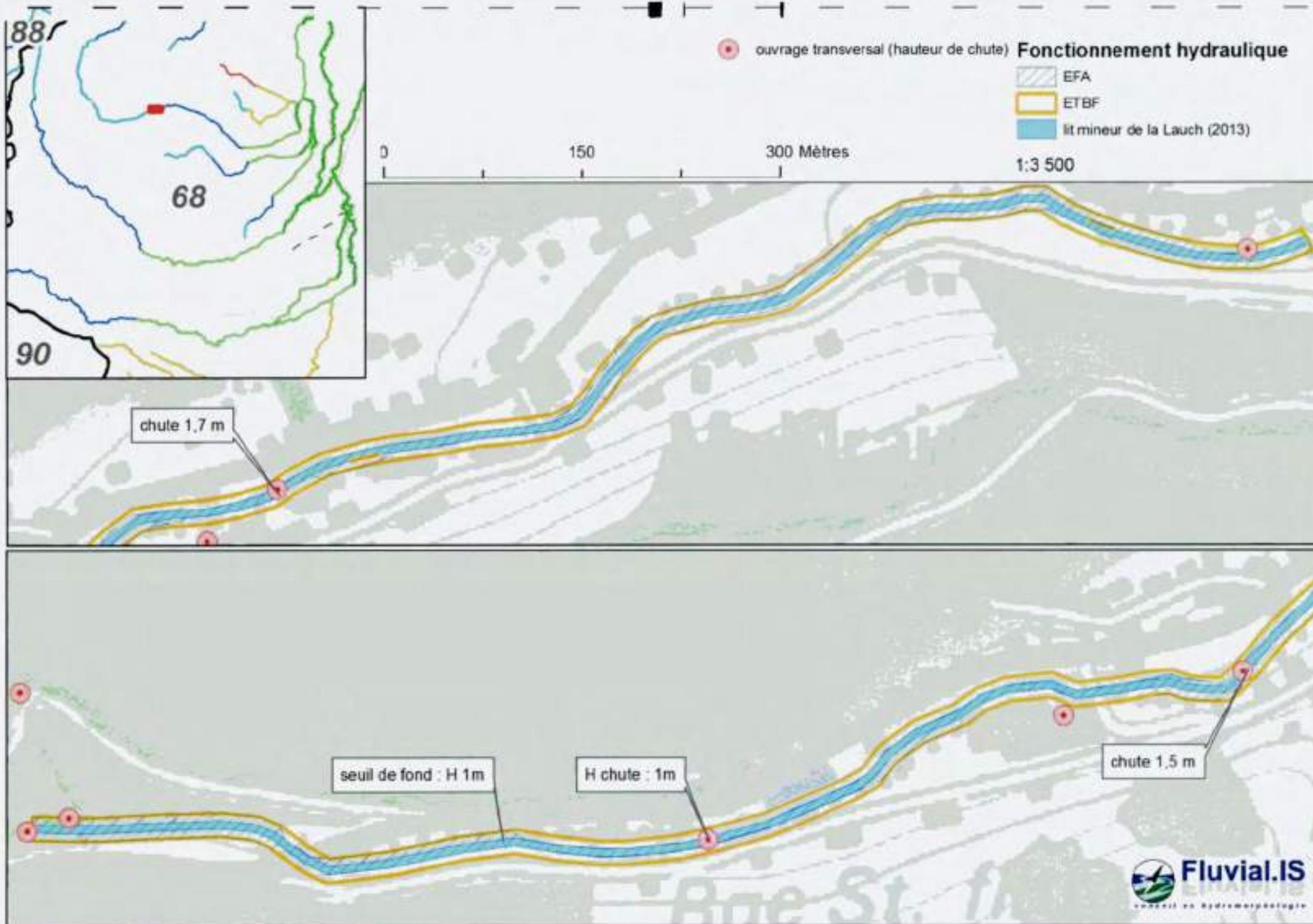
tronçon 01	morpho-dynamique	59
	hydraulique	64
	hydro-géologie	67
	bio-géochimie	57
	écologie terrestre	83
	hydro-biologie	71

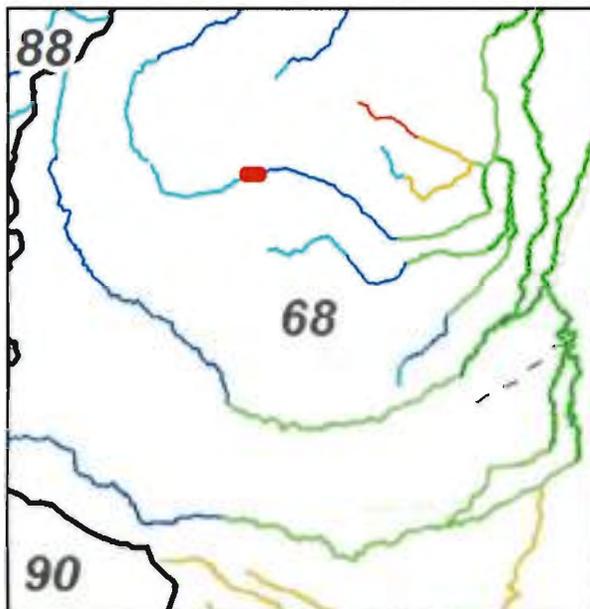




- remous hydraulique
 - ouvrage transversal (hauteur de chute)
 - lit mineur de la Lauch (2013)
- Fonctionnement morphodynamique**
- Espace de Bon Fonctionnement Théorique
 - Espace de fonctionnement actuel
 - Espace de très bon fonctionnement







→ remous hydraulique

Fonctionnement hydrogéologique

très dégradé

dégradé

perturbé

modifié

bon

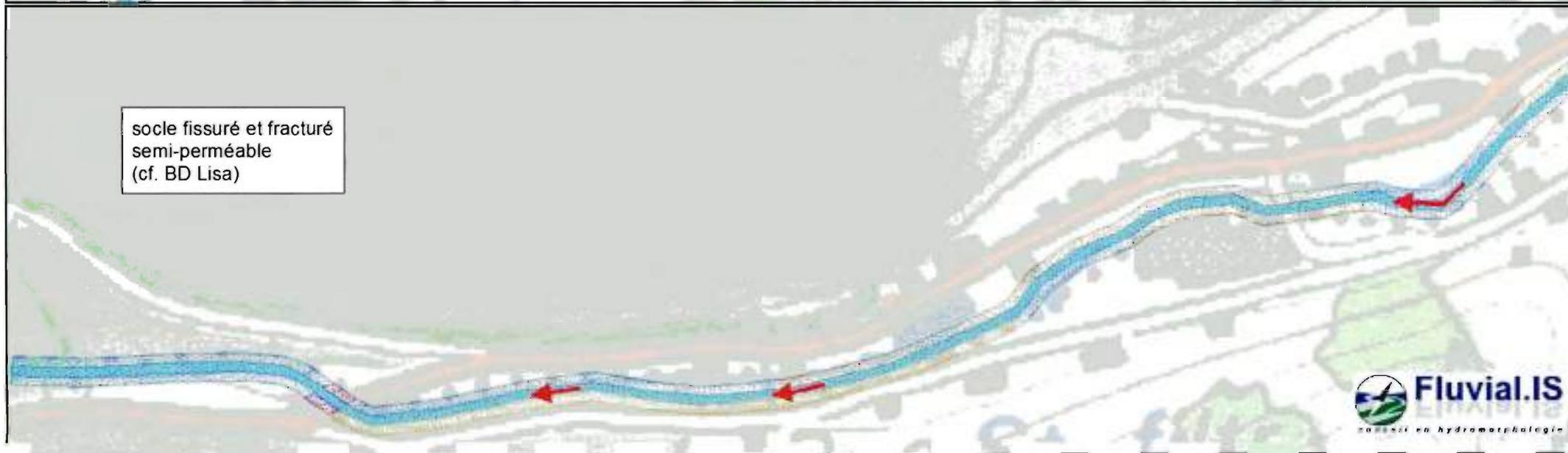
lit mineur de la Lauch (2013)

0 150 300 Mètres

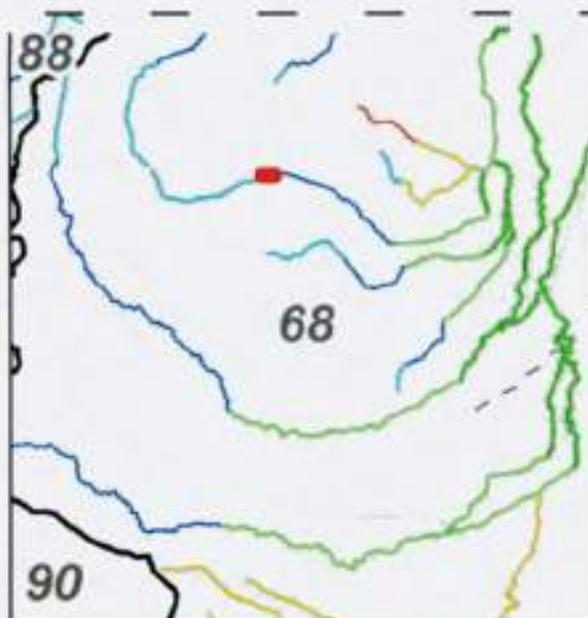
1:3 500



socle fissuré et fracturé
semi-perméable
(cf. BD Lisa)



socle fissuré et fracturé
semi-perméable
(cf. BD Lisa)



1:3 500

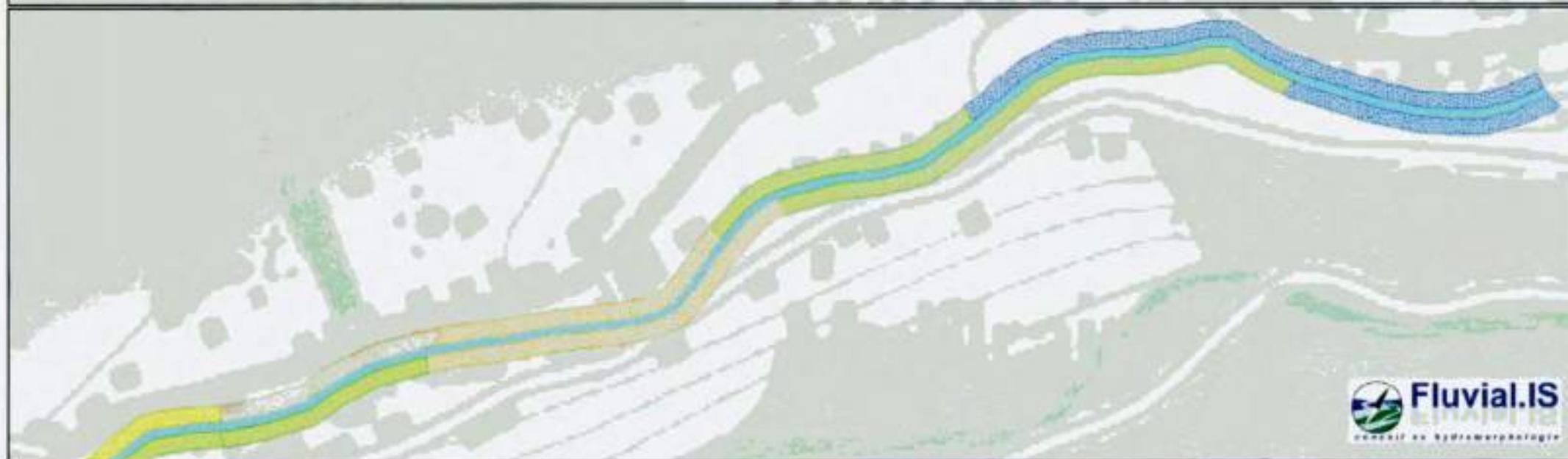
0

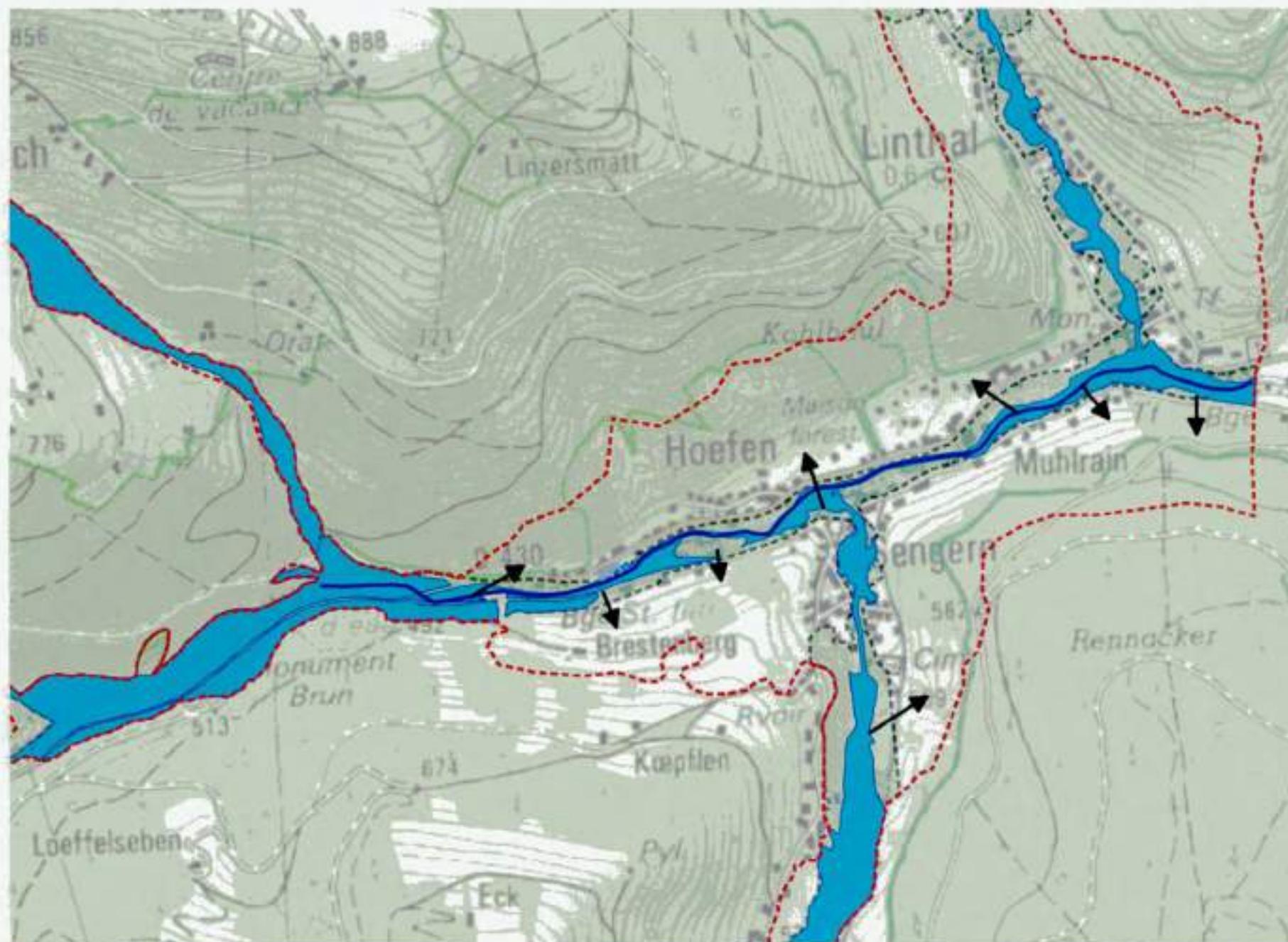
150

300 Mètres

fonctionnement EN 1990

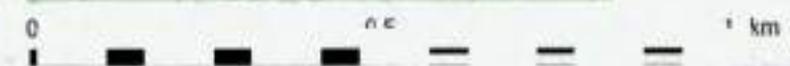
-  très mauvais filtre
-  mauvais filtre
-  filtre moyen
-  bon filtre
-  très bon filtre
-  lit mineur de la Lauch (2013)

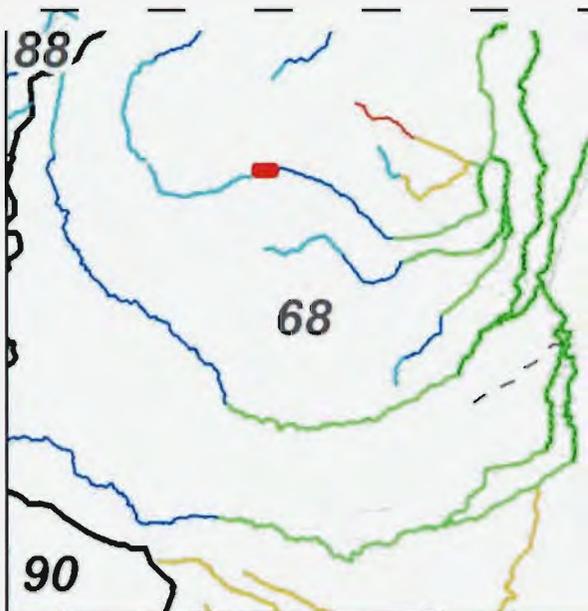




Légende

-  ETBF
-  EBF
-  EFA
-  Porte de l'EBF vers les secteurs de Sonneur à venir jaune ?





