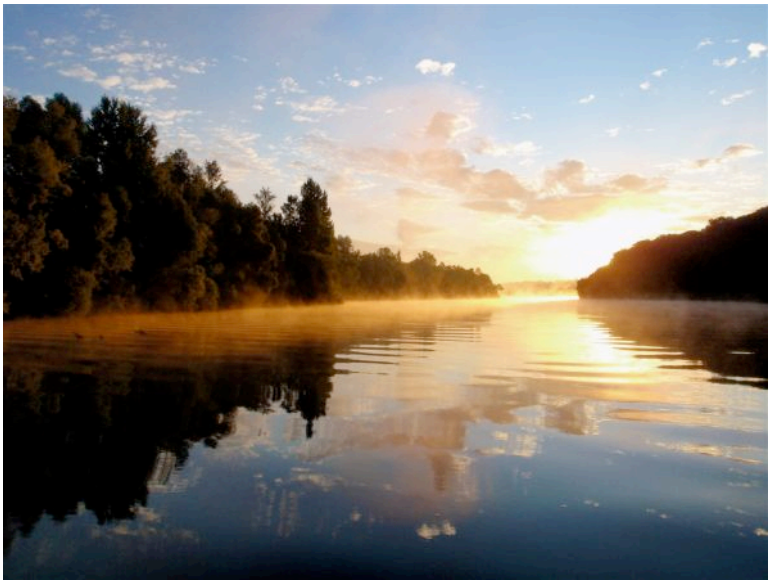
Fédération du Jura pour la Pêche
et la Protection du Milieu Aquatique

395 rue Bercaille - 39 000 Lons le Saunier
Tél. 03 84 24 86 96 - Fax. 03 84 24 96 31
E-mail : fede39@free.fr - Site : http://www.peche-jura.com/

Potentiels piscicoles, ressources halieutiques et qualité du Doubs entre Fraisans et Dole



Etude réalisée par TELEOS-Suisse

DEGIORGI François (rapporteur)
GOGUILLY Michael
PERIAT Guy
PARIS Jonathan
DECOURCIERE Hervé
TOURREAU Gregory

pour et avec l'appui logistique et technique de

La Fédération des AAPPMA du Jura
L'APPMA la Gaule du Bas-Jura
L'APPMA FRD

Février 2013

Sommaire

Introduction : contexte et problématique **4**

Potentiel et altérations du Doubs **4**

La problématique du partage des ressources halieutiques **6**

Objectifs et articulation de l'étude **7**

1. Contenu et modalités de l'étude : milieux et méthodes **8**

Domaine géographique et dispositif d'étude spatial **8**

Crible phénoménologique **10**

Investigations ichtyologiques **10**

Mesure physiques et physico-chimiques conjointes **11**

2. Structure et dynamique des peuplements piscicoles **12**

Méthode de diagnose des peuplements piscicoles **12**

Protocole d'échantillonnage 12
Codage des données 14
Principe d'interprétation à l'aide de la biotypologie 15
Modalités d'échantillonnage du Doubs navigable jurassien 16

Résultats des inventaires ichtyologiques **18**

Éléments de typologie 18
Composition qualitative des peuplements 20
Rendements de captures 23

Structures et organisation spatiale des peuplements **26**

Structures stationnelles 26
Répartition spatiale des captures 28
Structure et répartition des populations 33
Synthèse sur l'état des peuplements 39

3. Relations entre qualité du Doubs et potentiel piscicole **44**

Qualité des mosaïques d'habitat à l'échelle stationnelle **45**

Mise en œuvre de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique 45
Caractérisation des mosaïques d'habitat 47
Évaluation des capacités biogènes liées à l'habitat aquatique 49

Qualité de la mosaïque des biotopes à l'échelle du tronçon. **51**

Méthode des tronçons : mise en œuvre sur le Doubs 51
Application aux 6 unités hydrauliques jalonnant le Doubs 53
Bilan et causes des altérations de la qualité physique du Doubs 63

Aperçu sur le degré de contamination chimique du Doubs **73**

Recherche de contaminants dans les poissons 73
Taux de PCB dans la chair de 4 espèces de poisson du Doubs 74
Taux d'ETM dans la chair de 4 espèces de poisson du Doubs 75
Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments 76

Bilan d'étape sur la qualité du Doubs entre Fraisans et Dole **76**

4. Restauration des potentiels piscicoles **77**

Stratégies de restauration de la qualité physique **77**

Principes et modalités de restauration 77
Restauration des mortes 78
Restauration des affluents 81
Amélioration de la connectivité latérale : décaissage des berges 82
Restauration de la connectivité longitudinale 84
Amélioration de la qualité des mosaïques d'habitats aquatiques 86
Gestion de la ripisylve 88

Déclinaison sur les 6 tronçons étudiés **90**

Tronçon A : entre Fraisans et Rans 90
Tronçon B: la Boucle d'Etrépigney 92
Tronçon C : l'amont d'Orchamps 93
Tronçon D : l'aval d'Orchamps jusqu'à Audelange 96
Tronçon E : d'Audelange à Rochefort sur Nénon 98
Tronçon F : de Rochefort à l'amont de Dole 100

Amélioration de la gestion halieutique **103**

Amélioration des suivis de capture 103
Augmentation de la taille de capture pour le brochet et le sandre 104
Répartition de la pression de pêche professionnelle 105
Valorisation de la ressource « silure » 105

Synthèse, conclusions et perspectives **107**

Synoptique sur l'état des potentiels piscicoles **107**

Causes d'altération et propositions de restauration **108**

Pré-chiffrage des actions de restauration **109**

Bibliographie citée et utilisée **110**

Liste des annexes (en fascicules séparés) **113**

Potentiels piscicoles, ressources halieutiques et qualité du Doubs entre Fraisans et Dole

Évaluation de la structure quantitative et de l'organisation spatiale de l'ichtyofaune du Doubs entre Fraisans et Dole en 2011, en relation avec ses variations de qualité pour servir de base à un système de gestion rationnelle de la ressource piscicole

Introduction : contexte et problématique

Potentiel et altérations du Doubs

Dans sa partie basale, le Doubs arrose le département du Jura sur plusieurs dizaines de kilomètres. Entre Fraisans et Dole, cette large rivière calcaire à faible pente, originellement méandriforme, présente de fortes capacités biologiques potentielles, et bénéficie de contrastes écologiques notoires.

En effet, elle s'écoule entre les cailloutis siliceux du massif forestier de Chaux, au sud, et une alternance de plateaux ainsi que d'avant-monts karstiques, au nord, enserrant eux-mêmes le massif gréso-granitique de la Serre (fig. 1). En outre, grâce à ses multiples alimentations, elle compose une mosaïque de types écologiques allant de la basse zone à Ombre à la zone à Brême en passant par la zone à Barbeau (VERNEAUX 1973).

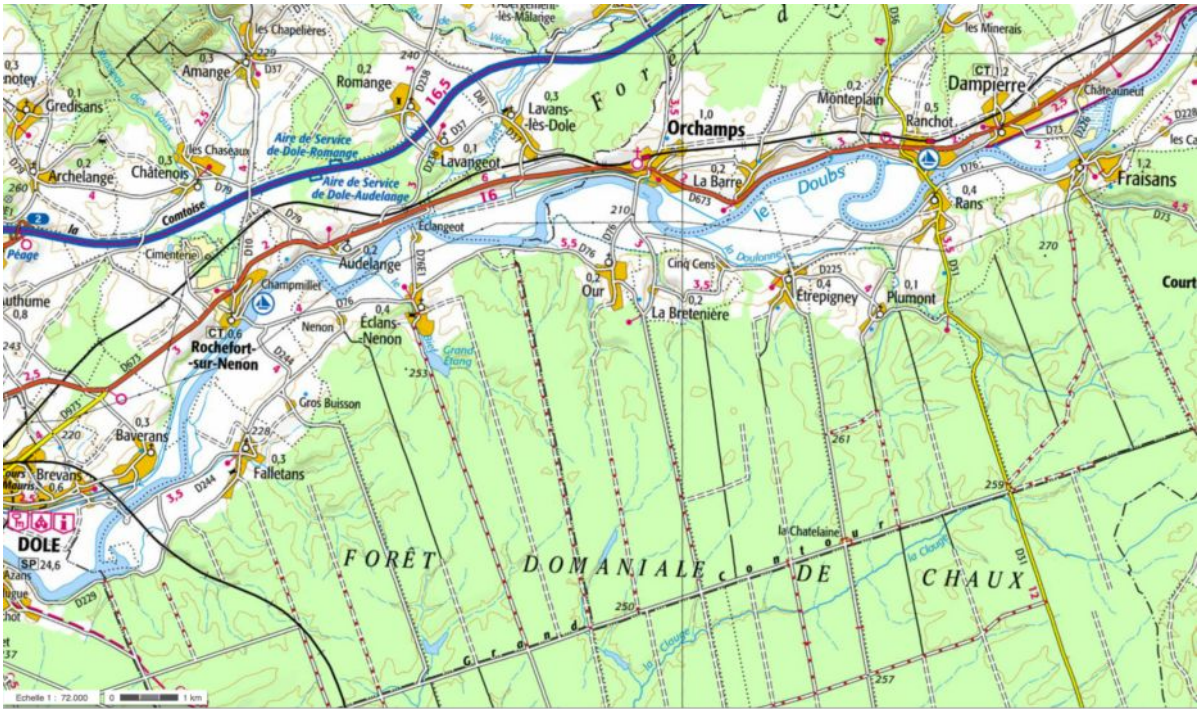


Figure 1. La vallée du Doubs entre Fraisans et Dole (39) ; source geoportail.fr

Cette diversité typologique, combinée avec la morphologie méandriforme du chenal ainsi qu'avec sa connexion originelle à de très nombreux systèmes latéraux, se traduit, pour le corridor fluvial, par une forte richesse biologique potentielle. Le Doubs basal est ainsi susceptible d'abriter les richesses spécifiques piscicoles les plus élevées que l'on puisse rencontrer en France dans un même site. Il est en effet possible de capturer de 24 à 32 espèces dans chaque bief, c'est-à-dire dans chaque portion de 2 à 4 Km linéaire (VERNEAUX 1981, CSP RHP DR5 1994).

En outre, en l'absence de perturbation majeure, la diversité des mosaïques d'habitats aquatiques et le fort taux de minéralisation naturelle favorisent le développement optimal des espèces électives des cours d'eau potamiques. Les carnassiers comme la lotte, le brochet, le sandre et le black bass sont ainsi susceptibles de présenter simultanément des abondances élevées.

Cependant, le Doubs est depuis longtemps en butte à de nombreuses altérations d'origine anthropique : chenalisation, extraction, artificialisation des débits, rejets domestiques et agricoles... Aussi, la qualité de l'eau et des sédiments présente depuis plusieurs décennies plusieurs signes d'altérations. Parallèlement, les mosaïques d'habitats ont été progressivement uniformisées et banalisées.

Corrélativement, selon les secteurs et les époques, les peuplements piscicoles apparaissent déséquilibrés, appauvris ou complètement déstructurés (VERNEAUX 1973, CETEGREF 1982, ISTE 1993, CSP RHP DR5 1994-1995, ARALEPBP 1997, SDVP39 1987-2001, GREBE 1992…). Les peuplements sont ultra-dominés par des espèces ubiquistes comme la brème et le gardon, tandis que les espèces sensibles montrent des tendances à la régression (FRUGET et al. 1998).

En particulier, les stocks de brochets et surtout de lottes, dont le cycle vital nécessite la fonctionnalité des zones inondables et des connexions entre le chenal et les systèmes latéraux, sont grevés de déficits prononcés (SDVP 39 1987-2001, ONEMA 2007). Parallèlement, les poissons sensibles aux altérations de la qualité de l'eau et à la diminution des débits d'étiage, comme l'ombre et la truite, ici à la limite de leur répartition typologique, mais aussi le spirlin ou la vandoise, électifs des types rencontrés, sont en diminution nette. Le toxostome et le blageon semblent, eux, avoir disparu.

En outre, pour raisons s'exerçant à d'autres échelles, les espèces migratrices comme l'anguille sont en voie de disparition tandis que l'alose a depuis longtemps disparu du Doubs. Enfin, les poissons benthiques qui peuplent encore le Doubs en abondance notoire (barbeau et brème, par exemple) sont d'après les séries de mesures réalisées en 2008 contaminés par des PCB (données AE RMC).

Le potentiel biologique résiduel semble tout de même se maintenir, sans doute grâce à la variété et à la multiplicité des systèmes latéraux qui émaillent la vallée du Doubs. En effet, les mortes ont une importance cruciale pour le poisson en particulier (rôles de refuge, frayères, nurseries, réserve de nourriture…), mais aussi pour les processus de transferts des nutriments et donc d'autoépuration. Cependant, comme dans le cas de la Basse-Loue, les milieux annexes du Doubs médian, perchés au-dessus d'un lit mineur chenalisé et enfoncé, sont menacés de colmatage voire d'oblitération.

La problématique du partage des ressources halieutiques

Dans ce contexte, la question se pose aux gestionnaires de ce territoire du partage de la ressource halieutique ainsi que de l'amélioration de la gestion de la pêche. Pourtant, en 2007, la pêche professionnelle a été autorisée sur plusieurs lots du Doubs « navigable » jurassien compris entre Roulans et Dole, sans qu'un état initial des peuplements piscicole n'ait été réalisé.

La pêche professionnelle a d'abord été autorisée sur les lots n° 14, 18, 20 et 22. (fig. 2). Puis, en 2008, le lot n° 12 a été lui aussi « ouvert » à cette activité, mais on ne sait pas vraiment quel a été son degré d'exploitation. En effet, le professionnel à qui il a été attribué a semblé peu actif, et il ne nous a pas été possible de le contacter. En outre, 3 des 5 lots exploités professionnellement (n° 18, 20 et 22) sont situés dans la partie amont du linéaire considéré, sur le parcours de la seule AAPPMA FRD (Fraisans Rans Dampierre). Les deux autres lots concernés par ce type de pêche sont situés sur le parcours géré par la Gaule du Bas Jura.

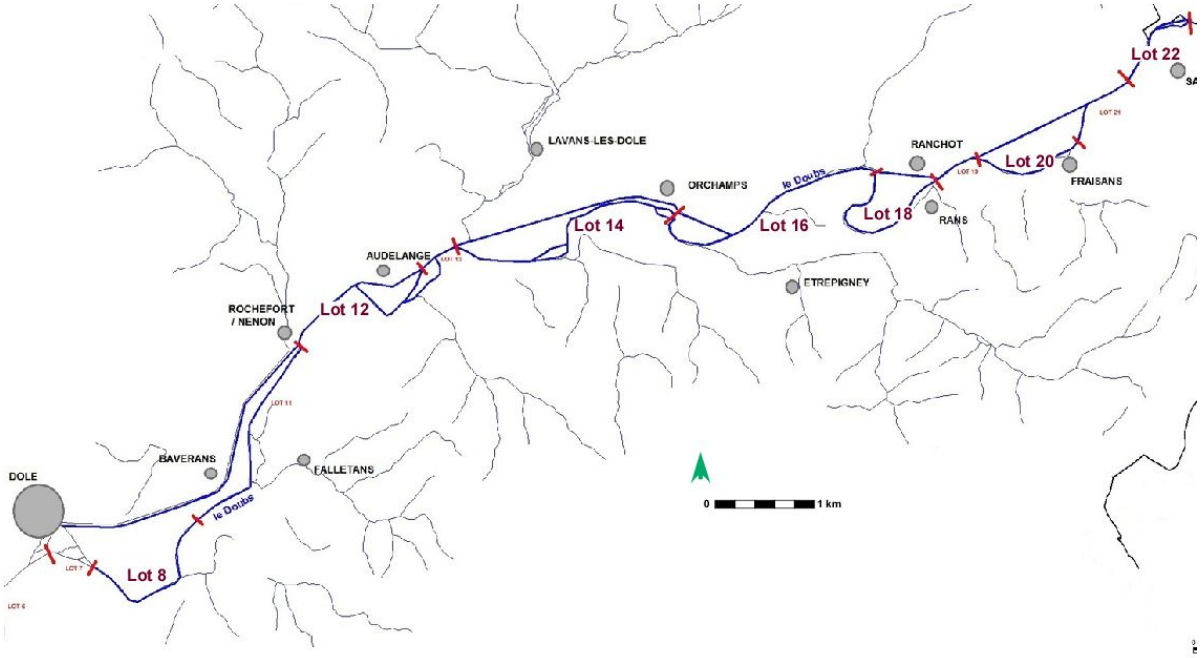


Figure 2. Délimitation des lots de pêche sur le Doubs navigable jurassien (39) ; source : Fédération des AAPPMA du Jura

En 2011, 4 années après l'ouverture à la pêche professionnelle, les pêcheurs à la ligne des deux AAPPMA dénoncent une baisse importante des ressources halieutiques. Ces témoignages des observateurs de terrain doivent être pris en compte, mais aucune étude scientifique n'est venue les appuyer. Parallèlement, les statistiques sur les différents prélèvements halieutiques tant amateurs que professionnels sont lacunaires et imprécis.

Par conséquent, les baux de pêches ont été renouvelés en 2011 pour la période allant de 2012 à 2015 inclus, au bénéfice du doute en faveur des pêcheurs professionnels. Toutefois, à la demande de FRD, l'autorisation de pêche professionnelle attribuée au lot 18 a été déplacée vers le lot 16.

Finalement, sur cette portion du Doubs, longue de plus de 50 Km, aucune étude scientifique sérieuse et complète n'a été réalisée depuis 1992 (FRUGET et al. 1998). Encore ce diagnostic, effectué dans le cadre de la réactualisation de l'étude d'impact du projet « Grand Canal » pilotée par la CNR, n'a-t-il concerné qu'une partie du linéaire considéré. En effet, un seul inventaire a été réalisé à cette occasion, au filet et à l'aide d'électricité, mais sur une seule station (amont d'Orchamps) et durant une seule saison (ISTE1993 ; ARALEPBP 1997).

Objectifs et articulation de l'étude

Il devenait donc urgent de disposer des connaissances nécessaires pour pouvoir fonder, à l'horizon du renouvellement des baux en 2015, une gestion halieutique rationnelle et harmonieuse, ainsi que pour préserver ou améliorer les potentiels piscicoles du Doubs. En réponse à cette problématique, le dispositif d'étude a été conçu pour comparer les structures et la dynamique des peuplements associés à des secteurs ouverts ou non à la pêche professionnelle.

Pour atteindre cet objectif, des méthodes comparatives se devaient d'être mises en œuvre. Simultanément, il convenait d'acquérir les données mésologiques permettant de prédire les potentiels piscicoles optimaux, puis de caractériser la qualité des mosaïques d'habitat aquatique et humide du système fluvial.

Ces mesures conjointes sont en effet indispensables pour interpréter la structure quantitative, la répartition et l'évolution des peuplements de poissons des différents secteurs étudiés. Elles sont aussi nécessaires pour démêler les impacts relatifs, sur la structure et la dynamique de l'ichtyofaune, d'une part, des différents types de pressions de pêche, et, d'autre part, des altérations subies par le milieu.

L'étude comparative des structures des peuplements et des populations piscicoles de plusieurs secteurs du Doubs navigable jurassien, soumis ou non à la pêche professionnelle a donc été conçue pour pouvoir déboucher sur un diagnostic écosystémique. La démarche a également été construite de façon à fournir les éléments rationnels pertinents permettant de fonder des propositions de remédiation en hiérarchisant l'intérêt et la portée des mesures de gestion, d'aménagement ou et d'épuration.

Dans cette optique, la démarche a été menée en suivant les étapes suivantes, qui constituent autant d'objectifs logiquement articulés.

1°. Mise en place du dispositif d'étude par comparaison de sites soumis à différents type de pression de pêche à l'aide de méthodes comparatives pertinentes.
2°. Diagnostic comparatif de l'état de santé des peuplements piscicoles des différents sites étudiés compte tenu de leurs variations spatio-temporelles.
3°. Évaluation des différences de qualité physique et chimique pour interpréter les variations de densités piscicoles puis pour hiérarchiser l'importance relative des pressions halieutiques par rapport à d'éventuelles perturbations du milieu.
4°. Recherches des causes premières des éventuelles altérations et propositions d'actions coordonnées pour restaurer la qualité du Doubs navigable jurassien, puis pour y fonder le cadre d'une gestion halieutique harmonieuse.

1. Contenu et modalités de l'étude : milieux et méthodes

Domaine géographique et dispositif d'étude spatial

Le domaine d'étude recouvre le Doubs jurassien « navigable », entre Fraisans et Dole, et s'étend sur 50 Km de linéaire. Les aménagements structurant la rivière depuis près de deux siècles pour la rendre navigable ont nécessité, sur ce secteur, la construction de 6 barrages.

Ces ouvrages de 1 à 3 mètres de dénivelé franc ont divisé le cours d'eau en autant d'unités qui sont elles-mêmes fragmentées chacune en trois compartiments hydrauliques (fig. 3) :

1. Un « bief » navigable composé d'une portion du Doubs creusée et chenalisée, dans laquelle le niveau d'eau est maintenu constant par un barrage.
2. Un canal alimenté par le plan d'eau ainsi ménagé et qui joint les biefs navigables par l'intermédiaire d'un système d'écluse pour passer d'un niveau à l'autre.
3. Un tronçon court-circuité (TCC) constitué du lit « naturel » du Doubs, mais dont le débit d'étiage est réduit à la valeur réservée définie par le règlement d'eau ; la plupart des TCC sont au moins partiellement sous l'influence du barrage aval.

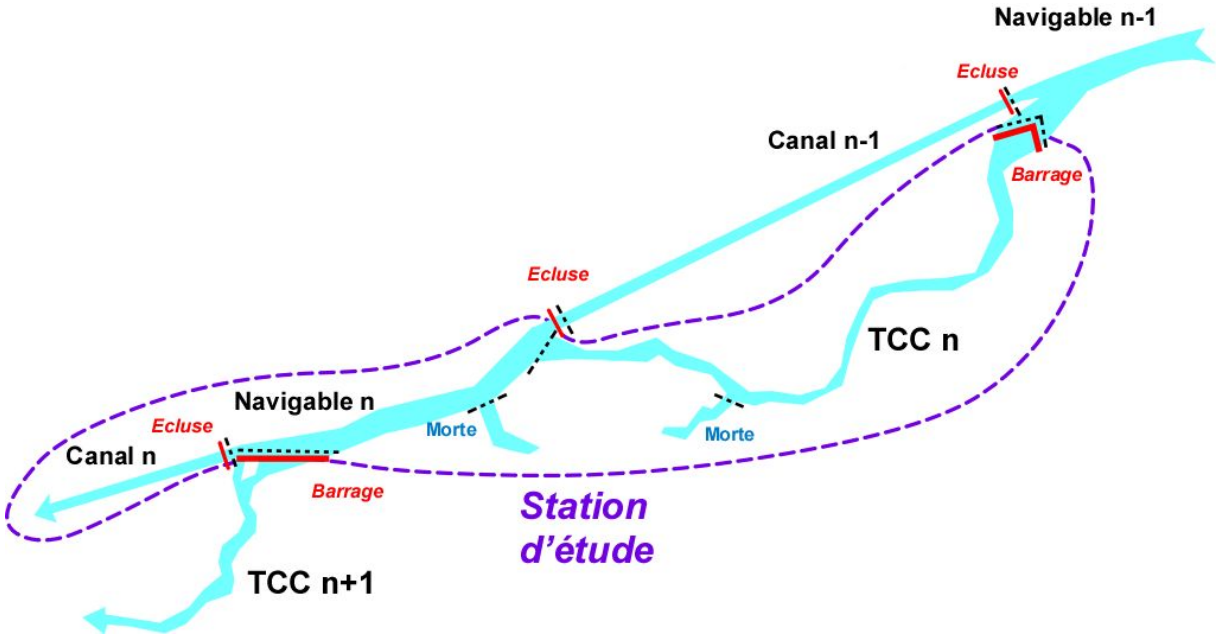


Figure 3. Schéma de la fragmentation induite par la chenalisation nécessaire à la navigation et définition des stations d'étude (TCC = tronçon court-circuité, ne collectant qu'une partie du débit).

Chaque « station » ou unité d'étude est donc définie par un triplet de compartiments hydrauliques (fig. 2). Les systèmes latéraux comme les bras morts connectés aux biefs navigables ou aux tronçons court-circuités seront également étudiés comme des sous-unités stationnelles, à condition qu'ils soient en eau en étiage, faute de quoi ils ne pourront être prospectés selon les protocoles standards mis en œuvre.

Parallèlement, le domaine d'étude inclut 4 des 5 lots du domaine public fluvial ouverts à la pêche professionnelle dans le département du Jura (n° 12, 14, 18, 20). Ces lots ont été choisis parce qu'ils correspondent tous à des TCC (fig. 3-4).

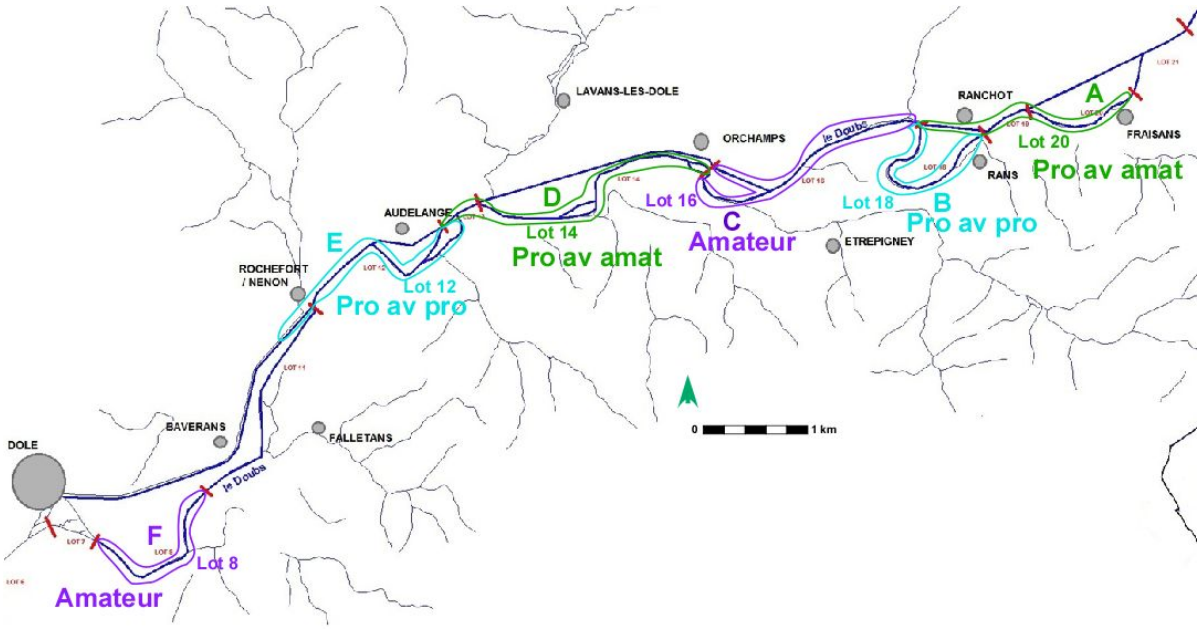


Figure 4. Délimitation des stations d'études sur le Doubs jurassien navigable.
Nota : l'ensemble des tronçons est ouvert à la pêche amateur à la ligne

Cependant, comme ces TCC sont les principaux secteurs « courants » et qu'ils sont susceptibles d'abriter la majorité des frayères, leur gestion halieutique peut influer sur les potentiels piscicoles des canaux et des biefs navigables respectifs qui leur sont associés et qui sont *grosso modo* au même niveau. En outre, l'ensemble du linéaire considéré est ouvert à la pêche amateur à la ligne. Aussi, les investigations seront effectuées sur chacun des termes des triplets de compartiments hydrauliques sélectionnés.

En définitive, afin de déterminer les influences relatives des deux modes de pêche sur les structures de l'ichtyofaune, 6 stations successives ont été étudiées en alternant 4 unités ouvertes à la pêche professionnelle et deux dévolues aux seuls pêcheurs amateurs à la ligne (fig. 4). Ce dispositif a permis d'étudier deux sites pour chacune des configurations de pressions halieutiques rencontrées :

- deux stations inclues dans des linéaires soumis aux deux types de pêches, mais situées à l'aval d'un secteur non ouvert à la pêche professionnelle, c'est-à-dire les lots 20 et 14, compris respectivement dans les stations A et D ;
- deux stations inclues dans des linéaires soumis aux deux types de pêches, mais situés à l'aval de secteurs ouverts à la pêche professionnelle lots 18 et 12, compris respectivement dans les stations B et E ;
- deux stations inclues dans des portions uniquement soumises à la pêche amateur (lots 16 et 8, compris respectivement dans les stations C et F).

Crible phénoménologique

Cette démarche s'est appuyée sur des investigations qui se sont déroulée de juillet 2011 à août 2012 inclus, en s'appliquant à la quasi-totalité du linéaire considéré. Les méthodes ont été choisies pour atteindre les objectifs opérationnels (tab. 1).

Investigations	***Contenu***	***Dates***	***Objectifs***
Thermographie	Sondes thermographiques dans chacun des 3 compartiments (TCC, Bief navigable, canal) + une morte des 6 stations (soit 21 sondes)	Aou-2011 à Avr-2012	Typologie des stations et fonctionnement des annexes
Cartographie de l'habitat stationnel	Cartes des trois composantes de la qualité habitationnelle selon méthode IAM (TELEOS 2002) pour chacune des 6 stations (18 cartes)	Aou-2011 à Juil-2012	Plan d'échantillonnage, diagnostic qualité physique et prise en compte des différences habitationelle
Pêches estivales	Triple prospection des habitats aquatiques de chacun des 1 à 3 compartiments de chacune des 6 stations par pêche électrique en bateau ainsi qu'à l'aide d'araignées multimailles + filets traditionnels (108 postes + 129 placettes)	Du 01/08 au 12/08 2011	Structure quantitative et organisation spatiale des peuplements
Pêches automnales	Triple prospection des habitats aquatiques de chacun des 1 à 3 compartiments des 6 stations à l'aide d'araignées multimailles + filets traditionnels (111 postes)	Du 15/11 au 26/11 2011	Structure et abondance des populations de carnassiers
Recherche de contamination	Recherche des Eléments Trace Métalliques et des PCB dans la chair de 4 espèces de poisson dans chacun des 4 secteurs (AB/ CD/ E/ F) jalonnant le linéaire d'étude (soit 16 lots en novembre 2011 + 4 lots en avril 2012)	Nov-2011 + Avr-2012	Consommabilité des poissons / degré de contamination environnementale
Qualité physique globale	Description standard des 4 composantes de la qualité physique (Hétérogénéité, Attractivité, Connectivité, Dynamique) sur 6 unités fonctionnelles (6 cartes+ tableau synoptique)	Aou-2012 Nov-2012	Diagnostic qualité physique Recherche des causes et mécanisme d'altérations
Diagnose piscicole et halieutique	Comparaisons des structures quantitatives des peuplements des différents secteurs, prises en compte de la répartition, de la structure et de la dynamique des populations	Juil-2011 à Sept-2012	Diagnostic par comparaison entre l'état de santé et le potentiel des différentes stations et lots
Bilans et propositions	Synthèse générale (6 cartes de stratégie de restauration physique, 4 tableaux de synthèse et de propositions)	Nov-2011 à Janv-2013	Recommandations pour la gestion halieutique et principes de restauration des milieux

Tableau 1. Description synoptique des investigations mises en oeuvre

Investigations ichtyologiques

L'étude comparative des peuplements des secteurs soumis et non soumis à la pêche aux engins a été effectuée à l'aide des méthodes d'inventaires standardisées et reproductibles mises au point pour les cours d'eau larges et profonds par la DR 5 du CSP (DEGIORGI et RAYMOND 2000).

Suivant cette optique, les 6 stations ont été échantillonnées en été, selon un protocole fondé sur la triple prospection, à l'aide de filets et de pêches électriques en bateau, des habitats aquatiques considérés comme des pôles d'attraction. En effet, la combinaison des substrats/supports, des hauteurs d'eau et des vitesses de courant détermine l'organisation spatiale de l'ichtyofaune et ses variations temporelles. Pour les pêches au filet, la même approche a aussi été mise en œuvre en automne, de façon à prendre en compte la différence de mobilité des carnassiers et de leurs proies.

Cette méthode a permis d'obtenir des éléments de comparaison dans l'espace (en 2011) mais aussi dans le temps. En effet, ce protocole est en particulier similaire à celui qui a été mis en œuvre en 1980 par le CTGREF (CTGREF 1982) puis en 1992 par l'ISTE (Université de Besançon, 1993) d'une part et par ARALEPBP (Université de Lyon, 1997) d'autre part. En outre, cette approche permet de tenir compte des différences habitationnelles tout en fournissant un lien entre l'approche scientifique et les pêches professionnelles par le biais des pêches au filet.

Mesure physiques et physico-chimiques conjointes

Initialement, 21 sondes enregistreuses ont été placées à raison de 3 ou 4 sondes par site d'étude. L'objectif était d'enregistrer, pour chacun des sites, la température dans chacun des compartiments qui le composent, soit selon les sites le TCC, le bief navigable et le canal associé.

Ce dispositif était destiné à approcher le fonctionnement hydrologique des différents secteurs (variations de débit, influence des nappes et de la morphologie du lit…). Il a été aussi utilisé pour déterminer les types écologiques de chacune des stations (VERNEAUX 1973-1976-1977)

Malheureusement, une partie de ces sondes ont été perdues ou volées. Les sondes des tronçons court-circuités (TCC), toutes retrouvées, permettront tout de même de vérifier l'appartenance typologique des sites d'étude et d'en déduire le potentiel piscicole théorique de chaque secteur d'inventaire. Les calculs typologiques ont ainsi fourni des aides objectives à l'interprétation et à la comparaison de l'état des stocks.

Suivant la même optique, la qualité physique des différents secteurs et stations d'étude a été évaluée à l'aide de méthodes standard adaptée de façon à fonder la stratégie d'échantillonnage. Cette analyse était indispensable pour pouvoir comparer objectivement les résultats stationnels ainsi que pour relier l'état de santé de l'ichtyofaune à la qualité du milieu. Elle s'est appuyée sur :

- l'étude de la qualité physique globale de l'ensemble du linéaire étudié à l'aide de la méthode dite des tronçons (CSP DR5 1993-TELEOS 2000).
- la réalisation de cartes des mosaïques de chacune des 6 stations d'étude selon la méthode IAM (TELEOS 2002).

Cette approche a aussi nécessité l'analyse des données disponibles sur l'hydrologie des différents secteurs. Une attention particulière a été portée aux différences de dérivations des débits d'un bief à l'autre.

2. Structure et dynamique des peuplements piscicoles

Méthode de diagnose des peuplements piscicoles

Protocole d'échantillonnage

Pour atteindre les objectifs de l'étude, l'échantillonnage de l'ichtyofaune de la mosaïque d'habitats profonds qui constituent le Doubs fluvial navigable a été réalisés à l'aide de la méthode d'échantillonnage de l'ichtyofaune des milieux profonds proposée par DEGIORGI et RAYMOND en 2000. En effet, cette approche procure des images semi quantitatives comparables des peuplements sous forme d'une série de CPUE (Captures Par Unité d'Effort) par espèce.