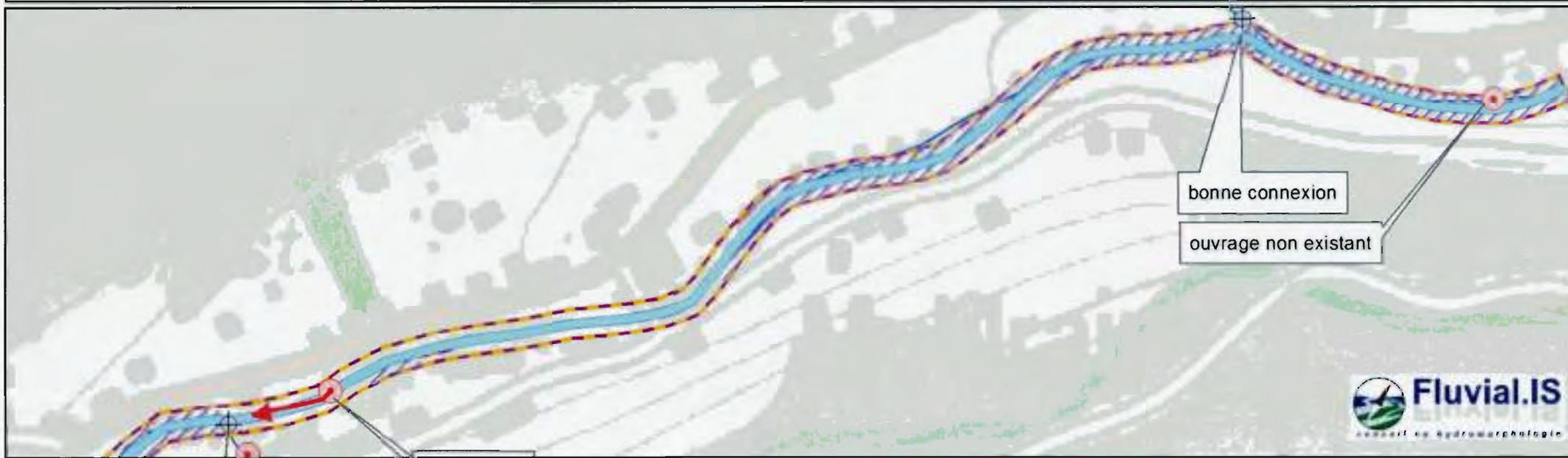
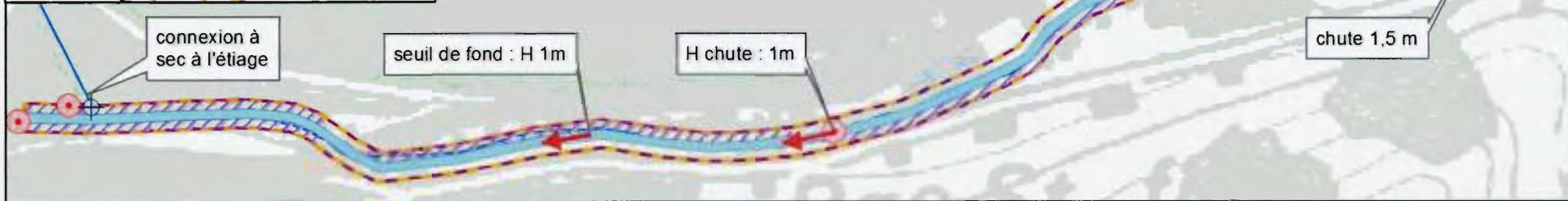
0 150 300 Mètres

-  plan mineur de la Lauen (2013)
-  réseau hydrographique
-  portes
-  remous hydraulique
-  ouvrage transversal (hauteur de chute)

fonctionnement hydrobiologique

-  ETBF
-  EBF
-  EFA
-  annexes hydrauliques

1:3 500



Secteur test :
Borne amont
Borne aval

La Meurthe
La Chapelle
Baccarat

SYNTHESE

type Rhin-Meuse
pente du cours d'eau

T3 - cours d'eau de piémont
0.0011 ‰

Résultats par compartiments

note paramètres dégradants

A-Morpho-dynamique

Tronçon 01

73

axe routier et anciennes gravières

Tronçon 02

65

remous hydraulique (4 m de Hauteur de chute)

B-Hydraulique

Tronçon 01

92

quelques remblais et merlons d'étang ?

Tronçon 02

92

zone urbanisée à l'aval

C-Hydrogéologie

Tronçon 01

100

anciennes gravières, remblai route, contexte aquifère

Tronçon 02

95

urbanisation à l'aval, rehausse ligne d'eau, contexte aquifère

D-Biogéochimie

Tronçon 01

73

Tronçon 02

66

influence de l'ouvrage

D-Ecologie terrestre

Tronçon 01

50

Tronçon 02

32

E-Hydrobiologie

Tronçon 01

66

anciennes gravières, peupleraies

Tronçon 02

86

peupleraies

Notes globales

Tronçon 01

physique

85

écologique

58

Tronçon 02

67

59

Notes moyennes

76

59

Remarques générales

Malgré une pente modérée, la Meurthe se caractérise sur ce secteur par une forte mobilité (TM) due à la faible cohésion de ses berges.

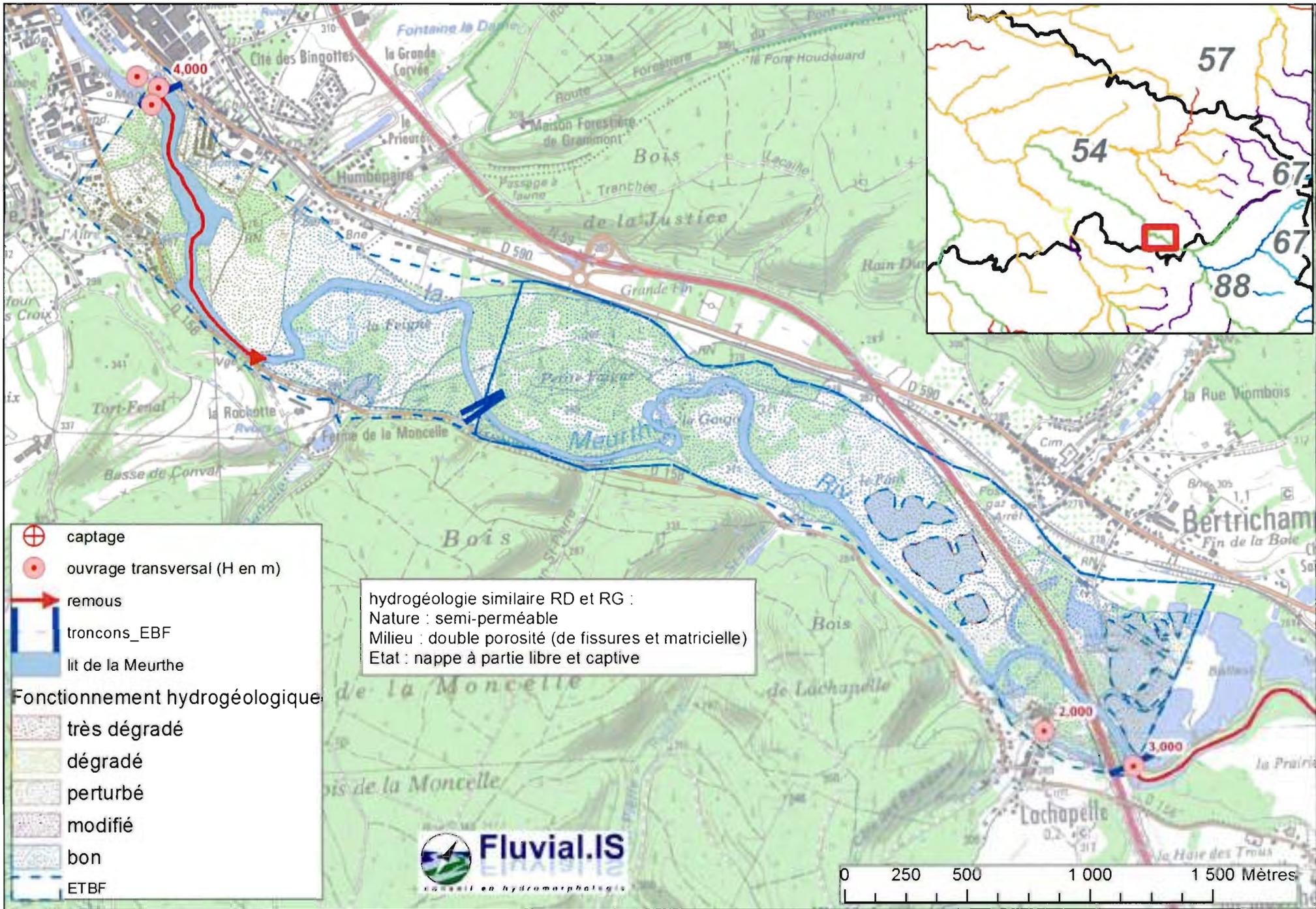
L'exploitation intensive du fond de vallée réduit les fonctionnalités écologiques de la rivière, alors que l'inondabilité et la recharge de la nappe n'en sont finalement que peu affectées.

Résultats par tronçons

tronçon 01	morpho-dynamique	73
	hydraulique	92
	hydro-géologie	100
	bio-géochimie	73
	écologie terrestre	50
	hydro-biologie	66

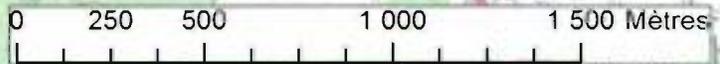
tronçon 02	morpho-dynamique	65
	hydraulique	92
	hydro-géologie	95
	bio-géochimie	66
	écologie terrestre	32
	hydro-biologie	86

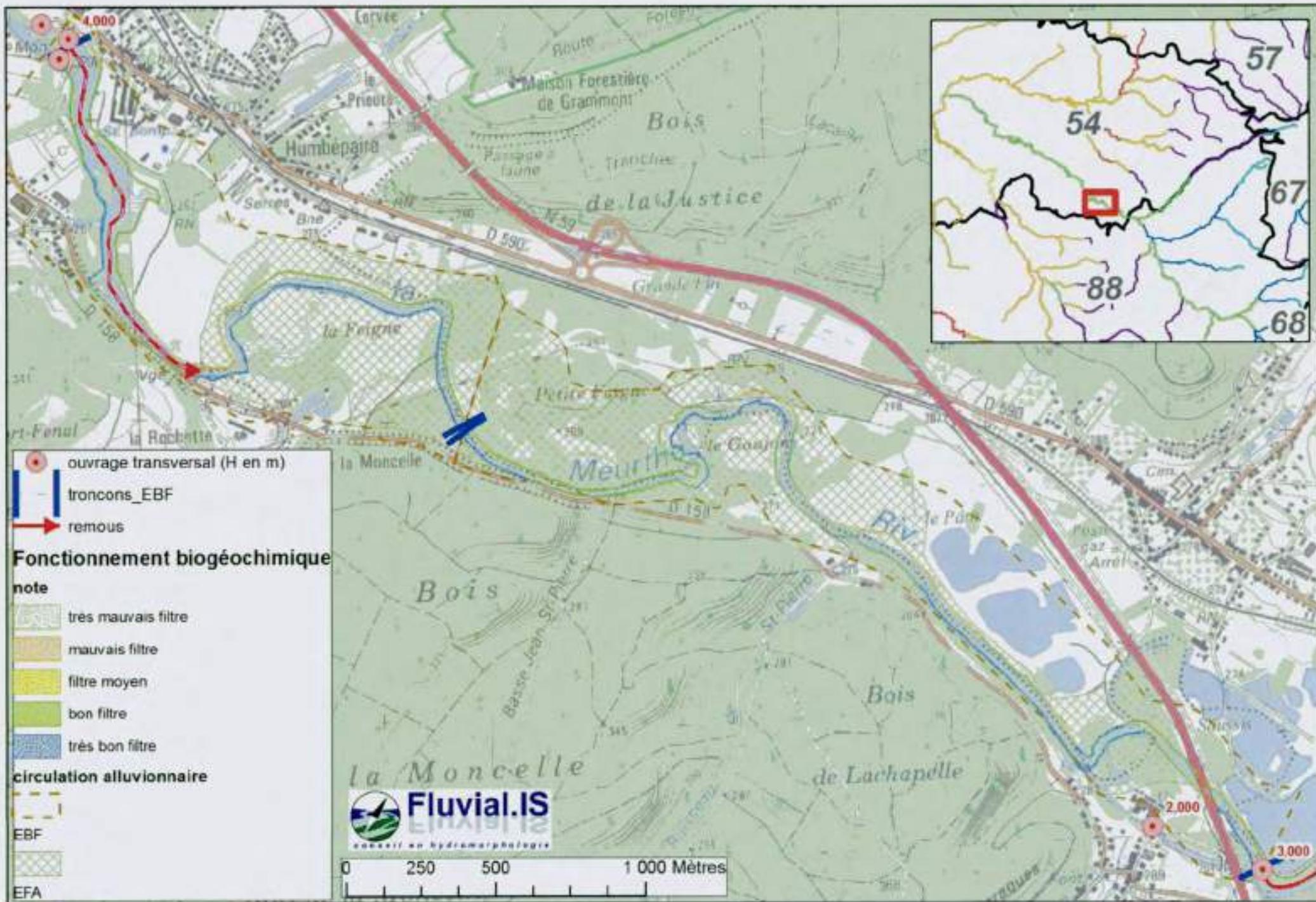




-  captage
-  ouvrage transversal (H en m)
-  remous
-  tronçons_EBF
-  lit de la Meurthe

hydrogéologie similaire RD et RG :
 Nature : semi-perméable
 Milieu : double porosité (de fissures et matricielle)
 Etat : nappe à partie libre et captive





ouvrage transversal (H en m)
 tronçons_EBF
 remous

Fonctionnement biogéochimique

note

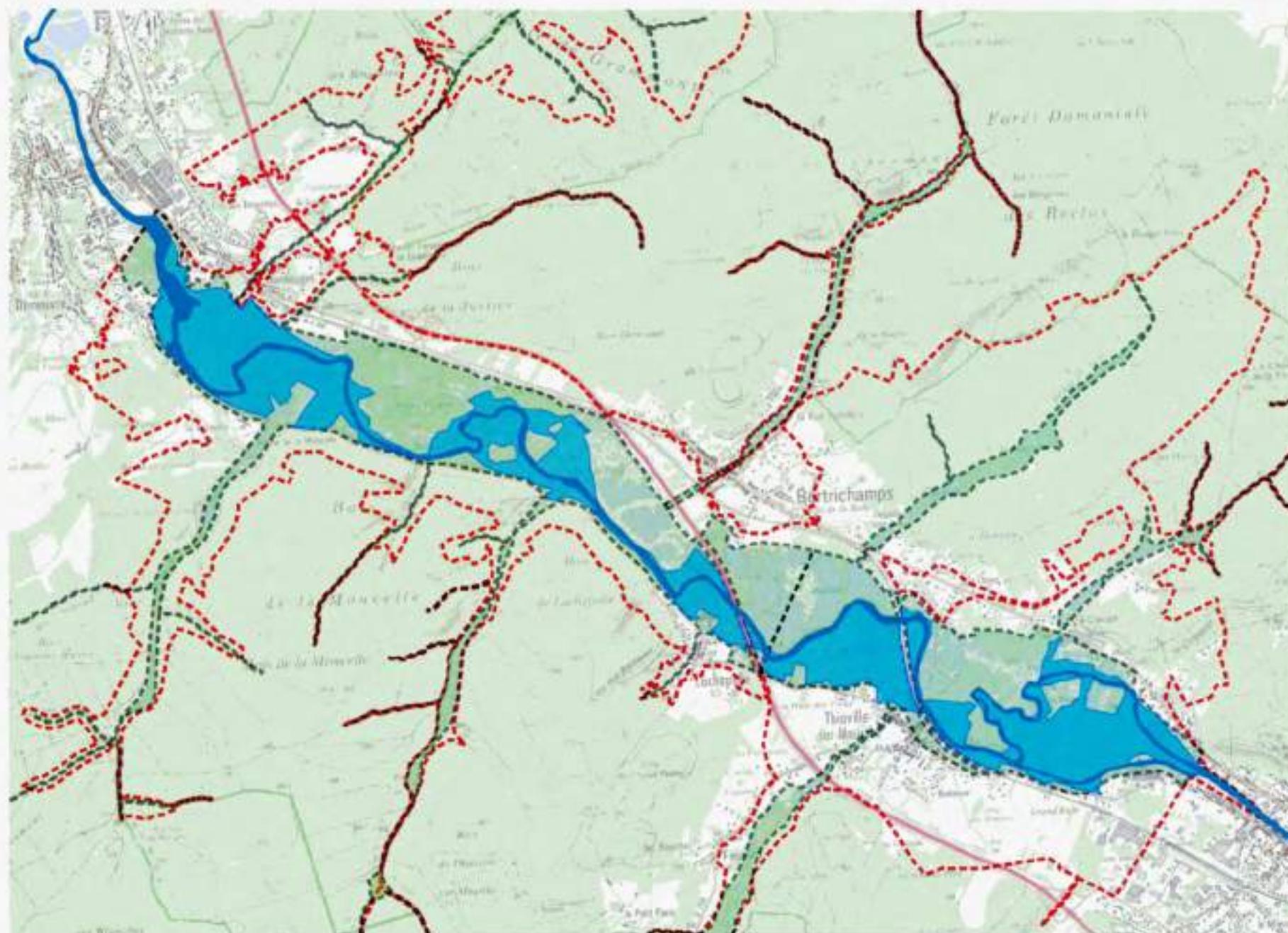
- très mauvais filtre
- mauvais filtre
- filtre moyen
- bon filtre
- très bon filtre

circulation alluvionnaire

- EBF
- EFA

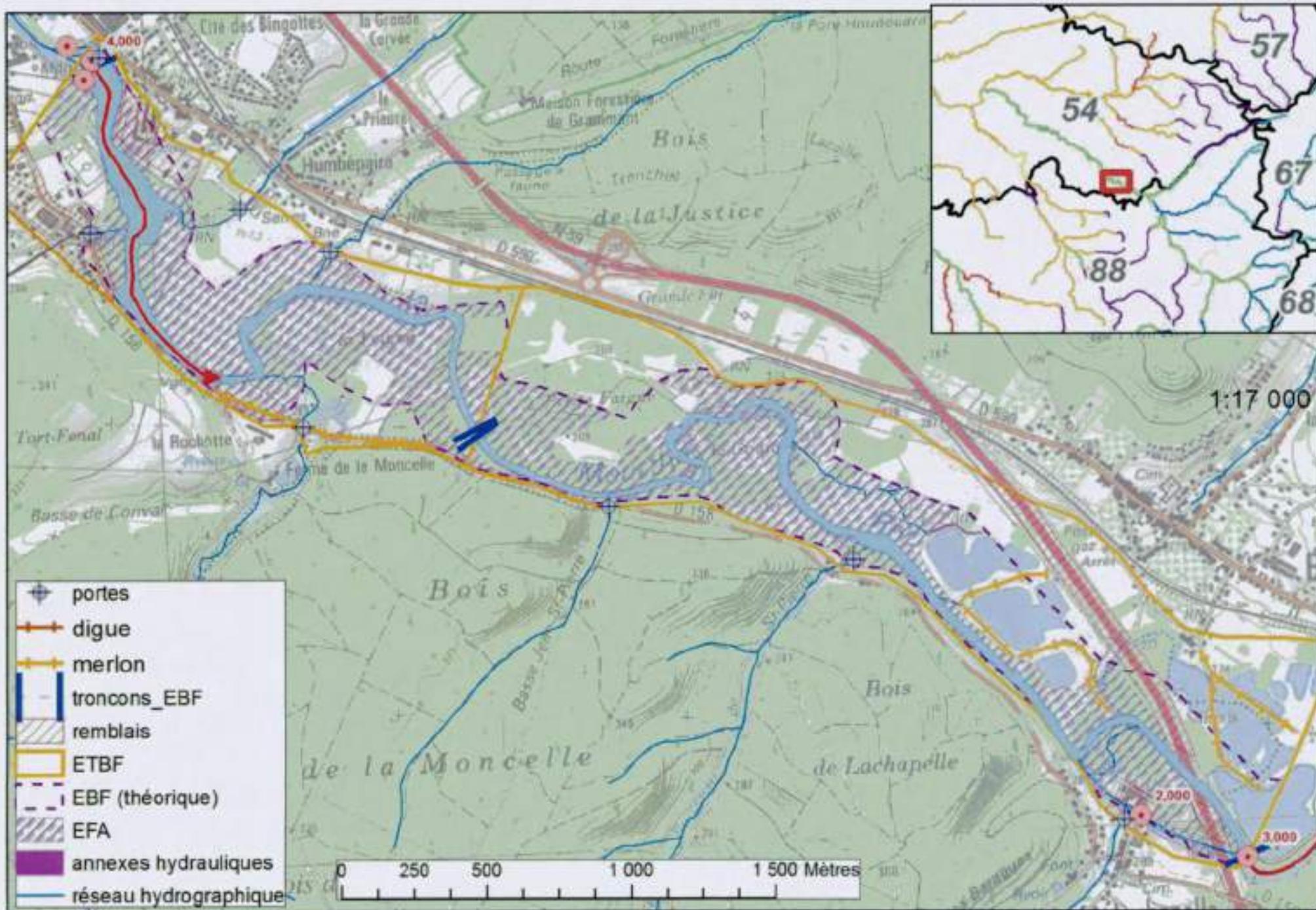
Fluvial.IS
 conseil en hydromorphologie

0 250 500 1 000 Mètres



Légende

-  Meurthe
-  ETBF
-  EBF
-  EFA



Secteur test : **La Meuse**
 Borne amont : Amont Sorcy-St-Martin
 Borne aval : aval Sorcy-St-Martin

type Rhin-Meuse : TS - basses vallées de plateaux calcaires
 pente du cours d'eau : 0.3 ‰

Résultats par compartiments

note paramètres dégradants

A-Morpho-dynamique

Tronçon 01 : **63** remous du seuil de Sorcy et rives du village de Sorcy

B-Hydraulique

Tronçon 01 : **100** remblais routiers à Void et divers équipements

C-Hydrogéologie

Tronçon 01 : **86** captages, imperméabilisations, remblais, rehausse ligne d'eau

D-Biogéochimie

Tronçon 01 : **65** risylve lacunaire fréquemment

D-Ecologie terrestre

Tronçon 01 : **80** cultures en fond de vallée

E-Hydrobiologie

Tronçon 01 : **80** cyprinicole à inondabilité préservée +, annexes

Notes globales

Tronçon 01

physique

85

écologique

80

Notes moyennes

85

80

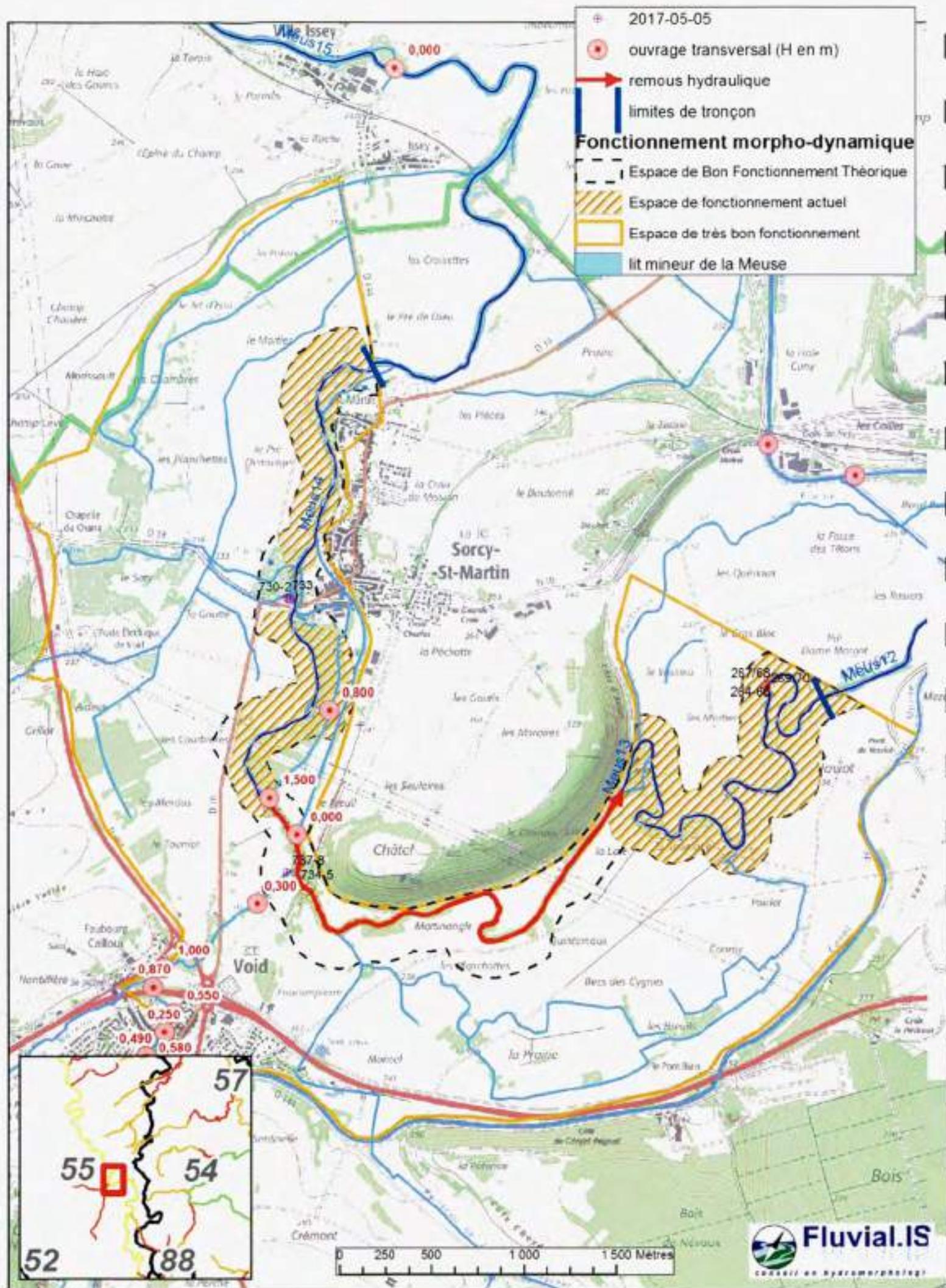
Remarques générales

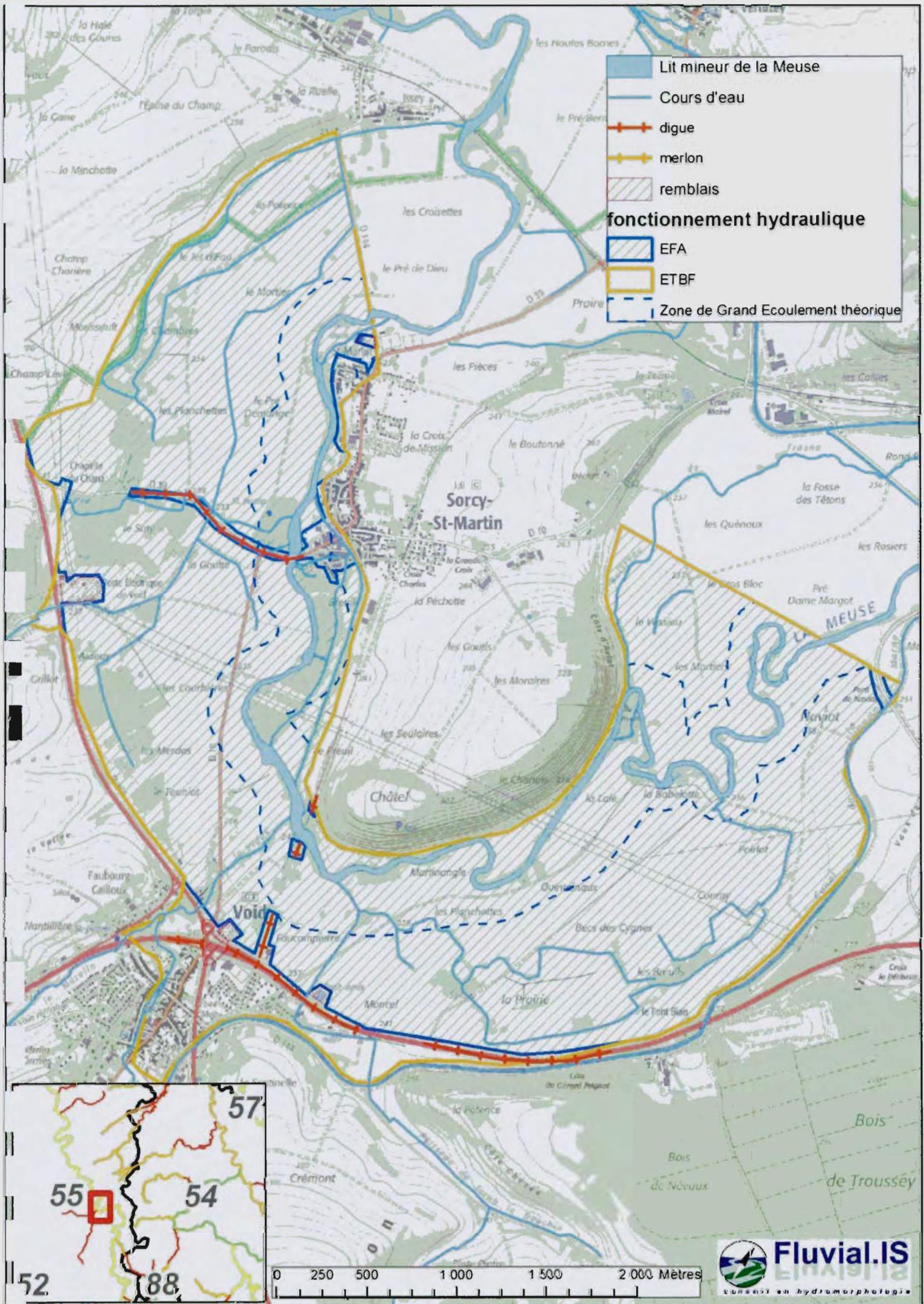
La présence du seuil de Sorcy impact surtout la morpho-dynamique. Son impact sur l'hydrogéologie est limité par les apports des versants et par la nature des alluvions. L'autoépuration est de toutes façons faible pour ce type de cours d'eau et la fonction filtre est bien assurée par une ripisylve assez présente. D'un point de vue écologique, l'exploitation extensive du fond de vallée et les nombreuses annexes persistantes permettent de conserver un état très satisfaisant