Ce protocole est fondé sur la triple prospection, au moyen de plusieurs techniques de capture utilisées simultanément, de l'ensemble des mésohabitats aquatiques qui composent chaque station. Ces mésohabitats sont découpés à l'aide de classes de substrats / support, de hauteurs d'eau et de vitesses selon la logique des pôles d'attraction qui sont aussi utilisés pour évaluer la qualité physique à l'aide de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM, cf. partie analyse de la qualité physique).

Dans la pratique, l'espace fluvial est d'abord divisé en une mosaïque de pôles d'attraction représentés par des placettes qui sont homogènes pour les trois composantes de l'habitat aquatique et dont la surface varie de la dizaine au millier de mètres carrés. Chacun des pôles d'attraction est alors échantillonné trois fois au moins suivant deux techniques de captures complémentaires.

D'une part, pour chaque pôle, 3 placettes sont prospectées à l'électricité, de jour, en continu, sur une longueur totale proportionnelle à la représentativité du pôle dans la station. L'anode est manipulée en bateau, d'aval en amont, en insistant sur chaque placette jusqu'à épuisement des captures. Les placettes sont choisies éloignées les unes des autres de façon à cribler la station et pour éviter les interférences. Les distances pêchées sont enregistrées et serviront à déterminer l'effort de capture.

D'autre part, chaque pôle d'attraction est également prospecté 3 fois à l'aide d'Araignées Verticales Multimailles standard (AVM, fig. 5) tendues de préférence du soir au matin précédant la prospection à l'électricité. Les zones centrales ne sont prospectées que si la vitesse du courant y est inférieure à 30 cm/s car cette valeur constitue un seuil d'efficacité pour les filets maillants.

Nota : *La prospection à l'aide de filets est complémentaire de l'échantillonnage à l'électricité (EIFAC 1974, PHILIPPART 1979, PONT et al. 1992). En effet, d'une part, les espèces de pleine eau, non territoriales, ont tendance à fuir devant l'anode, surtout lorsqu'elle est manipulée en continu et non projetée. D'autre part, ces espèces « pélagiques » sont surtout localisées au centre du chenal durant la journée. En revanche, elles s'approchent de la berge durant la nuit.*

Les AVM ont une hauteur allant de 0,5 à 3 m pour s'adapter à la hauteur de la tranche d'eau de chaque site prospecté. Elles sont constituées de 7 nappes de 2 m de large dont le diamètre du vide de maille varie de 10 à 60 mm par pas de 10 mm, avec une maille de diamètre 15 entre la maille de 10 et la maille de 20 (fig. 5).

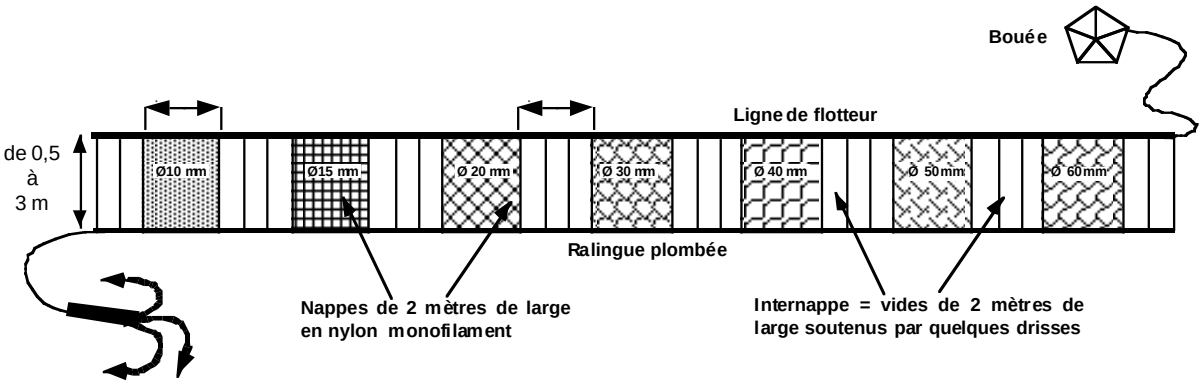


Figure 5. Schéma de montage des araignées « verticales » multimailles

La triple prospection de chacun des pôles composant la mosaïque des habitats aquatiques de chacune des 6 stations a en outre été répétée durant deux campagnes réalisées pendant des saisons contrastées (milieu d'été en août et fin d'automne en novembre). Cette pratique permet d'optimiser l'efficacité des filets maillants vis-à-vis des carnassiers (respectivement, de leurs proies), plus actives donc plus capturables en période froide (respectivement, en période chaude).

L'effort de pêche produit par ces araignées verticales multimailles est faible au regard de celui qui est exercé par les filets traditionnels utilisés en pêche professionnelle. En effet, pour une même maille adaptée à l'espèce ciblée, les nappes des engins professionnels mesurent jusqu'à plusieurs centaines de mètres de longueur (100 mètres par km de rivière pour la maille de 60 mm suivant le cahier des charges qui régit l'exploitation halieutique dans le Doubs navigable jurassien).

Cependant, la faible longueur des nappes constituant les AVM (2 m seulement) nous permet de répéter l'échantillonnage et de prospecter simultanément les principaux habitats aquatiques en réalisant trois réplicats par pôles d'attraction. Parallèlement le recouvrement de sélectivité des mailles augmente la gamme d'espèces et de tailles capturables par notre dispositif.

Ces 2 propriétés font du protocole de pêche à l'aide des araignées « verticales » un procédé **standard**, c'est-à-dire fournissant des résultats comparables, et **peu intrusif**, c'est-à-dire tuant peu de poissons. Le rapport entre le gain d'information et la mortalité piscicole induite est donc très favorable. Une araignée traditionnelle de maille de 70 mm et un tramail mesurant chacun 2 m sur 25 m ont toutefois été ajoutés au dispositif pour réaliser des sondages complémentaires.

Enfin, l'emploi simultané de 2 procédés d'échantillonnage garantit la prospection de toutes les strates et renforce la puissance de la méthode. La triple répétition de l'effort de capture à l'aide de chacune des 2 techniques de captures permet aussi de déterminer la variabilité "instrumentale" des mesures. La précision obtenue pour les nombres et les biomasses capturée par unité d'effort est de l'ordre de ± 20% en ce qui concerne les espèces majoritaires.

Codage des données

Les CPUE obtenues par cet échantillonnage composite ont été transformées en classes d'abondance intrinsèques à chaque espèce et à chaque technique de capture. En effet, d'une part, la capacité de développement et de colonisation du milieu varie d'une espèce à l'autre : le raisonnement sur des densités de capture brutes n'est donc pas pertinent. D'autre part, le codage permet de concaténer les informations fournies par plusieurs procédés d'échantillonnage. Dans cette optique, les 4 séries de CPUE numériques et pondérales obtenues pour chaque espèce par les deux procédés d'échantillonnages ont été soumises à un double filtrage.

Dans un premier temps, elles sont transformées en cotes d'abondance en fonction de la technique de capture à l'aide de tables standard (DEGIORGI et RAYMOND 2000). Ces grilles ont été établies statistiquement à partir de la fréquence des densités de captures obtenues pour chaque espèce à l'aide de chaque technique de prélèvements sur un grand nombre de milieux différents (VERNEAUX 1973). Les classes d'abondance décrivent ainsi 6 niveaux de densité numérique ou pondérale :

0,1: présence sporadique	**1 : très faible densité**	**2 : faible densité**
3 : densité moyenne	**4 : forte abondance**	**5 : très forte abondance**

Dans un deuxième temps, pour chaque espèce, la cote numérique, d'une part, et pondérale, d'autre part, la plus élevée est sélectionnée de façon à privilégier l'information procurée par la technique la plus efficace pour chaque écostade ou groupe de tailles (fig. 6). On obtient ainsi un couple de cotes « inter-techniques » dont une numérique et une pondérale.

Dans un troisième temps, pour chaque espèce, la plus petite des deux cotes retenues définit la classe d'abondance synthétique de l'espèce considérée. Ce dernier filtrage permet d'éliminer des artefacts comme l'influence des alevinages ou la présence anecdotiques d'un unique individu de grande taille qui ne peuvent ainsi indiquer à eux seuls une forte abondance pour la population considérée.

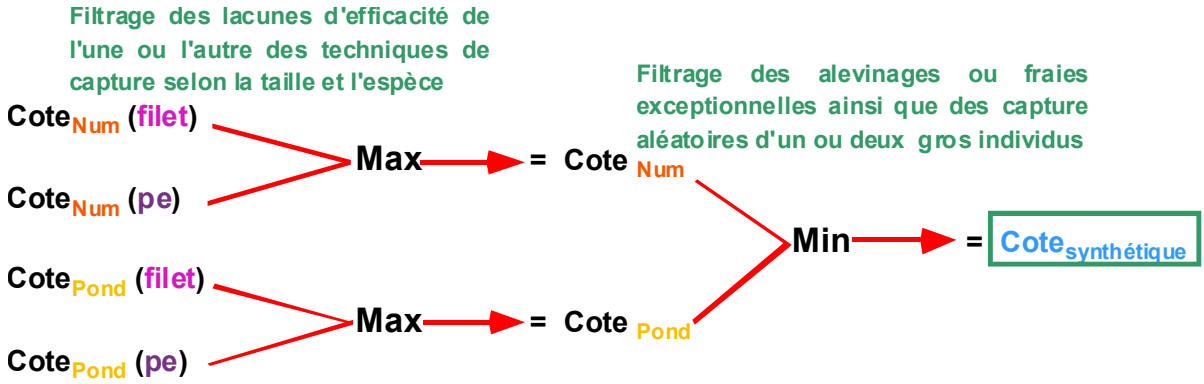


Figure 6 : principe du filtrage des données numériques et pondérales obtenues par une double prospection à l'électricité et à l'aide de filets pour chaque espèce

L'interprétation des données ainsi codées s'effectue ensuite en comparant la série de cotes d'abondance caractérisant le peuplement observé avec celle qui décrit le peuplement optimal ou référentiel, défini à l'aide du modèle biotypologique de VERNEAUX (1973, 1976 et 1981).

Principe d'interprétation à l'aide de la biotypologie

En effet, dans un système d'eau courante, les conditions du milieu (pente, température, minéralisation, largeur, vitesse du courant ...) évoluent des sources à l'embouchure. Parallèlement, la présence et l'abondance des espèces aquatiques varient suivant le même gradient.

Cette structure longitudinale a été décrite par HUET (1947) comme la succession de 5 zones se succédant de l'amont vers l'aval depuis la source, parfois apiscicole, vers les zones à truite, à ombre, à barbeau et à brème. La terminologie est encore utilisée, mais le principe de la succession géographique n'est pas toujours vérifié. En effet, l'organisation écologique des cours d'eau est plus complexe.

D'une part, l'évolution progressive des conditions du milieu entraîne un remplacement lui aussi très graduel des espèces les unes par rapport aux autres. La notion de zones présentant des limites finies est donc erronée. D'autre part, les types ne se succèdent pas forcément de façon géographique, mais présentent fréquemment des inversions, par exemple au cours d'un rajeunissement par un affluent froid, ou même s'ordonnent suivant des mosaïques écologiques complexes.

Pour tenir compte de cette structure non géographique, la biotypologie développée par VERNEAUX (1973-1976-1977) modélise un gradient longitudinal théorique jalonné de 10 biotypes allant de B0 à B9. Chacune de ces unités est définie par une association d'espèces qui présentent des exigences écologiques voisines même si, pour des raisons géo-historiques, elles ne vivent pas dans les mêmes bassins.

Pratiquement, la structure biotypologique d'un cours d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau peut être approchée par le calcul du Niveau Typologique Théorique (NTT) sur plusieurs stations (VERNEAUX 1977). Le NTT se calcule à partir d'une composante thermique (T1), d'une composante trophique (T2) et d'une composante morphodynamique (T3) en appliquant la formule suivante :

$$\mathbf{NTT = 0{,}45\ T1 + 0{,}30\ T2 + 0{,}25\ T3}$$

Avec :

$$T1 = 0{,}55\ Tm - 4{,}34$$

$$T2 = 1{,}17 \ln (do\ D\ 10^{-2}) + 1{,}5$$

$$T3 = 1{,}75 \ln (100\ Sm\ P^{-1}\ L^{-2}) + 3{,}92$$

Où : *Tm est la moyenne des températures maximales des 30 jours consécutifs les plus chauds ;*
D : Dureté totale en mg/l ;
P : pente moyenne du lit en ‰ ;
do : distance de la station à la source en Km ;
Sm : Section mouillée à l'étiage en m^2 ;
L : largeur du lit mineur en m.

Le calcul du type théorique d'un site d'eau courante permet de prédire la composition quantitative du peuplement optimal qu'il est susceptible d'abriter en l'absence de dégradation (CSP DR 5 1993-2000). Les écarts entre ce potentiel biologique et la situation observée reflètent l'intensité des altérations du milieu.

Modalités d'échantillonnage du Doubs navigable jurassien

Suivant ces principes et ces méthodes, l'ichtyofaune du Doubs navigable jurassien a été échantillonné au cours de deux campagnes saisonnières :

1. Une campagne de pêche au filet et à l'électricité du 1/08 au 12/08 2011 inclus.
2. Une campagne de pêche au filet du 15/11 au 26/11 2011 inclus.

Durant la campagne estivale, 129 placettes ont été prospectées à l'électricité pour une surface totale de 3 404 mètres carrés (tab. 2). Parallèlement des araignées verticales ont été disposées sur 98 postes, à chaque fois pendant une nuit, pour un total de 2 744 mètres carrés de filet tendus. Le tramail et l'araignée de maille de 70 ont été posés une fois par station dans les mouilles les plus profondes.

	Station	Pression halieutique	Échantillonnage Tn	mode	stratégie	Nombre de pôles	*Plac. / post*	Surf. PE *ou filet* (m^2)
A	Fraisans	Pro + amat	PE	Bateau	ECD par pôle	6	24	648
	Rans	av amat.	*Filet*	*AMV*	*Pole*	*4*	*18*	*504*
			Filet	*Trad*	*Sondage*	*2*	*2*	*100*
B	Rans	Pro + amat	PE	Bateau	ECD par pôle	5	16	570
	Mn Malades	av pro	*Filet*	*AMV*	*Pole*	*3*	*9*	*252*
			Filet	*Trad*	*Sondage*	*2*	*2*	*100*
C	Mn Malades	Amat	PE	Bateau	ECD par pôle	4	26	566
	Orchamps	av pro	*Filet*	*AMV*	*Pole*	*5*	*22*	*616*
			Filet	*Trad*	*Sondage*	*2*	*2*	*100*
D	Orchamps	Pro + amat	PE	Bateau	ECD par pôle	5	22	584
	Mn Rouge	av. amat	Filet	AMV	Pole	5	16	*476*
			Filet	Trad	Sondage	2	2	*100*
E	Mn Rouge	Pro + amat	PE	Bateau	ECD par pôle	6	21	494
	Rochefort	Av pro	Filet	AMV	Pole	5	20	*560*
			Filet	Trad	Sondage	2	2	*100*
F	Rochefort	Amat	PE	Bateau	ECD par pôle	6	20	542
	Dole	av amat	Filet	AMV	Pole	5	13	*336*
			Filet	Trad	Sondage	2	2	*100*

Tableau 2. Description de l'effort d'échantillonnage produit durant la campagne estivale, du 1/08 au 12/08 2011 sur 6 stations jalonnant le Doubs navigable jurassien.
Tn = technique ; AMV = araignées verticales multimalles ; Plac. = placettes (ECD) post. = poste (filet)

N°	Station Limites	Pression halieutique	Échantillonnage Tn	mode	stratégie	Nombre de pôles	*Postes*	Surface *filet* (m^2)
A	Fraisans	Pro + amat	*Filet*	*AMV*	*Pole*	5	16	444
	Rans	av amat.	*Filet*	*Trad*	*Sondage*	2	2	100
B	Rans	Pro + amat	*Filet*	*AMV*	*Pole*	*5*	*13*	*448*
	Mn Malades	av pro	*Filet*	*Trad*	*Sondage*	*2*	*2*	*100*
C	Mn Malades	Amat	*Filet*	*AMV*	*Pole*	*5*	*20*	*574*
	Orchamps	av pro	*Filet*	*Trad*	*Sondage*	*2*	*2*	*100*
D	Orchamps	Pro + amat	Filet	AMV	Pole	5	16	385
	Mn Rouge	av. amat	Filet	Trad	Sondage	2	2	100
E	Mn Rouge	Pro + amat	Filet	AMV	Pole	*5*	*16*	*483*
	Rochefort	av	Filet	Trad	Sondage	*2*	*2*	*100*
F	Rochefort	Amat	Filet	AMV	Pole	*5*	*17*	*518*
	Dole	av amat	Filet	Trad	Sondage	*2*	*2*	*100*

Tableau 3. Description de l'effort de pêche produit durant la campagne hivernale, du 15/11 au 26/11 2011 sur 6 stations jalonnant le Doubs navigable jurassien.
Tn = technique ; AMV = araignées verticales multimailles ; Plac. = placettes (ECD) post. = poste (filet)

Durant la campagne automnale, seules des prospections aux filets ont été effectuées pour compléter l'évaluation comparative des densités de carnassiers apicaux (tab. 3). En effet, les sandres et les brochets adultes sont beaucoup plus actifs et donc plus vulnérables à la capture par filet en saison froide (fin d'automne et début de printemps).

Dans cette optique, des araignées verticales ont été disposées du 15 au 26 novembre sur 98 postes prospectés chacun durant une nuit de façon à tripliquer l'échantillonnage des pôles majoritaires de chaque station. La surface totale de filets tendus a ainsi atteint 2852 mètres carrés. Le tramail et l'araignée de maille de 70 ont été posés une fois par station dans les mouilles les plus profondes.

Figure 7. Prospection d'une placette d'hélophytes en eau calme et moyennement profonde par pêche électrique en continu à partir d'un bateau (station F, campagne estivale)

Durant chacune des deux campagnes, les débits sont restés compris entre 22 et 45 m^3/s ce qui correspond à des conditions d'étiage fréquent. En effet, le QMNA5 ne s'élève qu'à 15 m3/s mais le module atteint sur ce secteur 110 m^3/s. Les fluctuations enregistrées en périodes d'étiage sont liées aux fortes éclusées des grands barrages jalonnant le Doubs entre Villers le lac et Montbéliard.

Résultats des inventaires ichtyologiques

Éléments de typologie

Thermographie

Sur les 21 sondes disposées dans le domaine d'étude de façon à cribler les 6 TCC, ainsi que les canaux, les biefs navigables et les mortes en eau pour les stations qui en comportaient, seules 8 sondes ont pu être retrouvées et dépouillées. Les sondes restantes ont tout de même permis de caractériser le métabolisme du Doubs navigable jurassien (ann. 1, fig. 8).

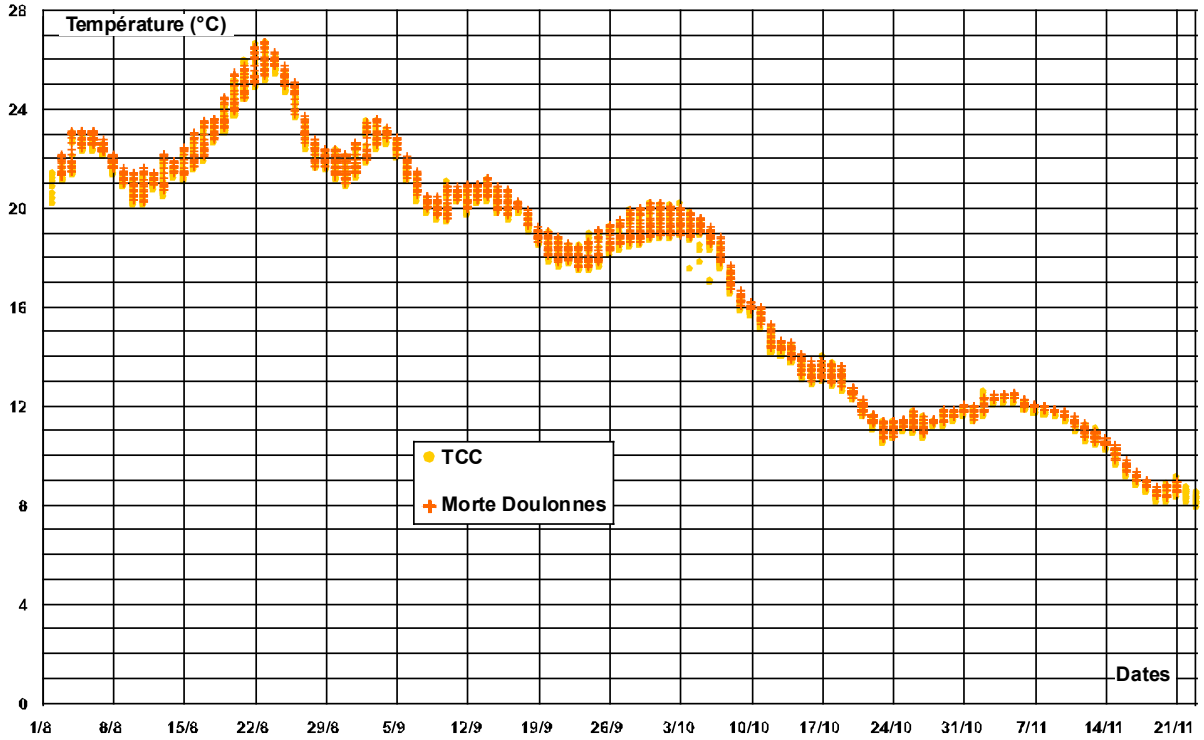


Figure 8. Enregistrements horaires de la température dans le TCC de la station D et dans une morte en eau connective de cette station (Mortes des Doulonnes)

Dans toutes les stations, les amplitudes thermiques journalières sont faibles, alors que l'amplitude annuelle dépasse 25°C (ann. 1, tab. 4). Les températures maximales observées en août atteignent couramment 27°C. D'amont en aval, la discrétion et la discontinuité du réchauffement des eaux pourraient être liées à l'influence d'arrivées latérales, au moins durant certaines périodes de l'année.

Parallèlement, les températures de l'eau enregistrées dans les deux mortes ne sont pas très différentes de celles qui sont mesurées dans le lit principal du tronçon associé (fig 8 et tab. 4). La même similarité est observée entre les températures observées ponctuellement dans les TCC et dans les biefs navigables. Aucune des sondes installées dans les canaux n'a pu être retrouvée et il n'est pas possible de vérifier si ce compartiment bénéficie des mêmes températures que les deux autres.

Stations *Paramètres*	*Tmm30j*	*Tmm 30 j73*	*Tmax*	*Tmax 73*
A . Fraisans Rans				
TCC	24,5		26,7	
Bief navigable	25,1		27,3	
Morte connectée à bief navigable	24,7		26,4	
C. Mn Malades Orchamps				
TCC	24,2	23,5	25,9	24,9
D. Orchamps Mn Rouge				
TCC	24,7		27,0	
Morte	24,8		26,7	
F. Falletans Dole				
TCC	25,5		27,0	
Morte Philippe	26,3		29,2	

Tableau 4. Températures maximales instantanés et maximales moyennes des trente jours les plus chauds mesurées dans différents compartiments de 4 tronçons.

Calculs typologiques

Selon la formule typologique de VERNEAUX (1976) les 6 stations appartiennent toutes au type B8+, soit à la zone eupotamique (tab. 5). Les niveaux théoriques calculés oscillent entre 8,3 et 8,5. Cependant, comme la précision de cette formule n'est que d'un demi-niveau typologique, il n'est pas possible d'affirmer que ces différences inter-stationnelles sont significatives.

Facteurs	**Tmm**	**do**	**D**	**L**	**Sm**	**pente**	**NTT**	**Type**
Stations	*°C*	*Km*	*mg/L*	*m*	*m^2*	*‰*		
A. Fraisans Rans	24,5	360	91	95	181,2	0,45	8,3	**B8+**
B. Rans Mn Malades	24,2	367	61	68	155,4	0,45	8,5	**B8+**
C. Mn Malades Orchamps.	24,6	370	82	76	187,2	0,45	8,4	**B8+**
D. Orchamps Mn Rouge	24,7	375	104	92	191	0,45	8,3	**B8+**
E. Mn Rouge Rochefort	25,1	380	116	89	192	0,45	8,3	**B8+**
F. Falletans Dole	25,5	388	97	120	170,4	0,45	8,5	**B8+**

Tableau 5. Typologie théorique des six stations jalonnant le Doubs navigable jurassien (cf. légende des abréviations en page de la partie milieux et méthodes).

Les différences minimes de niveau typologique théorique observées d'une station à l'autre sont imputables au variation de la largeur du lit mineur. Ce paramètre, qui contribue à décrire la composante morpho-dynamique du type écologique, a été fortement modifié par la canalisation du Doubs dès le début du XIXe siècle.

En 1973, VERNEAUX, à partir de la composition des peuplements de poisson, éphémère, trichoptère et plécoptère, attribuait au Doubs entre Besançon et sa confluence des bio-types variant de B8+ à B9. À un demi-niveau près, le calcul théorique indique donc, en 2011, le même niveau typologique que celui qui a été déterminé à l'aide des composantes biologiques entre 1968 et 1972.

Cette constance typologique reflète la stabilité thermique observée pour le Doubs inférieur depuis la fin des années 1960. En effet, les mesures thermiques effectuées entre 1968 et 1972 à Rans indiquaient des valeurs maximales similaires à celle qui y a été observée en 2011 (tab. 4, VERNEAUX 1973). En outre, d'après les mesures journalières effectuées entre 1969 et 1999 par le Service de la Navigation à Besançon et à Dole, la température du Doubs ne montre qu'une tendance à l'augmentation moyenne de moins d'un degré (fig. 9).

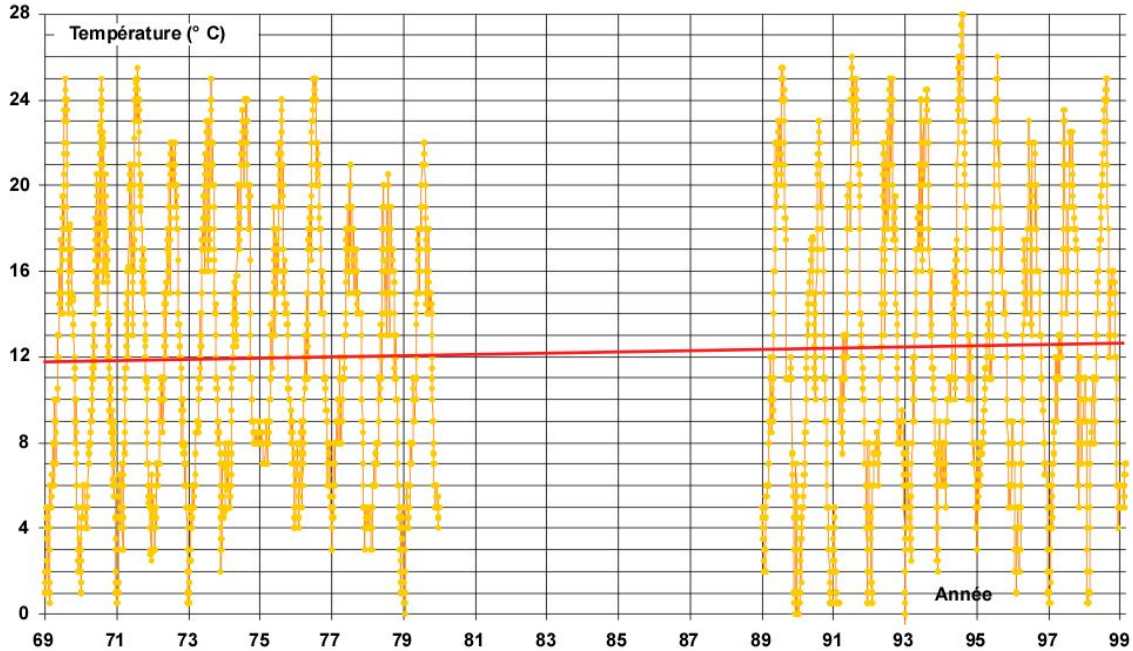


Figure 9. Températures ponctuelles journalières relevées tous les jours à 07h00 par le Service Navigation dans le Doubs à Besançon entre 1969 et 1979 puis entre 1989 et 1999

En revanche, la morphologie et l'hydrodynamisme du Doubs inférieur étaient sensiblement différents avant la canalisation du XIXe siècle. Cet aménagement, en ralentissant les écoulements et en augmentant la section mouillée du lit mineur a dû induire un net réchauffement. Le spectre typologique originel était donc fort probablement plus large et plus apical, à savoir B7 à B8 au lieu de B8+ à B9.

Composition qualitative des peuplements

Les deux campagnes de pêches scientifiques réalisées sur les 6 stations à l'aide de filets ainsi que, pour la première, à l'aide d'électricité, ont permis de capturer 25 espèces de poissons et une espèce d'écrevisse (tab. 6). Par rapport aux données antérieures, la composition qualitative des peuplements montre plusieurs mutations amorcées dans les années 1970 et qui s'affirment actuellement.

Otyp	Nom français	*Nom latin*	Ant	1970	1980	1990	2011	SE	SF
21	Ablette	*Alburnus alburnus*	X	X	X	X	X		
GM	Anguille	*Anguilla anguilla*	X	X	P	P	P		
8	Apron	Zingel Asper	P					An II B3	d
14	Barbeau	*Barbus barbus*	X	X	X	X	X	An V	
24	Black bass	*Micropterus salmoides*		P		X	X		
8	Blageon	*Leuciscus souffia*	X					An II B3	r
24	Bouvière	*Rhodeus amarus*	X	X		X	X		
27	Brème	*Abramis brama*	X	X	X	X	X		
28	Brème bordelière	*Blicca bjoerkna*	X	X	X	X	X		
18	Brochet	*Esox lucius*	X	X	X	X	X		v H rg
22	Carassin commun	*Carassius carassius*					P		
23	Carpe (« *écaille* »)	*Cyprinus carpio*	X	X		X	X		
2	Chabot	*Cottus gobio*	X					An II	
9	Chevesne	*Squalius cephalus*	X	X	X	X	X		
20	Gardon	*Rutilus rutilus*	X	X	X	X	X		
11	Goujon	*Gobio gobio*	X	X	X	X	X		v
28	Grémille	*Gymnocephalus cernuus*		X		X	X		
13	Hotu	*Chondrostoma nasus*		X	P	X	X	An II	
3	Lamproie de Planer	*Lampetra planeri*	P	?				An II B3	v H
5	Loche franche	*Barbatula barbatula*	X	X			X		
15	Lote	*Lota lota*	X						v
6	Ombre	*Thymalus thymalus*	X					An V B3	v H rg
19	Perche	*Perca fluviatilis*	X	X	X	X	X		DB
26	Perche soleil	*Lepomis gibbosus*		X	X	X	X		DB
28	Poisson-chat	*Ameiurus melas*		X	X	X			DB
22	Pseudorasbora	*Pseudorasbora parva*					X		
26	Rotengle	*Scardinius erythrophtalmus**	X	X	X	X	X		
27	Sandre	Sander lucioperca			X	X	X		
28	Silure	*Siluris glanis*					X		
16	Spirlin	*Alburnoides bipunctatus*	X	X			X	An II B3	
24	Tanche	*Tinca tinca*	X	X	X	X	X		
12	Toxostome	*Parachondrostoma toxostoma*	X	X	X	P		An II B3	
1	Truite	*Salmo trutta fario*	X	P	P	X		An II	H rg
1	*Truite arc en ciel*	*Onchorynchus mykiss*			P	P	?		
4	Vairon	*Phoxinus phoxinus*	X						
17	Vandoise	*Leuciscus leuciscus*	X	X	X	X	P		v H
1	Pied blanc	*Austropotamobius pallipes*	P					An II-VB3	v BE rg
20	*Ecrevisse américaine*	*Orconectes limosus*		?	?	X	X		DB

LEGENDE : espèces en régression, non capturées ou anecdotiques en 2011 ; *espèces exotiques*

Otyp Ordre d'apparition typologique; GM = grands migrateurs suceptible de coloniser tous les biotypes

Ant = TELEOS 2001, **1970** = VERNEAUX 1973 ; **1980** =CTGREF 1982 ; **1990** ISTE 1993 ; SDVP 39 1987-2001

SF *Statut francais :* dans le livre rouge (MNHN 2002) : **v**, vulnérable ; **r**, rare ; **d**, en danger ; **é**, extinction
H : protection de l'habitat (par ex. par arrêté de biotope) : arrêté du 08/12/88 au titre des articles L.411-1 et L.411-2.
BE : protection nationale du biotope des écrevisses autochtones, arrêté du 21/07/83
Db : espèce susceptible de provoquer des déséquilibres biologiques (article R*232-3 du Code de l'Environnement)
rg : espèce pouvant faire l'objet de mesure de régulation du prélèvement par arrêté préfectoral.

SE *Statut européen : **B** =* convention de Berne, règlement CEE n°3626/82 du 3/12/82
An = directive CEE-21/05/1992 II : zone spéciale de conservation ; IV : protection stricte ; V : gestion obligatoire

Tableau 6. Liste des espèces capturées ou observées sur le Doubs entre Fraisans et Dole à différentes époques (« P » = présence sporadique ou rare, « ? » non capturée mais alevinée

Ces tendances évolutives se déclinent pour 8 groupes d'espèces.

1. Les populations d'espèces migratrices comme l'alose feinte (*Alosa fallax*) ou l'anguille sont éteintes depuis plusieurs décennies.

   Les quelques anguilles capturées ont été transportées et introduites depuis le delta du Rhône par le truchement des associations de pêche.

2. Deux espèces endémiques du Rhône, l'apron et le toxostome, ont disparu ou sont en voie de disparition.

   L'apron, réputée polluo-sensible, n'a plus été mentionné depuis longtemps dans le Doubs navigable, tandis que le toxostome, résistant aux pollutions organiques, est en régression régulière depuis les années 1960.

3. Les espèces d'eau froide, rhéophiles et montrant des affinités apicales, comme le vairon, le chabot, le blageon, l'ombre, la lamproie de Planer et la truite, réputées exigeantes vis-à-vis de la qualité de l'eau et de l'habitat, sont en forte régression ou ont disparu du domaine d'étude.

   La plupart de ces espèces sont pourtant encore capturées ou observées à la fin des années 1990 dans le Doubs « sauvage » plus en aval (*cf.* point RHP sur le Doubs à Molay, CSP DR5 RHP 1996 en annexe 2), ainsi que dans une partie des ruisseaux qui confluent le long du linéaire étudié. Elles étaient signalées comme colonisant la totalité du Doubs inférieur et dans ses affluents par les auteurs anciens (TELEOS 2001).

4. Deux espèces à fortes affinités potamiques, mais oxyphiles et réputées polluo-sensibles, la lotte et la vandoise, sont également en forte régression.

   La lotte semble avoir disparu depuis longtemps du Doubs navigable jurassien, malgré les fortes densités signalées dans le ruisseau des Doulonnes qui conflue dans la partie amont du secteur d'étude.

   La vandoise est en régression continue depuis les années 1960.

5. Les carnassiers, autochtones comme le brochet et la perche, ou allochtones mais acclimatés depuis plusieurs décennies comme le sandre ou le black bass, sont soumis à des fluctuations d'abondance marquées.

   Le silure, introduit depuis longtemps dans le Doubs, mais en expansion exponentielle depuis une dizaine d'année, est encore en phase de progression.

6. Les espèces exotiques ou allochtones introduites activement ou passivement depuis plusieurs décennies sont globalement sur le déclin.

   La grémille, la perche soleil et surtout le poisson-chat sont en nette régression.

   Le black bass se maintient à un niveau d'abondance faible à très faible.

   Le pseudorasbora, introduit plus récemment, est plus fréquent et plus abondant.

7. Les cyprinidés d'eaux calmes et chaudes, à fortes affinités potamiques ou ubiquistes, comme la brème bordelière, la bouvière, le rotengle et le gardon sont abondants à très abondants.

   Parmi ces espèces, seule la brème commune montre des signes de régression.

8. Les cyprinidés d'eau vive, tolérant ou appréciant les eaux chaudes, comme le spirlin ou le barbeau sont en abondance optimale pour un potamon.

   Le goujon, moins thermophile, est encore observé en fortes densités.

Rendements de captures

La composition qualitative de l'ichtyofaune varie peu entre les 6 stations d'étude dans chacune desquelles 20 à 23 espèces ont été capturées. En revanche, les structures des peuplements, approchées par les rendements de captures obtenues à l'aide des deux techniques d'échantillonnage, mises en œuvre au cours d'une ou deux campagnes saisonnières, se différencient d'une station à l'autre (tab. 7 à 9).

En été, la signification des rendements numériques estivaux est limitée par les fluctuations d'échantillonnage et de recrutement des alevins (tab. 7). En revanche, les biomasses capturées totales, très intégratives, atteignent les plus fortes valeurs dans les stations C et F pour les 2 procédés d'échantillonnage (tab. 8).

	Pêches électriques par pôles nb/(10 ares prospectés)						**Pêches au filet par pôles nb/(1000 m^2 de filet)**					
Stations	***A***	***B***	***C***	***D***	***E***	***F***	***A***	***B***	***C***	***D***	***E***	***F***
Ablette	429	37	297	48	1026	44	55	11	54	16	58	83
Anguille			11									
Barbeau	42	86	27	21	2		5	26	4	5	2	5
Black Bass	2											2
Bouvière	68	19	108	45	77	124	3	40	1	5	59	9
Brème brd	26	2	95	3	57	77	182	57	127	90	112	149
Brème			4	2	2		15	14	39	3	14	16
Brochet	5	4	9	7	24	22	2			2	2	
Carassin	6											
Carpe			4	7	2	13						
Chevesne	190	88	148	74	32	44	13	9	11	5	11	2
Gardon	387	105	210	170	154	159	197	68	101	56	130	115
Goujon	671	68	187	79	99	52	60	63	66	69	68	62
Gremille	6		11	2		2	18	9	25	26	33	53
Hotu	188	23	37	9			3		7	7	8	14
Loche fr.	2	25		14		7						
Perche	14	2	37	14	22	44	23	40	20	73	50	50
Perche soleil	6	2		2		13	2	3				
Pseudorasbora	14		5	2	4	9						5
Rotengle	3		14	7	8	66	30	3	35	9	36	53
Sandre							2		6	2		25
Silure	26	44	25	36	14	46	2	3	1	5	3	5
Spirlin	102	640	180	106	6	2		3				
Tanche	2	4	9			4					2	
Vandoise	2					2					2	
Ecrevisse am.		11		2								
Total	2190	958	1417	646	1530	731	*611*	*347*	*497*	*373*	*588*	*647*

Tableau 7. Rendements numériques des pêches électriques en bateau et aux filets obtenus du 1/08 au 12/08/2012 sur les 6 stations jalonnant le Doubs navigable jurassien

	Pêche électrique par pôle Kg/(ha prospecté)						Pêche au filet par pôle Kg/(1000 m^2 de filet)					
Stations	***A***	***B***	***C***	***D***	***E***	***F***	***A***	***B***	***C***	***D***	***E***	***F***
Ablette	12,1	1,3	7,3	1,0	26,1	0,5	0,49	0,11	0,52	0,15	0,58	0,89
Anguille			65,8									
Barbeau	35,6	122,3	88,6	0,7	0,5		2,48	8,53	3,41	1,77	1,56	2,64
Black Bass	2,3											1,29
Bouvière	1,1	0,6	1,4	0,8	1,1	2,5	0,02	0,20	0,01	0,02	0,21	0,03
Brème brd	26,2	0,2	21,0	0,2	20,3	35,1	16,97	5,62	16,82	12,02	9,14	14,01
Brème			27,2	17,8	10,1		7,49	9,72	16,62	2,28	5,18	10,59
Brochet	4,9	4,1	16,5	5,6	27,6	194,8	0,17			0,13	0,91	
Carassin	29,0											
Carpe			99,8	396,2	149,0	873,6						
Chevesne	192,7	185,6	163,4	13,0	50,3	28,6	3,54	3,23	7,64	2,30	5,63	2,54
Gardon	119,8	32,8	105,0	54,3	102,5	33,5	10,27	9,09	9,43	5,54	8,90	4,82
Goujon	21,5	4,0	4,5	3,5	4,2	2,7	0,53	0,51	0,44	0,50	0,52	0,43
Gremille	1,2		0,8	0,6		0,4	0,43	0,16	0,44	0,62	0,41	0,78
Hotu	87,9	54,3	103,3	1,5			3,21		4,57	6,46	3,37	10,20
Loche fr.	0,0	0,4		0,2		0,2						
Perche	9,2	2,0	22,9	11,4	9,6	6,1	2,60	2,78	1,40	8,12	2,58	3,63
Perche soleil	0,9	1,6		0,6		2,5	0,04	0,06				
Pseudorasbora	0,3		0,1	0,0	0,2	0,7						0,05
Rotengle	0,8		54,5	13,1	11,3	139,7	4,60	0,25	10,81	2,74	5,65	5,04
Sandre							1,56		5,88	2,08		3,45
Silure	112,9	408,9	537,0	104,9	762,1	508,2	0,99	6,86	2,09	12,48	3,46	6,69
Spirlin	3,7	19,9	5,8	2,8	0,1	0,0		0,02				
Tanche	0,2	1,0	34,4			3,7					1,89	
Vandoise	0,8					0,1					0,01	
Ecrevisse am.		0,6		0,4								
Total	663	839	**1359**	628	1175	**1833**	55	47	**80**	57	50	**67**

Tableau 8. Rendements pondéraux des pêches électriques en bateau et aux filets obtenus du 1/08 au 12/08/2012 sur les 6 stations jalonnant le Doubs navigable jurassien

Durant la campagne d'automne, seules 20 espèces ont été capturées car les pêches électriques n'ont pas été répétées. Les pêches au filet effectuées durant la deuxième partie du mois de novembre confirment que les biomasses les plus importantes sont bien abritées dans les stations C et F. En outre, elles montrent que les biomasses de carnassiers sont aussi plus élevées dans ces 2 stations (tab. 9).

Pour les espèces qui se maillent facilement en période froide, la comparaison des rendements numériques estivaux et automnaux obtenus à l'aide des filets standard permet de juger de la qualité du recrutement (tab. 7 et 9). Cependant, pour pouvoir comparer objectivement les peuplements des différentes stations, il convient de distinguer les potentiels piscicoles de chaque compartiment hydraulique et de prendre en compte les structures en taille. Auparavant, l'utilisation du double filtrage par technique d'échantillonnage nous a permis de préciser les images stationnelles.

	Nb/(1000 m^2 de filet)						Kg/(1000 m^2 de filet)					
Stations	***A***	***B***	***C***	***D***	***E***	***F***	***A***	***B***	***C***	***D***	***E***	***F***
Ablette	6	7	3	2		78	0,0	0,1	0,0	0,0		0,7
Barbeau	6	16	6		10	16	4,9	12,8	7,5		14,8	18,7
Bouvière	59		58	56	3	19	0,2		0,2	0,2	0,0	0,1
Brème brd	53	4	16	4	7	50	7,1	0,2	1,3	0,7	0,4	5,2
Brème	7	4	6	19	10	18	3,8	4,2	0,0	8,1	7,0	12,9
Brochet	2	5	6		2	3	2,2	2,3	2,5		3,1	8,1
Carassin	2						1,2					
Carpe		2	1	2	2	2		14,6	7,4	15,8	11,3	18,0
Chevesne	6	5	10	10	15	8	6,1	7,5	6,7	9,2	15,6	4,9
Gardon	85	31	67	76	21	251	10,7	0,7	4,0	11,0	3,9	7,5
Goujon	6	7	25	19	5	8	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1
Gremille		2	15	37	17	60		0,1	0,3	0,6	0,2	0,9
Hotu	7	24	28	2	15	16	7,7	24,5	20,9	2,5	12,9	11,8
Perche	11	7	6	6	7	40	4,2	2,1	1,0	0,7	0,6	2,7
Perche soleil			1			2			0,0			0,0
Rotengle	11		7	23	3	74	0,5		3,7	7,3	1,9	10,5
Sandre	2	4	9	2	5	23	2,9	6,6	10,8	1,7	6,0	12,0
Silure	2		1	4			1,3		10,4	11,9		
Spirlin		9	1					0,1	0,0			
Tanche			1		2				0,7		0,6	
Total	263	128	**270**	262	125	**668**	52,9	75,8	77,6	69,9	78,5	113,9

Tableau 9. Rendements numériques et pondéraux des pêches aux filets effectuées du 15/11 au 26/11/2012 sur les 6 stations jalonnant le Doubs navigable jurassien

Structures et organisation spatiale des peuplements

Structures stationnelles

Pour chaque espèce, la mise en œuvre d'une ou deux techniques d'échantillonnage durant 2 campagnes fournit, dans chaque station, 6 rendements de captures dont 3 numériques et 3 pondérales. Ces rendements ont été codés en cotes d'abondance intrinsèques à chaque espèce et à chaque technique puis filtrés en privilégiant la meilleure technique de capture et en écartant les artefacts de structure en taille.

Ce double codage permet de décrire le peuplement stationnel à l'aide d'une seule série de cote d'abondance synthétique. La comparaison de cette image semi-quantitative avec celle du peuplement optimal associé au type écologique caractérise l'état de santé du peuplement, et oriente la recherche des causes d'altération à partir des exigences des espèces déficitaires.

Dans toutes les stations, les espèces apicales électives du type écologique (truite, vairon et loche) sont déficitaires ou absentes, de même que la tanche et la vandoise. La lotte et le toxostome n'ont pu être capturé dans aucun site. En revanche le silure est surabondant dans chacune des stations prospectées.

Station A : de Fraisans à Rans

Entre Fraisans et Rans, le Doubs abrite une forte abondance de cyprinidés d'eau vive comme le spirlin, le barbeau et le goujon (fig. 10). La bouvière et l'ablette sont en densités optimales. En revanche, les cyprinidés les plus thermophiles (rotengle, brèmes, carpe) sont déficitaires, de même que le sandre ainsi que, dans une moindre mesure le brochet et la perche.

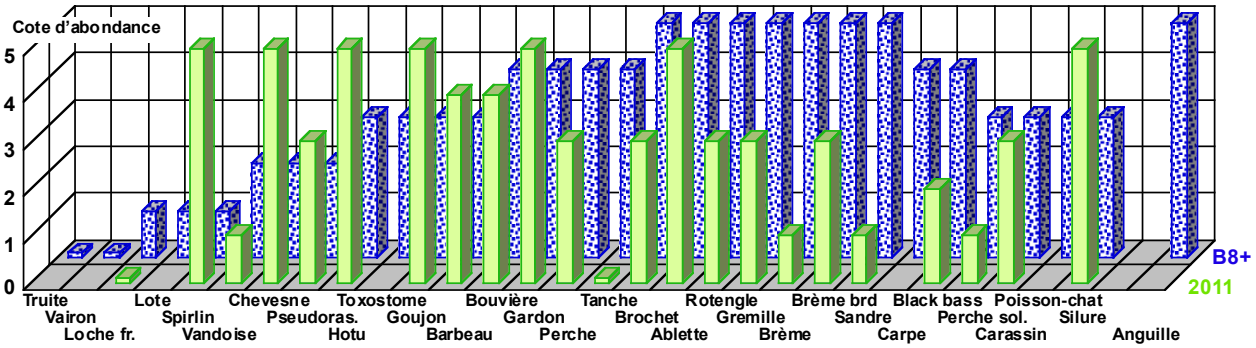


Figure 10. Comparaison de la structure du peuplement observé entre Fraisans et Rans avec le peuplement optimal associé au type écologique du Doubs (B8+)

Station B : de Rans au Moulin des Malades

Dans la station B, on retrouve la forte abondance des cyprinidés d'eau vive. En revanche, le déficit de cyprinidés d'eau calme et chaude s'aggrave et concerne aussi les ablettes, et les bouvières (fig. 11). Les densités des carnassiers autres que les silures restent nettement en deçà des potentiels optimaux.

Station E du Moulin Rouge à Rochefort sur Nénon

Les déficits observés dans la station D pour le sandre ainsi que pour les cyprinidés d'eau calme se retrouvent dans la station E et s'étendent à la carpe (fig. 14). Cette portion du Doubs abrite en revanche de belles densités de perches et brochets. Cependant, ce dernier carnassier est surtout représenté par des brochetons capturés majoritairement dans le bief navigable.

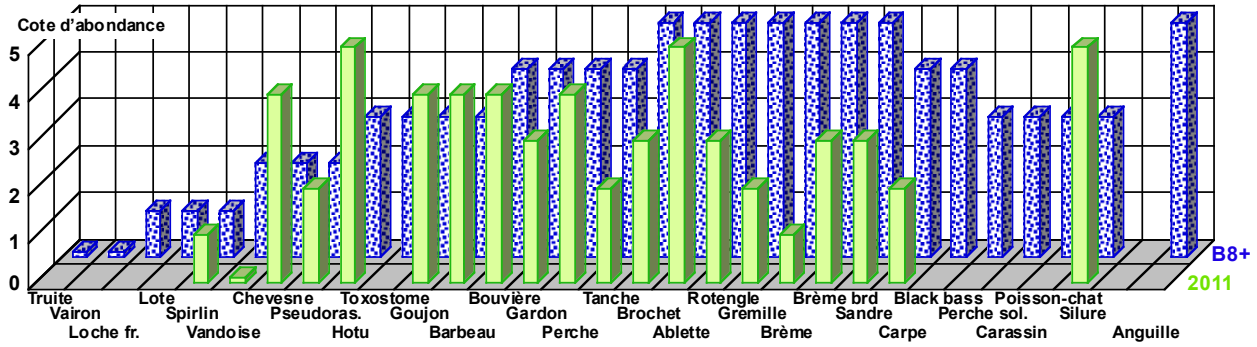


Figure 14. Comparaison de la structure du peuplement observé entre Moulin Rouge et Rochefort avec le peuplement optimal associé au type écologique (B8+)

Station F : de Falletans à Dole

La station F abrite des abondances de brochet, perche et sandre conforme aux potentiels optimaux d'une rivière de type B8+ (fig. 15). La plupart des cyprinidés d'eau calmes y sont aussi observés en fortes densités, à l'exception de la tanche et de la brème commune. En revanche, les barbeaux et les spirlins y sont nettement déficitaires.

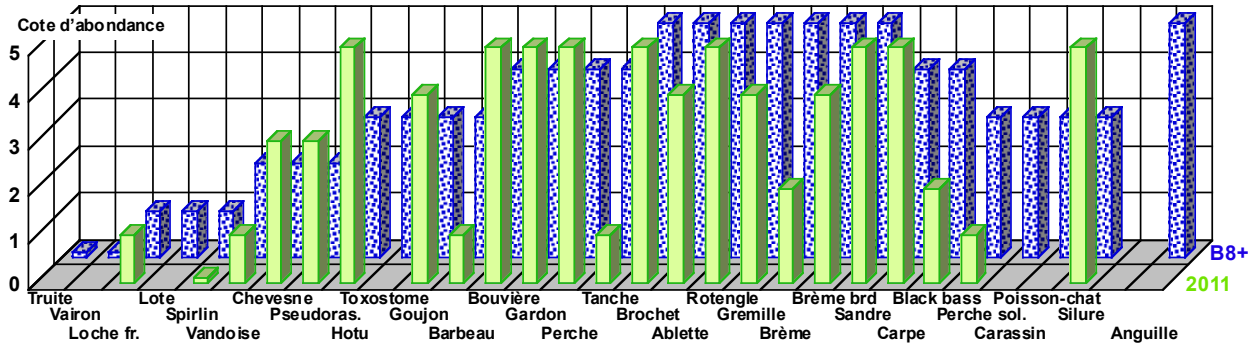


Figure 15. Comparaison de la structure du peuplement observé entre Moulin Rouge et Rochefort avec le peuplement optimal associé au type écologique (B8+)

Répartition spatiale des captures

L'organisation spatiale des peuplements à différentes échelles reflète le fonctionnement de l'écosystème. En effet, la répartition des abondances piscicoles numériques et pondérales à différents moments de l'année est déterminée par les aptitudes de chaque compartiment ou habitat considérés à servir de caches, d'abris hydraulique circulation, ou de support de ressources alimentaires à une ou plusieurs espèces de poissons.

Répartition estivale par compartiment hydraulique

Selon cette optique, les densités numériques et pondérales de cyprinidés d'eau calme et d'eau vive ainsi que de carnassiers capturés en été sur les différents compartiments hydrauliques fragmentant le Doubs navigable ont été confrontées. Cette approche montre que les tronçons court-circuités et les mortes en eau au moment des pêches possèdent des capacités biogènes nettement plus fortes que les canaux et les biefs navigables (tab. 10).

Groupe indicateur	**Canaux**	**Biefs navigables**	**TCC**	**Mortes**
CPUE numériques				
Cyprinidés limnophiles	377	268	**894**	584
Cyprinidés rhéophiles	54	36	**423**	3
Carnassiers sauf silures	29	29	62	**102**
Silures	8	11	**33**	20
Carnassiers totaux	36	40	95	**123**
Toutes espèces	*503*	*385*	***1508***	*832*
CPUE pondérales				
Cyprinidés limnophiles	280	285	509	**1138**
Cyprinidés rhéophiles	58	58	**325**	0
Carnassiers sauf silures	18	37	78	**204**
Silures	53	218	358	**581**
Carnassiers totaux	72	255	436	**785**
Toutes espèces	*481*	*853*	*1706*	***2708***

Tableau 10. Comparaison des densités de captures obtenues en août 2011 sur les différents compartiments hydrauliques du Doubs navigable entre Fraisans et Dole. Les CPUE numériques (respectivement : pondérales) sont constituées de l'effectif en nombre d'individus (respectivement : de la biomasse en gramme) capturés sur 1000 m^2 prospectés à l'électricité en bateau ainsi qu'à l'aide de 1000 m^2 de filet

En particulier, les cyprinidés d'eau vive sont beaucoup plus denses dans les portions courts-circuitées, que ce soit sur le plan pondéral ou sur le plan numérique. De même, les cyprinidés d'eau calme de petite taille sont préférentiellement capturés dans les TCC, mais les individus de grande taille sont majoritairement observés dans les mortes qui restent en eau en période estivale.

Ces systèmes latéraux fonctionnels et connectifs sont aussi nettement plus attractifs vis-à-vis des carnassiers et en particulier des sandres. Les brochets se partagent entre les tronçons court-circuités et les mortes. Des juvéniles peuvent être retrouvés dans les canaux et les biefs navigables, en particulier dans les stations A et E, soumises à la pêche professionnelle.

Répartition estivale par pôle

La répartition des captures à l'échelle des habitats montre aussi des tendances récurrentes d'une station à l'autre. Comme les mosaïques de vitesses de courant et de hauteur d'eau sont très simplifiées, cette organisation spatiale peut être décrite en fonction des substrats support (tab. 11). En effet, chaque modalité de cette composante est généralement associée à un seul et même couple de vitesse et de profondeur, et le plus souvent à des vitesses lentes dans de fortes hauteurs d'eau.

	BLO	BLS	BRA	FNM	GAL	GGR	HEL	HYF	HYI
CPUE numériques									
Cyprinidés limnophiles	305	189	428	**1125**	785	**964**	477	452	454
Cyprinidés rhéophiles	218	**4622**	54	25	**600**	444	0	28	46
Carnassiers sauf silures	25	0	**52**	0	8	21	**102**	41	44
Silures	**56**	0	**25**	0	4	5	8	6	10
Carnassiers totaux	**81**	0	**77**	0	12	26	109	46	54
Toutes espèces	685	**4811**	636	1150	1408	**1459**	695	572	608
CPUE pondérales									
Cyprinidés limnophiles	84	8	**858**	16	103	49	174	341	290
Cyprinidés rhéophiles	302	**2066**	95	0	533	178	0	36	59
Carnassiers sauf silures	37	0	73	0	5	19	**291**	31	60
Silures	169	0	**517**	0	388	7	98	141	161
Carnassiers totaux	206	0	**590**	0	394	26	389	171	221
Toutes espèces	798	2074	**2133**	16	1424	279	951	719	790

Tableau 11. Comparaison des densités de captures obtenues en août 2011 à proximité des substrats et supports majoritaires émaillant les fonds du Doubs navigable entre Fraisans et Dole. Les CPUE numériques (respect., pondérales) sont constituées de l'effectif en nombre d'individus (respect., biomasse en gramme) capturés sur 1000 m^2 prospectés à l'électricité en bateau ainsi qu'à l'aide de 1000 m^2 de filet

Code des substrats supports :

BLO = bloc avec anfractuosités
BLS = blocs jointifs
BRA = branchages racines immergés
FNM = fond nus minéraux
GAL = galets non pavés
GGR = mélange de galet et de gravier
HEL = hélophytes
HYF = hydrophytes flottants
HYI = hydrophytes immergés

Suivant cette approche, les plus fortes densités de cyprinidés d'eau vive sont observées à proximité des blocs jointifs qui protègent les berges dans les zones de courants forts. Ces habitats sont d'ailleurs très minoritaires.

A contrario, les cyprinidés d'eau calme de petite taille sont attirés par les substrats les plus fins (vase, sable et gravier) signalant des secteurs de dépôts pérennes, eux aussi anecdotiques. Les individus de grande taille qui appartiennent à ce groupe sont surtout échantillonnés dans les branchages ou racines immergés.

Ces supports végétaux, formant des caches très attractives, abritent aussi les plus fortes biomasses de cyprinidés d'eau calme et de silures adultes capturées. Les silures juvéniles, eux, colonisent surtout les blocs avec anfractuosités.

Cette espèce montre sur le Doubs une propension à la prolifération. Elle est susceptible d'exercer une forte compétition spatiale avec la lotte dans les blocs et avec les autres carnassiers dans les branchages et les racines immergés. Dans le domaine d'étude, les perches, sandres et brochets sont capturés en plus fortes densités numériques et pondérales à proximité des ceintures hélophytiques.

De telles formations végétales, constituant des franges amphibies très biogènes, se développent aux interfaces entre milieux aquatique et terrestre, comme les grèves en pente douce, les hauts fonds ou les risbermes immergées. Ces écotones jouent en outre un rôle important dans les mécanismes d'épuration. Toutefois, ils se révèlent rarissimes tout au long du chenal enfoncé et des berges abruptes du Doubs jurassien navigable (cf. partie étude physique, cartographie de l'habitat).

Répartition en fonction des types de pressions de pêche

Dans l'ensemble, les rendements de pêche observés dans les TCC sont plus forts que ceux qui ont été enregistrés dans les biefs navigables et dans les canaux associés au même plan d'eau. Toutefois, des différences nettes ont aussi été observées entre les abondances mesurées au sein de deux groupes de TCC.

En effet, les CPUE obtenues pour les carnassiers comme pour l'ensemble des espèces sont nettement plus importantes sur les 2 lots correspondant à des TCC non ouverts à la pêche professionnelle. Ces écarts sont significatifs pour les rendements numériques comme pour les rendements pondéraux et quelles que soient les techniques de pêche ou les saisons considérées (fig. 16, annexe 3).

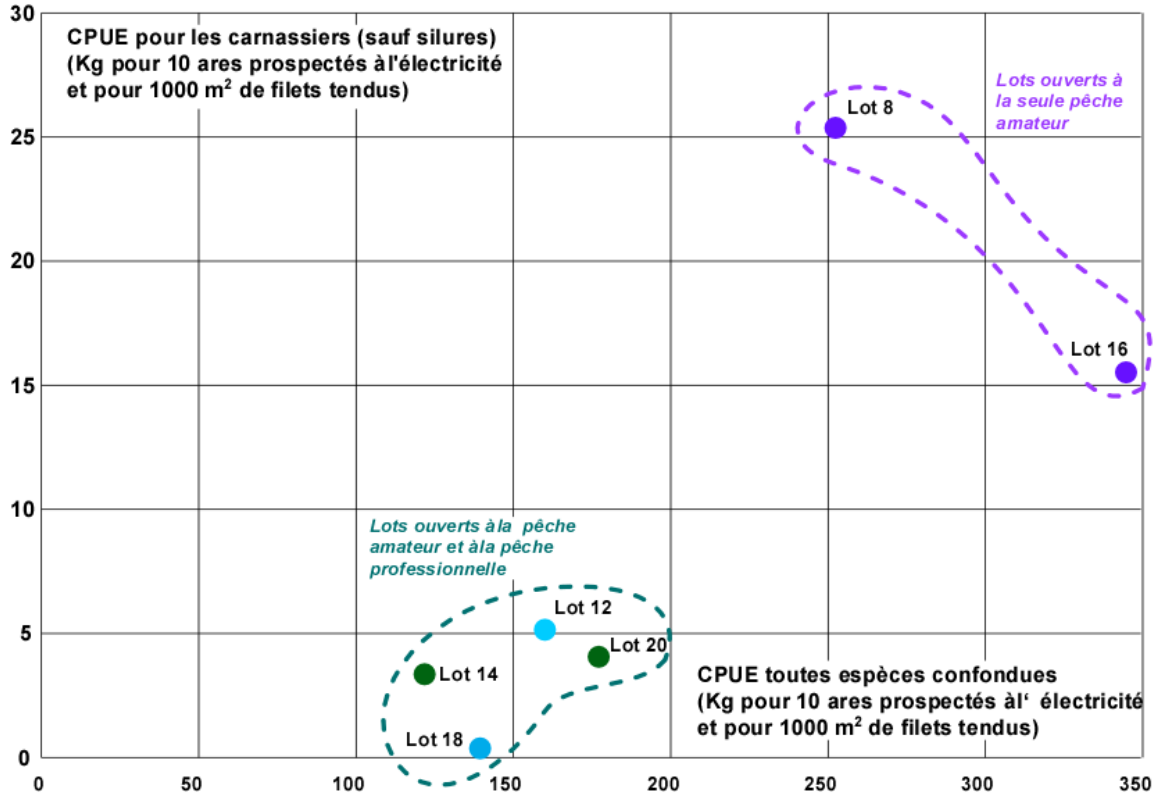


Figure 16. Captures pondérales Par Unité d'Effort obtenues pour les carnassiers et pour toutes les espèces confondues par l'application du dispositif d'échantillonnage standard en août 2011 sur 6 lots jalonnant le Doubs navigable jurassien

Ainsi, en été, les rendements pondéraux obtenus pour les carnassiers (hors silure) comme pour l'ensemble des peuplements sont nettement supérieurs dans les lots 16 et 8 soumis à la seule pêche amateur à la ligne (fig. 16). Les rendements pondéraux globaux toutes espèces confondues sont également inférieurs dans les 4 lots soumis aux deux types de pressions de pêche (n° 20, 18, 14 et 12).

La campagne d'automne a permis de confirmer ce classement des abondances des carnassiers (hors ou avec silures) et des biomasses totales (fig. 17). En effet, les rendements de pêches pondéraux obtenus pour les brochets et les sandres dans les deux lots ouverts à la seule pêche amateur sont en moyenne 3 fois plus importants que ceux qui sont observés dans les 4 autres lots.

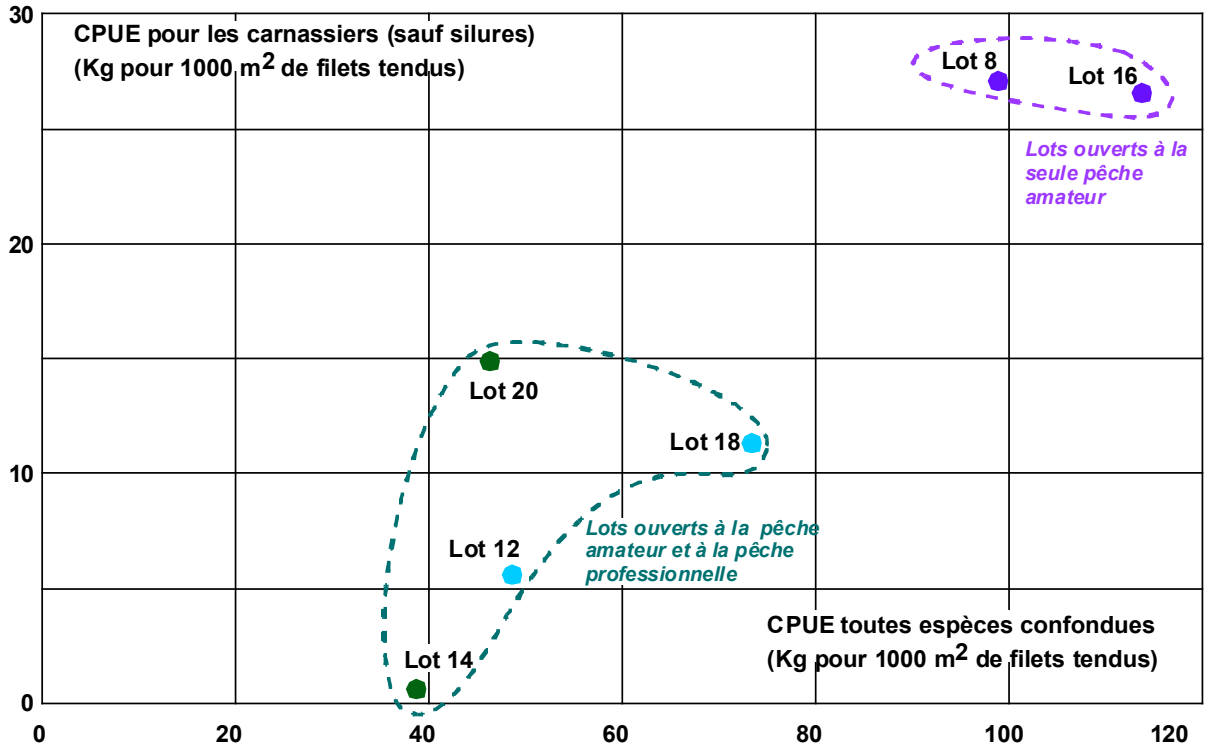


Figure 17. Captures pondérales Par Unité d'Effort obtenues pour les carnassiers et pour toutes les espèces confondues par l'application du dispositif d'échantillonnage standard en novembre 2011 sur 6 lots jalonnant le Doubs navigable jurassien

Parallèlement, les CPUE pondérales toutes espèces confondues sont aussi de deux à trois fois moins importantes dans les lots 20, 18, 14 et 12, ouverts aux deux types de pratiques halieutiques. Pour préciser ces tendances, la structure des populations de 6 espèces indicatrices appartenant à trois groupes présentant des exigences différentes ont été analysées.

Structure et répartition des populations

L'examen de la structure taille / fréquence et de l'organisation des populations des espèces non-anecdotiques permet d'affiner le diagnostic piscicole puis d'orienter la recherche des facteurs d'altérations qui expliquent les déficits piscicoles mesurés (annexe 4). L'analyse est détaillée pour deux espèces de cyprinidés d'eau calme, deux espèces de cyprinidés d'eau vive, et deux espèces de carnassiers.

L'ablette

Ainsi, les échantillons d'ablettes comportent plusieurs classes dans chacune des stations ce qui indique un fort potentiel pour cette espèce (fig. 18). Les densités de juvéniles capturables (taille entre 4 et 7 cm) sont toutefois déficitaires sur les stations B, D, et E. Parallèlement, la densité des adultes dont la longueur dépasse 10 cm se révèle particulièrement faible sur les stations B et D.

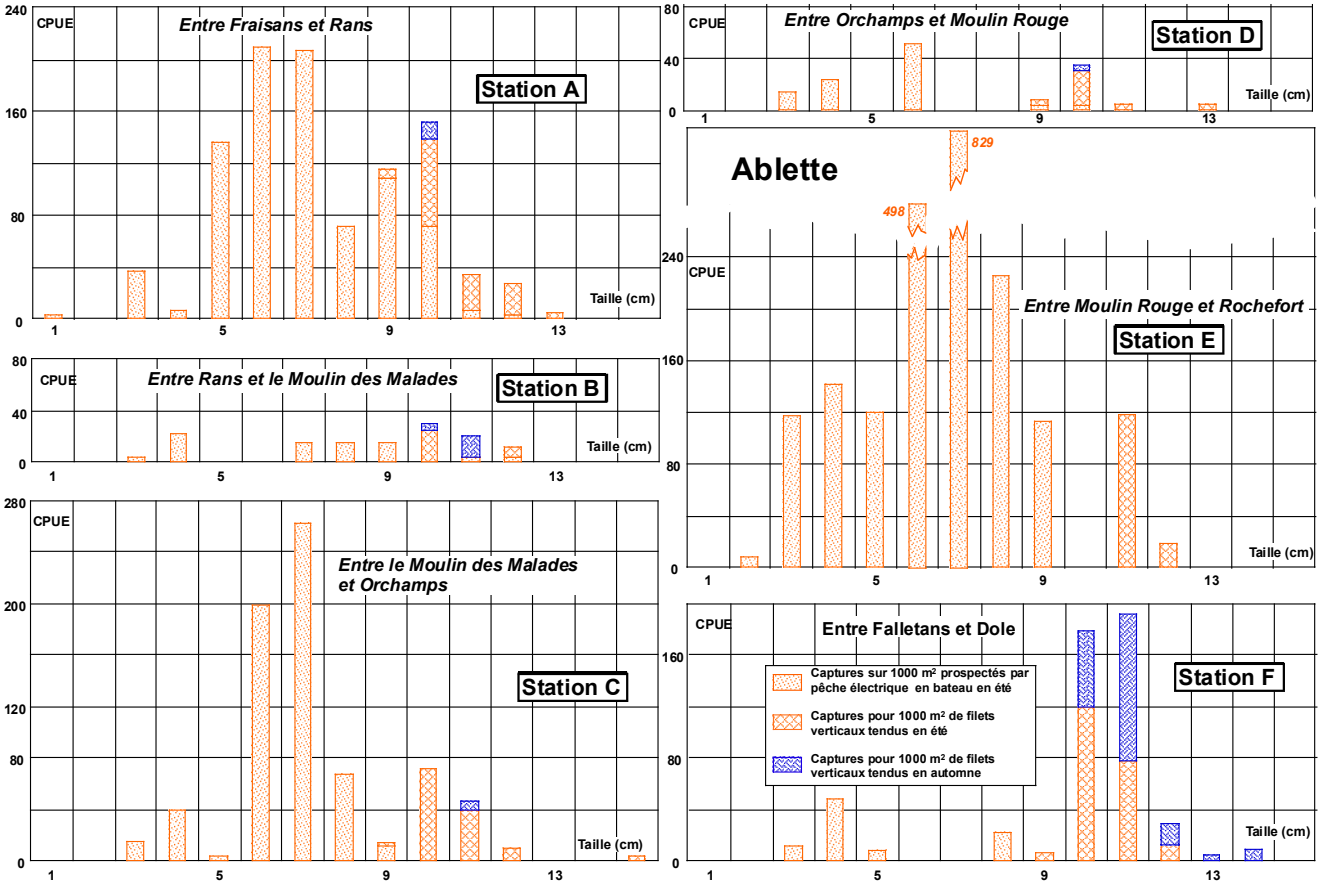


Figure 18. Comparaison des structures taille / densité des populations d'ablettes capturées dans les 6 stations d'étude prospectées en août et en en novembre 2011

De telles différences reflètent l'effet combiné de perturbations de l'habitat, d'entraves à la circulation des poissons, et de pressions de pêche contrastées. Toutefois les belles densités d'ablettes observées sur les stations A et E, ouvertes aux pêches amateur et professionnelle, montre que la seule pression de pêches ne suffit pas à expliquer les déficits observés sur les stations B et D.