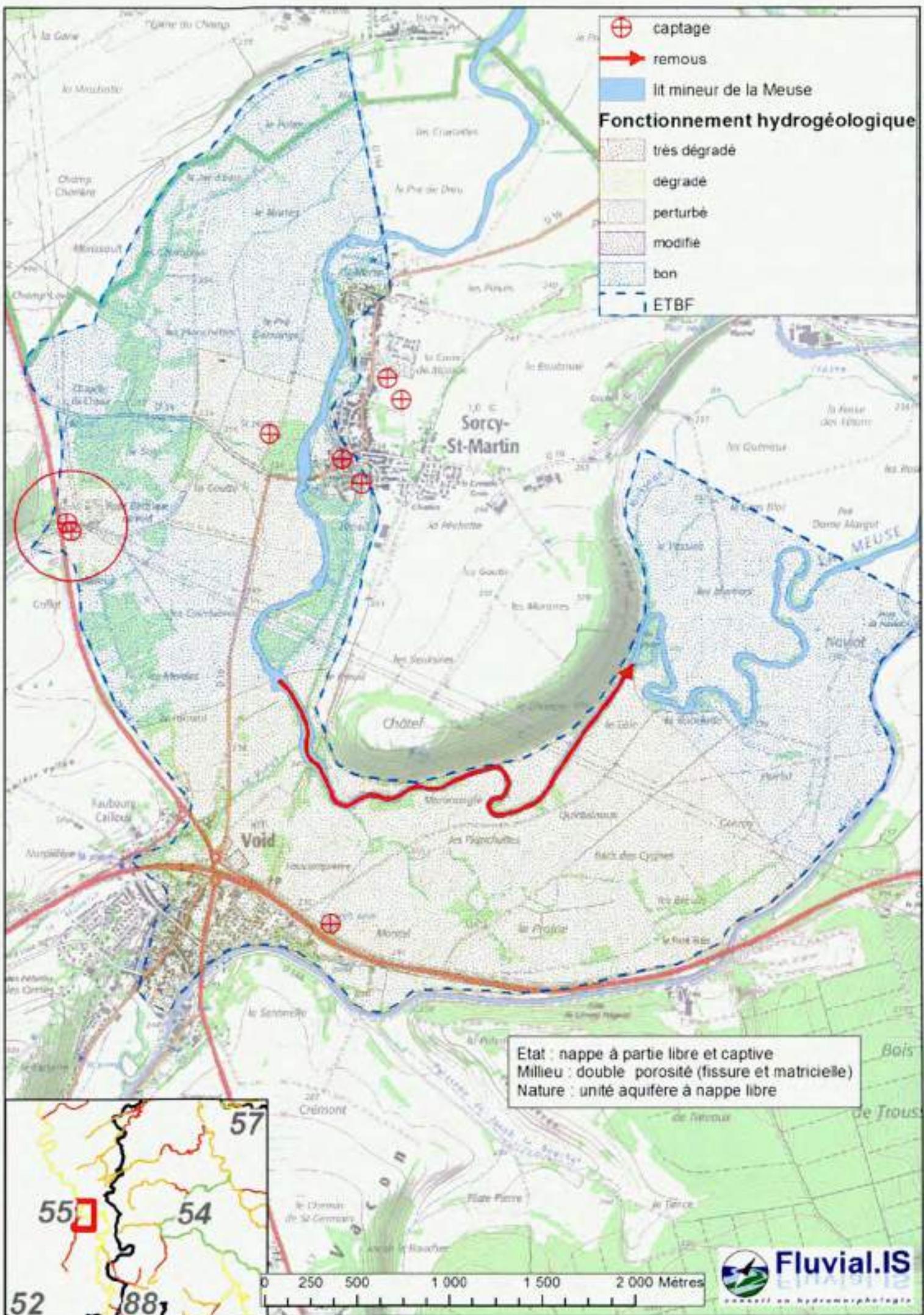
Résultats par tronçons

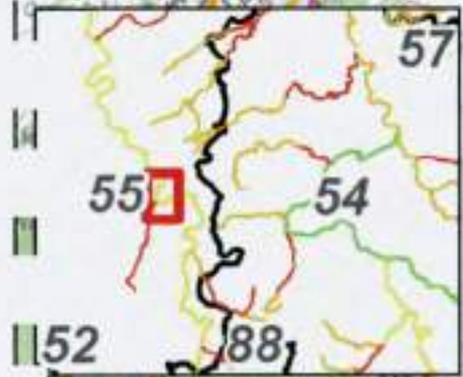
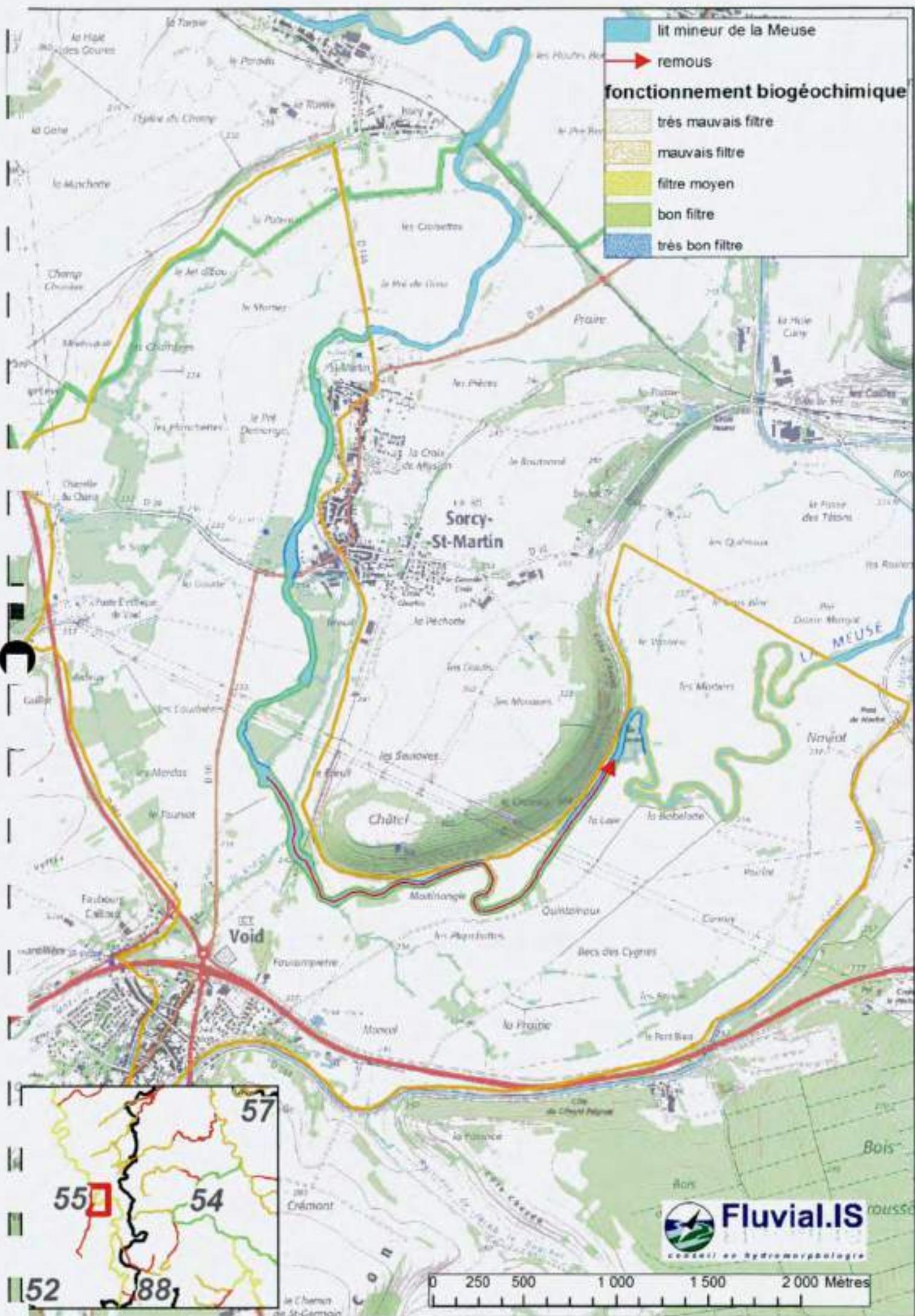
tronçon 01	morpho-dynamique	63
	hydraulique	100
	hydro-géologie	86
	bio-géochimie	65
	écologie terrestre	80
	hydro-biologie	80

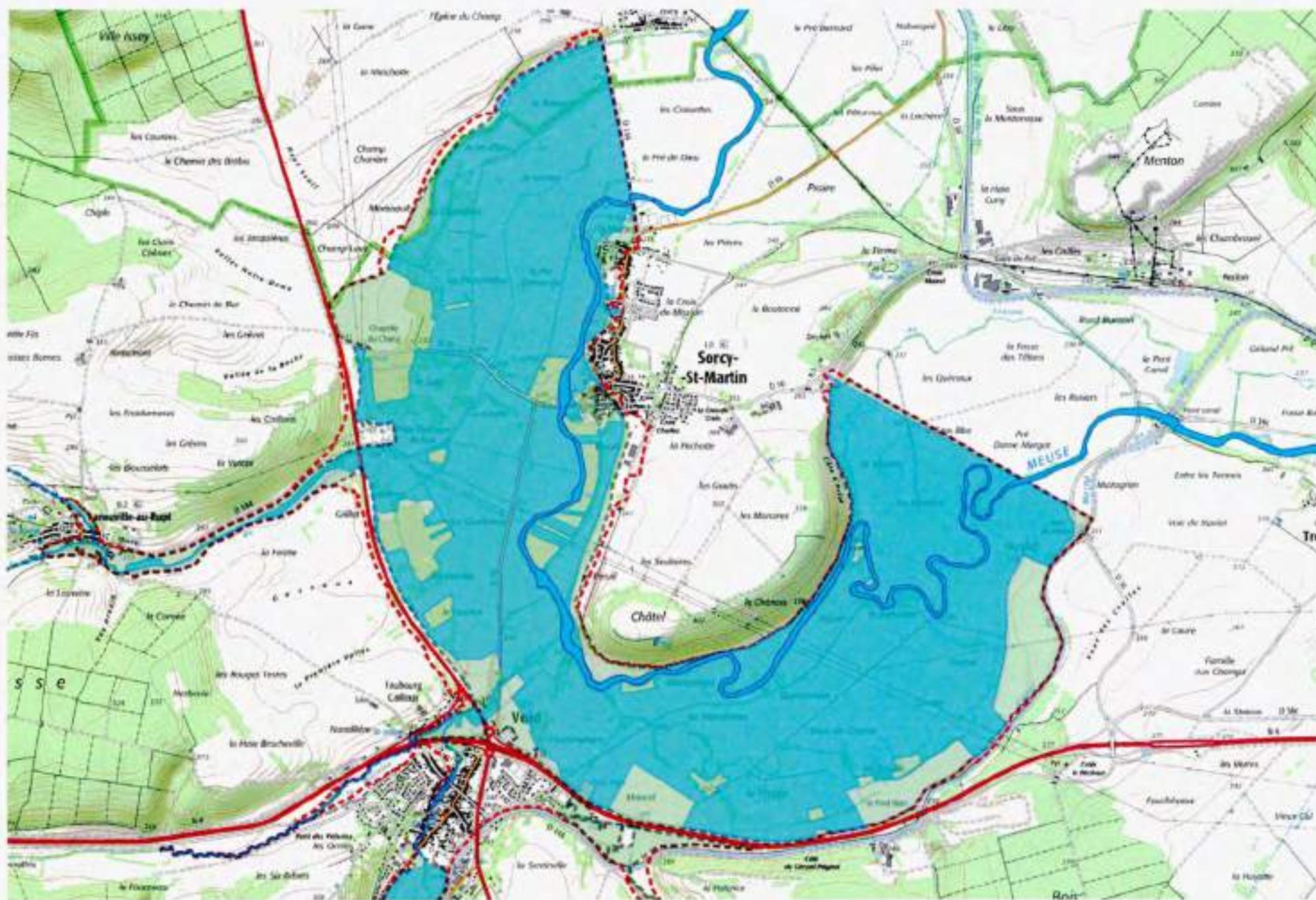






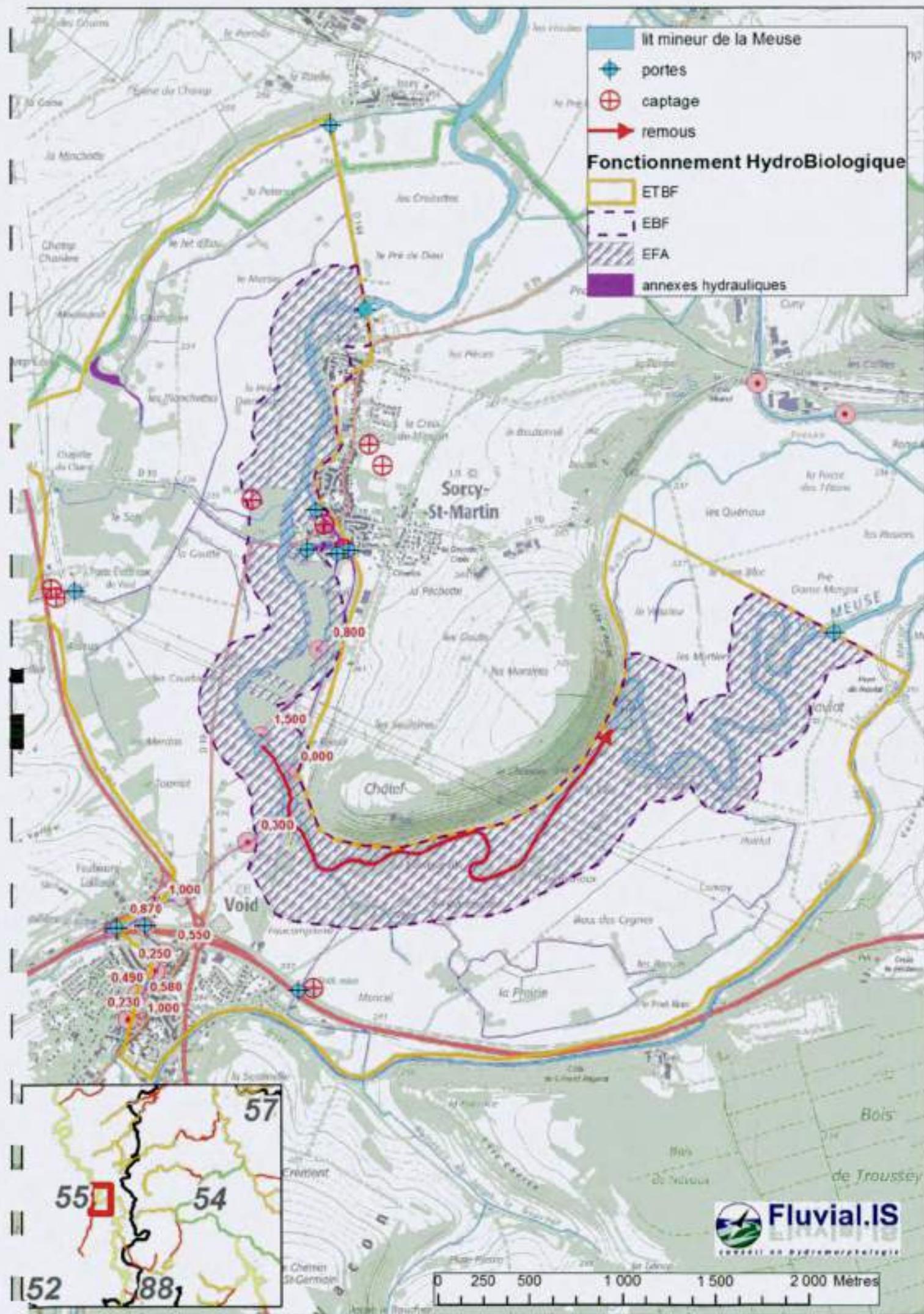






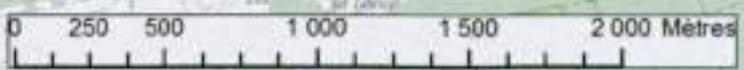
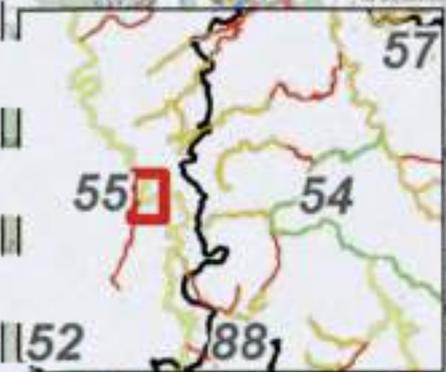
Légende

- ETBF
- EBF
- EFA



Fonctionnement HydroBiologique

- lit mineur de la Meuse
- portes
- + captage
- remous
- ETBF
- EBF
- EFA
- annexes hydrauliques



Secteur test :
Borne amont
Borne aval

La Moder
sortie Haguenau
D37, Bischwiller

SYNTHESE

type Rhin-Meuse
pente du cours d'eau

T6 - cours d'eau de plaines argilo-limoneuses
2.1 ‰

Résultats par compartiments

note paramètres dégradants

A-Morpho-dynamique

Tronçon 01

31

rectification et surcalibrage du lit, enfoncement du lit

B-Hydraulique

Tronçon 01

71

remblais routiers et ZAC

C-Hydrogéologie

Tronçon 01

50

enfoncement du lit susceptible d'impacter la nappe

D-Biogéochimie

Tronçon 01

51

faible autoépuration dans le lit mineur, minceur de la bande rivulaire

D-Écologie terrestre

Tronçon 01

58

cultures en fond de vallée

E-Hydrobiologie

Tronçon 01

55

annexes déconnectées, mise en culture du lit d'inondation

Notes globales

Tronçon 01

physique

51

écologique

57

Notes moyennes

51

57

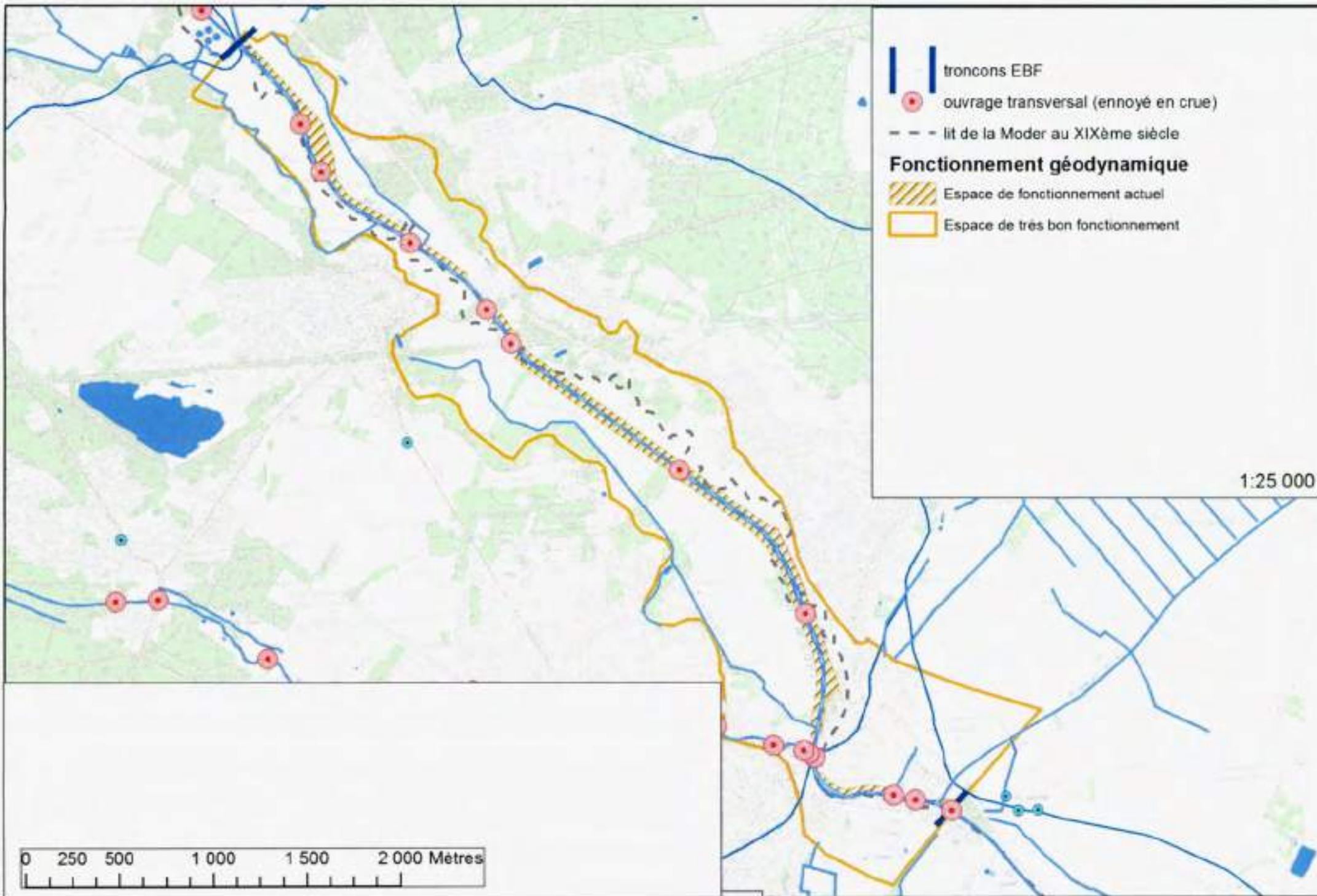
Remarques générales

La Moder a été estimée comme cyprinicole sur ce linéaire. L'inondabilité du lit majeur est sans doute plus faible du fait du surcalibrage du lit mineur ce qui le rendrait moins propice comme zone de frai potentielle. La mise en culture du fond de vallée dégrade fortement cet espace riverain.

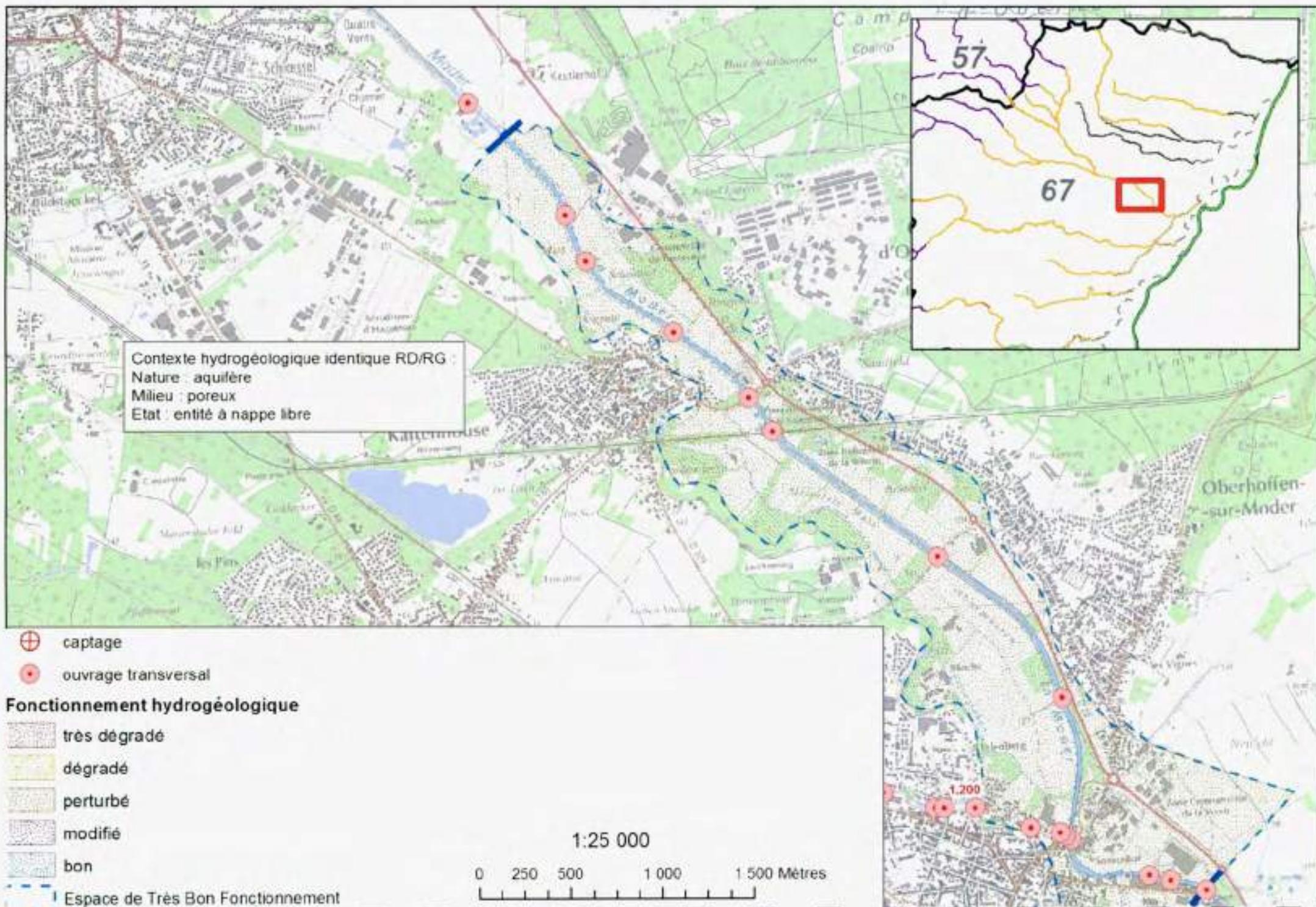
Résultats par tronçons

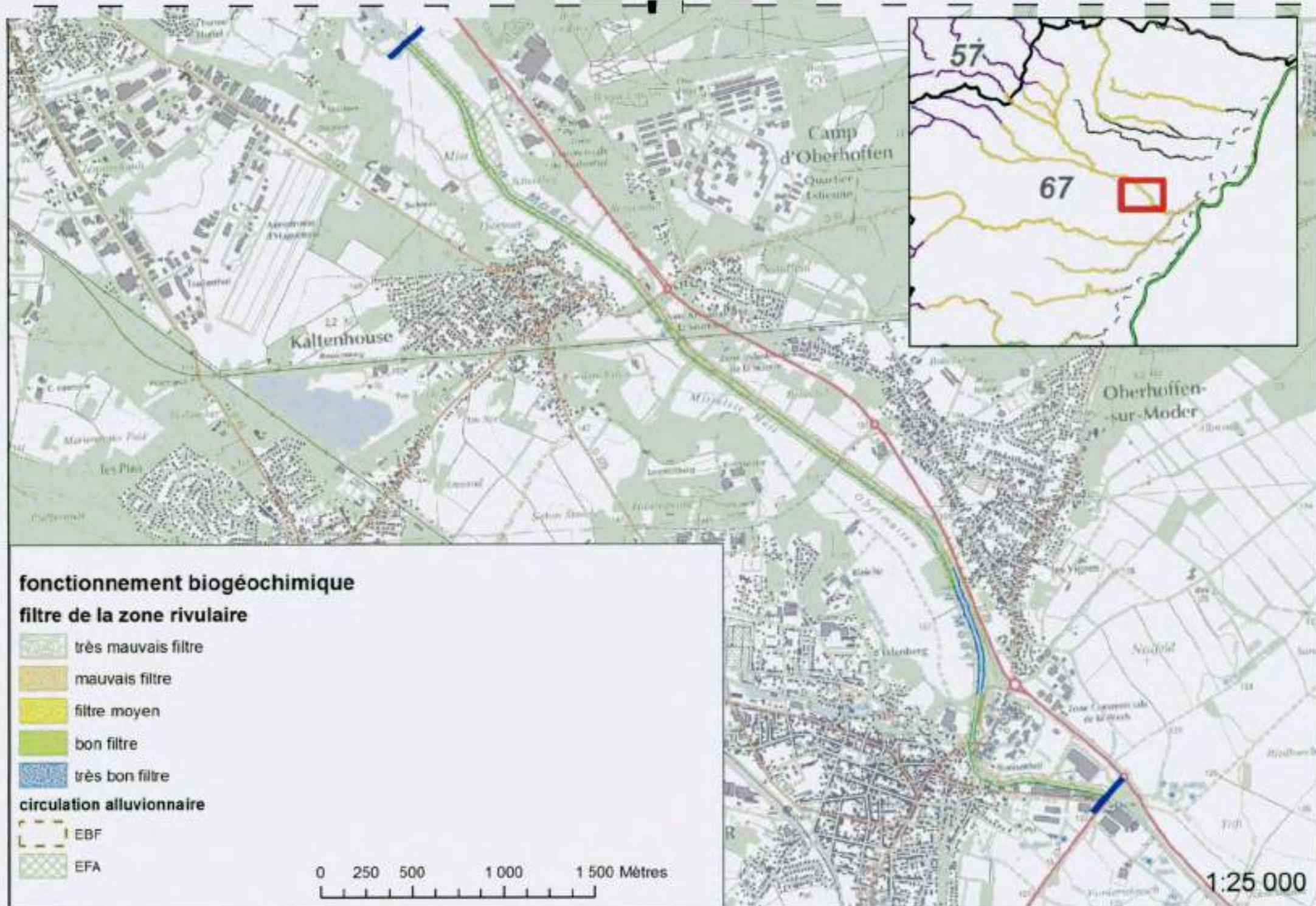
tronçon 01	morpho-dynamique	31
	hydraulique	71
	hydro-géologie	50
	bio-géochimie	51
	écologie terrestre	58
	hydro-biologie	55

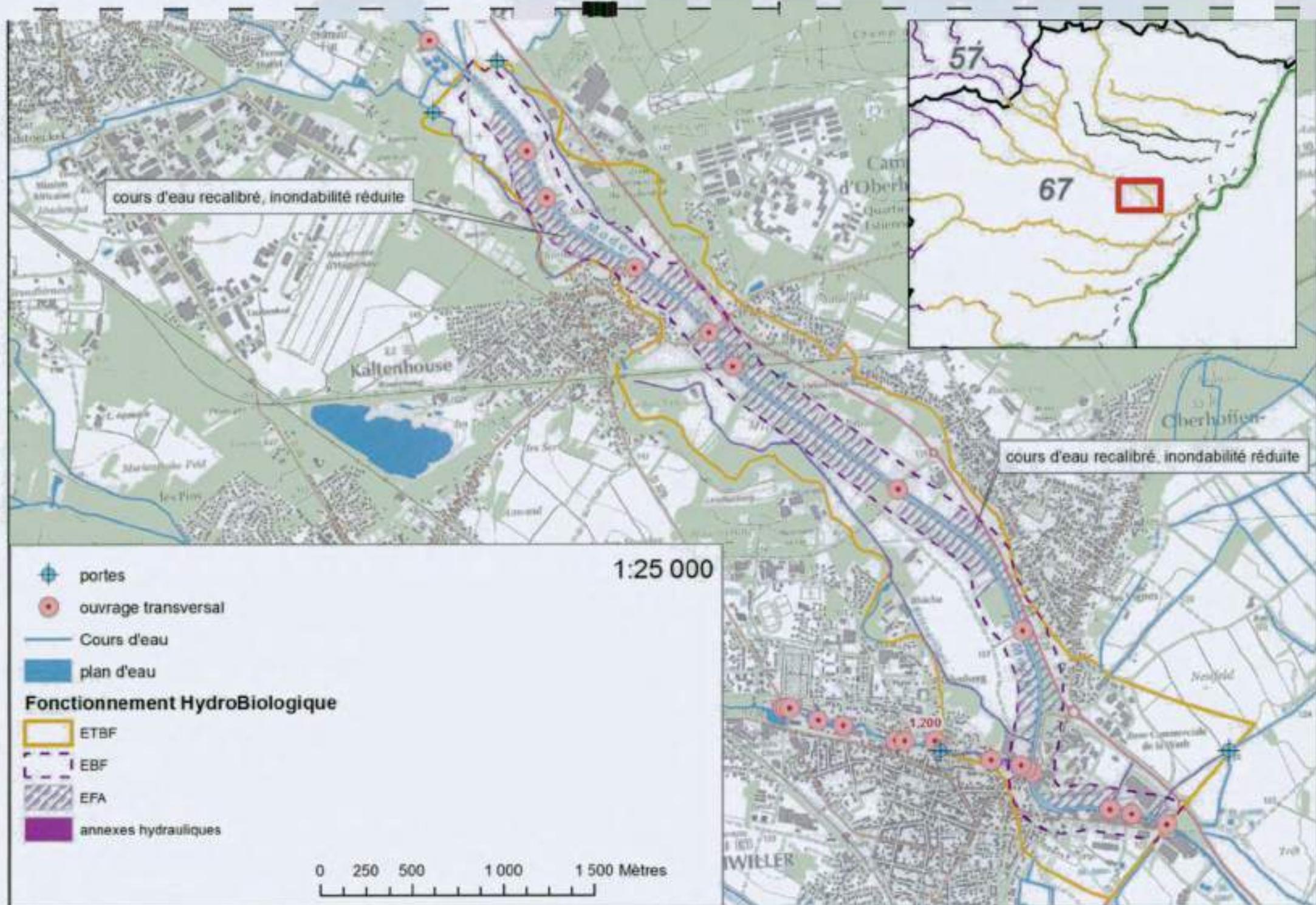












Secteur test :