Sur le plan de la répartition spatiale, les ablettes affectionnent les calmes profonds qui constituent un des habitats majoritaires tout au long du domaine d'étude. En revanche, elle a souvent besoin de réaliser des migrations journalières entre zone de repos diurne et zone d'alimentation nocturne.

Les déficits d'abondance pourraient donc être liés à des déséquilibres trophiques affectant les ressources alimentaires de pleine eau, combinées avec l'impossibilité pour l'ablette de rejoindre les zones les plus nourricières. L'hypothèse de contaminations du compartiment pélagique ou de perturbations trophiques intermittentes ne peut être écartée.

La Brème commune

Les populations de brèmes communes sont déficitaires sur l'ensemble du secteur d'étude, sauf dans la station C, entre le Moulin des malades et Orchamps (fig. 19). Les juvéniles de l'année et les immatures font défaut dans les 5 autres stations. Les adultes sont aussi en très faibles densités dans les stations A et B.

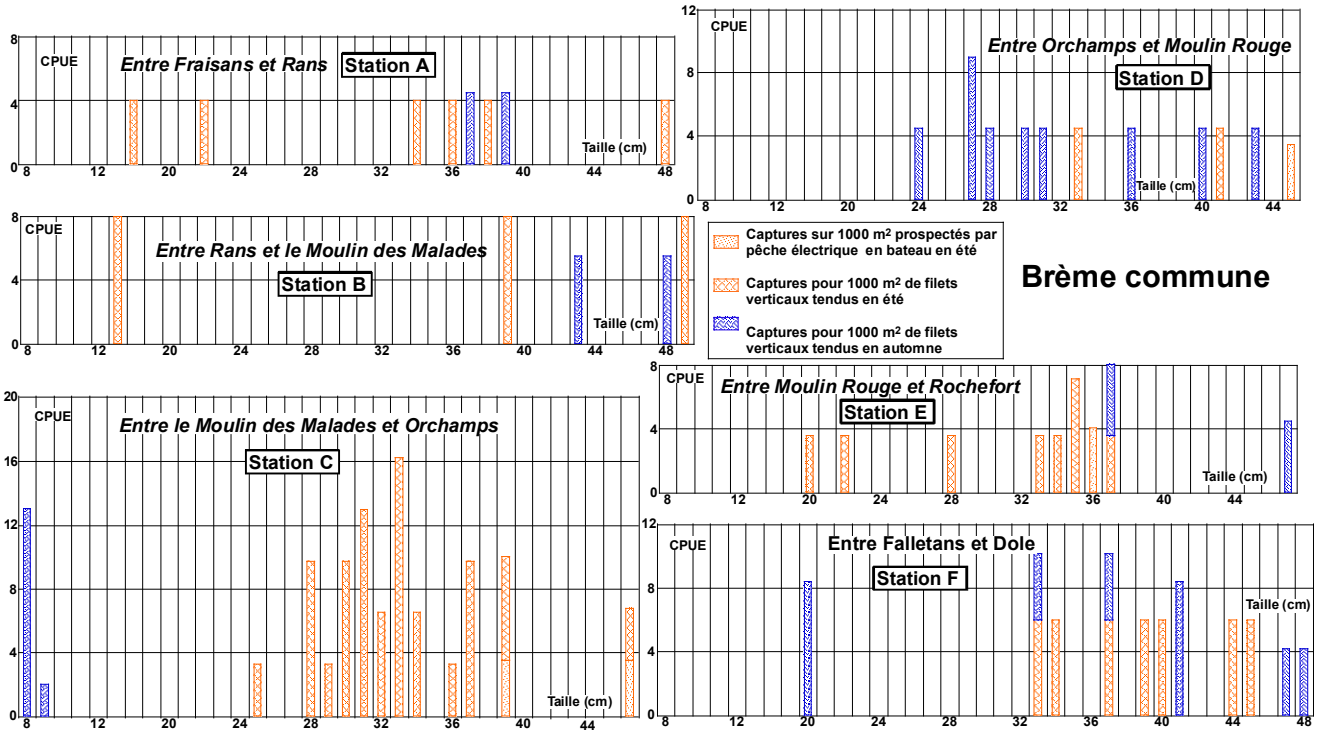


Figure 19. Comparaison des structures taille / densité des populations de brèmes capturées dans les 6 stations d'étude prospectées en août 2011 et en en novembre 2011

La brème commune, réputée polluo-résistante, s'avère souvent plus vulnérable aux contaminations chimiques que la brème bordelière, abondante dans toutes les stations étudiées. L'alimentation benthique, la longévité et le métabolisme lipidique de la brème commune la prédisposent à la bioaccumulation de micropolluants organiques persistants insolubles comme les PCB ou les pesticides organochlorés.

En outre, comme l'ablette, la brème commune effectue communément des migrations plurikilométriques entre frayères, zone de nutrition et zone de repos. Il est donc probable que la série de barrages qui jalonnent le Doubs navigable bride les possibilités offertes à la brème d'exploiter toutes les ressources dont elle a besoin, voire de compenser d'éventuels dysfonctionnements sédimentaires.

Enfin, dans ce contexte, la pression de pêche professionnelle peut aussi contribuer à expliquer les déficits observés pour cette espèce. En effet, les adultes de cette espèce de cyprinidés de grande taille sont particulièrement vulnérables à la maille de 60 utilisée par les pêcheurs professionnels.

Le spirlin

Seule la population de spirlin capturée dans la station B, entre Rans et le Moulin des malades, est à la fois abondantes est équilibrées (fig. 20). Les densités observées dans les stations A, C et D sont moins importantes, mais ces trois stations abritent plusieurs classes d'age de ce cyprin rhéophile.

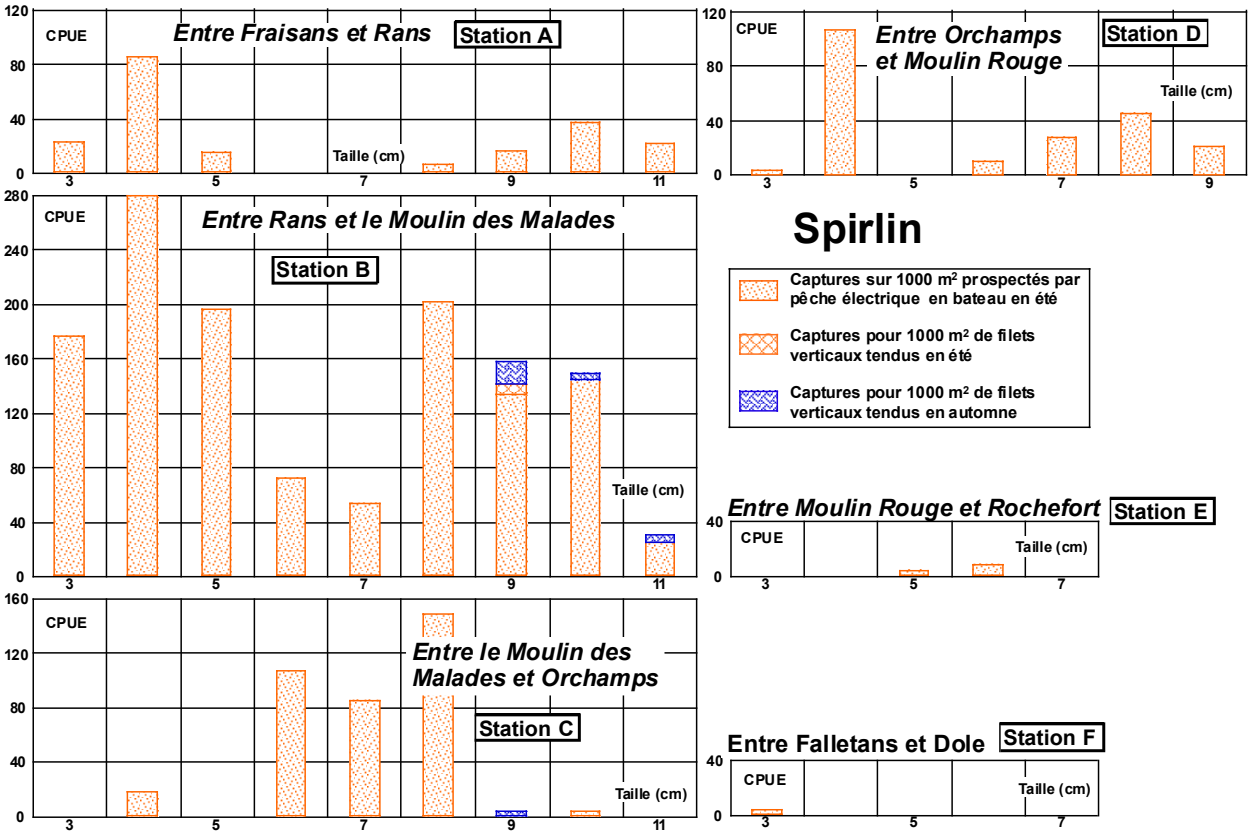


Figure 20. Comparaison des structures taille / densité des populations de spirlin capturées dans les 6 stations d'étude prospectées en août et en en novembre 2011

En revanche, les populations capturées dans les stations D et E sont appauvries et déstructurées. Les quelques individus échantillonnés sur ces deux sites peuvent en outre avoir dévalé depuis les stations amont. Cette faible représentation du spirlin dans les deux stations aval pourrait révéler l'insuffisance des courants baignant les gravières propices à sa reproduction printanière.

Or, au sein du Domaine d'étude, les seuls secteurs correspondant à ces faciès d'écoulements rapides sont localisés à l'aval immédiat des barrages. Seule la boucle d'Etrepigney (station B) bénéficie d'un véritable radier entre les 2 seuils qui la délimitent. On en déduit une forte probabilité de l'insuffisance des débits réservés délivrés par les barrages du Moulin Rouge et de Rochefort.

Le Barbeau

Cette hypothèse est corroborée par l'analyse des structures taille / densité des populations de barbeau capturées au sein des 6 stations. En effet, les variations d'abondance des différentes classes de taille de cette espèce suivent le même schéma que pour le spirlin (fig. 21).

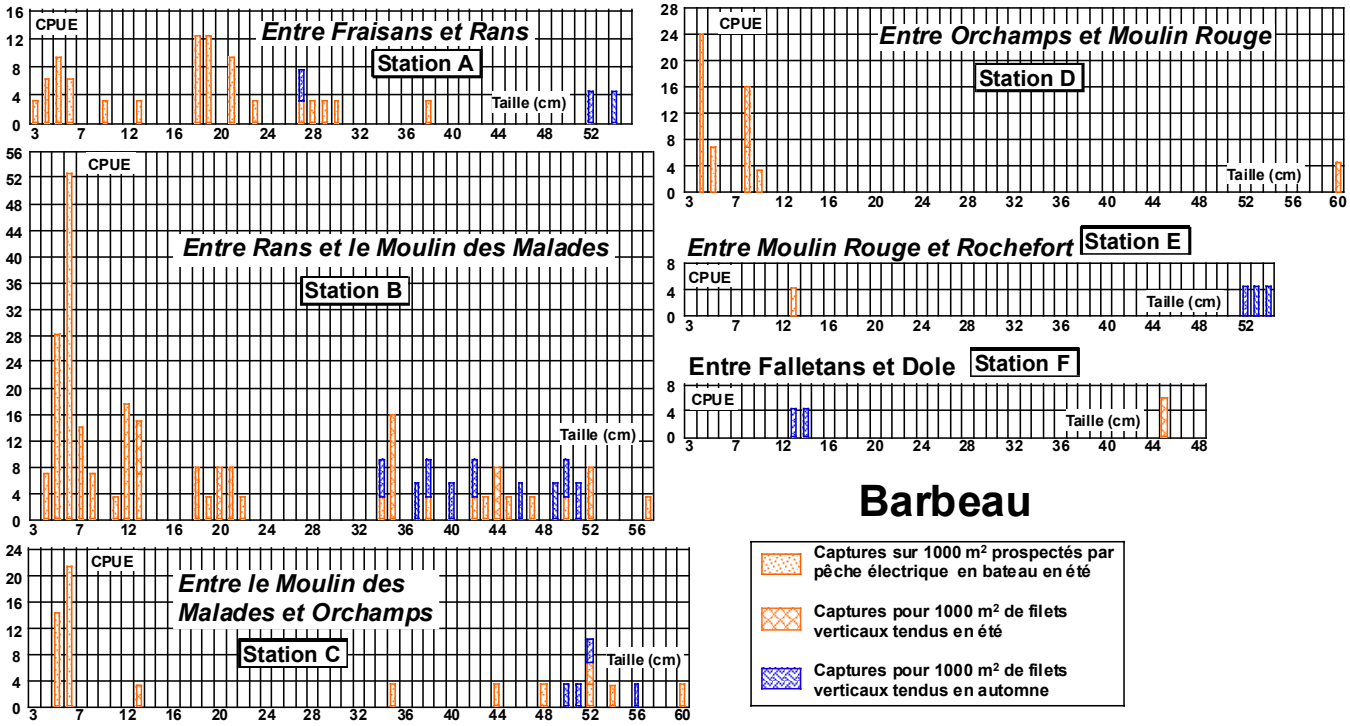


Figure 21. Comparaison des structures taille / densité des populations de barbeau capturées dans les 6 stations d'étude prospectées en août et en en novembre

D'une part, seule la station B abrite une population de barbeau à la fois dense et équilibrée. D'autre part, il n'a pu être capturé, dans les stations E et F, que quelques barbeaux erratiques. Les densités observées en été sur ces 2 stations sont particulièrement faibles et indiquent que la fraie de cette espèce ou /et le développement de ses alevins y sont problématiques.

En outre, les captures réalisées dans la station D sont presque uniquement des juvéniles. Sur cette station, le déficit d'adultes pourrait indiquer d'autres perturbations des écoulements ou, plus généralement, de l'habitat aquatique. Le barbeau est en effet exigeant en matière d'organisation spatiale et son développement harmonieux nécessite qu'il puisse circuler entre toute une série d'habitats suivant le concept du « home range » (BARAS 1992-1993-1997).

Le Brochet

Les variations de la structure des populations de brochets capturées dans les six stations reflètent à la fois les effets de la pression de pêche, des perturbations de l'habitat de reproduction et du développement des brochetons (fig. 22). En effet, les échantillons capturés, peu denses, sont pour la plupart déséquilibrés en termes de classes de taille.

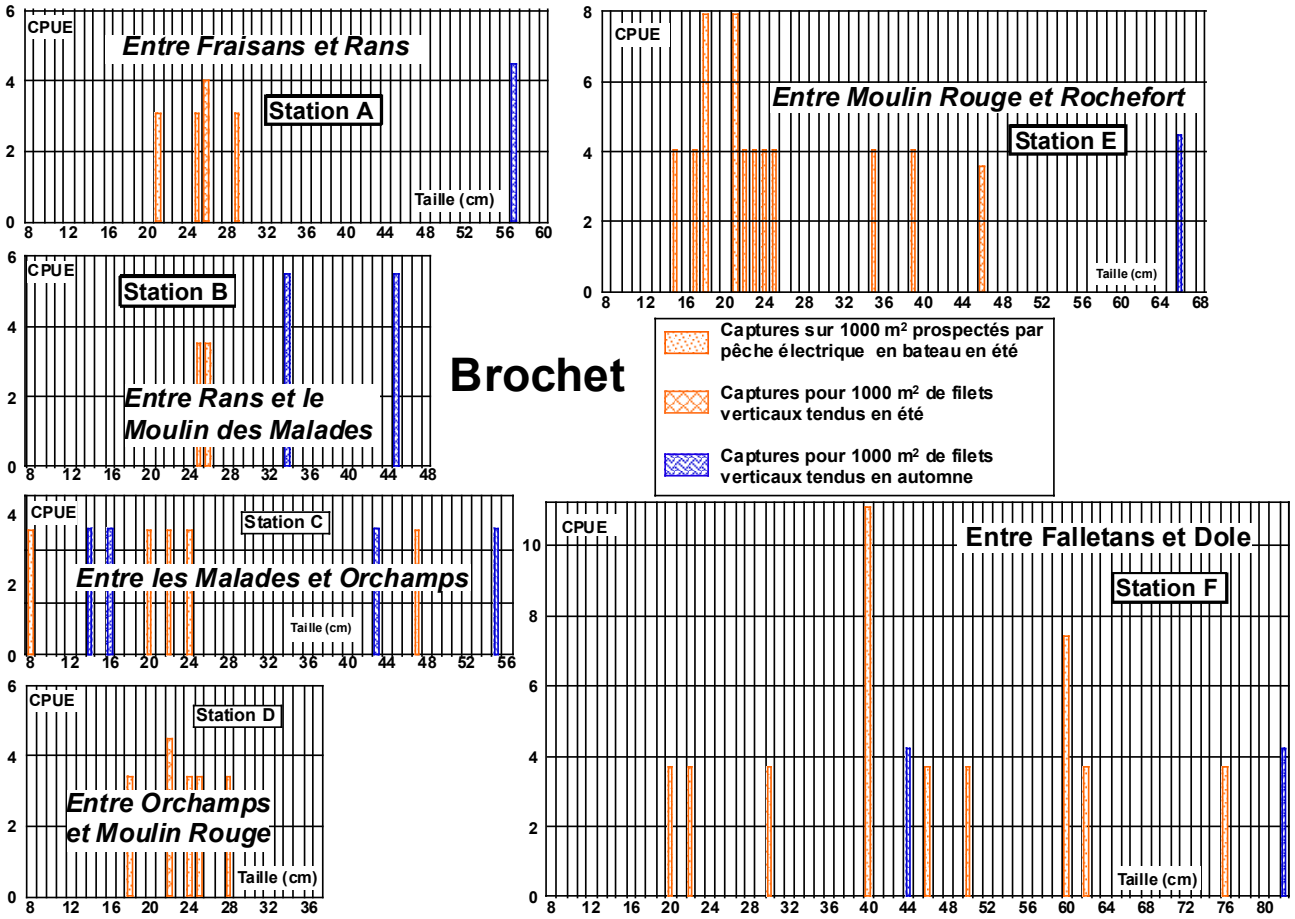


Figure 22. Comparaison des structures taille / densité des populations de brochet capturées dans les 6 stations d'étude prospectées en août et en en novembre 2011

En effet, dans presque toutes les stations, les brochets dépassant la taille minimale légale de capture à la ligne, c'est-à-dire 50 cm, sont très peu abondants. Les individus adultes ou subadultes sont même absents des stations B et D. Seule la station F abrite une densité de grands brochets un peu plus soutenue.

Cette station est pourtant soumise à une forte pression de pêche à la ligne, mais elle est composée d'une série d'habitats très favorables, comprenant des branchages immergés et des ceintures hélophytiques bien développées. Surtout, elle est la seule des 6 stations étudiées à être connectée avec deux mortes réellement en eau en période d'étiage.

A contrario, ce type de systèmes latéraux fonctionnels, très attractifs, fait complètement défaut dans les autres stations. Quand elles comportent des mortes ou annexes connectives, celles-ci sont fortement envasées et partiellement ou complètement asséchées en période d'étiage.

Enfin, le petit nombre de juvéniles de l'année capturés lors de chacun des deux campagnes montre que la connectivité du chenal et des zones humides est dégradée. En effet, les meilleures zones de fraie et surtout de nurseries pour les brochetons sont constituées par des baissières en zone alluviale, parfois éloignées du lit mineur, mais maintenues en eau par la nappe et accessibles au brochet par le jeu des inondations ou des chevelus afférents.

Sandre

La comparaison des structures en taille des échantillons de sandre capturés sur les six stations d'étude révèle des populations très appauvries, sauf en ce qui concerne la station F (fi. 22). Sur les cinq autres stations, il n'a été capturé que très peu d'adultes et aucun juvéniles de l'année. Ce dernier constat indique une forte altération des potentiels de cette espèce sur le Doubs.

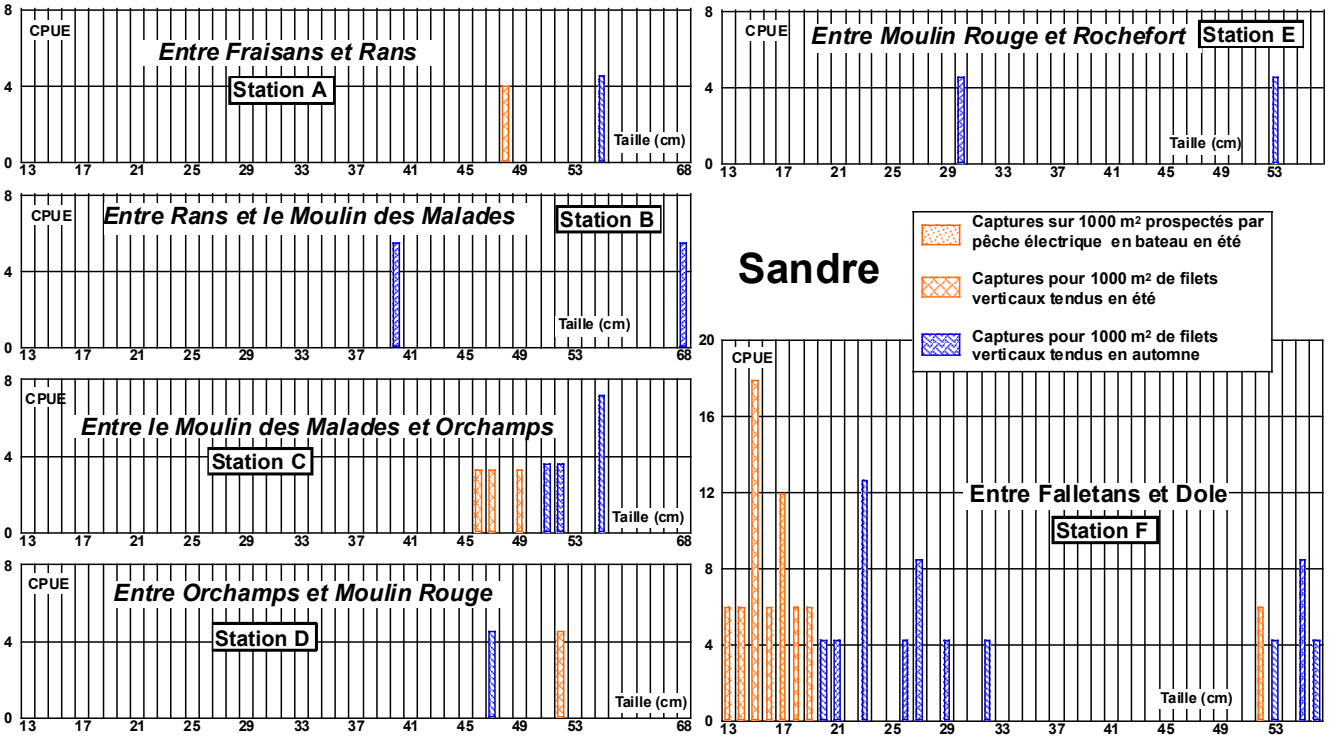


Figure 22. Comparaison des structures taille / densité des populations de sandre capturées dans les 6 stations d'étude prospectées en août et en en novembre

Les deux stations ouvertes à la seule pêche amateur sont celles qui abritent les plus fortes densités d'adultes. Toutefois, la présence exclusive de juvéniles dans la station F, seule associée à des mortes réellement en eau en période d'étiage estival, montre que les déficits de sandres sont aussi liés à la fonctionnalité des systèmes latéraux.

Synthèse sur l'état des peuplements

État des peuplements en 2011

En 2011, les peuplements piscicoles du Doubs navigables jurassiens ne jouissaient que d'un état de santé mitigé et variable selon les espèces et les secteurs considérés.

1. Dans l'ensemble, le domaine d'étude abrite des biomasses moyennes à élevées (toutes espèces confondues).
2. Des espèces électives de la zone à barbeau (goujons) et de la zone à brème (brème bordelière, bouvière…) présentent partout des abondances élevées.
3. Sur tous les tronçons, le silure montre une tendance à l'expansion, voire à la prolifération ; il occupe préférentiellement les habitats les plus attractifs pour l'ensemble de l'ichtyofaune (branchages immergés, blocs avec anfractuosités…).
4. En revanche, les espèces les plus apicales (truite, vairon…) ou centrales mais réputées sensibles à la qualité de l'eau et exigeantes quant à leurs habitats (lotte, vandoise, toxosotome…) sont en régression ou ont complètement disparu.
5. Des espèces réputées résistantes et limnophiles mais possédant de fortes exigences trophiques et connues pour utiliser un large panel d'habitats lors de migrations journalières (ablettes, brèmes…) sont localement déficitaires.
6. Dans les deux tronçons les plus en aval, les densités des espèces rhéophiles les plus résistantes mais dont la fraie ne réussit que sur des grands radiers durablement baignés de courants vifs (barbeaux, spirlin) sont très appauvries.
7 Dans les compartiments les plus artificialisés que sont les canaux et les biefs navigables, l'ichtyofaune est à la fois beaucoup moins abondantes et beaucoup moins variées, quelques que soient les groupes d'espèces considérés.
8 Dans les tronçons court-circuités ouverts aux pêches professionnelle et amateur, les rendements de pêche toutes espèces confondues et en carnassiers sont nettement moins élevés que dans les TCC ouverts à la seule pêche amateur.

Cette dernière constatation ne prouve pas à elle seule que la pêche professionnelle soit responsable des différences d'abondance de la ressource halieutique. En effet, pour élucider complètement cette problématique, il convient dans un premier temps, d'essayer de quantifier et de comparer les récoltes des deux modes de pêches pour mieux en hiérarchiser les pressions respectives.

Dans un deuxième temps, il sera nécessaire de confronter, à l'aide des données disponibles, l'évolution des captures et des biomasses avant et après le début de l'ouverture d'une partie des lots à la pêche professionnelle.

Dans un troisième temps, il faudra vérifier que les mosaïques d'habitats relictuelles ont bien les mêmes capacités piscicoles sur les différents lots ou groupes de lots.

Dans un quatrième temps, il conviendra aussi d'apprécier l'importance relative des perturbations de la morphologie et des débits par rapport à l'impact du surcroît de pression de pêche.

Production et exportation : les statistiques halieutiques

Un bilan des statistiques halieutiques serait utile pour compléter et préciser le diagnostic en tenant compte des variabilités annuelles. Il permettrait aussi de s'approcher d'avantage de la productivité de chaque secteur. En effet, les CPUE des pêches scientifiques fournissent des images de la biomasse en place, mais pas directement de la production, même si ces deux grandeurs sont fortement corrélées (RICKER 1980).

Cependant, les statistiques des pêcheurs professionnels, confiées à l'ONEMA qui ne peut les diffuser qu'en les anonymant, ne sont pas disponibles dans le cas du Doubs navigable jurassien. Elles sont d'autant plus inaccessibles qu'il n'y a que deux pêcheurs professionnels sur les lots compris dans le domaine d'étude. Dans ce cas de figure, les informations sont aussi soumises au secret statistique agricole. Il n'a donc pas été possible d'obtenir de données quantitatives sur la récolte ni sur les rendements de la pêche professionnelle.

Les pêcheurs amateurs à la ligne nous ont en revanche indiqué leurs récoltes depuis 2007, mais uniquement pour une des deux APPMA gérant la pêche amateur sur le domaine d'étude (tab. 16). Ces données, qui ne concernent que les stations C, D, E et F, ne somment que les captures des titulaires d'une carte annuelle achetée à la Gaule du Bas Jura. Surtout, il n'y a aucune indication sur l'effort de pêche consenti chaque année par ces pêcheurs, ni sur ses éventuelles variations.

Espèces ***Années***	***Black-bass***	***Brochet***	***Sandre***	***Silure***	***Truite***
2007	32	371	276	209	81
2008	41	341	240	302	62
2009	23	296	236	254	73
2010	28	255	212	231	61

Tableau 12. Evolution des récoltes des pêcheurs de la Gaule du Bas Jura de 2005 à 2010 sur le secteur compris entre le Moulin des Malades et Dole

Ces données montrent une baisse continue de la récolte pour tous les carnassiers entre 2007 à 2010, sauf pour les truites, qui sont issues d'alevinages ponctuels. Cette diminution des captures est particulièrement nette pour le brochet (- 31 %) et pour le sandre (-21 %). Cependant, en l'absence de quantification de la pression de pêche à la ligne et sans informations sur la distribution des tailles des captures, la significativité de cette tendance ne peut être tenue pour certaine.

Évolution depuis les années 1970.

Des pêches scientifiques n'ont été réalisées sur ce secteur qu'entre 1968 et 1972 (VERNEAUX 1973), en 1980 (CTGREF 1980) et en 1992 (ISTE 1993). Ces opérations ont consisté en l'application de protocoles différents, mais comportant à chaque fois des prospections à l'électricité et au filet, et appliqués sur des linéaires variables mais centré à chaque fois sur Orchamps. Leur confrontation montre que la qualité des peuplements a subi des fluctuations (tab. 13).

Otyp	Nom français	*Nom latin*	Ant	1970	1980	1992	2011
1	**Truite**	***Salmo trutta fario***	***1***	***0,1***	***0,1***	***1***	
1	*Truite arc en ciel*	*Onchorynchus mykiss*			*0,1*	*0,1*	*?*
2	**Chabot**	***Cottus gobio***	***1***				
3	**Lamproie de Planer**	***Lampetra planeri***	***0,1***	***?***			
4	**Vairon**	***Phoxinus phoxinus***	***1***				
5	Loche franche	*Barbatula barbatula*	*1*	*1*			***1***
6	**Ombre**	***Thymalus thymalus***	***1***				
8	**Apron**	**Zingel Asper**	**0,1**				
8	**Blageon**	***Leuciscus souffia***	***2***				
9	Chevesne	*Squalius cephalus*	*3*	*3*	*5*	*5*	***4***
11	Goujon	*Gobio gobio*	*4*	*4*	*3*	*5*	***4***
12	**Toxostome**	***Parachondrostoma toxostoma***	***3***	***1***	***1***	***0,1***	
13	Hotu	*Chondrostoma nasus*		*1*	*0,1*	*4*	***5***
14	Barbeau	*Barbus barbus*	*4*	*4*	*1*	*4*	***3***
15	**Lote**	***Lota lota***	***3***				
16	Spirlin	*Alburnoides bipunctatus*	*3*	*1*			***3***
17	**Vandoise**	***Leuciscus leuciscus***	***3***	***2***	***2***	***1***	***0,1***
18	Brochet	*Esox lucius*	*5*	*4*	*3*	*5*	***3***
19	Perche	*Perca fluviatilis*	*3*	*1*	*1*	*5*	***4***
20	Gardon	*Rutilus rutilus*	*5*	*5*	*5*	*5*	***4***
21	Ablette	*Alburnus alburnus*	*5*	*5*	*4*	*5*	***3***
22	Carassin commun	*Carassius carassius*					***0,1***
22	Pseudorasbora	*Pseudorasbora parva*					***2***
23	Carpe (« *écaille* »)	*Cyprinus carpio*	*3*	*3*		*4*	***3***
24	Black bass	*Micropterus salmoides*		*0,1*		*1*	***1***
24	Bouvière	*Rhodeus amarus*	*3*	*3*		*4*	***4***
24	Tanche	*Tinca tinca*	*4*	*4*	*2*	*4*	***2***
26	Perche soleil	*Lepomis gibbosus*		*3*	*3*	*2*	***1***
26	Rotengle	*Scardinius erythrophtalmus**	*2*	*1*	*1*	*5*	***4***
27	Brème	*Abramis brama*	*5*	*4*	*3*	*5*	***1***
27	Sandre	*Sander lucioperca*			1	5	**3**
28	Brème bordelière	*Blicca bjoerkna*	*1*	*3*	*1*	*5*	***3***
28	Grémille	*Gymnocephalus cernuus*		5		4	**3**
28	Poisson-chat	*Ameiurus melas*		*2*	*1*	*4*	
28	Silure	*Siluris glanis*					**5**
GM	**Anguille**	***Anguilla anguilla***	***5***	***3***	***0,1***	***0,1***	***0,1***
1	**Pied blanc**	***Austropotamobius pallipes***	0,1				
20	***Ecrevisse américaine***	***Orconectes limosus***		***?***		***2***	***1***

LEGENDE : espèces en régression, non capturées ou anecdotiques en 2011 ; *espèces exotiques*
Ant = TELEOS 2001, **1970** = VERNEAUX 1973 ; **1980** =CTGREF 1982 ; **1990** ISTE 1993 ; SDVP 39 1987-2001

Tableau 13. Evolution de la composition semi-quantitative du peuplement piscicole du Doubs navigable à partir de 4 séries de pêches scientifique centrées sur Orchamps

À la fin des années 1970, le peuplement piscicole témoignait déjà de plusieurs altérations et déséquilibre que VERNEAUX (1973) attribuait surtout à la pollution organique et nutrimentielle. En 1980, la situation de part d'autre d'Orchamps semblait avoir empirée et le peuplements piscicole de ce secteur était appauvri.

En revanche, en 1992, la plupart des espèces centrales et en particulier le brochet et le sandre ont pu être capturées en abondance optimale (cote 5/5). Cette progression pourrait avoir été liée à l'amélioration de la qualité chimique de l'eau, grâce à la mise en place depuis les années 1980 de réseaux de collecte et d'épuration des rejets domestiques.

Durant cette campagne de pêche scientifique, le protocole de pêche au filet mis en œuvre début octobre 1992 sur la station C a été identique à celui qui a été utilisé à la mi-novembre 2011. Il a consisté en effet en la triple prospection systématique des principaux habitats aquatiques, considérés comme des pôles d'attraction, à l'aide du même type de filets verticaux multimailles.

Les rendements de pêche obtenus à chacune des deux époques ont donc pu être confrontés, en distinguant les différents compartiments hydrauliques (fig. 23). Cette comparaison, effectuée pour le seul lot 16, montre que, les rendements en carnassiers et toutes espèces confondues ont été de 3 à 4 fois plus importants en 1992. Or, ce secteur n'a jamais été ouvert à la pêche professionnelle : la baisse des rendements ne peut donc être imputée à cette pression halieutique supplémentaire.