La Nied

SYNTHESE

Borne amont

Pont de Téting/Nied

Borne aval

Confluence Mohrengreat (aval pont 2X2voies)

type Rhin-Meuse

T6b - cours d'eau de collines argilo-limoneuses

pente du cours d'eau

0.8 ‰

Résultats par compartiments

note paramètres dégradants

A-Morpho-dynamique

V2

Tronçon 01

78

cours d'eau très peu mobile mais rectifié

Tronçon 02

37

mobilité réduite par le traitement du cours d'eau

88

B-Hydraulique

Tronçon 01

100

Lit majeur préservé sauf petit remblais à l'amont du stade

Tronçon 02

100

Lit majeur préservé sauf en RD amont (Pontpierre)

C-Hydrogéologie

Tronçon 01

100

pas de modification significative

Tronçon 02

100

pas de modification significative

D-Biogéochimie

Tronçon 01

42

risque lacunaire fréquemment

Tronçon 02

45

risque lacunaire fréquemment

D-Ecologie terrestre

Tronçon 01

34

cultures en fond de vallée

Tronçon 02

68

cultures en fond de vallée

E-Hydrobiologie

Tronçon 01

85

cyprinicole à inondabilité préservée +, annexes

Tronçon 02

80

cyprinicole à inondabilité préservée +, annexes

Notes globales

physique

écologique

Tronçon 01

85

59

Tronçon 02

67

74

Notes moyennes

76

67

Remarques générales

La note HGM du tronçon Nied_D2 semble sous-estimée : elle est provoquée surtout par la végétation de rive qui ne joue pas de rôle alors que la Nied pourrait ici être plus de caractère PM au lieu de TPM (effet de seuil).

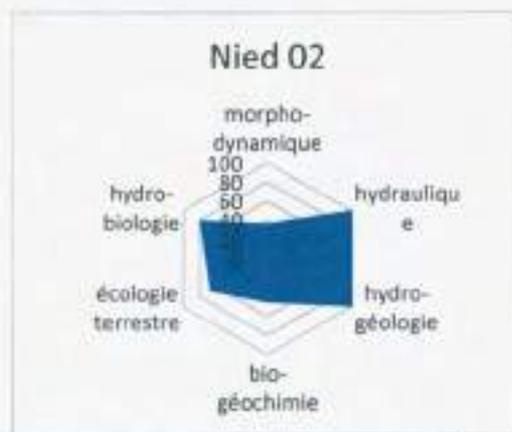
Les notes hydrobio semblent toutes les deux sur-estimées : la largeur de la zone de grand écoulement est sous-estimée par rapport à la réalité : une grande partie du fond de vallée est inondée tous les ans bien au delà de la limite des 10XLpb : au delà de cette zone de nombreuses cultures dégradent l'état de ces frayères potentielles à brochets...

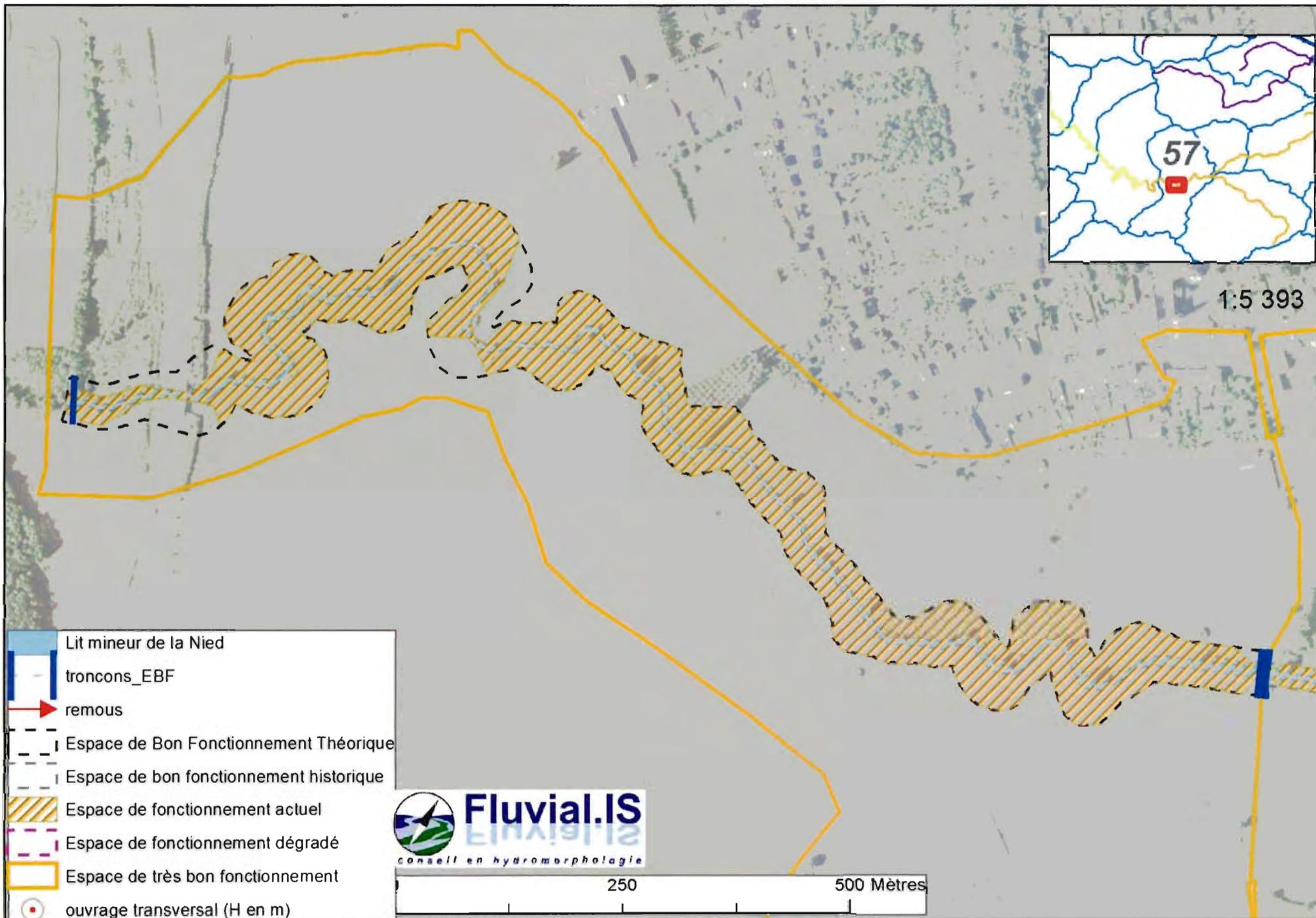
On voit ici que la méthode nécessite des adaptations en fonction des connaissances de l'opérateur : le débit biennal est 4 fois supérieur ici au débit capable, la Nied déborde plusieurs mois par an.

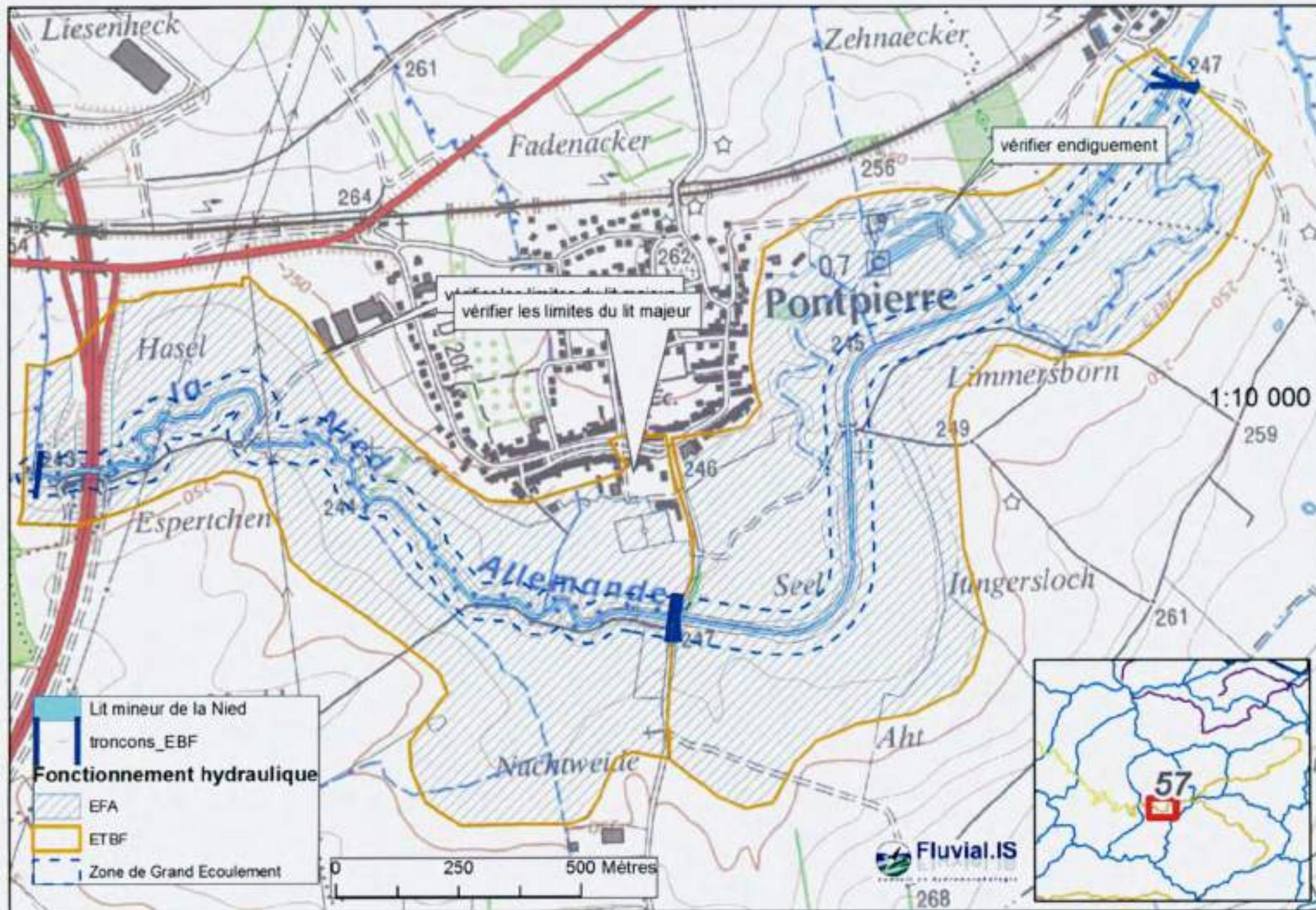
Résultats par tronçons

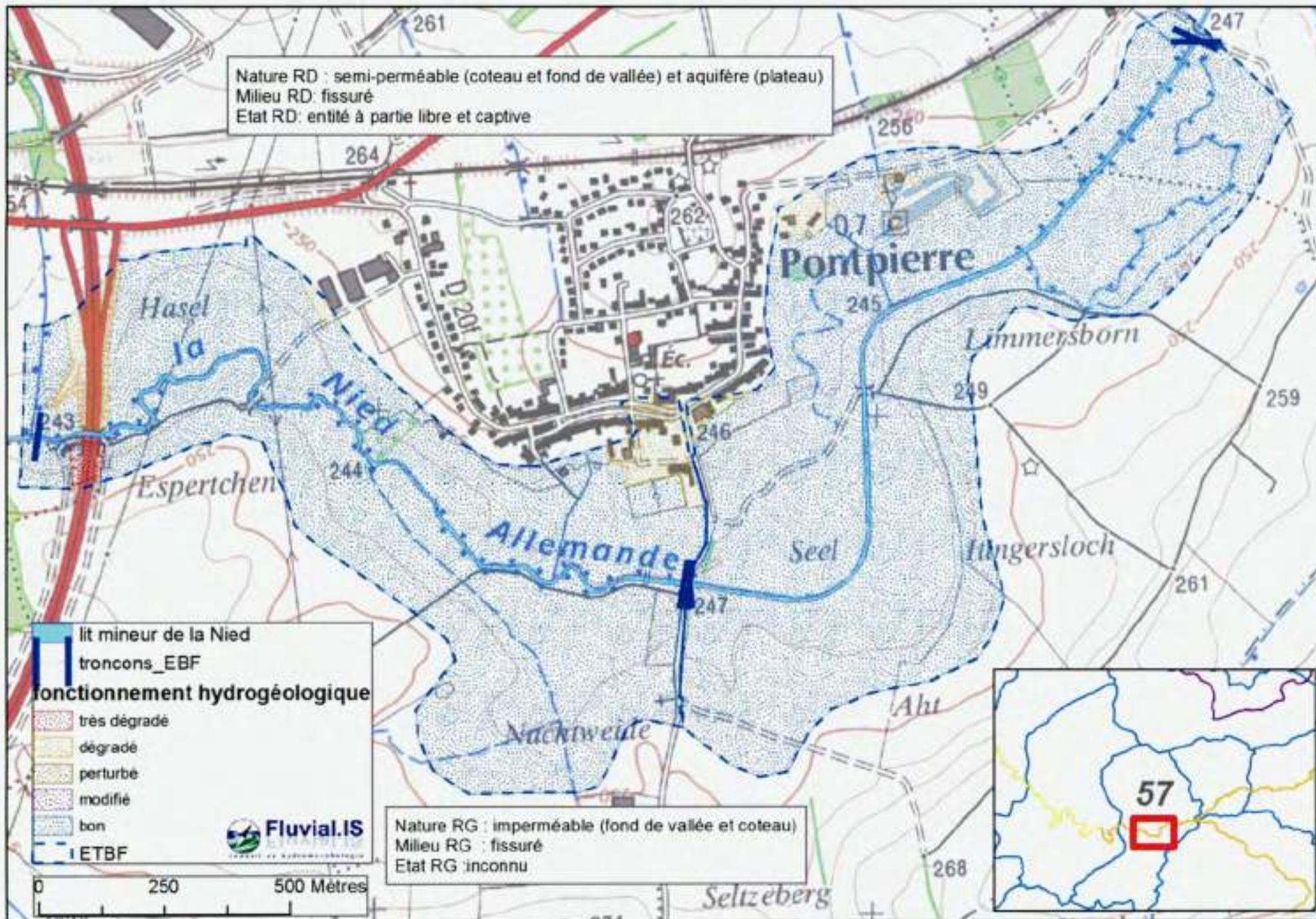
tronçon 01	morpho-dynamique	78
	hydraulique	100
	hydro-géologie	100
	bio-géochimie	42
	écologie terrestre	34
	hydro-biologie	85