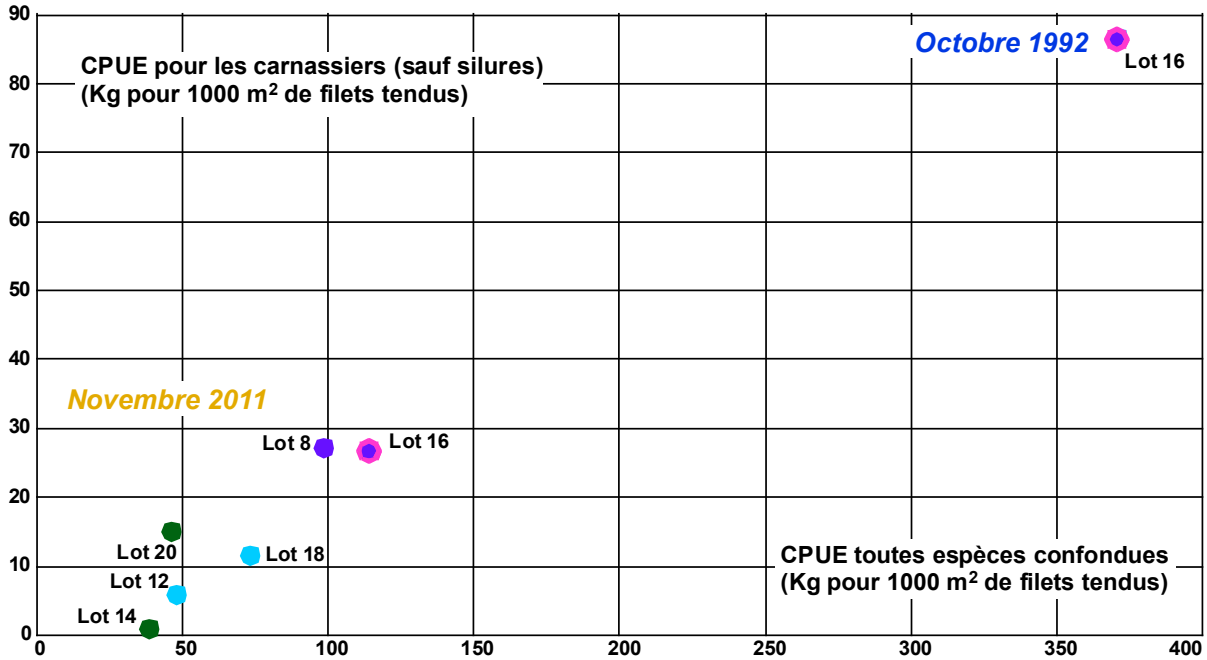


Figure 23. Captures pondérales par Unité d'Effort obtenues pour les carnassiers (hors silure) et toutes espèces confondues par l'application du protocole standard de pêche par pôle à l'aide de filets verticaux disposés dans 6 lots en novembre 2011 et sur un de ces lots, jamais ouvert à la pêche professionnelle, en octobre 1996

En outre, durant la campagne d'octobre 1992, plus de la moitié des brochets et une bonne partie des sandres ont été capturés dans deux mortes connectives, dont celles des Doulonnes où une truite de 6 kg a aussi été prise. Ces systèmes latéraux étaient donc alors suffisamment profonds pour que l'on puisse y disposer des filets en étiage, alors qu'elles sont maintenant fortement envasées et désormais complètement inaccessibles en barque durant les basses eaux.

La significativité de ces données sur l'évolution de l'abondance de l'ichtyofaune est limitée par l'écart temporel entre les deux mesures (près de 20 ans) et par l'unicité de la station échantillonnée en 1991, qui n'a en outre été prospectée qu'en automne. Cependant, ces observations sur la répartition des captures durant cette campagne automnale constituent une preuve supplémentaire de l'importance des systèmes latéraux ainsi que de leur fonctionnalité hydraulique et écologique.

Orientation de la recherche des causes d'altération des potentiels

Les déficits ou régression de certaines espèces combinées avec les différences spatiales et temporelles des rendements de pêche globaux ou en carnassiers oriente la recherche des causes de limitation des potentiels ou d'appauvrissement des peuplements vers 4 hypothèses que l'on peut d'ores et déjà hiérarchiser en fonction de la fréquence et du poids des indices qui les désignent :

1. La simplification et l'altération des habitats aquatiques, aggravée par l'accélération du comblement ou du colmatage des mortes depuis une vingtaine d'années, expliquent en grande partie la régression des potentiels piscicoles.
2. Les capacités biogènes sont aussi perturbées par l'artificialisation des débits, à l'aval immédiat des barrages, et en particulier par l'insuffisance de certains débits réservés arrosant les rares secteurs lotiques, d'ailleurs minoritaires.
3. Le cumul des pressions de pêche au filet et à la ligne pourrait expliquer, sur certains secteurs, une partie de la diminution de l'abondance des carnassiers adultes et en particulier des sandres et des brochets de taille capturable.
4. Des contaminations chimiques insidieuses ou/et intermittentes entraînant la perturbation des transferts trophiques dans un ou plusieurs compartiments spatiaux peuvent aussi expliquer une partie des déficits de production.

La vérification des points 1 et 3 nécessite l'analyse standard et comparative de la qualité physique des 6 tronçons étudiés.

3. Relations entre qualité du Doubs et potentiel piscicole

Pour pouvoir restaurer, protéger et gérer au mieux les potentiels piscicoles et halieutiques du Doubs, il convient d'évaluer les capacités biogènes et les mécanismes fonctionnels qui les déterminent. En effet, il est beaucoup plus efficace d'agir sur les causes que sur les conséquences des altérations et dysfonctionnements. Dans cette optique, nous nous sommes intéressés à la qualité, d'une part, physique et, d'autre part, chimique du Doubs.

Or, les analyses chimiques sont forcément partielles et partiales car on ne peut tout mesurer parmi les milliers de paramètres chimiques connus, ni prendre en compte la variabilité spatio-temporelle de la qualité chimique de l'eau. En outre, aucune analyse chimique de l'eau ou des sédiments n'a été prévue dans le cadre de la présente étude, alors que les données existantes sur la chimie de l'Eau ou des sédiments de cette portion du Doubs sont plutôt limitées.

Il est donc plus judicieux de commencer par évaluer la qualité physique du Doubs entre Fraisans et Dole. Cette démarche a été réalisée aux deux échelles emboîtées qui intéressent les gestionnaires.

D'une part, la caractérisation des mosaïques d'habitats à l'échelle stationnelle, c'est-à-dire pour chaque site de pêche qui recouvre une des séquences de faciès "type" qui se répètent tout au long du Doubs, a été utilisée pour interpréter les différences observées entre les potentiels respectifs des différentes stations.

En particulier, cette approche a permis de vérifier si les écarts mesurés pour les densités piscicoles totales ou et pour celles des carnassiers étaient liés ou non à des contrastes habitationnels. Elle a aussi contribué à quantifier les relations entre le développement des potentiels piscicoles et d'éventuelles altérations physiques.

D'autre part, l'évaluation des composantes de la qualité physique à l'échelle de tronçons fonctionnels a permis de vérifier et de préciser les différences des capacités potentielles des 6 secteurs considérés. En effet, les interconnections entre le chenal, les annexes fluviales, les affluents et les zones humides constituent à la fois un moteur et un multiplicateur de la qualité des mosaïques d'habitats aquatiques. Cette approche à l'échelle globale est donc aussi utile pour circonscrire et hiérarchiser les causes premières des altérations physiques.

Enfin, un bilan des connaissances sur les contaminations chimiques sera réalisé et précisé à l'aide des résultats d'analyses effectuées dans la chair des poissons.

Qualité des mosaïques d'habitat à l'échelle stationnelle

Mise en œuvre de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique

Rappels des principes de la méthode

La méthode utilisée est fondée sur une analyse cartographique standard des mosaïques de substrats/supports, de hauteurs d'eau et de vitesses de courant. Mise au point par la DR 5 du CSP (1993–1997), puis finalisée par TELEOS (2002), cette approche fournit des images comparables de l'hétérogénéité et de l'attractivité biogène d'un cours d'eau à l'échelle de la station, définie comme unité de travail représentative des situations rencontrées dans un tronçon fonctionnel.

La longueur d'une station est déterminée dans la pratique en fonction de la largeur moyenne du lit, par un facteur compris entre 5 et 20. Dans le cas des potamons, la longueur de la station est proche de 20 fois la largeur.

À qualité d'eau et niveau trophique égaux, les potentialités piscicoles d'un site d'eau courante sont en effet déterminées par la diversité et la qualité des combinaisons de hauteurs d'eau, de vitesses de courant et de substrats/supports. La démarche diagnostique consiste donc à réaliser une cartographie codifiée de chacune de ces composantes de la qualité physique, puis de considérer leur combinaison. Les compositions respectives des différentes mosaïques, considérées une par une, puis superposées, peuvent ainsi être appréciées et confrontées d'une station à l'autre.

Les limites des classes d'hétérogénéité de chaque composante ont été déterminées statistiquement. Leur combinaison définit des zones d'attraction différentielle vis-à-vis des poissons : elles sont appelées "pôles d'attraction". Cette notion intègre l'aspect dynamique de l'intérêt offert par un habitat pour l'ensemble des espèces.

Les capacités piscicoles associées à la morphologie d'une station sont chiffrées globalement, et non pas reconstituées placette par placette, ni fondées sur la définition de *preferenda* spécifiques associées séparément à chaque descripteur fondamental (substrat, profondeur, vitesse). Leur évaluation diffère donc, sur le plan conceptuel, de celle de la méthode dite des " micro-habitats " ou de ses dérivés.

Modalités d'application de la méthode dans le domaine d'étude

Dans le cas du Doubs navigable jurassien, une carte bathymétrique a été réalisée à l'aide d'un échosondeur enregistreur numérique et d'un logiciel d'intrapolation adapté. Les écoulements étant très simplifiés par la chenalisation du cours d'eau, les relevés de vitesses de courant ont été réalisés en bateau par la méthode du bouchon, puis vérifiés *a posteriori* sur plusieurs points à l'aide d'un courantomètre.

Parallèlement, les mosaïques des substrats/supports, ont été explorées en bateau. La délimitation et la localisation des placettes homogènes pour cette composante de l'habitat ont été dessinées *in situ* sur des fonds de photos aériennes agrandies.

Toutes les cartographies ont été réalisées alors que les débits étaient compris entre 22 et 35 m3/s. Ces écoulements, très proches du QMNA5, qui vaut 15 m3/s, correspondent à un étiage courant.

Outils indiciels d'interprétation

Les cartes obtenues permettent de visualiser l'attractivité et l'hétérogénéité des mosaïques d'habitats. De façon plus synthétique, une série d'indices re-situe les résultats obtenus pour chaque station sur des échelles d'hétérogénéité et d'attractivité biogène. Ces indices sont définis ci-dessous.

* La variété (**Var**) est le nombre de classes pour chacune des composantes de la qualité des mosaïques d'habitats. Pour les substrats/supports, les éléments composites (mélanges de substrats) ne rentrent dans le calcul que si les matériaux « unitaires » ne sont pas présents de façon isolée sur la station.
* La diversité (**Div**) mesure la complexité et l'hétérogénéité quantitative de la répartition des surfaces entre les classes de chaque composante :

  $$\mathbf{Div} = - \sum_{n}^{1} Si \times [(\log10(Si)]$$

  où : n est le nombre de catégorie (n=var)
  Si est la surface cumulée des placettes appartenant à la ième catégorie
* L'Indice d'Attractivité Morphodynamique (**IAM**) sanctionne la variété des classes de hauteurs d'eau, de vitesses et de substrats/supports ainsi que l'attractivité des substrats/supports pour l'ichtyofaune. Il est défini par la formule suivante :

  $$\mathbf{IAM} = [\sum_{n}^{1} Si \times Attract.(subs.)] \times Var (subs.) \times Var (h.e.) \times Var (v.)$$

  où : v. : vitesse h.e : hauteurs d'eau subs. : substrats/supports
  Attract. : attractivité des substrats supports.

Cet indice constitue une expression synthétique de la qualité des mosaïques d'habitat. Pour le calculer, l'attractivité relative des substrats/supports a été déterminée statistiquement sur plusieurs dizaines de rivières (tab. 14).

Substrat	**Code**	**Attractivité**
Branchages, grosses racines	BRA	100
Sous-berges	BER	90
Hydrophytes éparses	HYI	80
Blocs avec caches	BLO	60
Galets	GAL	50
Hélophytes	HLE	40
Chevelus racinaires, végétations rases	CHV	40
Blocs sans anfractuosités	BLO	30
Galets et graviers mélangés	GGR	25
Graviers	GRA	20
Profond (calme de profondeur > 2,5 m)	PRF	
Galets pavés	GLS	10
Litières organiques	LIT	10
Sables	SAB	8
Éléments fins, limons	FIN	4
Fonds nus organiques, vases	FNO	3
Dalles, surfaces indurées (sans cache)	DAL	1
Affluents, sources, résurgences	BONUS +25% si vecteur rhéologique sensible	

Tableau 14. Cotation hiérarchisée de l'attractivité globale des substrats supports

Caractérisation des mosaïques d'habitat

Cartes des composantes de l'habitat

L'application de cette approche d'analyse standard a permis de caractériser la composition des mosaïques de pôles d'attraction des six stations étudiées (exemple sur la figure 24, détail de toutes les cartes en annexe 5). La méthode IAM permet d'analyser séparément les trois composantes fondamentales de l'habitat aquatiques puis d'évaluer la diversité et l'attractivité de leurs combinaisons.

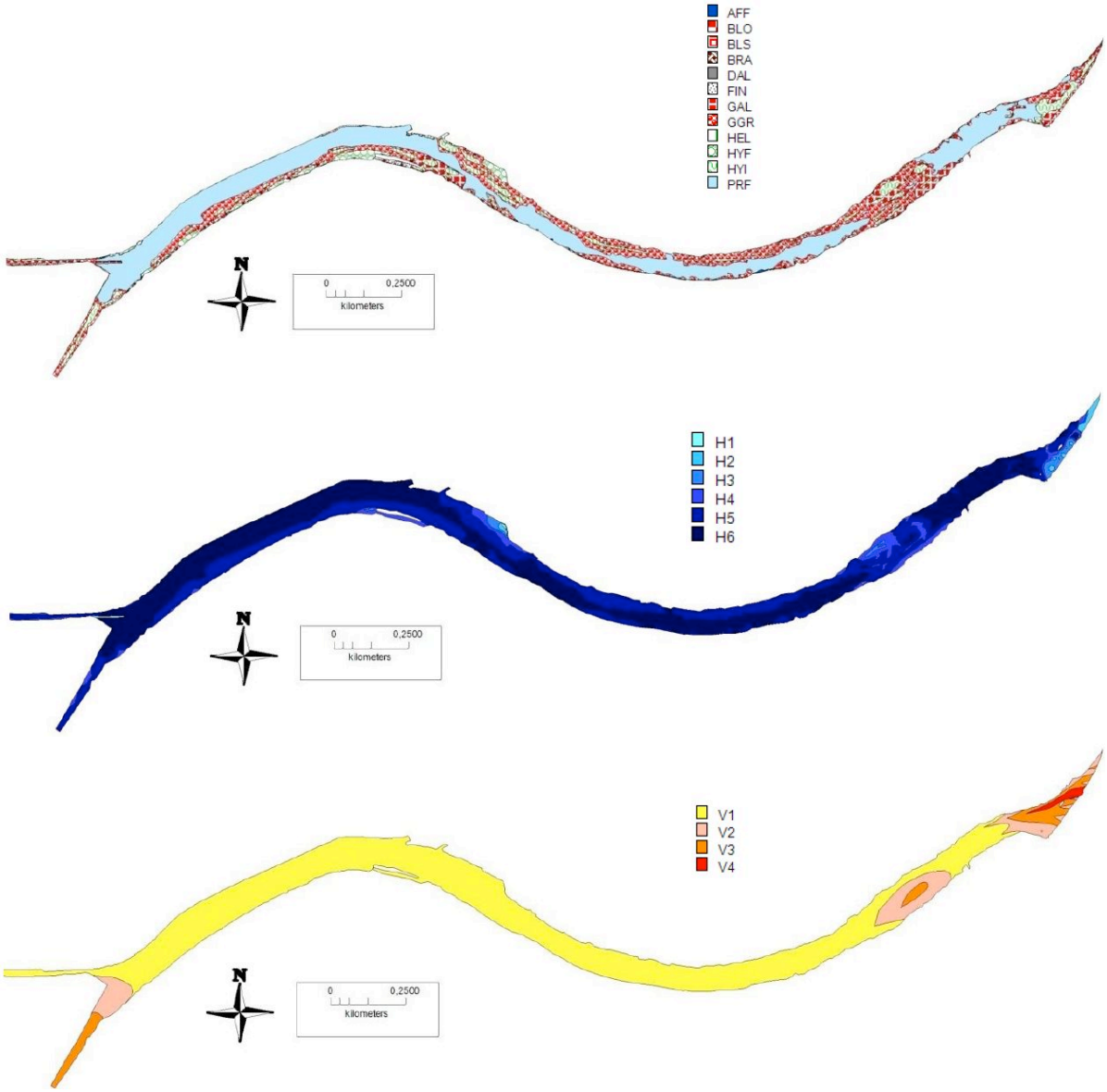


Figure 24. Cartes des mosaïques de substrats-supports (en haut), des hauteurs d'eau (au milieu) et des vitesses de courant (en bas) ; cf. codes dans les tableaux 14 et 15

En considérant d'abord les 6 stations globalement, on perçoit une homogénéité notable des trois composantes de l'habitat aquatique (tab. 15). En effet, sur toutes les unités de travail, les écoulement sont très uniformes tandis que les mosaïques de substrats supports sont dominées par des fonds de graviers mélangé de petits galets alternant avec des profonds calmes.

Mosaïques des substrats / supports

À partir d'une certaine hauteur d'eau (2,5 m), la profondeur efface ou atténue l'attractivité du substrats ou du support sous-jacent. En effet, en période d'étiage, ces mouilles profondes constituent elles-mêmes des caches ou au moins des refuges. L'absence de courant fort rend inutiles pour le poisson la présence d'abris hydrauliques. Leur attractivité globale se révèle toutefois plus faible que des herbiers ou des branchages sur des hauts fonds.

	A	B	C	D	E	F
Classes de substrats / supports						
Affluents sensibles	0,0%					
Blocs avec anfractuosités	0,1%	8,8%	0,7%	1,1%	1,0%	0,8%
Blocs sans anfractuosité	1,4%		0,6%	1,8%		0,8%
Branchages immergés	1,7%	2,3%	1,4%	4,0%	1,7%	3,0%
Dalle ou mur lisse	0,4%		0,2%		0,3%	
Dépôts fins ± organique	0,3%		0,1%	2,4%	1,4%	17,4%
Galets avec anfractuosité	5,5%	2,6%	0,1%	2,8%	1,2%	0,6%
Mélange de graviers galets	28,3%	46,5%	25,4%	36,9%	43,1%	40,6%
Graviers		6,5%				6,2%
Hélophytes ± denses	0,1%		0,0%	0,4%	1,1%	1,4%
Hydrophytes flottants	3,7%	2,5%	1,6%	3,7%	2,6%	8,3%
Hydrophytes immergés	9,6%	10,5%	4,1%	6,2%	8,5%	5,7%
Profonds	48,9%	20,3%	65,9%	40,7%	39,2%	15,2%
Sables			0,1%			
Variété	*8*	*7*	*9*	*8*	*9*	*9*
Classes de hauteurs d'eau						
0-5 cm	0,2%					
6-20 cm	0,9%	1,3%	1,1%		2,0%	2,1%
21-70 cm	1,7%	9,9%	2,9%	9,2%	5,1%	17,6%
71-150 cm	7,1%	24,2%	9,7%	27,1%	8,3%	25,7%
151-250 cm	41,2%	44,4%	20,4%	23,2%	45,4%	39,0%
>250 cm	48,9%	20,3%	65,9%	40,6%	39,2%	15,6%
Variété	5	5	5	4	5	5
Classes de vitesses de courant						
0- 10 cm/s	82,5%	82,2%	90,7%	79,4%	74,5%	60,4%
11- 40 cm/s	10,9%	10,9%	5,9%	14,1%	21,7%	19,4%
41- 80 cm/s	5,7%	4,2%	2,6%	6,2%	2,6%	19,1%
81 -150 cm/s	0,9%	2,7%	0,7%	0,3%	1,2%	1,1%
> 150 cm/s						
Variété	*4*	*4*	*4*	*4*	*4*	*4*

Tableau 15. Composition des mosaïques d'habitats des six stations d'étude jalonnant le Doubs navigable jurassien (remarque pour les affluents et les hélophytes, la valeur 0,0 correspond à une représentation, inférieure à 0,1 % de la surface totale ou et à une influence anecdotique, à cause d'une très faible profondeur associée)

Toutes les stations comportent aussi des herbiers d'hydrophytes immergés bien développés, pouvant recouvrir jusqu'à 10 % des fonds. Toutefois, pour partie, ces formations sont éparses et ne constituent alors que des supports secondaires associés à des gravier-galets dominants. Pour une autre partie, ces herbiers sont colmatés par leur propre densification ou / et par des florules algales épiphytiques.

Des nupharaies intermittentes émaillent la totalité du linéaire. Cependant, la plupart de ces herbiers d'hydrophytes flottants sont réduits à d'étroits cordons parallèles aux berges. Seules les entrées de mortes et les mortes elles-mêmes quand elles sont en eau en étiage présentent des nupharaies bien développées.

Sur l'ensemble du linéaire étudié, les substrats-supports les plus attractifs sont absents, comme les sous-berges, ou ultraminoritaires, comme les branchages immergés. En effet, une grande partie de la ripisylve est perchée, ou ne constitue qu'un couvert horizontal non immergé, juste au dessus du niveau d'étiage. Cette forme est induite par la transformation du Doubs en succession de plans d'eau à niveau constant. Parallèlement, la quasi-totalité des affluents collectés par le Doubs voit leur confluence sur-élargie, et souvent très envasées.

La très petite quantité de ceintures hélophytiques traduit l'absence de fonctionnalité de la frange humide. De même, le peu des sédiments fins observés dans presque toutes les stations en dépit de la turbidité bien visible du Doubs en hautes eaux indique l'importance du niveau d'énergie maintenu dans le chenal en crue. Seules les mortes fonctionnelles de la station F constituent des zones de calme pouvant servir d'abris hydraulique pour les poissons, mais elles en résultent très envasées.

Mosaïques des profondeurs et des écoulements

L'absence de hauts fonds et la prédominance des profonds communs à toutes les stations relèvent d'un même processus, lié à la chenalisation du Doubs. L'encaissement des berges et les curages répétés du chenal, relayés par les enrochements ainsi que par l'enlèvement systématiques des embâcles et des arbres penchés, ont rendu la section du cours d'eau uniformément trapézoïdale.

Les mosaïques de vitesses de courant en résultent elles aussi homogènes. En effet, comme le lit mineur a été surélargi pour en augmenter la débitance et approfondi pour permettre la navigation, toutes les stations sont ultradominées par des vitesses d'écoulements très lentes. Seules les portions très réduites à l'aval immédiat des barrages et les radiers marginaux des stations B et F bénéficient de courants plus rapides, mais uniquement dans des proportions qui restent limitées.

Évaluation des capacités biogènes liées à l'habitat aquatique

L'examen « dissocié » des composantes de l'habitat aquatique permet de décrire la morphologie et l'hydrodynamique d'un cours d'eau. Cependant, la capacité biogène d'une mosaïque d'habitats est déterminée par leur combinaison. Par conséquent, les qualités physiques des 6 stations ont été évaluées à l'aide de la méthode IAM qui prend en compte ce niveau de complexité (tab. 16). Cette approche a aussi été appliquée, indépendamment, sur chacune des sous-unités hydrauliques.

	IAM	IAM%	Var	Div	IAM	IAM%	Var	Div
Sites	***Stations totales***				***Tronçons court-circuités (TCC)***			
A	**4 570**	28%	85	0,96	**4 939**	32%	77	1,02
B	**4 793**	31%	68	1,27	**4 793**	31%	68	1,27
C	**3 991**	25%	71	0,69	**3 895**	25%	63	0,88
D	**4 107**	26%	80	1,14	**4 279**	27%	75	1,16
E	**4 980**	31%	72	1,06	**4 825**	29%	68	1,22
F	**4 747**	30%	83	1,44	**4 747**	30%	83	1,44
Sites	***Canal***				***Biefs navigables***			
A	690	6%	31	1,06	1 921	12%	29	0,62
B	-	-	-	-	-	-	-	-
C	1196	11%	17	0,77	1237	8%	16	0,34
D	107	1%	6	0,53	1480	5%	23	0,75
E	778	7%	11	0,61	2 163	14%	20	0,64
F	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 16. Evaluation de la qualité physique des 6 stations étudiées et des compartiment hydrauliques qui les composent à l'aide de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM), ainsi que des descripteurs synthétiques de l'hétérogénéité (var = nombre de pôle, div = diversité des pôles) ;
en bleu = station non ouvertes à la pêche professionnelle

Cette approche confirme que l'attractivité et l'hétérogénéité des mosaïques d'habitats aquatiques sont nettement plus élevées dans les TCC que dans les portions navigables ou que dans les canaux associés. Les écarts de qualité physique enregistrés au sein de chaque station entre les différents compartiments hydrauliques qui la composent sont étroitement corrélés aux différences de rendements de captures qui y sont observées (*cf.* tab. 12, p. 29).

En revanche, les variations de qualité physique mesurées d'un site à l'autre sont très faibles. Les écarts observés entre les IAM associés, soit aux stations complètes, soit aux tronçons court-circuités qui constituent les lots ouverts ou non à la pêche professionnelle, sont minimes et ne peuvent expliquer les différences de rendements observés (*cf.* fig. 16, p. 31 et fig. 17 p. 32).

Cependant, même dans les tronçons court-circuités, les mosaïques d'habitats apparaissent simplifiées et relativement peu attractives. Le rapport entre les potentiels optimaux liés à la qualité physique et les capacités réelles ne dépassent guère 30 %. La faiblesse de la qualité des habitats aquatiques est donc responsable de la plus grande partie de la restriction, voire de la réduction, des potentiels piscicoles.

Pour élucider les mécanismes déterminant cette limitation de la qualité physique, pour en évaluer les éventuelles altérations puis pour en préciser les causes, un diagnostic de la morphologie et de la dynamique du Doubs navigable jurassien a été réalisé à l'échelle plus globale de la mosaïque des biotopes.

Qualité de la mosaïque des biotopes à l'échelle du tronçon.

Méthode des tronçons : mise en œuvre sur le Doubs

Rappels des principes et modalités

Sur la dizaine de méthodes expérimentales recensées au niveau national, la méthode mise au point par la DR 5 du CSP (1993) puis finalisée par nos soins (TELEOS 2000) présente plusieurs avantages majeurs.

1 Parmi l'ensemble des **échelles d'action emboîtées** qui structurent les écosystèmes aquatiques, elle privilégie celles du tronçon fonctionnel, de la station et du faciès, dont la prise en compte simultanée sanctionne les variations des ressorts de la qualité physique déterminant les capacités biogènes.

2 Elle fournit des résultats relatifs qui sont interprétés par rapport à une **référence** propre permettant de démêler l'importance relative des pressions anthropiques et des limites naturelles du potentiel.

3 Sa **portée globale, doublée d'une orientation piscicole marquée**, la rend particulièrement adaptée à la problématique posée ;

4 Sa capacité à **quantifier** un état et à en **différencier les causes** permet d'exploiter les résultats obtenus dans le triple cadre du diagnostic initial, de la définition des remèdes et de l'évaluation objective, après travaux, de l'impact des actions entreprises.

La mise en œuvre de cette méthode commence par la **sectorisation** du cours d'eau qui est découpé en tronçons. Puis la capacité biogène de chacune de ces unités est caractérisée par la **description des 4 composantes fondamentales de la qualité physique** telle qu'elle est définie par nos objectifs et par notre échelle de travail : l'hétérogénéité du lit d'étiage, son attractivité, sa stabilité et sa connectivité avec les autres compartiments du corridor fluvial (fig. 25).

Enfin, les éléments favorables et défavorables recensés sont quantifiés et des **scores synthétiques** peuvent être calculés.

Sectorisation

Dans le cas général, la sectorisation du cours d'eau consiste à découper la rivière en tronçons mesurant de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres de long. Ces unités sont délimitées pour encadrer des secteurs homogènes sur les plans géomorphologique (pente, forme du lit, nature du *substratum*...) et habitationnels (qualité des substrats, diversité des vitesses du courant et des profondeurs), ainsi qu'en termes d'état dynamique (érosion, sédimentation, état des berges) et de degré d'artificialisation (aménagements structurants en particulier).

Ce découpage en tronçons est basé sur l'étude des cartes IGN 1/25 000e et géologique (pente, dimension et forme du lit, sinuosité, *substratum*…). La sectorisation est ensuite affinée par des reconnaissances de terrain.

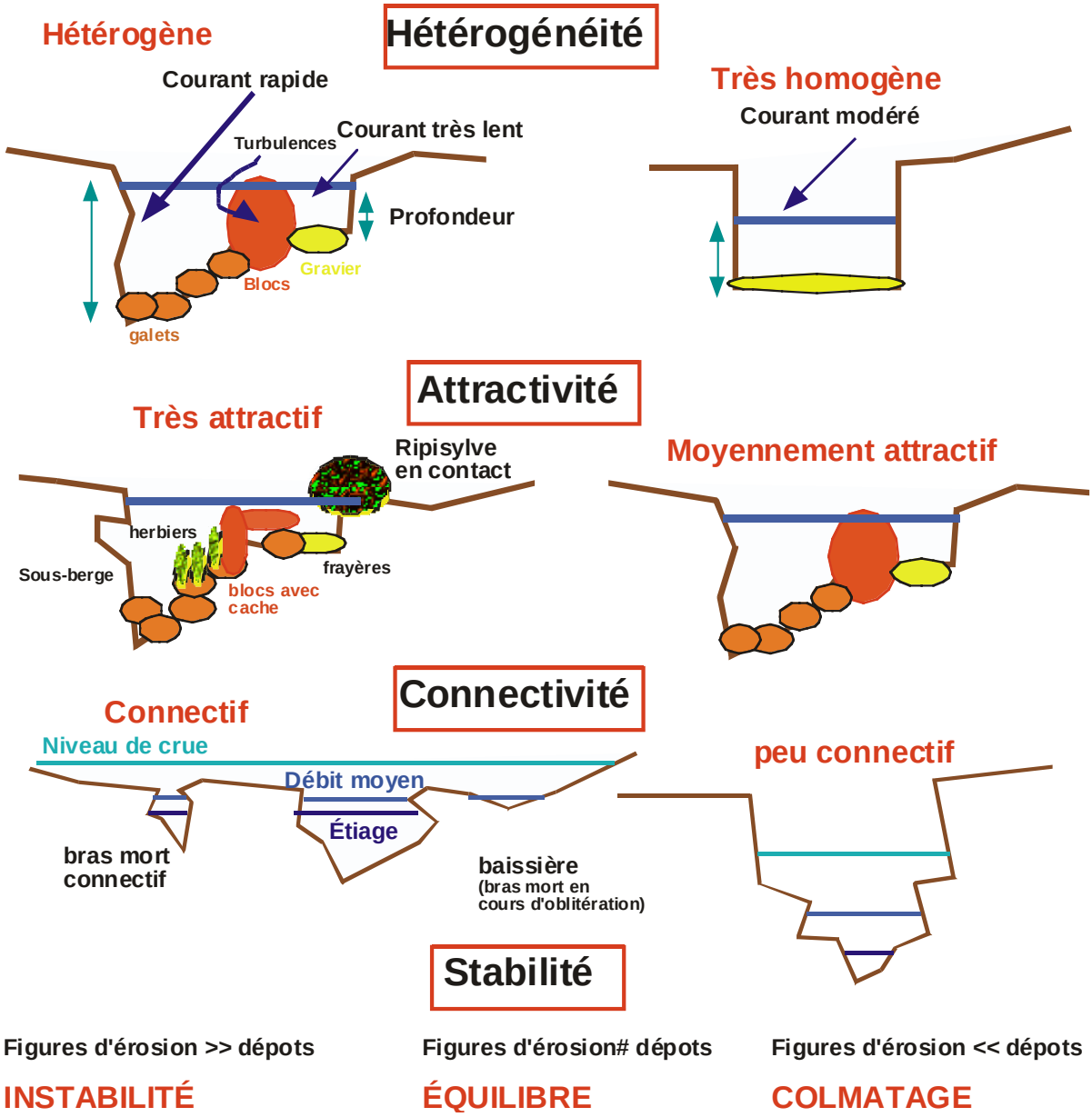


Figure 25. Présentation schématique des composantes de la qualité physique

Dans le cas du Doubs entre Fraisans et Dole, tous les sites d'étude font en fait partie d'un même tronçon hydrodynamique (fig. 26). En effet, les facteurs déterminant les caractéristiques hydro-géomorphologiques restent du même ordre :

- la pente, très faible, ne varie guère et fluctue autour de 0,4 ‰ ;
- le débit augmente très légèrement mais continûment, en l'absence de confluence avec un affluent majeur ou de variations dans les apports d'eau souterraine ;
- le contexte géologique global reste le même puisque le Doubs s'écoule ici dans l'extrémité nord-est du fossé bressan, entre les Avant-Monts jurassiens marno-calcaires et la formation alluviale siliceuse de la forêt de Chaux ;
- l'occupation des sols ainsi que le flux et la nature du transport solide sont aussi stables sur ce grand secteur (MALAVOI 2002).

Cependant, l'objectif de cette étude est d'élucider l'influence de la qualité physique à différentes échelles sur la variation des potentiels piscicoles des différentes unités hydrauliques qui se succèdent entre Fraisans et Dole. Par conséquent, pour adapter la méthode à la problématique, chaque portion du Doubs comprise entre deux barrages a été considérée comme un tronçon.

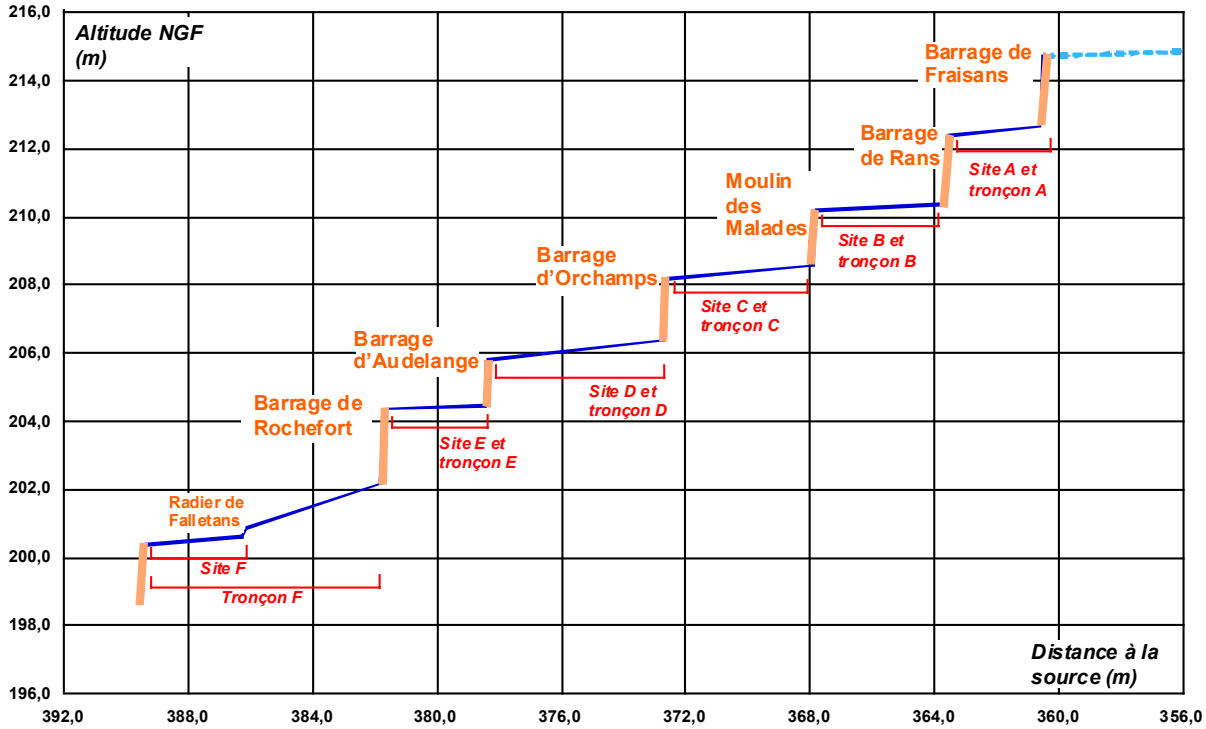


Figure 26. Délimitation des tronçons par compartimentage hydraulique.

Cette division « artificielle » permettra de vérifier que les variations de densités piscicoles observées d'une station à l'autre ne sont pas liées à l'influence de la connectivité ni de la fonctionnalité des systèmes latéraux, affluents et annexes, ni à d'éventuels contrastes de tendances érosives ou sédimentaires. Parallèlement, la démarche permettra de circonscrire les dysfonctionnements affectant les ressorts de la qualité physique, puis de proposer des principes ou des modalités de restauration des éventuelles altérations.

Dans cette approche, 5 tronçons sur 6 ont été exhaustivement cartographiés selon la méthode IAM, ce qui en renforce la précision et la robustesse. Sur le 6e tronçon, entre le barrage de Rochefort et de Dole, les mosaïques d'habitat n'ont été cartographiées que sur la moitié du linéaire, mais cette précision reste importante.

Application aux 6 unités hydrauliques jalonnant le Doubs

Tous les tronçons considérés montrent une hétérogénéité moyenne à bonne et une attractivité limitée (annexes 6-7, fig. 27 à 32 et tableau 17). Ces caractéristiques ont déjà été démontrées par l'analyse IAM (*cf.* chapitre dévolu à l'analyse à l'échelle stationnelle, ci-dessus).

En effet, au sein de ces 6 unités, les fonds du Doubs, sont dominés par les graviers-galets et les hydrophytes suivant des arrangements relativement diversifiés. Les mosaïques de profondeurs et surtout d'écoulements apparaissent plus uniformes et sont ultradominées par des fosses profondes.

Parallèlement, les caches sont peu nombreuses car la ripisylve, souvent perchée, n'est que rarement en contact avec l'eau pour les niveaux d'étiage qui sont les plus limitants. Les sous-berges et les anfractuosités ménagées par des blocs sont ultra-minoritaires. Enfin, le petit nombre de secteurs courants en étiage, comme la très faible fréquence de prairies durablement inondées limite l'étendue des frayères nécessaires à un grand nombre d'espèces (ONEMA 2007).

Les différences de qualité physique globale caractérisant les 6 unités relèvent surtout de la connectivité et de la fonctionnalité des systèmes latéraux et annexes. En particulier, les écarts de capacités biogènes apparaissant à l'issue de cette analyse sont liés à l'état et au fonctionnement des affluents et des bras morts, ainsi que des franges inondables, quand elles existent.

Tronçon A : entre Fraisans et Rans

Ce secteur d'à peine plus de trois kilomètres collecte 3 affluents et présente deux bras morts semi-connectifs, et deux bras de dérivation (fig. 27). Cependant, ces systèmes latéraux sont tous banalisés ou altérés. Les ruisseaux de la Sersaine et de la Source Capucine sont rectifiés et enfoncés. Le ruisseau de Dampierre, quoique réhabilité récemment, conserve un lit d'étiage surélargi. Ses fonds n'ont pas été suffisamment diversifiés.

Les Mortes Maigres et des Herbes sont encaissées et très envasées. Colmatées par la végétation aquatique, elles montrent une tendance à l'envasement et à la fermeture par des saules envahissants soulignant le processus d'atterrissement dont elles sont victimes. L'envasement est souvent aggravé et amplifié par le piégeage des cannes de mais qui sont apportées par les ruissellements et les grandes crues.

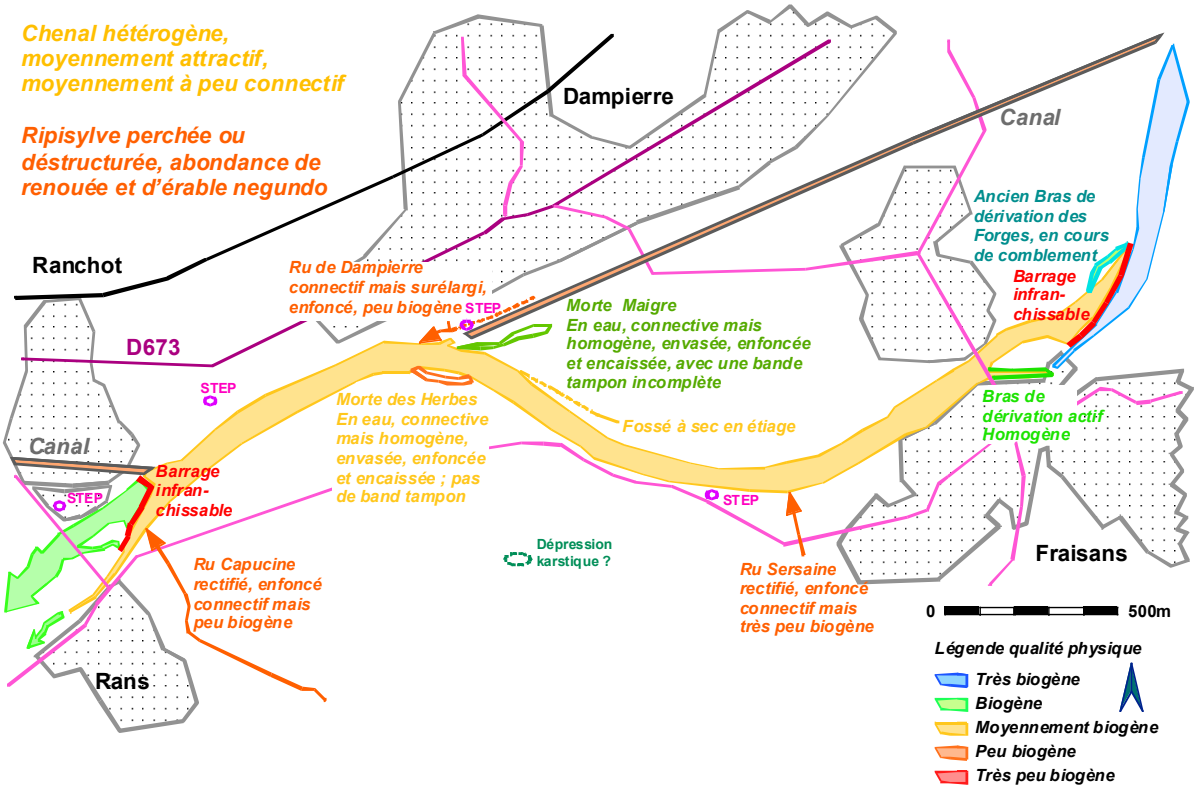


Figure 27. Qualité physique globale moyenne à médiocre du tronçon A entre Fraisans et Rans

Les berges sont très hautes et souvent terreuses et décapées. Leur hauteur réduit la fréquence des débordements et des inondations. La déstructuration de la ripisylve, perchée, se traduit par un affaiblissement de la fonctionnalité et des capacités biogènes des franges humides. En effet, le linéaire de racine ou de branchage dans l'eau en étiage est très fortement réduit.

D'après l'étude ONEMA (2007), ce tronçon ne présente qu'une seule frayère à brochet fonctionnelle pour deux frayères potentielles. Cette évaluation corrobore le diagnostic sur sa connectivité latérale moyenne.

Tronçon B : la Boucle d'Etrepigney

La boucle d'Étrépigney est uniquement d'un tronçon court-circuité formant un double méandre (fig. 28). Elle présente une mosaïque d'écoulements plus diversifiée. Les deux séquences de faciès successives sont séparées par un radier de grande taille qui n'est pour une fois pas sous l'influence immédiate d'un barrage amont. La mosaïque de substrats, dominée par les graviers mélangés de galets, comporte aussi de beaux herbiers d'hydrophytes immergés et flottants.

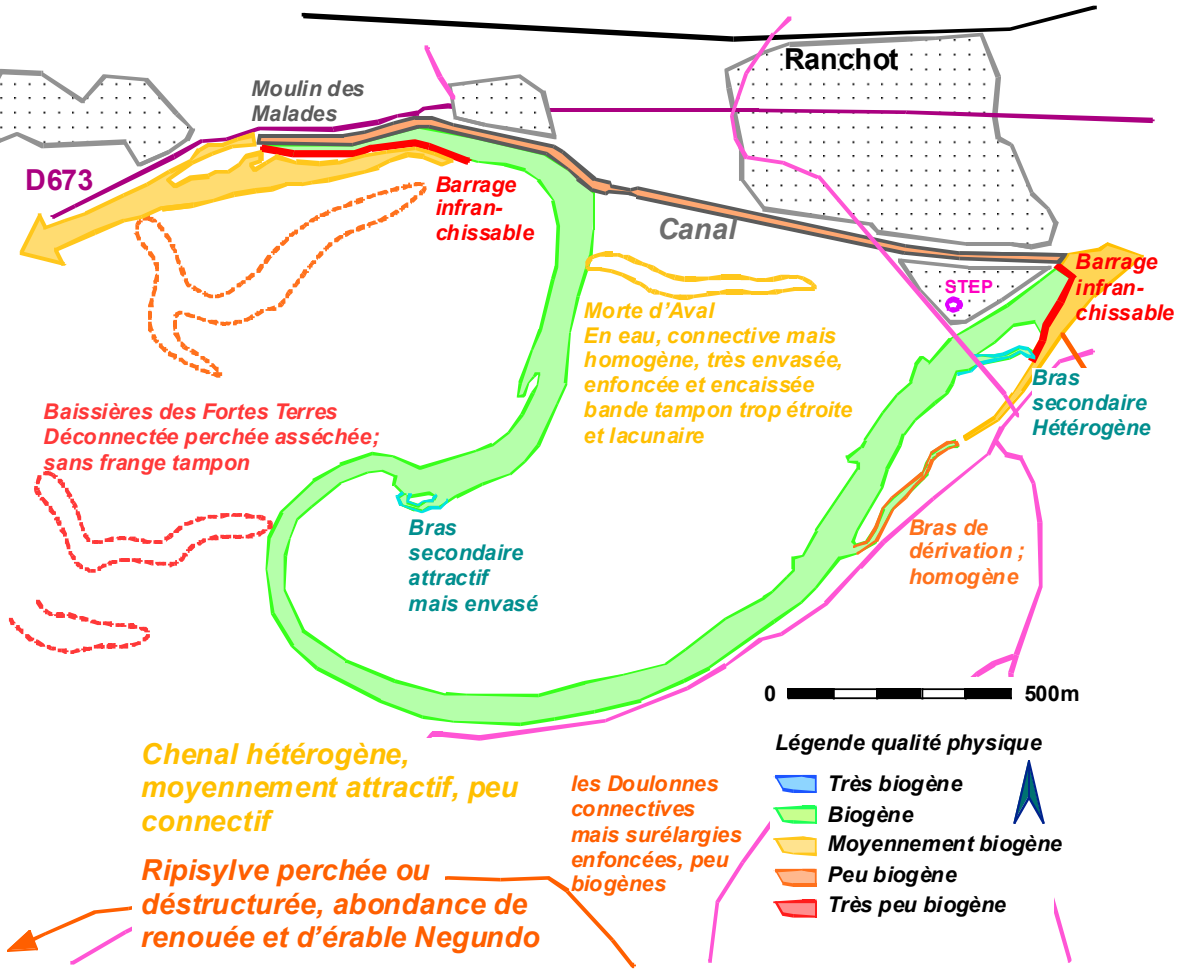


Figure 28. Qualité physique globale moyenne du tronçon B (boucle d'Etrepigney)

En revanche, la forme en U du chenal réduit le contraste des gradients longitudinaux de hauteurs d'eau, dominée par des fosses. Parallèlement, les surfaces parcourues par des vitesses non nulles sont cantonnées à moins de 6 % de la surface totale. Les caches et abris sont surtout constitués d'herbiers d'hydrophytes immergés et très minoritairement de branchage immergés. Les sous-berges sont absentes, tandis que les blocs d'enrochement n'offrent que très peu d'anfractuosités et que les ceintures hélophytiques sont réduites à néant.

Le tronçon présente deux bras secondaires hétérogènes. Le premier, formé par une île adossée au barrage de Rans, bénéficie d'écoulements vifs et variés. Le second, en milieu de secteur, montre des tendances à l'envasement et à l'atterrissement mais conserve encore des fonds diversifiés.

Il constitue une des seules frayères à brochet potentielles sur ce secteur qui n'en possède aucune de fonctionnelle (ONEMA 2007). Ce tronçon est en effet déconnecté de la marge fluviale. Les hauteurs de berges sont souvent supérieures à 2,5 m. La rive gauche est corsetée par des enrochements surmontés d'un rehaussement formant digue.

La seule morte connective identifiée sur ce tronçon (la Morte d'Aval) présente un fort taux d'envasement et d'envahissement par la végétation aquatique. Elle ne bénéficie que d'une frange-tampon étroite et incomplète.

Une baissière alimentée par une source intermittente, a également été identifiée en rive gauche au milieu du tronçon sur le secteur des Fortes Terres. Cependant, elle apparaît complètement déconnectée du Doubs et montre des signes d'assèchement et d'oblitération.

Parallèlement, la ripisylve relictuelle, généralement perchée, montre une forte propension à la banalisation. Plusieurs bosquets de renouée et des « tâches » de *buddleia* émaillent les têtes de berges ou les talus de ce secteur.

Le lit présente à la fois des signes de dépôts (envasement des franges immergées et des anses, bancs de graviers dans l'étranglement central du chenal…) et des témoins d'érosion (front d'érosion sur les bancs de graviers). Cependant, la forte proportion de berges décapées ou éboulées (surtout en rive droite) témoigne d'une érosion latérale nette, probablement en relation avec le maintien de forts débits dans le lit sur-enfoncé.

La capacité biogène de ce tronçon en double méandre apparaît donc surtout au niveau de la diversité des substrats supports et des écoulements. Cependant, elle est bridée par la déconnection du chenal avec ses franges humides et ses systèmes latéraux, tous en cours d'assèchement ou / et de comblement.

Tronçon C : amont d'Orchamps

Cette unité est composée d'un tronçon court-circuité réduit et d'un long secteur navigable (fig. 29). La mosaïque d'écoulement, dominée par des fosses lentiques et lénitiques, y est très homogène. Les fonds sont surtout constitués de graviers mélangés de galets, parfois parsemés d'hydrophytes immergés. Les caches, peu fréquentes, sont ménagées essentiellement par ces herbiers ainsi que, très minoritairement, par de rares bois morts, branchages ou racines immergés.

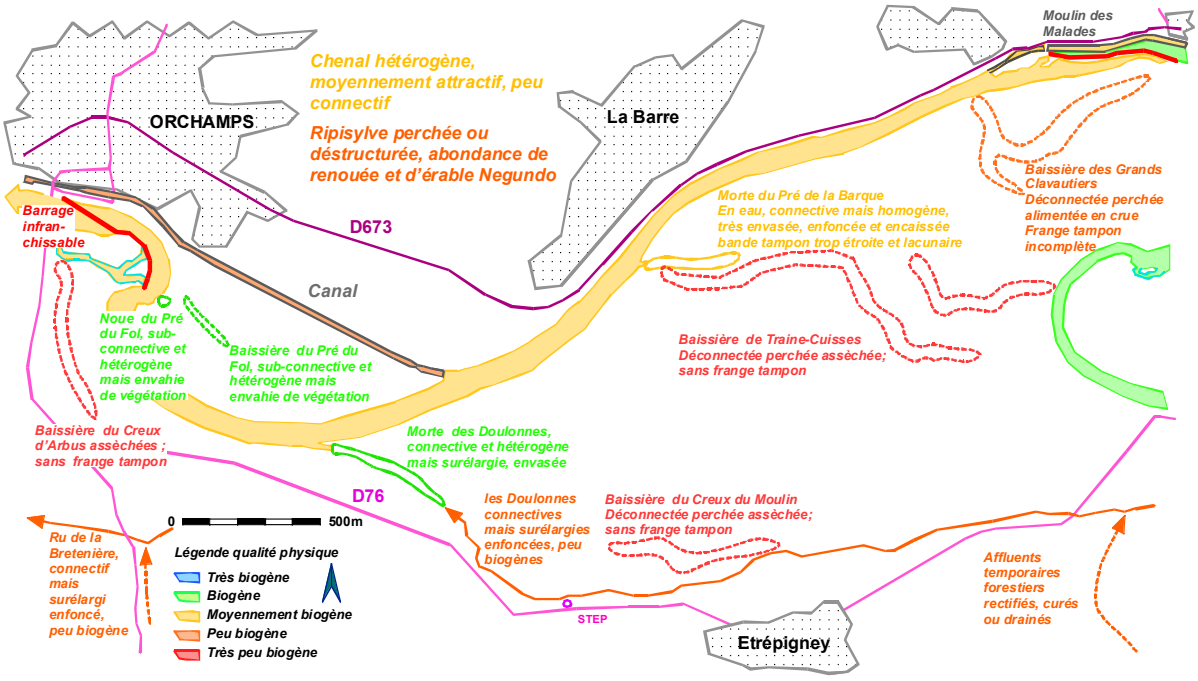


Figure 29. Qualité physique globale moyenne à médiocre du tronçon C (amont d'Orchamps)

Le chenal, flanqué de hautes berges abruptes, reste peu connecté à la marge fluviale. La frange humide est elle-même réduite à un étroit cordon arbustif et arborescent, parfois lacunaire. En plusieurs endroits, les berges sont enrochées et parfois surmontée d'une sur-digue.

En revanche, ce secteur est en relation plus ou moins directe avec une demi-douzaine de systèmes latéraux. Trois au moins de ces annexes sont encore hétérogènes et attractives vis-à-vis des organismes aquatiques malgré une nette tendance à l'envasement et au colmatage.

Ainsi, la Morte des Doulonnes constitue-t-elle en particulier une interface à fort potentiel biogène. Cette annexe, comme le complexe de la Crue du Pré du Fol, composé d'une noue et d'une baissière en eau comporte une zone de frayère et de nurserie fonctionnelle pour le brochet (ONEMA 2007). *A contrario,* plusieurs baissières (ancien bras abandonnés, par définition non connectifs, mais normalement alimentés par la nappe) sont en cours d'assèchement et d'oblitération.

Tronçon D : aval d'Orchamps jusqu'à Audelange

Cette unité est composée d'un long tronçon court-circuité tandis que la portion navigable ne s'étend que sur 16 % du linéaire (fig. 30). Comme dans le cas du tronçon B, le chenal du Doubs est hétérogène et moyennement attractif, mais les hautes berges abruptes le déconnectent des franges humides, réduite à un cordon arborescent de quelques mètres de largeur.

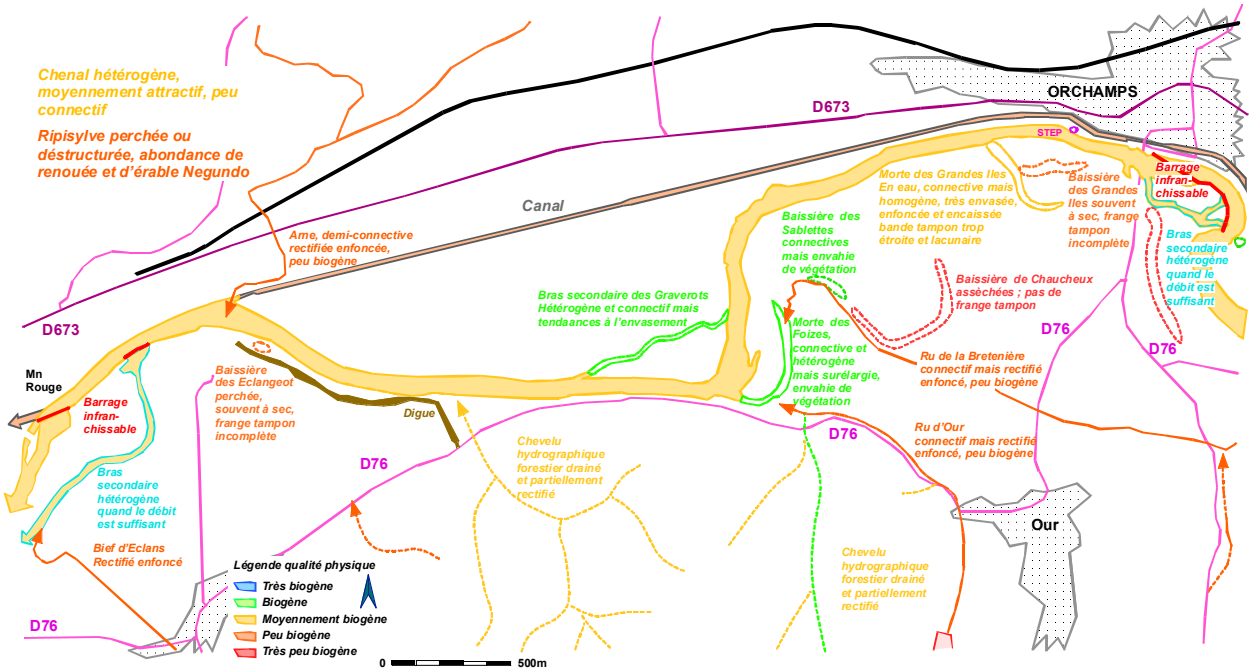


Figure 30. Qualité physique globale moyenne à médiocre du tronçon D (aval d'Orchamps)

La zone inondable, fortement drainée, est ultra majoritairement occupée par la céréaliculture. Le Doubs y collecte 3 affluents majeurs en rive droite et un en rive gauche mais ces 3 cours d'eau sont rectifiés et incisés. Le chevelu hydrographique collectant les cours d'eau temporaires de la forêt de Chaux est, lui aussi, simplifié.

Dans la partie amont, la rive gauche, qui recouvre bon nombre d'anciens méandres rescindés dès le début du XIXe siècle, compte deux mortes encore fonctionnelles mais très encaissées ainsi que plusieurs baissières qui sont au contraire perchées et en cours d'assèchement. Dans la zone des Graverots, un bras secondaire encore actif ménage des faciès d'écoulement contrastés.

Ces systèmes, colmatés par la végétation aquatique et mal protégés par des franges humides lacunaires, ont tendance à s'envaser et à s'atterrir. Néanmoins, le bras des Graverots et la Morte des Foizes, alimentées par le ru de la Brétenière, abritent des frayères à brochet fonctionnelles (ONEMA 2007).

Tronçon E : d'Audelange à Rochefort

Cette unité est composée d'un tronçon court-circuité et d'une portion navigable d'égale importance (fig. 31). Le chenal est essentiellement constitué de mouilles profondes dont les fonds sont dominés par des graviers mêlés de galets, parfois émaillés d'hydrophytes. Comme dans les quatre unités amont, les ceintures hélophytiques sont réduites à la portion congrue.

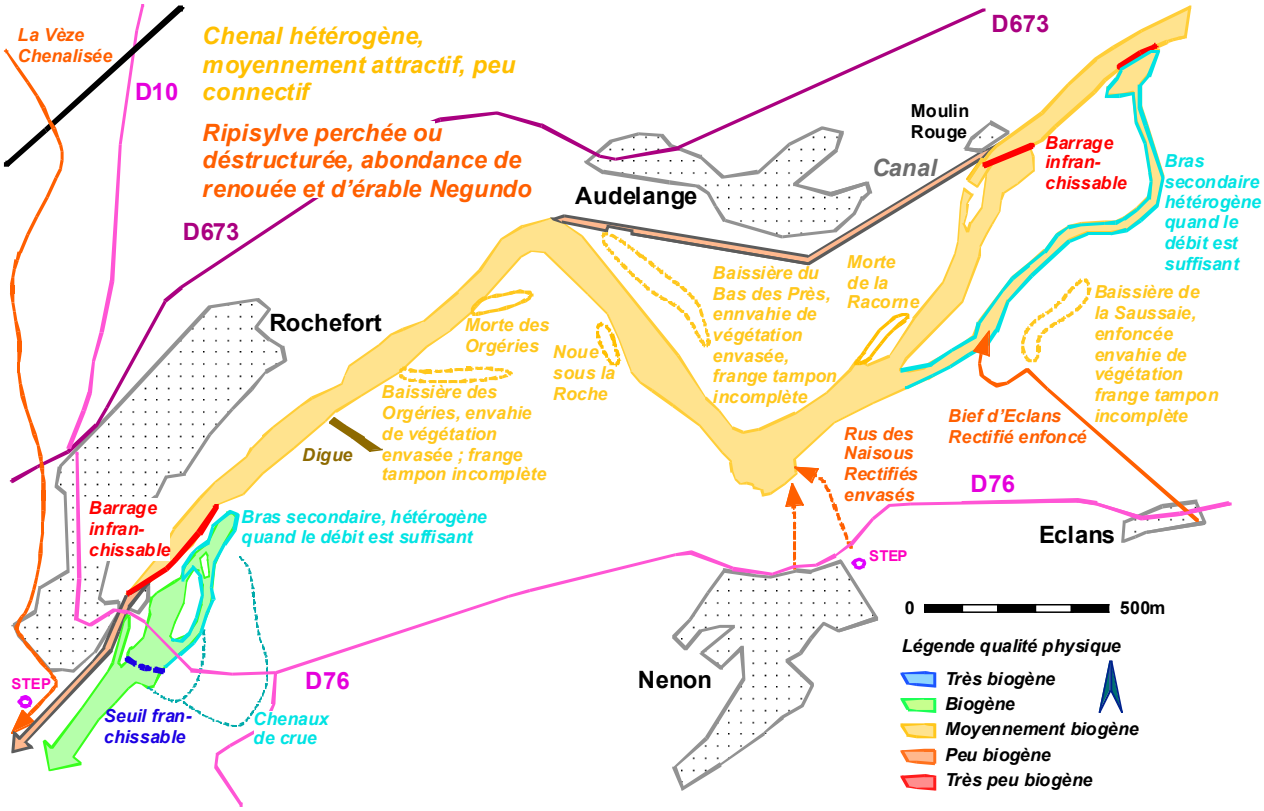


Figure 31. Qualité physique globale moyenne à médiocre du tronçon E (amont de Rochefort)

La diversité de la partie amont de ce secteur est soutenue par l'existence d'un bras secondaire. L'hétérogénéité de ce système latéral est toutefois limitée par la faiblesse des débits d'étiage surversant le barrage en phase de fonctionnement de la centrale hydroélectrique d'Audelange.

Parallèlement, les trois affluents collectés par le Doubs en rive gauche, dont le Bief d'Eclans, rectifiés et enfoncés, sont fortement simplifiés. Enfin, les mortes connectives sont encaissées et colmatées par la végétation tandis que les baissières perchées sont en cours d'oblitération.

Dans l'ensemble, le chenal de cette unité est isolé des franges humides par des berges abruptes. Seule la rive gauche de l'extrados du méandre des Naisoux est en contact avec le niveau d'étiage. Cette zone d'extension limitée constitue d'ailleurs l'unique frayère à brochet fonctionnelle identifiée par l'ONEMA en 2007.

Tronçon F : de Rochefort à Dole

Cette unité est constituée d'un long tronçon court-circuité limité par un barrage aval, à la hauteur de Dole (fig. 32). Cet ouvrage ménage une prise d'eau vers le canal du Rhône au Rhin. Cependant, à partir de Rochefort, le Doubs n'est plus navigable. En outre, il entre en plein dans un style fluvial alluvial moins encaissé et bénéficie d'une dynamique d'inter-connectivité plus forte avec la zone inondable.

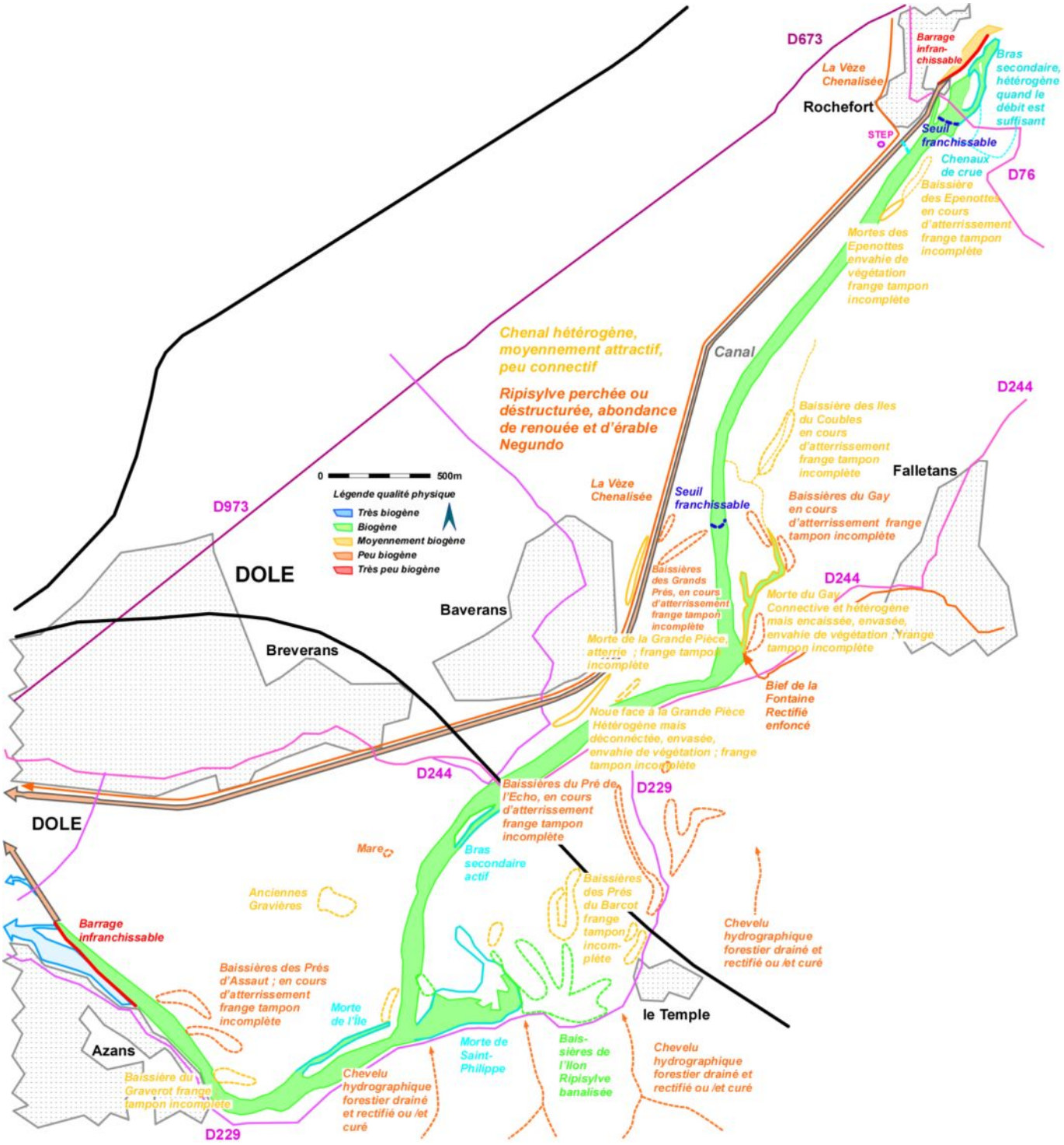


Figure 32. Qualité physique globale moyenne du tronçon F (de Rochefort à Dole)

Au sein de cette unité, les écoulements sont plus diversifiés. Les fonds émaillés de bancs de graviers qui ménagent plusieurs radiers biogènes sont baignés de vitesses de courant plus contrastées.

Néanmoins, les hauteurs d'eau dominées par des profonds uniformes, restent globalement homogènes. Parallèlement, les berges encaissées, surmontées d'une ripisylve étique et déconnectée, limitent la densité des caches tout en bridant la fonctionnalité des franges humides.

La zone alluviale abrite plus d'une douzaine de baissières, noues et mortes. Dans la partie aval, les mortes de l'Ile et de Saint-Philippe, connectives et hétérogènes, présentent des fortes potentialités biogènes.

En revanche, la plupart des baissières et des autres mortes montrent des signes d'envasement ou d'atterrissement. Certaines sont envahies de végétation aquatique ou montrent des signes d'atterrissement (photo 2).

Photo 2. Morte du Gay (Falletans) connective et en eau, mais envasée et envahie par la végétation aquatique (ici nénuphar et lentilles d'eau couvrant 100 % de la surface et colmatant la totalité du volume).

Bilan et causes des altérations de la qualité physique du Doubs

État d'altération physique du Doubs entre Fraisans et Dole

Le corridor fluvial du Doubs bénéficie d'une forte diversité physique potentielle grâce aux contrastes géomorphologiques de cette vallée serpentant entre des plateaux ou des avant-monts calcaires et un massif alluvial siliceux. Pourtant, la qualité physique du Doubs entre Fraisans et Dole est moyenne (tab. 17 ; annexe 7).

Tronçon ou unité				Hétérog.		Attract.		Connect.		Hydrodynamique			Qualité physique	
Code	Limite amont	Limite aval	Lin. (m)	score /111	Classe	score /90	Classe	score /130	Classe	score -60 / 40	Classe	Coef* 0,75-1,25	trç /30600	Classe
DbsA	Fraisans	Rans	3 088	41	B	38	B	44	C	-2	équilibre	0,85	2 955	C
DbsB	Rans	Mn Malades	4 040	63	A	40	B	35	C	-17	érosion	1	3 605	B
DbsC	Mn Malades	Orchamps	4 770	39	C	38	B	46	C	-5	équilibre	0,85	3 011	C
DbsD	Orchamps	Audelange	5 802	50	A	38	B	35	C	-15	érosion	1	3 080	C
DbsE	Audelange	Rochefort	3 991	46	B	40	B	42	C	2	équilibre	0,85	3 070	C
DbF	Rochefort	Dole	7 932	64	A	39	B	51	B	-20	érosion	1	5 253	B

Tableau 17. Caractérisation de la qualité physique globale du Doubs entre Fraisans et Dol e ; légendes classes de qualité physique à l'échelle du tronçon
A = très biogène **B = biogène** **C = moyennement biogène**
D = peu biogène **E = très peu biogène**

En effet, si les **mosaïques de substrats et de supports**, dominées par les graviers mélangés de petit galets et par les hydrophytes sont **relativement diversifiées** et plutôt attractives, les **écoulements sont majoritairement uniformes**. Les chenaux sont essentiellement constitués de mouilles profondes baignées de vitesse lentes à très lentes, et ce même dans les tronçons court-circuités.

Les radiers et les hauts-fonds ne couvrent qu'un dixième des surfaces totales. Ces faciès qui abritent les frayères électives des espèces lithophiles sont le plus souvent localisés à proximité de l'aval immédiat des barrages. Les bordures de lit montrant des contrastes ou des gradients progressifs de profondeurs sont également très rares. Par conséquent, **les ceintures hélophytiques sont réduites à la portion congrue (moins de 1% des lignes de rivage).**

Parallèlement, les berges abruptes, souvent décapées par le cantonnement d'une partie des crues dans le chenal, ne ménagent que **peu de caches**. Leur enrochement fréquent, parfois surmonté d'une diguette, bride le fonctionnement des interfaces (photo 4).