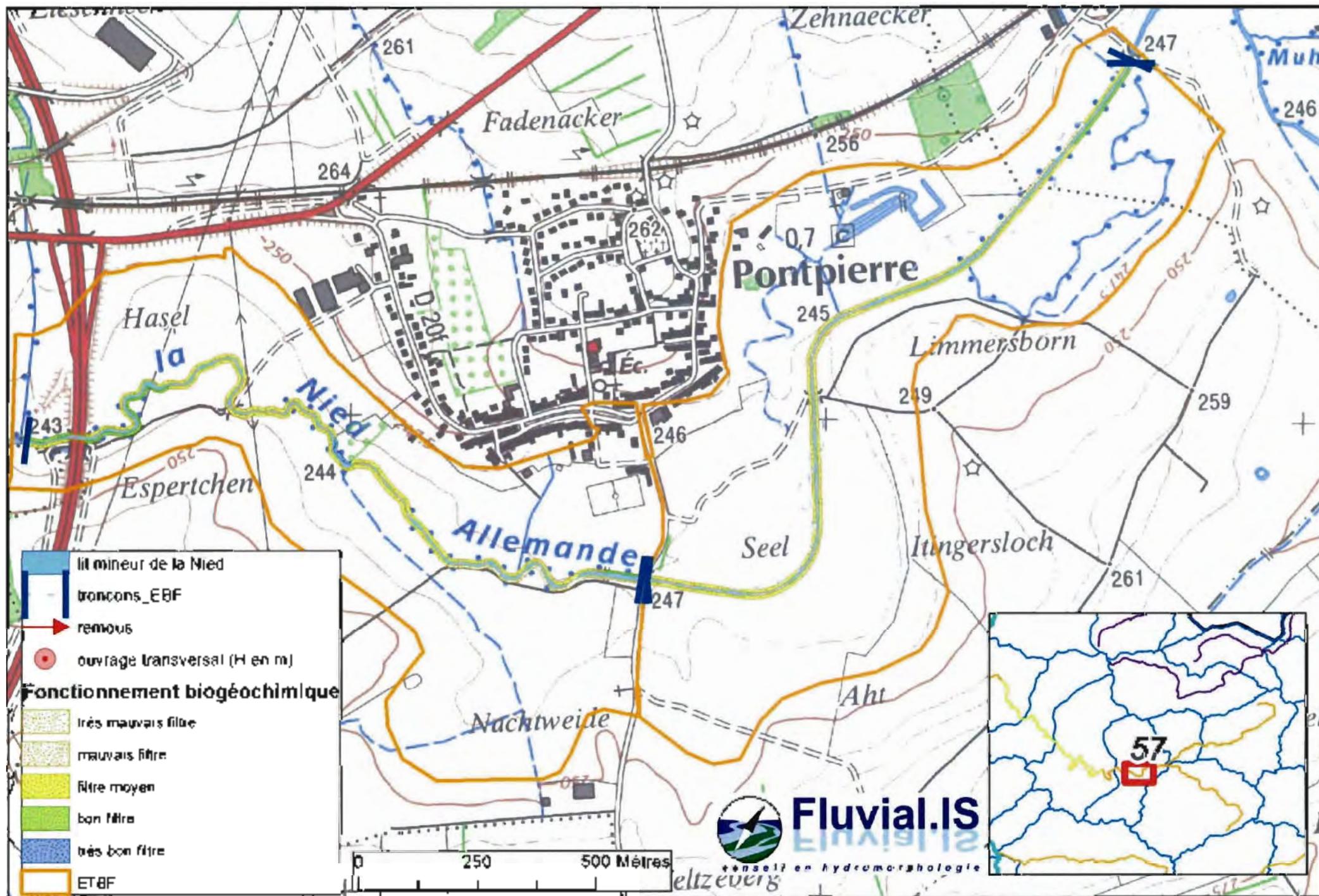
tronçon 02	morpho-dynamique	37	88
	hydraulique	100	
	hydro-géologie	100	
	bio-géochimie	45	
	écologie terrestre	68	
	hydro-biologie	80	

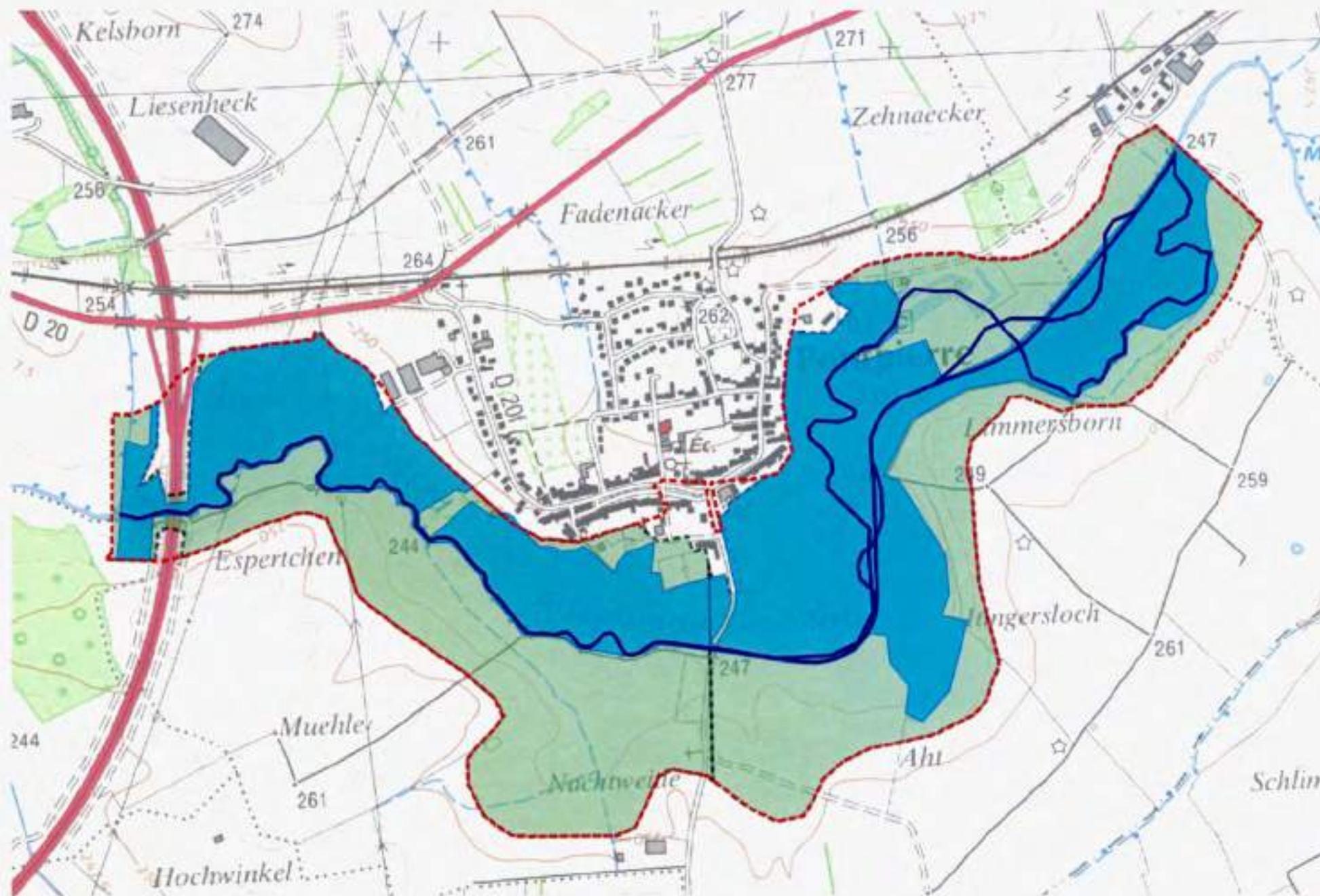






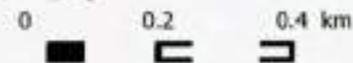


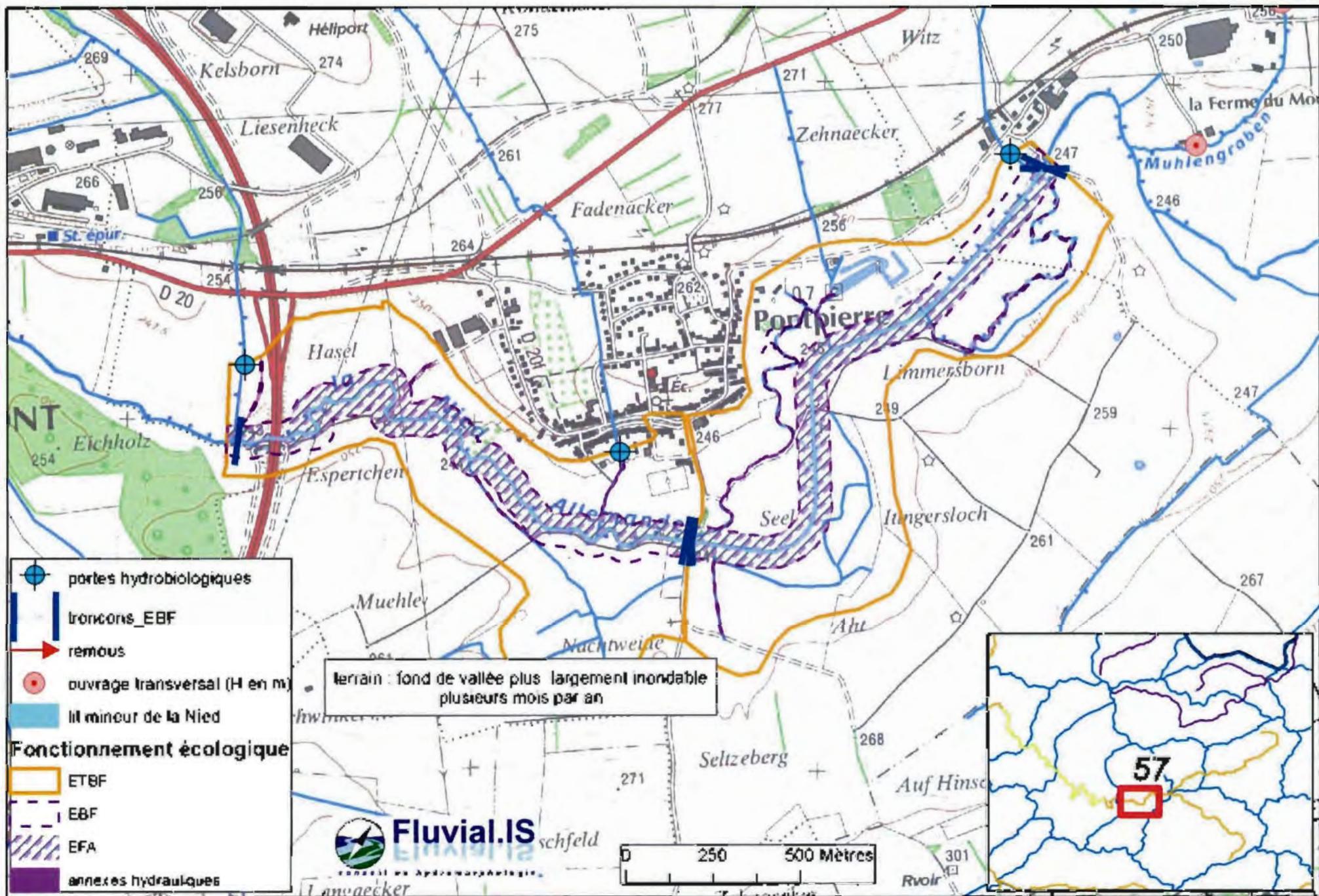




Légende

- ETBF
- EBF
- EFA





Secteur test :
Borne amont
Borne aval

La Seille
Pont D66 à Coin-lès-Cuvry
Pont D113a à Marly

SYNTHESE

type Rhin-Meuse
pente du cours d'eau

T6b - cours d'eau de collines argilo-limoneuses
0.4 ‰

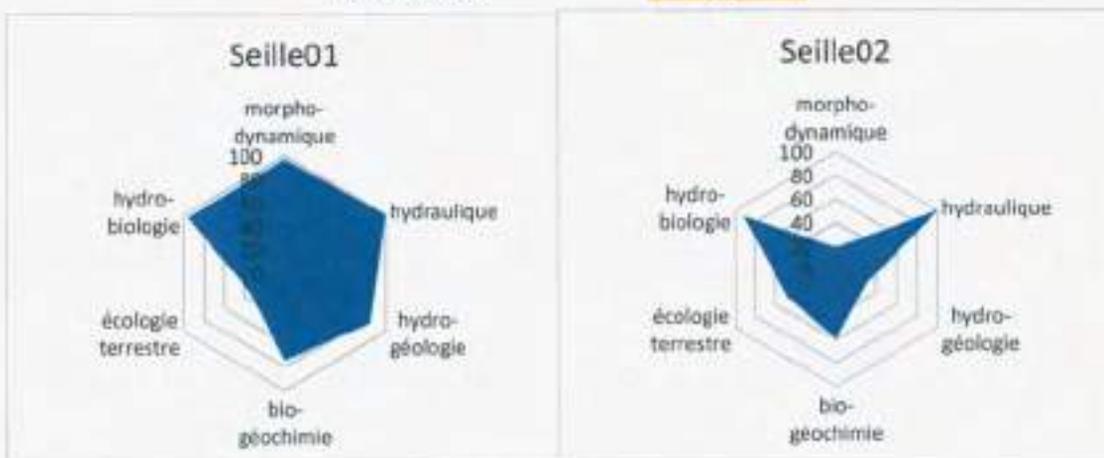
Résultats par compartiments	note	paramètres dégradants
A-Morpho-dynamique		
Tronçon 01	97	Peu de limites en lit majeur
Tronçon 02	18	Zone de retenue à l'amont de l'ouvrage de Marly
Tronçon 03	4	Lit surcalibré, lit majeur urbanisé
B-Hydraulique		
Tronçon 01	100	Lit majeur préservé
Tronçon 02	100	Lit majeur préservé
Tronçon 03	20	Urbanisation de presque tout le lit majeur
C-Hydrogéologie		
Tronçon 01	85	Périmètres de protection rapprochée
Tronçon 02	28	Urbanisation partielle et rehausse de la ligne d'eau
Tronçon 03	35	Urbanisation
D-Biogéochimie		
Tronçon 01	74	Discontinuités de la ripisylve
Tronçon 02	59	risylve lacunaire fréquemment
Tronçon 03	42	zone urbanisée
D-Ecologie terrestre		
Tronçon 01	33	Cultures en lit majeur
Tronçon 02	48	Cultures en lit majeur
Tronçon 03	35	Zone urbanisée
E-Hydrobiologie		
Tronçon 01	96	
Tronçon 02	90	
Tronçon 03	35	zone urbanisée
	Notes globales	physique écologique
	Tronçon 01	92 65
	Tronçon 02	69 69
	Tronçon 03	24 35
	Notes moyennes	62 56

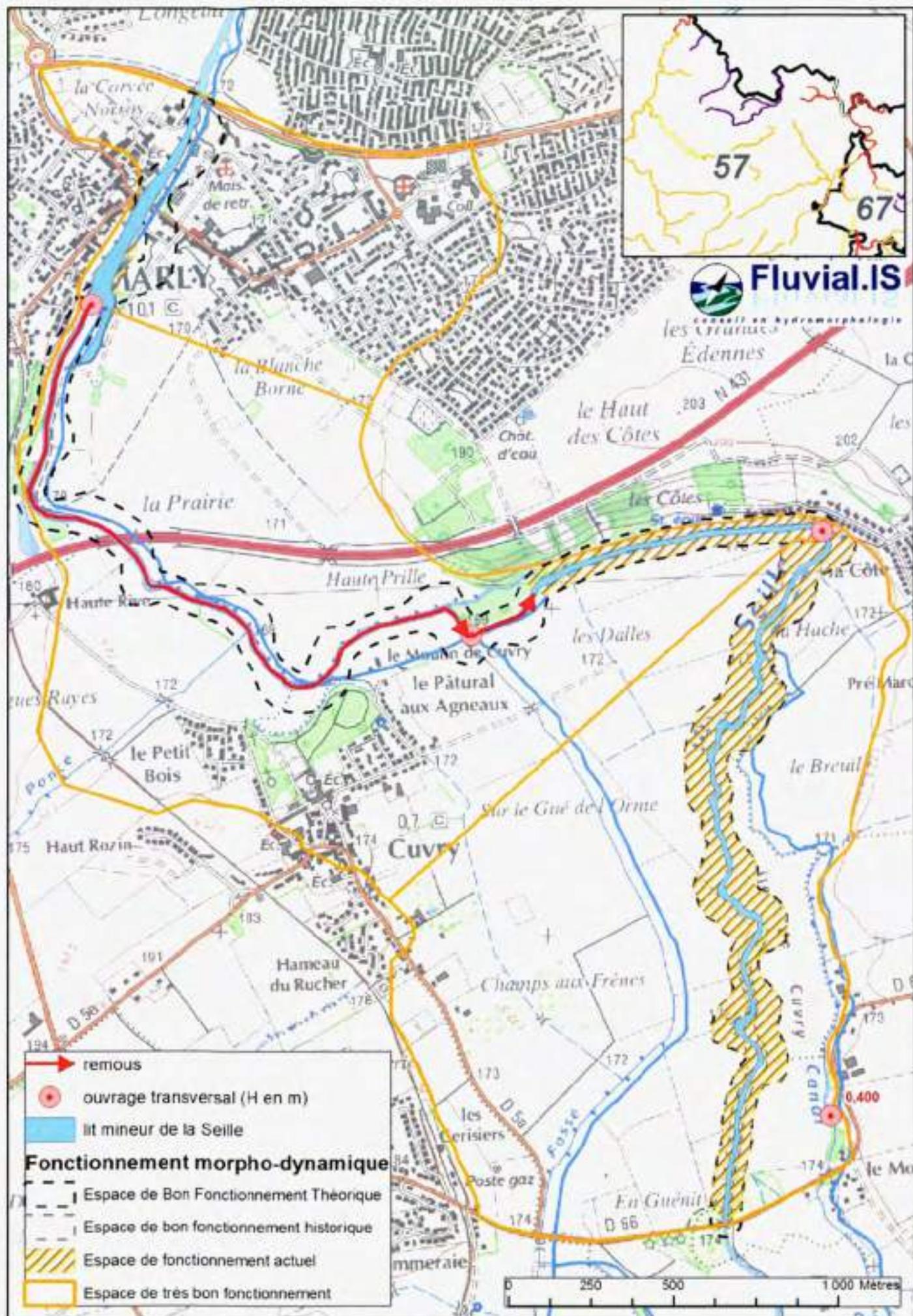
Remarques générales

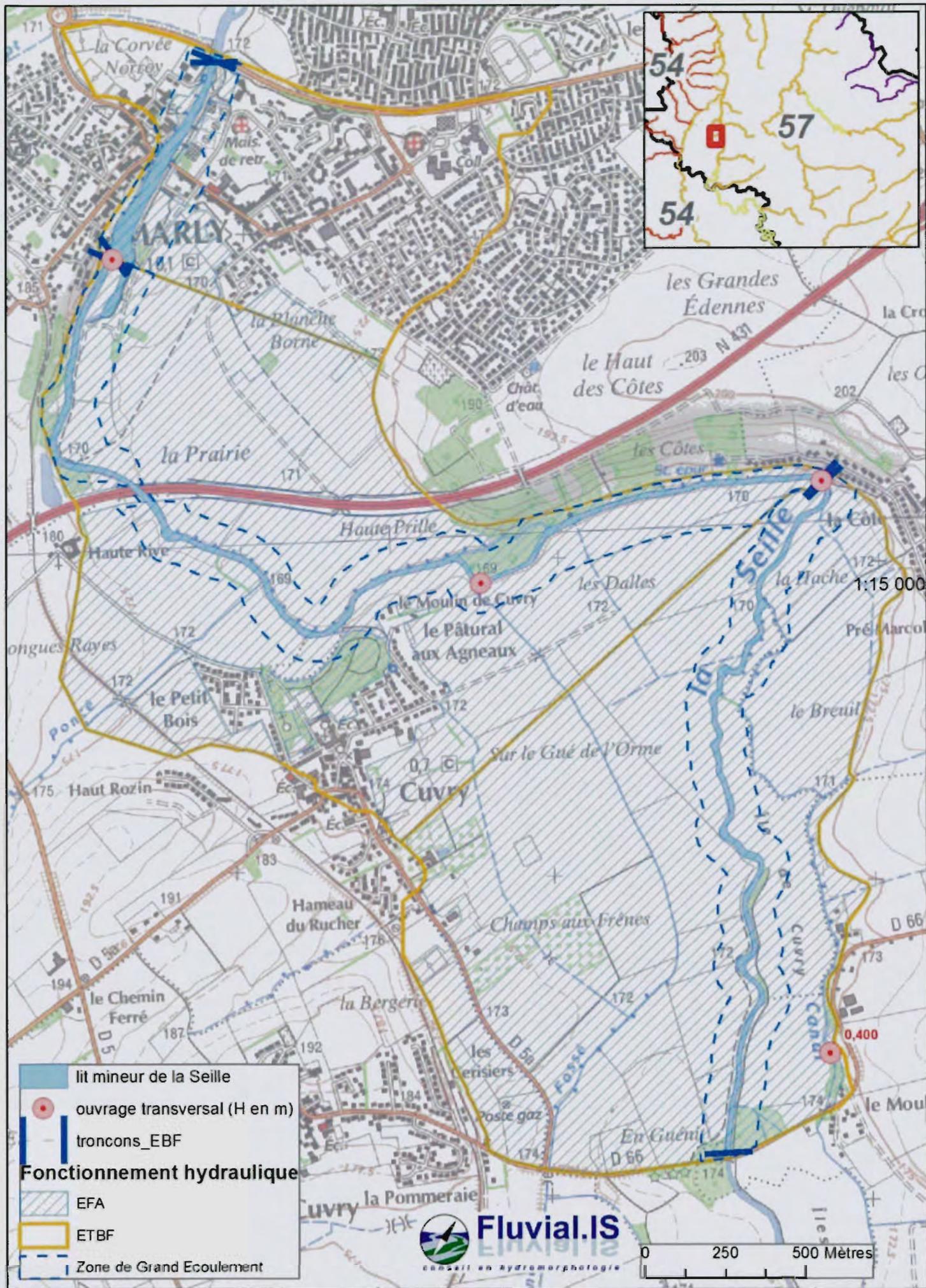
Le contraste est fort entre le tronçon 01 peu impacté dans son fonctionnement (sauf pour l'écologie terrestre du fait des cultures), et l'aval surtout le dernier tronçon. Les causes en sont principalement l'ouvrage de Marly qui impacte la morpho-dynamique et l'hydrogéologie, mais également l'urbanisation du fond de vallée (RN431, village de Cuvry, captages) et la ville de Marly où le lit a été recalibré. Le contexte hydrogéologique imperméable sur le versant Est et semi-perméable sur le versant Ouest rend sans doute les modifications hydrogéologiques de la nappe de la Seille en période d'eau moyennes et d'étiage plus significatives.

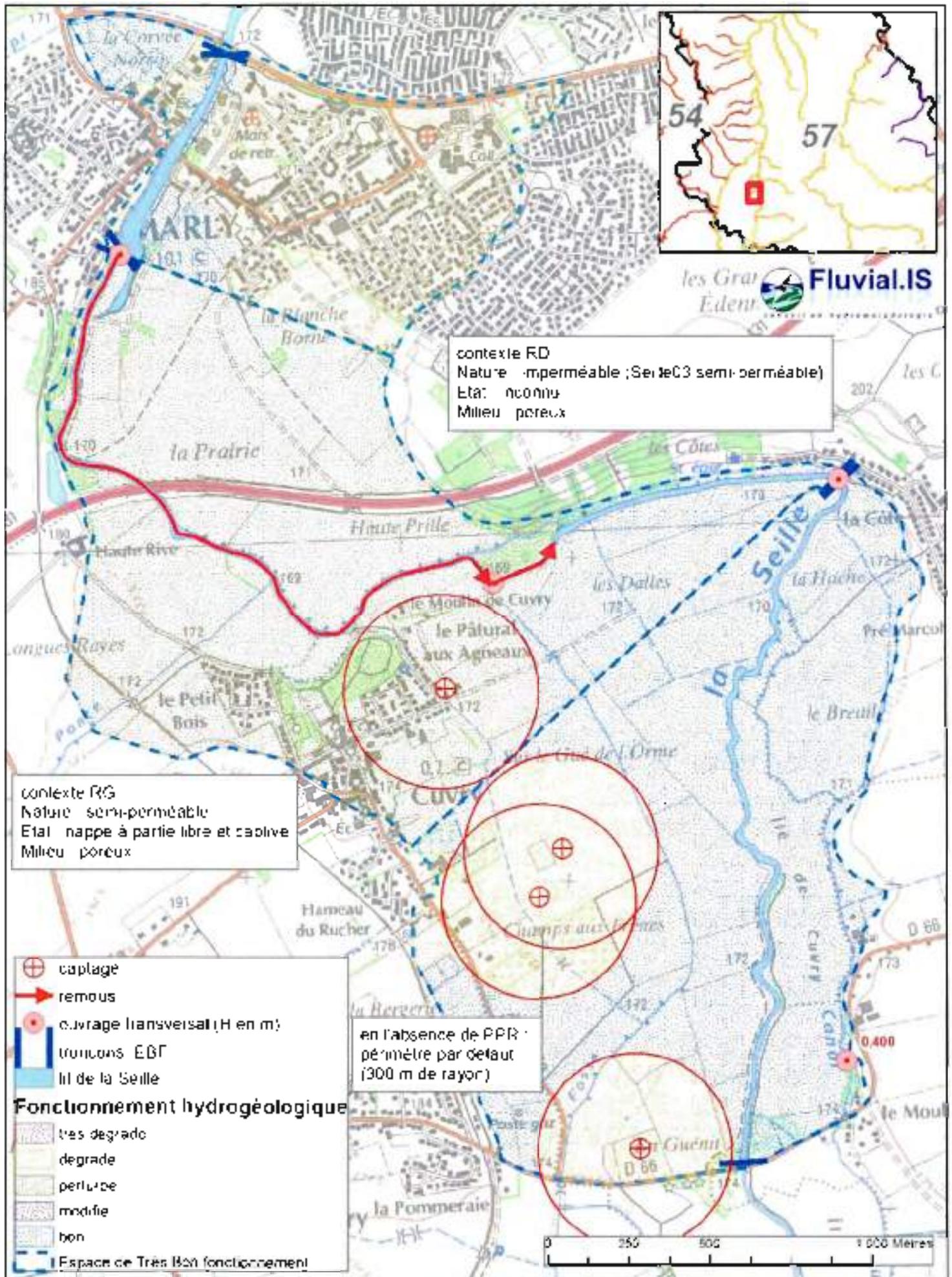
Résultats par tronçons

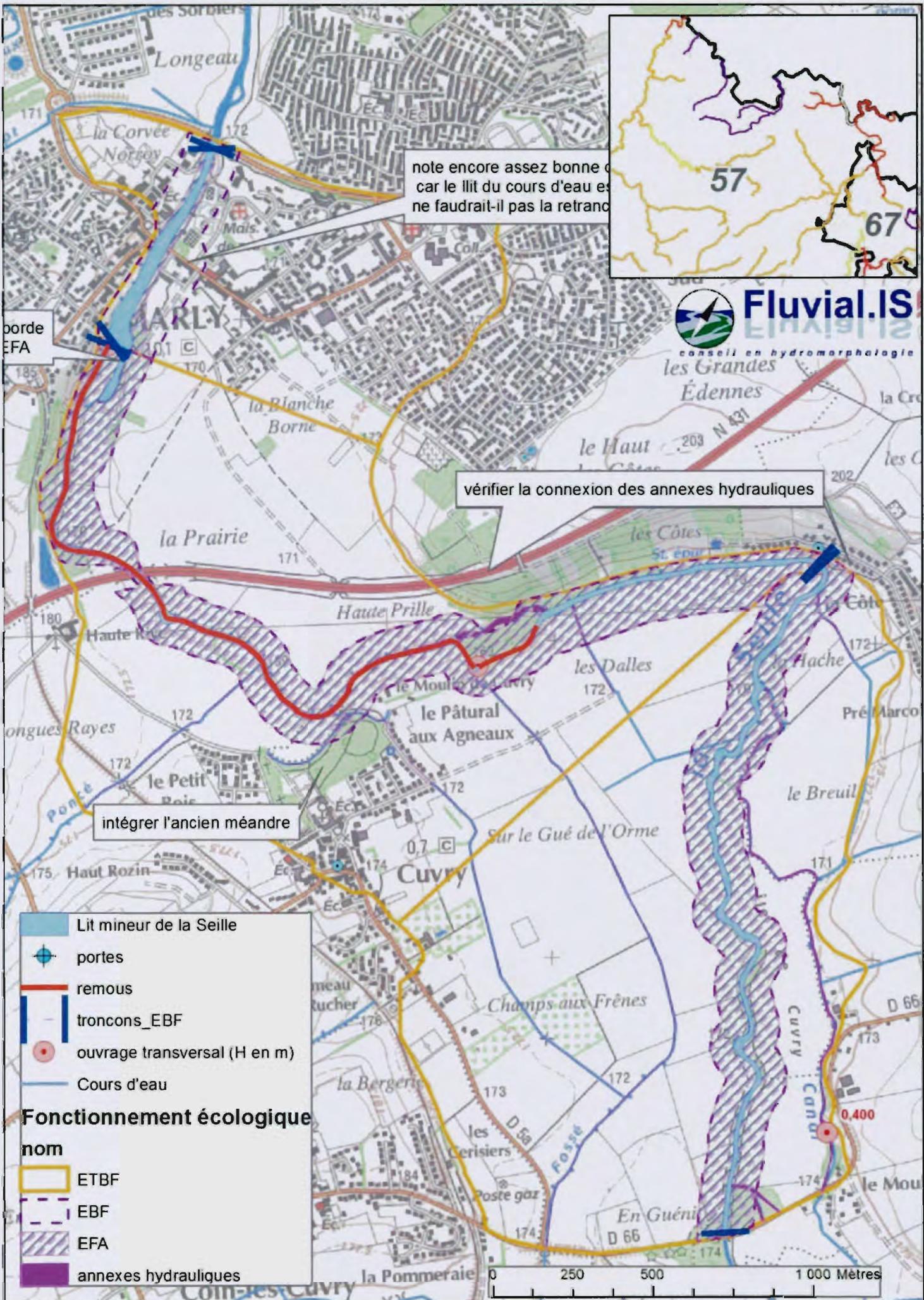
tronçon 01	morpho-dynamique	97
	hydraulique	100
	hydro-géologie	85
	bio-géochimie	74
	écologie terrestre	33
	hydro-biologie	96
tronçon 02	morpho-dynamique	18
	hydraulique	100
	hydro-géologie	28
	bio-géochimie	59
	écologie terrestre	48
	hydro-biologie	90
tronçon 03	morpho-dynamique	4
	hydraulique	20
	hydro-géologie	35
	bio-géochimie	42
	écologie terrestre	35
	hydro-biologie	35











note encore assez bonne car le lit du cours d'eau ne faudrait-il pas la retranc

intégrer l'ancien méandre

vérifier la connexion des annexes hydrauliques

Fluvial.IS
conseil en hydromorphologie

borde EFA

Fonctionnement écologique

- ETBF
- EBF
- EFA
- annexes hydrauliques

0 250 500 1 000 Mètres