Photo 4. Enrochements formant digue des berges de la rive gauche de la boucle d'Etrepigney (partie amont de l'unité B).

Ces hautes berges supportent une **ripisylve perchée, qui, presque toujours réduite** à un cordon de quelques mètres de largeur, ne produit que peu de bois mort. Les essences originelles, qui sont aussi les plus biogènes, sont remplacées par des cultivats de peupliers ou par des érables negundo qui se multiplient. La rudéralisation des berges favorise également l'extension de la renouée du Japon et du *buddleia*.

Certes, la **multiplicité des annexes hydrauliques associées** au Doubs constitue une mosaïque de biotopes potentiellement très biogènes. La dynamique originelle du Doubs et son alimentation en transport solide par deux types de massif a en effet émaillé la vallée de mortes, noues, baissières.

Cependant, la **quasi-totalité des mortes sont soit perchées et en cours d'assèchement, soit très encaissées**. Dans ce dernier cas, elles sont encore connectives avec le Doubs, mais envasées et envahies de végétation.

En outre, le niveau d'eau y redescend très rapidement après les crues tandis qu'en étiage, leur profondeur maximale ne dépasse pas quelques décimètres, même à la

confluence. Enfin, la frange humide qui les ceinture, quand elle existe encore, se réduit à un cordon arbustif de quelques mètres de large.

Les **baissières sont asséchées sur l'ensemble du domaine d'étude**. Ces anciens méandres abandonnés par la migration latérale du chenal vif composent des dépressions normalement alimentées par la nappe d'accompagnement du Doubs. Elles constituent donc potentiellement d'excellentes frayères à lote et à brochet, en particulier lors des années à fortes crues hivernales ou printanières.

Cependant, les niveaux d'étiage ayant été fortement abaissés par les aménagements qui ont structuré le Doubs, ces dépressions sont désormais déconnectées de la nappe. Elles ne sont mises en eau que par les très fortes crues et s'assèchent très vite, même après ces épisodes exceptionnels. Elles sont désormais remblayées ou envahies d'une végétation arbustive qui signe leur atterrissement et leur oblitération.

Parallèlement, les 12 affluents majeurs collectés par le Doubs sont tous sévèrement rectifiés. Leur lit enfoncé est déconnecté de la zone alluviale et même de leur frange humide. Ils ne bénéficient que d'une zone tampon fort réduite, ne dépassant guère une dizaine de mètres dans le meilleur des cas et régulièrement réduite à quelques mètres. Leurs débits d'étiage montrent une propension croissante au tarissement.

Sur le plan dynamique, la chenalisation du Doubs a augmenté l'énergie maintenue dans le lit mineur durant les crues fréquentes. Les tendances érosives induites, amplifiée par le déficit général en transport solide (MALAVOI 2002), aggrave localement l'inhospitalité des berges et des fonds. *A contrario,* le piégeage des fines par les rares abris hydrauliques que constituent les mortes encore connectives en accélère l'envasement.

Enfin, les tendances à l'assèchement et à la banalisation du corridor fluvial du Doubs entre Fraisans et Dole sont préoccupantes. Leur accélération récente fait craindre une baisse brutale de la qualité physique d'ici une décennie.

Comparaison synthétique de la qualité des 6 unités hydrauliques

Les ressorts de la qualité physique et les principaux mécanismes de leur altération sont similaires sur les 6 unités étudiées. Dans l'ensemble, l'expression des capacités biogènes générées par l'hétérogénéité et l'attractivité des mosaïques d'habitat, relativement soutenues en dépit de l'artificialisation du Doubs, est bridée par le manque de connectivité latérale et longitudinale.

Les tronçon B et F bénéficient d'une qualité physique globale supérieure grâce à des potentiels d'hétérogénéité du chenal, dans les deux cas, auxquels s'ajoutent, pour l'unité la plus aval, la multiplication et la meilleure fonctionnalité des zones inondables. Cependant, cette différence s'explique aussi par le découpage de ces deux unités. En effet, elles ne comprennent pas de portions navigables, qui sont moins hétérogènes et moins attractives que les TCC (cf. partie IAM).

Causes premières et facteurs d'amplification des altérations

Les altérations de la qualité physique limitant les capacités biogènes sont d'abord dues aux aménagements réalisés depuis le début du XIXe siècle pour rendre cette rivière navigable. En effet, la canalisation du Doubs a transformé ce cours d'eau en une succession de plans d'eau en escalier, imparfaitement reliés par les méandres court-circuités, désormais baignés de débits très amoindris en étiage.

Dans le même temps, ces travaux ont rompu le jeu des interconnexions qui lient entre elles les séquences de faciès successives ainsi que le chenal avec la zone inondable et les systèmes latéraux. Plus récemment, l'évolution de l'utilisation des barrages et de l'occupation des sols a amplifié l'impact de la chenalisation du Doubs. Les pressions anthropiques successives ont fini par simplifier les mosaïques d'habitats et de biotopes qui composent l'écosystème alluvial et par en altérer profondément la connectivité, tant longitudinalement que latéralement.

Suivant le gradient latéral qui structure les corridors fluviatiles, le creusement des biefs, effectué sur ce secteur en deux temps, d'abord depuis 1804 jusqu'en 1830, puis de 1880 à 1921, s'est traduit par une importante déconnexion des systèmes latéraux ainsi que par l'assèchement progressif du corridor fluvial. Ce processus s'est intensifié au cours du temps.

En effet, depuis le début de la construction de la voie navigable, soit pendant près de 2 siècles, les opérations de curages et d'extraction de graviers se sont succédées dans les portions navigables mais aussi dans les tronçons court-circuités. En accentuant l'enfoncement du Doubs, elles ont aggravé l'isolement des annexes hydrauliques et la banalisation des franges humides.

Le cumul des pratiques d'extraction de granulats à des fins d'entretien ou d'exploitation qui se sont poursuivies jusqu'à la fin des années 1990, explique aussi le déficit global de transport solide dont souffre cette partie du Doubs (MALAVOI 2002). Depuis le début des années 2000, les curages se sont raréfiés et sont désormais réglementés et optimisés. Cependant, des opérations ponctuelles « d'entretien » sont toujours pratiquées (cf. ci-dessous).

En outre, l'importance du déficit sédimentaire hérité du passé induit des tendances érosives renforcées par l'enfoncement du lit. L'incision est bloquée ou bridée par les barrages, mais une grande partie des berges est décapée ou sapée. Les enrochements édifiés pour enrayer ces érosions latérales constituent un véritable corsetage qui réduit encore la fonctionnalité des interfaces rivulaires.

Depuis une époque plus récente, les pratiques agricoles intensives ont, elles aussi amplifié la déconnexion, l'assèchement ou le comblement des systèmes latéraux tout en contribuant au dérèglement du transport solide.

En effet, d'une part, l'assainissement hydraulique des terrains agricoles s'est traduit par la rectification et l'enfoncement de tous les affluents collectés par le Doubs, ainsi que de la plupart de leurs propres affluents. Ces aménagements ont aggravé l'abaissement de la nappe phréatique d'accompagnement du corridor fluvial. D'autre part, une extension des surfaces agricoles utiles (SAU) s'est opérée aux dépens des baissières asséchées ou remblayées (photo 5a et 5b).

Photo 5a. La Sersaine rectifiée, sur-élargie et enfoncée, juste avant sa confluence (Rans)

Photo 5b. Ancienne baissière de Traine-Cuisses, enserrée par les maïs et signalée par les saules qui témoignent de son atterrissement

Parallèlement, l'augmentation de la proportion de terres labourées, surtout dévolues à la culture du maïs, a favorisé l'érosion et le tassement des sols (photo 6). En crue automnale ou hivernale, les flux de fines en suspension accompagnées de débris organiques grossiers, comme les cannes de mais, sont piégés par les mortes dont ils contribuent à accélérer l'envasement.

Enfin, les MES générées par l'érosion des sols constituent aussi des vecteurs de nutriments en excès et de pesticides peu solubles. Elles sont donc suspectées de contribuer à l'altération de la qualité de l'eau.

Photo 6. Panneau témoignant de l'importance de l'érosion des sols et des flux de MES à proximité du Doubs (D244 à l'aval de Falletans, à 50 du Doubs en rive gauche)

Suivant l'axe longitudinal, le cours du Doubs est fragmenté par 6 barrages entre Fraisans et Dole. Ces ouvrages constituent autant d'obstacles à la circulation des poissons et à la régularité du transport solide (tab. 18 et fig 26).

En effet, aucun de ces seuils artificiels n'est franchissable ni pour le brochet, ni pour la lote, ni pour le barbeau. Or, les migrations avant reproduction de ces espèces indicatrices sont plurikilométriques tandis que leurs frayères respectives sont, sur chacun des 6 tronçons, tant localisées que peu étendues (*cf.* ONEMA 2007 pour le brochet). En outre, les deux passes à poisson déjà installées ne sont, à notre avis, pas efficaces, sauf preuve du contraire, à apporter par un suivi spécifique.

Parallèlement, les barrages amplifient les effets du déficit de transport solide déjà observé par MALAVOI (2002). En effet, ces obstacles perturbent le transit des graviers et provoquent des accumulations localisées. Des pressions sont alors exercées par différents utilisateurs pour réaliser des curages d'entretien ponctuels.

Ouvrage	Dénivelé fil d'eau m	Chute (Reylé 09) m	Débit dérivé m^3/s	Puissance (Reylé 09) kW	Débit réservé m^3/s	Passe à poisson Présence	fct bro
Fraisans	2,3	1,70	32,0	540	10	en cours	à voir
Rans	2,25	1,75	20,0	240	?	**Non**	**Non**
Moulin des M.	1	-	-	-	?	**Non**	**Non**
Orchamps	3	2,80	18,4	360	Qr passe ?	**Oui**	**Non**
Audelange	1,65	1,80 ?	45,0	450	2,5	**Non**	**Non**
Rochefort	3	2,70	?	500	?	**Oui**	**?**

Tableau 18. Caractéristiques des 6 barrages jalonnant le Doubs de Fraisans à Dole (fct bro = fonctionnalité des passes ou franchissabilité des barrages pour le brochet)

Une de ces extractions « ménagées » a été observée durant la présente étude, en août 2011, à l'aval immédiat du barrage d'Audelange (photo 7). Une grande partie des matériaux a été repoussée contre la berge, sans modelage biogène. En outre, une portion non négligeable de ces granulat a aussi été exportée.

Photo 7. Granulats curés à l'aval du canal de restitution du Moulin-Rouge (barrage d'Audelange) et repoussés sans modelage biogène contre la berge en rive droite ; une partie des matériaux a été extraite et exportée

Ces pratiques « d'entretien » ne concernent plus que quelques centaines à quelques milliers de mètres cubes par décennie et par secteur. Toutefois, cette pression s'ajoute au déficit général de transports solide et diminue l'hétérogénéité des portions court-circuitées dans les rares secteurs de courants diversifiés.

Enfin la gestion hydroélectrique des barrages est susceptible de réduire encore les potentiels habitationnels relictuels du Doubs. En effet, en période d'étiage, l'insuffisance ou l'absence de débit réservé met à sec les parements des barrages et banalise le chenal court-circuité qui s'étend sous le seuil (photo 8-9).

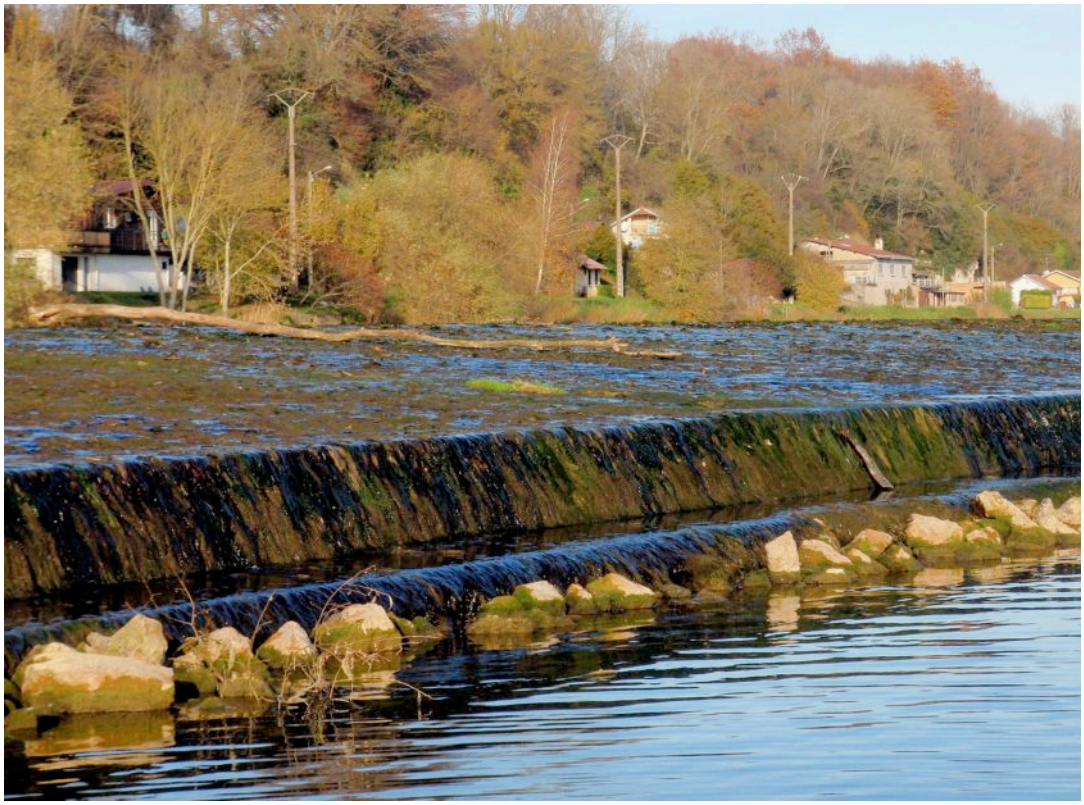


Photo 8. Effets de l'insuffisance du débit réservé du Moulin-Rouge : mise à sec des parements bituminés et uniformisation des écoulements dans la fosse de dissipation aval

Or, les parements de barrage recèlent la quasi-totalité des habitats lotiques et hygropétriques restant dans la rivière chenalisée. Même quand ils sont composés de matériaux lisses et *a priori* peu biogènes (béton ou enduit bitumineux), ils jouent un rôle important pour l'oxygénation et l'autoépuration des eaux à condition toutefois d'être constamment en eau.

Parallèlement, les fosses et les radiers disposés à l'aval immédiat des barrages abritent les mosaïques d'écoulement les plus diversifiées et les plus attractives de l'ensemble du linéaire considéré. Ils composent souvent les seules frayères potentielles pour les poissons lithophiles. À conditions de bénéficier d'un débit suffisant, ils constituent en outre des refuges précieux durant les phases de réchauffement ou / et de désoxygénation critiques qui adviennent régulièrement dans les potamons anthropisés.

Ces habitats « clés » ne concernent qu'un linéaire restreint et leur surface relative ne dépasse guère 10 %. Cependant, l'insuffisance ou les variations brutales des débits réservés réduisent fortement l'expression de leurs capacités biogènes.

Photo 9. Effets de l'insuffisance du débit réservé au barrage de Rochefort : mise à sec des parements bétonnés du barrages et uniformisation des écoulements

Or, l'examen des chroniques de débit, combiné avec des visites des terrain, montre que des variations intempestives et des creux de débits sont régulièrement observés dans le cas des usines d'Orchamps, d'Audelange ou de Rochefort (fig 33). Ces fluctuations se surimposent aux oscillations transmises par les éclusées des ouvrages franco-suisses, mais le creusement des débits-planchers reste visible en période d'étiage. Ces variations rapides de quelques dizaines de mètres cubes par secondes provoquent alors des fluctuations de niveau de 20 à 40 cm.

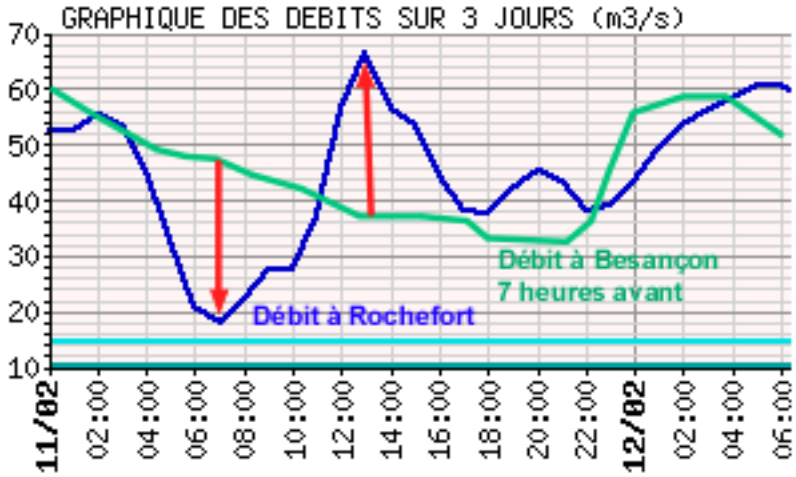


Figure 33. Exemple de variations intempestives de débit observées à l'aval du seuil de Rochefort alors que les débits variaient de façon plus atténuée à Besançon. Les oscillations de niveau induites par les éclusées de l'usine du Châtelot, située à plus de 275 Km en amont, sont aussi perceptibles, mais suivent une période plus longue (source des données de débit et de niveau = Hydroréel, AE RMC)

Bilan sur les facteurs d'altération de la qualité physique

Un faisceau convergent d'observations et de mesures montre qu'une grande partie des déficits et des déséquilibres affectant l'ichtyofaune et réduisant les ressources halieutiques du Doubs navigable jurassien est liée à des altérations de la qualité physique s'exerçant à différentes échelles de temps et d'espace.

1. La chenalisation ancienne du Doubs a homogénéisé et fragmenté son cours, transformé dès le début du XIXe siècle en une série de plans d'eau à niveau constant reliés par des tronçons court-circuités qui ne sont pas connectifs entre eux et dont le débit est amoindri en étiage.
2. L'enfoncement du lit induit par ces travaux structurant, aggravé par la poursuite de la chenalisation, les curages d'entretien, les extractions de granulat, les travaux de protection des berges (…) s'est traduite par une déconnexion progressive mais continue des mortes, noues et affluents.
3. La tendance à l'assèchement printanier et estival ainsi qu'à l'oblitération de ces systèmes latéraux déconnectés a été renforcée par la rectification et l'enfoncement des affluents, ainsi que par la réduction et la banalisation de la ripisylve, la suppression des franges humides formant ainsi que par l'érosion des sols alluviaux dévolus majoritairement à la céréaliculture depuis une trentaine d'année.
4. L'insuffisance des débits réservés à l'aval des barrages équipés d'une usine ou d'une centrale grève les capacités biogènes relictuelles des radiers ultraminoritaires et généralement cantonnés à l'aval proche des barrages

Le Doubs navigable jurassien souffre donc de nombreuses altérations physiques qui suffisent à expliquer les déficits ou les limitations de l'abondance des espèces centrales du type écologique auquel il appartient, et en particulier des sandres et des brochets. Cependant, la régression ou la disparition de la quasi-totalité des espèces réputées les plus sensibles à la qualité de l'eau ou des sédiments incline à suspecter aussi l'existence de contaminations chimiques plus ou moins insidieuses.

Aperçu sur le degré de contamination chimique du Doubs

Recherche de contaminants dans les poissons

Les poissons sont des organismes aquatiques à cycle de vie pluriannuel agissant sur tous les maillons de la chaîne alimentaire. A ce titre, la plupart des espèces de poisson, et en particulier les carnassiers, sont susceptibles d'accumuler, voire de magnifier nombre de substances polluantes et persistantes.

Lorsque l'ichtyofaune est soumise à des pollutions, les ressources halieutiques en pâtissent de plusieurs manières. Un polluant peut en effet augmenter le taux de mortalité à long terme des espèces qui y sont sensibles, ou réduire le taux de développement de leurs populations en bridant l'efficacité de certaines de leurs fonctions vitales, comme la reproduction ou la croissance. Mais l'accumulation dans les poissons de substances dangereuses pour la santé humaine constitue aussi une dégradation de la qualité et de la quantité des ressources halieutiques.

Ainsi, la présence de PCB ou d'éléments trace métallique dans la chair des poissons à un taux dépassant les seuils maximaux de concentrations admissibles définis par la réglementation européenne entraîne l'interdiction de leur consommation. Dans le cas du Doubs de l'aval de Mathay à la confluence avec la Saône, et donc dans la totalité du linéaire étudié, cette interdiction porte depuis 2009 sur les espèces benthiques suivantes : anguille, barbeau, brème carpe, tanche, et silure.

La contamination des poissons du Doubs, *via* cette mesure de santé publique, réduit les ressources halieutiques disponibles et rend donc leur partage plus difficile. En effet, le silure constitue de loin le carnassier le plus abondant dans le domaine d'étude (cf. tab. 8). Cependant, comme il est fortement contaminé par les PCB, il ne peut être exploité par la pêche professionnelle.

Dans ce contexte, il paraissait judicieux de faire un bilan du taux de contamination de 4 espèces utilisant des compartiments spatiaux contrastés et agissant sur des maillons de la chaîne alimentaire différents. Des recherches d'éléments trace métalliques, de PCB et de dioxines ont donc été effectuées dans la chair des espèces suivantes :

- le gardon, omnivore et ubiquiste, limnophile occupant toute la masse d'eau ;
- l'ablette, planctophage et entomophage, limnophile, nageuse de surface ;
- le goujon, benthophage, rhéophile benthique ;
- le silure carnassier et nécrophage, benthique.

Pour chacune de ces 4 espèces, 4 individus de grande taille ou lots ont été capturés puis analysés de façon à jalonner le linéaire du Doubs navigable jurassien. Les échantillons ont été prélevés à l'occasion de la pêche de novembre 2011 avec trois prélèvements supplémentaire en avril 2012 pour compléments et vérifications.

Taux de PCB dans la chair de 4 espèces de poisson du Doubs

En ce qui concerne les PCB et les dioxines, les analyses ont montré que deux des 19 échantillons prélevés n'étaient pas consommables (tab. 19). En effet, 2 des 5 lots de silure contenait une concentration de PCB à effet de dioxine (PCB DL) dépassant largement la concentration maximale admissible (CMA) de 8 pg/g de matière fraîche imposée par la réglementation européenne.

Station	*Espèce*	Dioxines		PCB DL		Diox+PCB-DL		6 PCB-NDL	
	(effectif du lot)	pg/g	±	pg/g	±	pg/g	±	ng/g	±
AB	Gardons (8)	0,2	0,0	1,5	0,3	1,7	0,4	31,5	7,2
C	Gardons (6)	0,2	0,0	1,3	0,3	1,4	0,3	26,8	6,1
DE	Gardons (6)	0,4	0,1	**3,8**	0,8	**4,1**	0,8	70,8	16,1
F	Gardons (6)	0,3	0,1	1,7	0,4	2,0	0,4	30,4	6,9
AB	Goujons (6)	0,2	0,0	2,7	0,5	2,9	0,6	39,4	8,9
C	Goujons (20)	0,2	0,0	2,8	0,6	2,9	0,6	51,0	11,6
DE	Goujons (12)	0,1	0,0	2,2	0,4	2,3	0,5	46,7	10,6
D*	Goujons (15)	0,3	0,0	1,7	0,4	2,0	0,4	51,4	11,7
F	Goujons (4)	0,2	0,0	2,7	0,5	2,8	0,6	39,1	8,9
AB	Sandres (3)	0,1	0,0	1,7	0,4	1,8	0,4	30,5	6,9
C	Sandres (6)	0,1	0,0	1,2	0,2	1,3	0,3	20,6	4,7
DE	Sandres (3)	0,1	0,0	0,9	0,2	1,0	0,2	15,8	3,6
F	Sandres (4)	0,2	0,0	1,7	0,3	1,9	0,4	30,6	6,9
AB	Silure (1)	0,1	0,0	0,7	0,1	0,7	0,1	12,4	2,8
B*	Silure (1)	0,1	0,0	1,2	0,3	1,3	0,3	27,6	6,3
C	**Silure (1)**	1,9	0,3	**76,8**	15,7	**78,7**	16,0	**1656,1**	375,8
DE	**Silures (2)**	0,8	0,1	**18,3**	3,7	**19,2**	3,9	**304,1**	69,0
F*	Silure (1)	0,4	0,1	**5,3**	1,2	**5,7**	1,2	**133,0**	30,2
F	Perches (2)	0,3	0,0	2,3	0,5	2,5	0,5	36,4	8,3

Tab. 19. Taux de PCB et de dioxine mesurés dans la chair de 16 lots de poissons prélevés en novembre 2011 et de 3 lots prélevés en avril 2012 (* code station repéré en vert). Les teneurs sont exprimées par rapport au poids frais (laboratoire LABERCO de Nantes)

Les 3 lots de silures de la partie aval sont plus contaminé que les deux lots prélevés dans les stations amont (A et B), mais les échantillons sont trop petits pour qu'on puisse vérifier la significativité statistique de cette différence. Les 14 autres lots sont tous contaminés par les PCB et les dioxines, mais suivant des teneurs nettement inférieures aux CMA.

Taux d'ETM dans la chair de 4 espèces de poisson du Doubs

Les analyses réalisées pour neuf éléments traces métalliques dans la chair des 19 lots de poissons révèlent qu'un troisième lot n'est pas consommable au titre de la réglementation européenne (tab. 20). En effet, la concentration mesurée dans un des lots de goujons atteint 0,49 mg/Kg de matière fraîche et dépasse donc la concentration maximale admissible de plomb qui est de 0,3 mg/Kg. Ce lot de goujon contient aussi des taux de cuivre et de nickel préoccupants.

St	ETM Espèces	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Sn mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
AB	Gardon	0,08	<0,005	0,03	0,40	<0,025	0,09	0,05	0,08	5,7
C	Gardon	0,07	<0,005	0,03	0,48	<0,025	0,06	0,03	0,04	5,0
DE	Gardon	0,06	<0,005	<0,010	0,48	<0,025	0,11	0,04	0,03	4,5
F	Gardon	0,09	<0,005	0,01	0,92	<0,025	0,06	0,10	0,04	5,8
AB	Goujon	0,06	<0,005	0,03	0,49	<0,025	0,07	0,05	0,08	17,3
C	Goujon	0,06	0,008	0,05	0,52	<0,025	0,08	0,06	0,09	18,4
DE	Goujon	0,05	0,007	0,02	11,30	0,038	0,10	0,41	0,49	24,6
D*	Goujon	0,10	0,017	0,08	0,75	<0,020	0,06	0,06	0,04	
F	Goujon	0,07	<0,005	0,02	0,52	<0,025	0,08	0,07	0,07	16,1
AB	Sandre	0,02	<0,005	0,02	<0,25	<0,025	0,20	0,05	0,05	3,7
C	Sandre	0,02	<0,005	0,04	<0,25	<0,025	0,15	0,04	0,07	3,3
DE	Sandre	0,02	<0,006	<0,011	<0,28	<0,028	0,18	0,04	0,02	3,9
F	Sandre	0,03	<0,006	<0,011	<0,28	<0,028	0,15	0,04	0,02	3,6
AB	Silure	0,01	<0,005	0,01	<0,25	<0,025	0,22	0,05	0,04	2,9
B*	Silure	<0,010	<0,005	<0,010	<0,30	<0,020	0,53	<0,020	<0,005	
C	Silure	0,02	<0,005	0,03	0,36	<0,025	0,43	0,06	0,05	7,4
DE	Silure	0,02	<0,005	0,02	0,27	<0,025	0,24	0,04	0,03	4,7
F*	Silure	<0,021	<0,005	<0,010	<0,30	<0,020	0,34	<0,020	<0,005	
F	Perche	0,01	<0,005	<0,010	0,27	<0,025	0,24	<0,025	0,02	4,2

Tab. 20. Taux d'ETM mesurés dans la chair de 16 lots de poissons prélevés en novembre 2011 et de 3 lots prélevés en avril 2012 (* code station repéré en vert). Les teneurs sont exprimées par rapport au poids frais (analyse effectuée par le Laboratoire Départemental d'Analyse de Vendée)

Parallèlement, la chair de l'un des deux silures capturés en avril 2012 contenait un taux de mercure élevé (0,53 m/Kg de MF). Cette teneur ne dépasse toutefois pas la norme Européenne fixée à 1 mg/kg de MF pour les carnassiers.

Dans la totalité des lots, la concentration de mercure dépasse la norme de bon état écologique indiquée par la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) qui est de 0,02 mg/Kg de matière fraîche. Parallèlement, les taux de cuivre mesurés dans les gardons, goujons et silures témoignent d'une contamination nette.

Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments

Les données sur la qualité chimique des eaux du Doubs entre Fraisans et Dole sont très peu abondantes et très disparates. Certes il existe quelques séries de mesures qui ont été effectuées à Dampierre, Rans, Orchamps et Baverans et mais elles datent des années 1981 à 1982 ou 1996 à 1998. A notre connaissance, aucune donnée n'existe sur la qualité des sédiments.

Les stations de suivi chimiques plus complet plus régulier les plus proches du domaine d'étude sont situées à :

- Thoraize, à une quarantaine de Km en amont, suivie depuis 2007 et sous l'influence des rejets de l'agglomération bisontine.
- Gevry à une dizaine de Km à l'aval, suivie depuis 1981 mais sous l'influence des rejets de Dole.

Pour ces deux stations, qui encadrent le domaine d'étude, on observe les mêmes tendances, d'ailleurs générales en Franche-Comté :

1. Le taux de phosphore et les indicateurs de pollutions strictement organiques sont en baisse et témoignent d'une nette amélioration.
2. Les taux d'azote sont en hausse modérée mais continue et présentent des valeurs maximales entrainant des déséquilibres nutrimentiels probablement impliqués dans des phases de proliférations végétales intempestives.
3. Les récentes analyses de micropolluants indique une contamination générale de l'écosystème en général et des sédiments aquatiques en particulier.

Les concentrations en certains éléments trace métalliques (dont le cuivre) et en HAP atteignent des valeurs susceptibles de perturber le développements des espèces les plus sensibles. Cependant, les analyses de sédiments ne sont ni assez fréquentes, ni suffisamment répliquées pour percevoir l'étendue et l'intensité réelle de ces contaminations par les micropolluants. Enfin, pour un grand nombre de substances analysées, le seuil de détection est nettement supérieur à la concentration connue pour entrainer des effets toxiques sur la faune aquatique.

Bilan d'étape sur la qualité du Doubs entre Fraisans et Dole

Les déficits et les déséquilibres affectant les peuplements piscicoles du Doubs entre Fraisans et Dole peuvent donc être reliés à des altérations à la fois chimiques et physiques. La banalisation continue des mosaïques de biotopes humides et d'habitats aquatiques apparaît comme le facteur limitant le plus fortement les capacités biogènes relictuelles, encore notoires du Doubs. Cependant l'intensité et l'amplitude des contaminations chimiques sédimentaires sont très peu connues.

4. Restauration des potentiels piscicoles

Le diagnostic réalisé permet tout de même de proposer une stratégie de restauration et d'amélioration de la gestion des potentiels piscicoles. Les mesures préconisées sont articulées et hiérarchisées de façon à traiter prioritairement les causes principales. Dans cet esprit, les actions à entreprendre en priorité concernent la restauration physique du Doubs et de ses annexes.

Stratégies de restauration de la qualité physique

Principes et modalités de restauration

Comme l'évoque le rapport du BCEOM (2009), la meilleure façon de restaurer les ressorts de la qualité physique du Doubs à l'échelle de la mosaïque des biotopes serait de lui restituer son espace de liberté. En effet, sans aucune intervention autre que l'arasement des seuils et le décaissement des berges enrochées, les processus spontanés d'érosion et de sédimentation permettraient le réajustement du chenal, ainsi que la reconnexion et même la recréation des annexes.

Cependant, comme le dit aussi ce rapport, les usages, occupations des sols et contraintes hydrauliques actuelles ne permettent pas de mettre en œuvre cette stratégie. En particulier, la pérennité de la navigabilité, la protection des habitations et le maintien des usages agricoles actuels ne sont pas compatibles avec la reconstitution d'un véritable espace de liberté ni surtout avec la dynamique érosive sous-tendue par cette approche.

Une stratégie alternative, moins ambitieuse mais permettant d'envisager la protection et même une restauration partielle des capacités biogènes du Doubs basal consiste à réduire les altérations des ressorts de la qualité physique sans remettre en cause les aménagements hydrauliques structurant qui les ont affectés. Il s'agit donc, en tenant compte des contraintes hydrauliques :

- d'augmenter l'hétérogénéité des mosaïques d'habitat aquatiques et humides ;
- d'accroître leur attractivité ;
- de rétablir ou d'améliorer la connectivité, tant longitudinale, entre les compartiments hydrauliques qui fragmentent le Doubs, que latérale, avec les franges humides, les affluents, les annexes… ;
- de contrôler les tendances érosives des berges et des fonds, mais surtout le colmatage et l'envasement des systèmes latéraux et des bordures de lit.

Dans cette optique, des principes et des modalités d'action ont été proposés afin d'atteindre les objectifs stratégiques définis ci-dessus (annexe 8 et fig. 34 à 44). Ces schémas seront déclinés pour les 6 unités hydrauliques jalonnant le Doubs (annexe 9 et fig. 45 à 50). Ils devront bien sûr être précisés par des études opérationnelles consistant essentiellement à les caler topographiquement et hydrauliquement.

Restauration des mortes

La plupart des mortes, même connectives, s'avèrent peu biogènes. En effet, elles sont généralement encaissées, envasées et envahies de végétation. En outre, elles s'assèchent beaucoup trop vite après les crues.

Pour restaurer leurs capacités biogènes, il convient de les rendre plus attractives et plus hétérogènes, tout en améliorant leur connectivité à la fois avec les franges humides reconstituées et avec le Doubs. Des ressorts d'auto-curage ménagé doivent aussi être reconstitués. Pour cela, trois principes et autant de modalités d'action sont proposés.

1. Remodelage des berges et des fonds (fig. 34).

Le remodelage des berges est destiné à augmenter les interfaces eau / sol / air, très biogènes. L'aménagement de bourrelets échancrés jalonnant le profil en long doit permettre une meilleure rétention sans entraver la circulation des poissons.

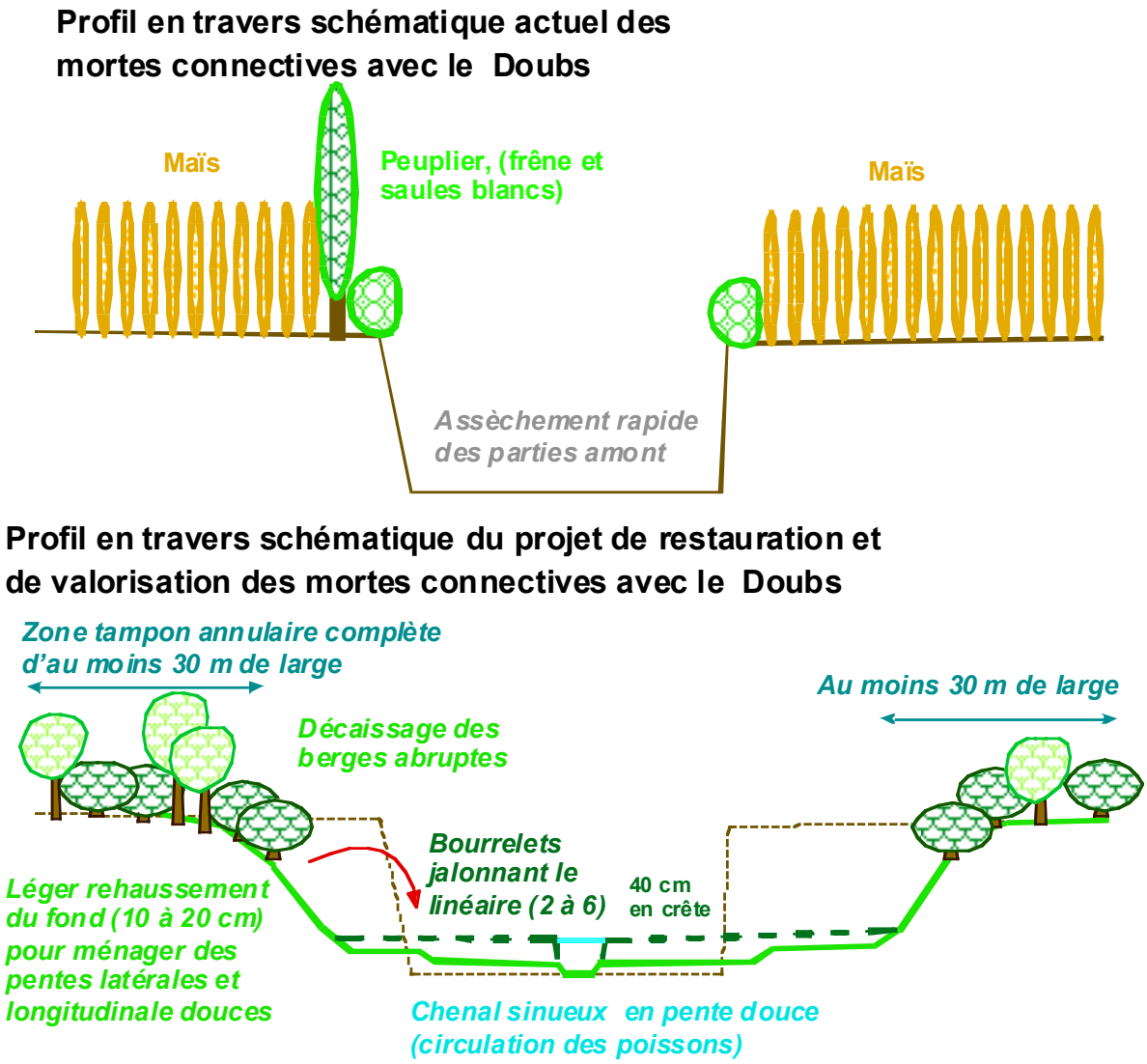


Figure 34. Principe de restauration des mortes connectives = vue schématique transversale

Les échancrures décalées ménageront un chenal central, normalement toujours ou presque toujours en eau. Le léger rehaussement des fonds permettra d'augmenter la réserve en eau utile des sols amphibies, tout en ménageant des pentes latérales en escalier et longitudinales douces pour favoriser l'auto-curage des mortes.

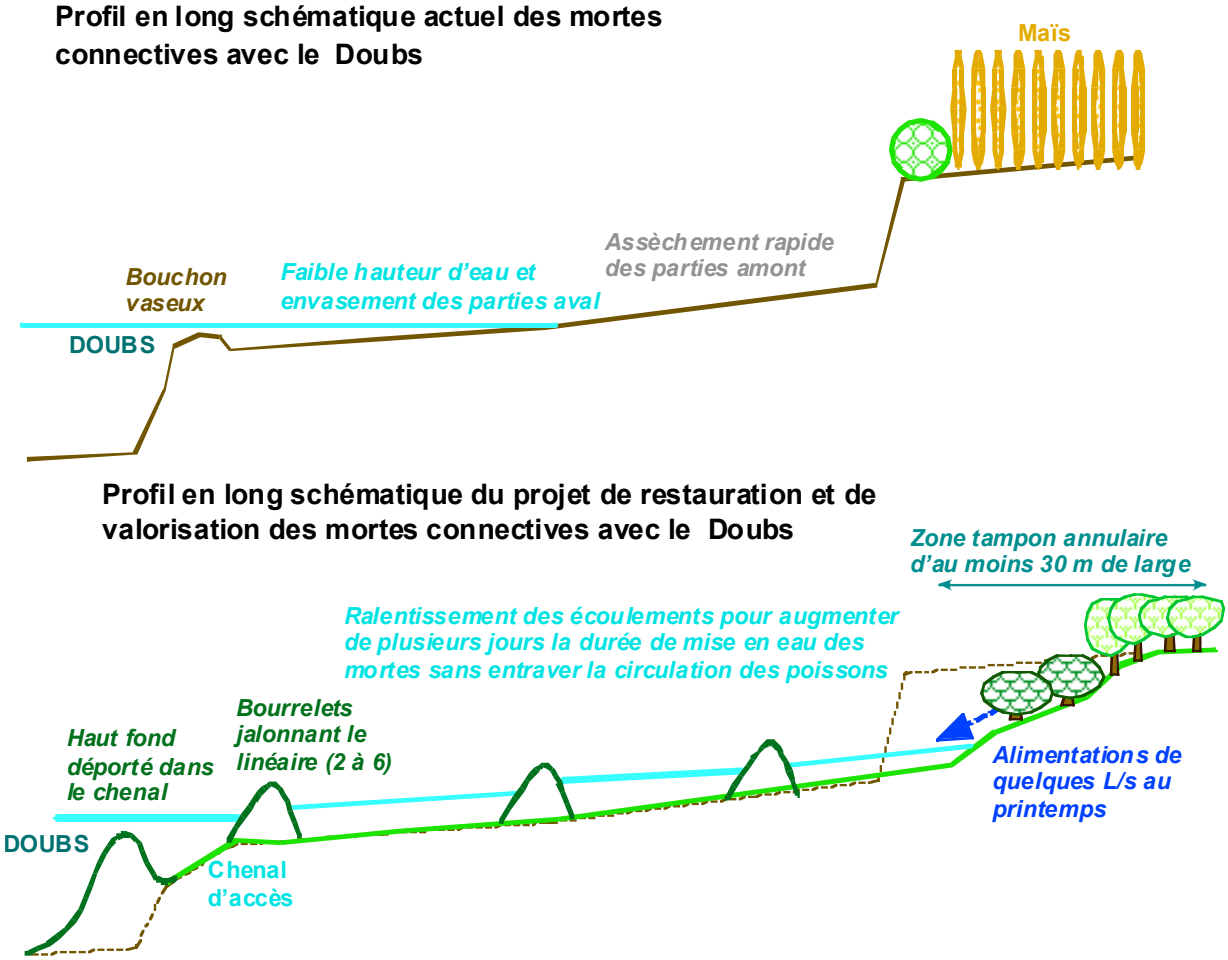


Figure 35. Principe de restauration des mortes connectives = vue schématique transversale

2. Amélioration de l'alimentation au printemps (fig. 35-36)

Le fonctionnement biologique de ces systèmes annexes est optimisé quand ils restent longuement en eau, au moins au printemps. Dans cette optique, leur capacité à retenir l'eau après les périodes pluvieuses sera renforcée par l'édification de bourrelets ménageant des bassins connectés entre eux par un chenal sinueux.

La durée de l'hydropériode pourra être également être allongée à l'aide d'un renforcement ou d'un supplément de l'alimentation en eau par l'amont de la morte. Selon les cas de figures rencontrés, ce surcroît de débit permanent ou saisonnier apporté aux mortes pourra être obtenu de plusieurs façons :

- quand elles sont alimentées par des affluents rectifiés, grâce à la restauration de ces vecteurs hydriques qui augmentera leur débit d'étiage ;
- à l'aide d'une prise d'eau de quelques L/s à partir du canal, d'un affluent proche ou du Doubs lui-même à l'amont.

3. Reconstitution d'une frange intégrale et fonctionnelle (fig. 36)

L'épuration des ruissellements chargés de nutriment requiert la reconstitution ou la réhabilitation des bandes tampons complètes qui doivent s'étendre sur plusieurs dizaines de mètres de large pour s'avérer efficaces (WELSCH 1991, FISCHER et FISCHENICH 2000). Dans le cas des franges entourant les mortes connectives du Doubs, un changement d'occupation des sols ou et de pratique culturale sera nécessaire sur des bandes annulaires d'au moins 30 m de large.

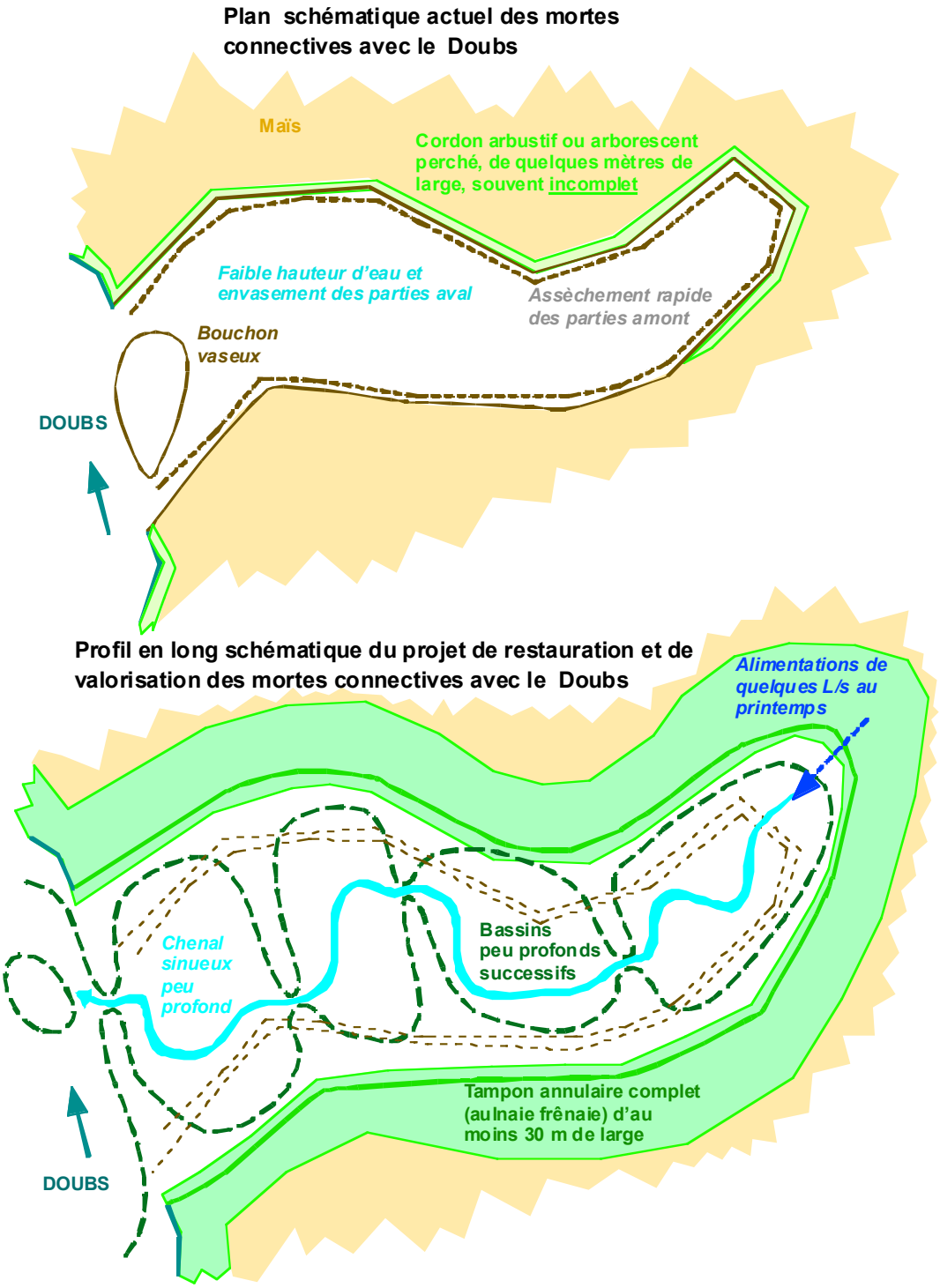


Figure 36. Principe de restauration des mortes connectives : vue en plan schématique

Sur cette zone, les champs labourés dévolus à la céréaliculture devraient donc y être remplacés soit par des prairies non amendées et non retournées, soit par des plantations d'aulnes, de frênes, de plusieurs espèces de saules et de différents portes-baies (sorbiers, viornes, prunelliers, groseilliers rouges, fusains…). Ces essences seront aussi replantées ou favorisées dans les cordons arbustifs actuels en remplacement des peupliers cultivars et des érables *negundo* qui seront autant que possible supprimé (cf. ci-dessous gestion de la ripisylve).

Restauration des affluents

Entre Fraisans et Dole, le Doubs collecte de nombreux affluents qui constituent autant de systèmes latéraux à fort potentiels biogènes (frayère, élargissement du spectre typologique, apport d'eaux fraîches théoriquement mieux oxygénées et moins chargées en nutriments…). En rive droite, le Doubs est alimenté par de nombreux ruisseaux issus du massif de la forêt de Chaux, dont les Doulonnes.

Cependant, dans la plaine alluviale du Doubs, tous les affluents sont rectifiés et fortement incisés. Leurs débit d'étiage montre une tendance nette au tarissement liée à leur enfoncement qui provoque un drainage trop rapide des nappes d'accompagnement et réduit le pouvoir de rétention en eau des sols adjacents.

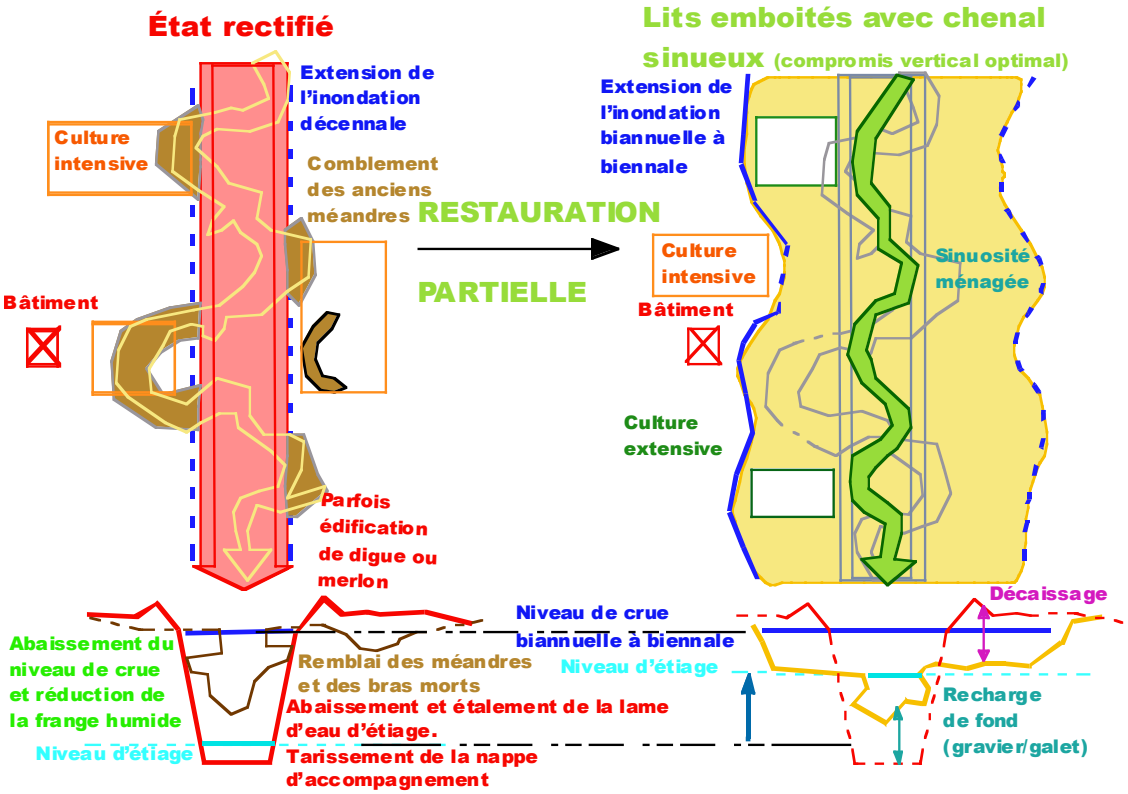


Figure 37. Principe de restauration partielle des affluents rectifiés suivant la stratégie des lit emboîtés :profil et vue en plan schématique de l'état actuel et du projet.

Leur restauration physique s'avère indispensable si l'on veut régénérer leurs potentiels écologiques, Dans cette optique, la stratégie optimale consisterait à reconstituer leurs lits originels, pour la plupart méandriformes, en prenant soin de rehausser leur fil d'eau juste sous le terrain naturel pour rétablir les relations d'équilibre avec les nappes et la zone inondable.

Cependant, les fortes pressions anthropiques subies par la zone alluviale du Doubs, dont l'occupation des sols, essentiellement dévolue à la céréaliculture, conduisent à proposer un compromis consistant à modeler des lits emboîtés (fig. 37). Cette approche permettrait en effet de relever l'altitude des niveaux d'étiage sans rehausser le niveau des crues ni accroître la fréquence des débordements.

La stratégie des lits emboîtés permettra aussi de conférer au chenal d'étiage une sinuosité marquée. Parallèlement, les fonds du lit d'étiage peuvent être diversifiés et rendus plus attractifs pour la faune aquatique. Enfin, la création d'un lit moyen destiné à absorber les crues fréquentes sera l'occasion de reconstituer une frange humide, sans aggraver les risques d'inondation en dehors du lit moyen.

Ce corridor fluviatile recréé pour chaque affluent constituera une zone tampon augmentant considérablement les capacités d'autoépuration. Toutefois, cette approche requiert le réaménagement et le changement d'utilisation des sols sur une bande de 20 à 30 mètres de part et d'autre des chenaux actuels.

Amélioration de la connectivité latérale : décaissage des berges

L'escarpement des berges du Doubs limite fortement sa connectivité latérale avec les franges fluviales qui, désormais perchées, sont généralement réduites à un cordon de saules et de frênes ou de peupliers, sur quelques mètres de large. Pour en réactiver la fonctionnalité, nous proposons de décaisser les berges abruptes afin de ménager des risbermes peu pentues, au ras du niveau d'étiage (fig. 38).

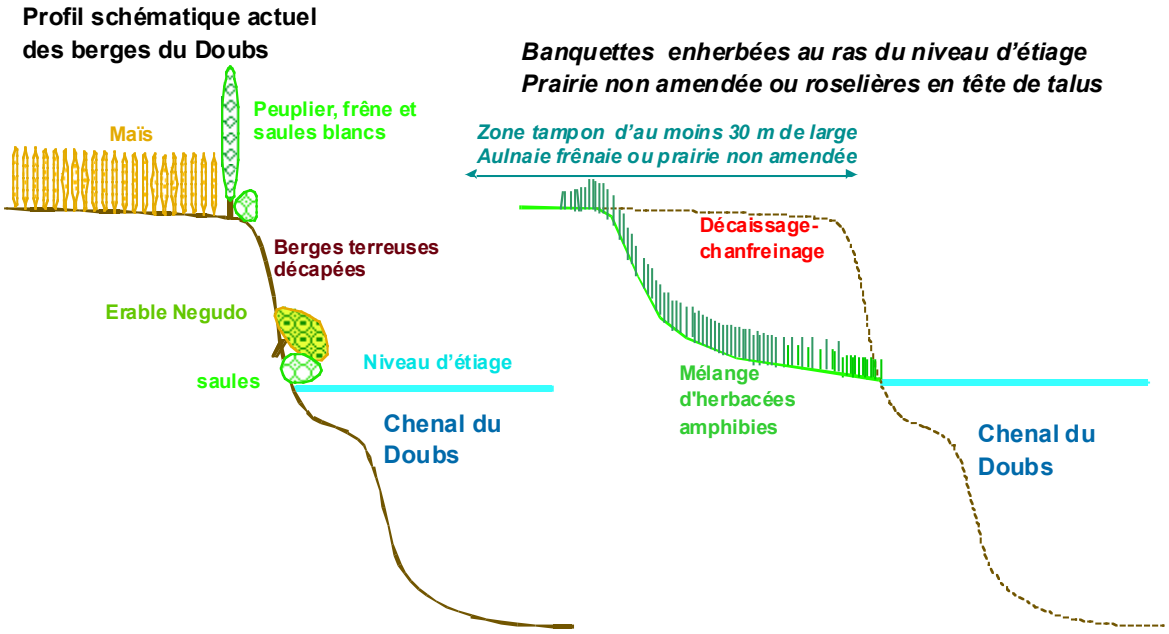


Figure 38. Principe d'amélioration de la connectivité latérale du Doubs par décaissage des berges abruptes pour créer des banquettes enherbées : profil schématique

Une partie de ces franges humides reconstituées sera végétalisée à l'aide d'espèces herbacées amphibies décrivant le gradient d'humidité (hélophytes, joncs, graminées de prairies humides). Alternativement ou simultanément, les berges en pentes douces, les talus, et les nouvelles têtes de berges pourront aussi être replantées d'essences arbustives et arborescentes autochtones (fig. 39).

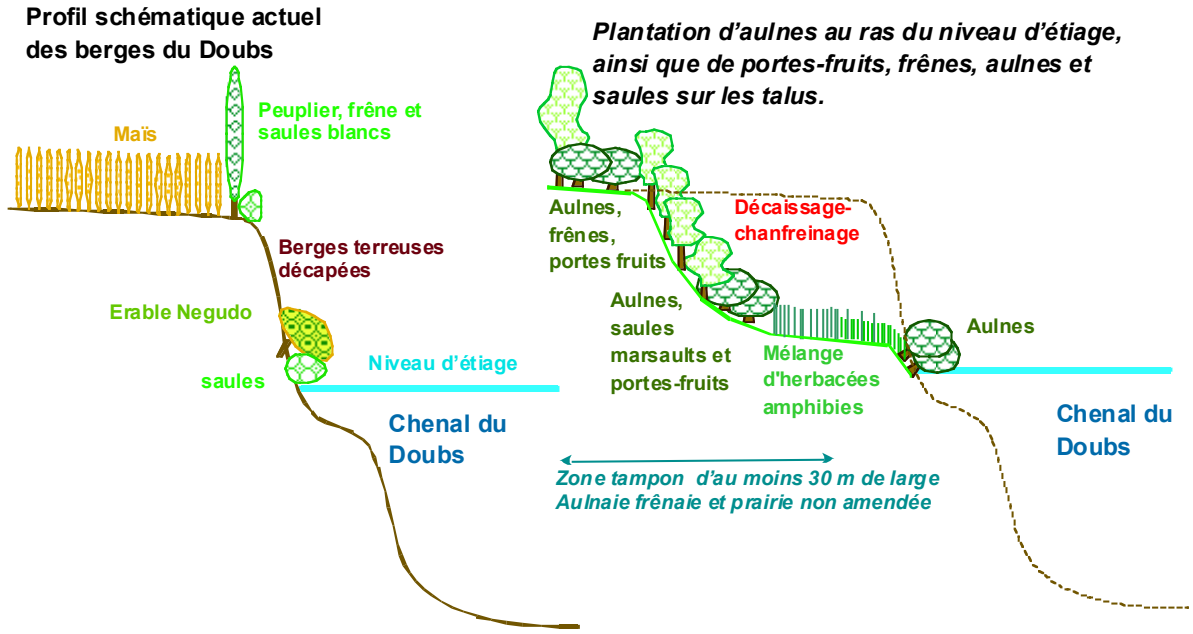


Figure 39. Principe d'amélioration de la connectivité latérale du Doubs par décaissage des berges abrupte pour recréer une ripisylve connective: profil schématique

On favorisera en particulier **l'aulne**, espèce pionnière favorisant l'épuration des rejets azotés et développant des réseaux racinaires particulièrement adaptés à la stabilisation des berges. Son caractère pionnier lui permet d'occuper l'interface eau sol en ménageant des chevelus et des sous-berges attractifs pour la faune.

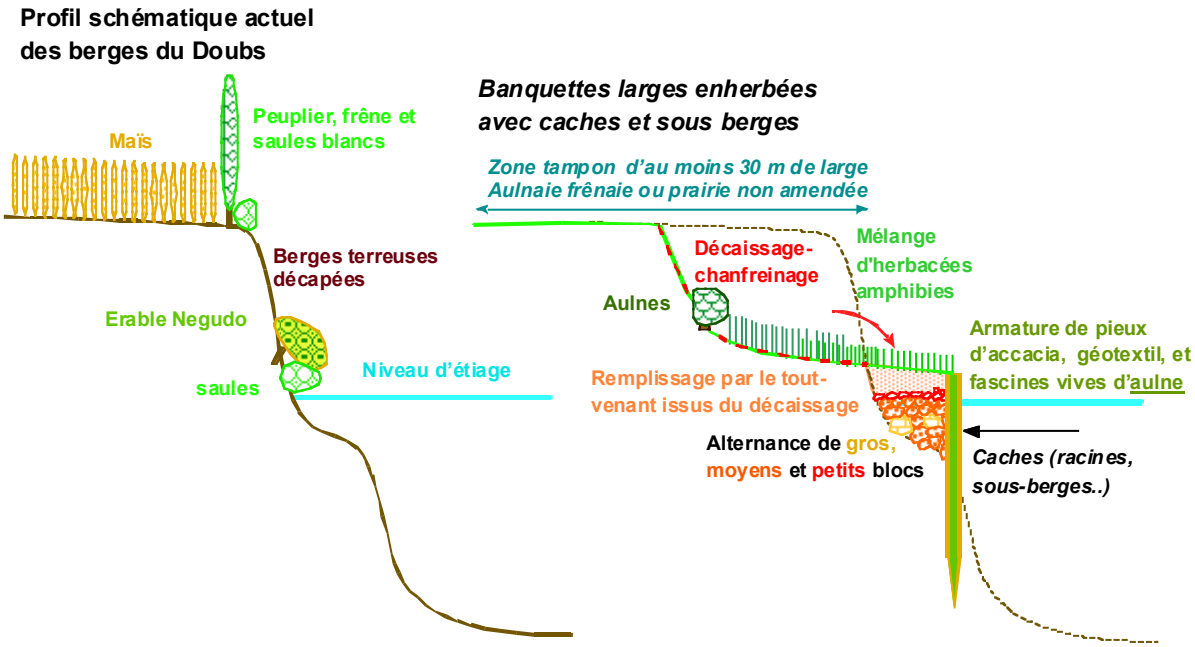


Figure 40. Principe d'amélioration de la connectivité latérale du Doubs par décaissage des berges abrupte et recréation de banquettes larges enherbées ménageant des caches : profil schématique

Parallèlement, le décaissage des berges, en élargissant la largeur des bandes fréquemment inondées, autorise l'ajout de cache et de rugosité dans le chenal d'étiage sans aggraver les risques d'inondation. On pourra ainsi envisager l'ajout de risberme avec cache édifiée en partie à l'aide des matériaux décaissés (fig. 40).

Dans certains cas, les berges abruptes sont en outre corsetées par des enrochements plus ou moins jointifs parfois surmontés d'une surdigue en bloc (fig. 41). Dans ce cas, le décaissage de la berge abrupte doit s'accompagner du démantèlement des enrochements.

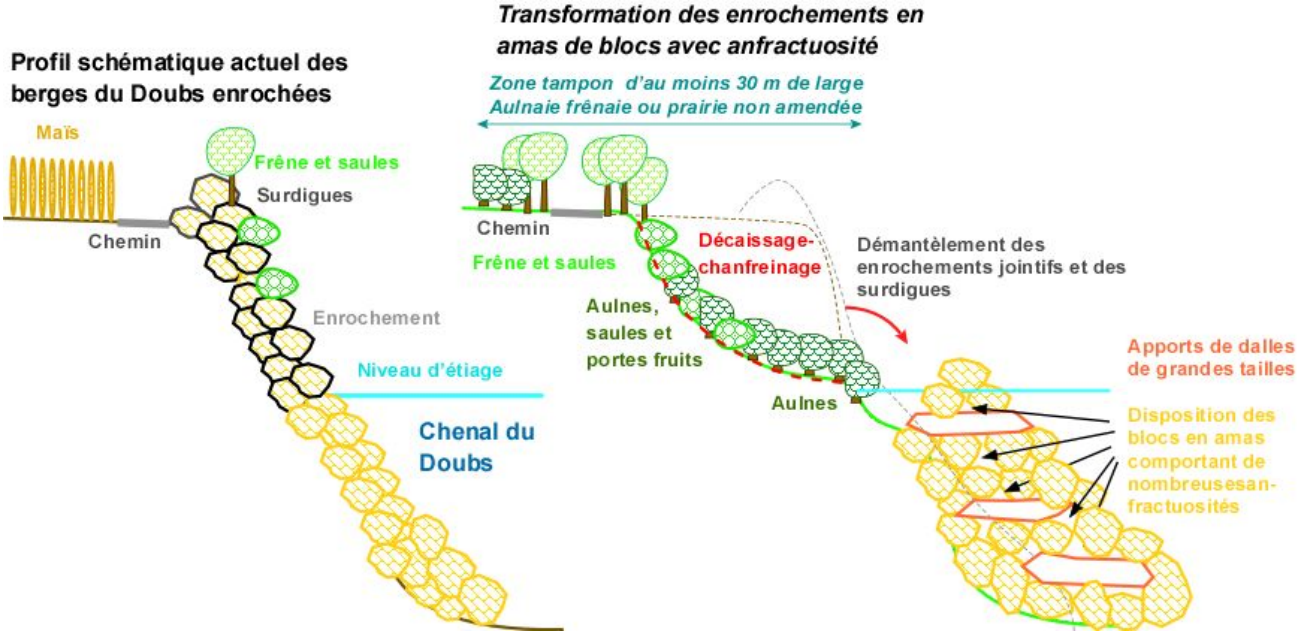


Figure 41. Principe d'amélioration de la connectivité latérale du Doubs par démantèlement des enrochements, arasement des surdigues, décaissage des berges abruptes : profil schématique ; les amas de blocs sont utilisés pour ménager des caches

Les blocs issus de cette opération peuvent alors être utilisés pour édifier des amas immergés ménageant des caches et des hauts-fonds en vis-à-vis des risbermes en pente douce. L'attractivité biogène de ces aménagements pourra être renforcée par l'apport de dalles grossières qui multiplieront les anfractuosités de grandes tailles et constitueront autant de caches pour les poissons. Enfin, le décaissement des berges permet aussi d'envisager l'aménagement de poste de pêche au ras de l'eau, par exemple en implantant des pontons en bois (annexe 9).

Restauration de la connectivité longitudinale

Entre Fraisans et Dole, le Doubs est compartimenté par 6 barrages qui sont tous infranchissables pour la totalité des espèces pisciaires potamiques qui peuplent cette rivière (tab. 23). Or, dans le cas d'un système fluvial artificialisé dont l'habitat a été homogénéisé, les possibilités de circulation revêtent une importance primordiale pour le maintien des populations piscicoles.

En effet, toutes les espèces de poissons doivent pouvoir accéder à des frayères fonctionnelles. Or, selon l'hydroclimat régnant au moment des périodes de reproduction, les frayères ne sont pas toujours fonctionnelles dans chacun des compartiments hydrauliques isolés par les barrages. En outre, en cas de pollution localisée, le franchissement des barrages permet la fuite vers l'amont et la sauvegarde d'une partie au moins des populations. Les poissons rescapés seront alors aptes à recoloniser le milieu par dévalaison quand le flux polluant se sera tarit.

Parallèlement, les barrages ménagent des miroirs dont la longueur domine très largement le linéaire (*cf.* tab. 24). Dans ce contexte, les zones de radier sont souvent cantonnées à l'aval immédiat des barrages. En effet, la disposition en V élargi des seuils favorisent la formation de bancs de graviers. Ces dépôts sont très localisés, mais moins souvent curés puisque situés dans des secteurs non navigables (voire cependant la photo 7 et son commentaire).

En outre, grâce au dénivelé local créé par les seuils, les écoulements y subissent des accélérations notoires se traduisant par une forte hétérogénéité des mosaïques de vitesses comprenant des classes rapides, rares ou inexistantes sur les autres secteurs. Cette configuration morphologique et ces conditions hydrodynamiques ménagent localement des alternances de fosses et de radiers contrastés hétérogènes et attractives pour la faune aquatique.

Leur intérêt est encore renforcé par les surfaces hygropétriques formées par les parements des barrages. Ces habitats baignés par des fortes vitesses contribuent fortement aux mécanismes d'autoépuration. Ils sont par là même le siège d'une importante production de macroinvertébrés susceptibles de servir de proies à la plupart des espèces de poissons qui trouvent ainsi dans les fosses à l'aval des seuils à la fois le gîte, le couvert et, pour certaines espèces, la possibilité de frayer.

Toutefois, la surface et surtout, la fonctionnalité de ces mosaïques d'habitats biogènes, déjà très localisées, sont déterminées par la valeur des débits réservés, insuffisants. En effet, lorsque les usines turbinent en période d'étiage, une grande partie des parements se retrouvent ainsi à sec. Parallèlement, l'attractivité des fosses et des radiers qui émaillent le chenal à l'aval immédiat des barrages est réduite par la simplification des mosaïques d'écoulement, voir par leur annihilation durant les périodes les plus sèches.

L'amélioration de l'habitat de ces secteurs névralgiques requiert donc une augmentation notoire de débits réservés. Pour déterminer leur valeur optimale, deux solution peuvent être envisagée.

1. Soit on analyse durant un cycle annuel la chronique des habitats aquatiques et hygropétriques mis à sec durant différentes saisons pour différentes gammes de débit.
2. Soit on choisit de fixer le débit réservé à la hauteur du débit d'étiage « fréquent » observé sur le Doubs, puisqu'il correspond aux conditions les plus limitantes en dehors de l'influence des barrages. Dans cette optique, le débit d'étiage non exceptionnel peut être approché par le QMNA5 qui, dans le cas du Doubs entre Fraisans et Dole, s'élève à 15 m^3/s (banque Hydro).

Or, il ne semble pas que la première approche ait été appliquée lors du renouvellement de l'autorisation délivrée à l'usine hydroélectrique de Fraisans. En outre, le débit réservé de cette installation, fixée à 10 m3/s pour satisfaire le minimum légal de 10 % du module, est nettement inférieur au débit d'étiage.

L'insuffisance des débits réservés est encore plus flagrante dans le cas des autres installations, et une réflexion pour les augmenter au moins au niveau des valeurs d'étiage est à notre avis prioritaire.

Amélioration de la qualité des mosaïques d'habitats aquatiques

Les autres facteurs physiques limitant les capacités biogènes du Doubs sont liés à la déconnexion des franges humides. En, effet, l'enfoncement du lit, parfois renforcé par le corsetage des berges enrochées, réduit la fréquence des caches. En outre cette déconnexion a entraîné la suppression des bandes enherbées amphibies, de la ripisylve connective et des ceintures d'hélophytes. Ces habitats très attractifs font en effet défaut sur cette portion du Doubs.

Dans le cas des bras de dérivation, qui bénéficient de conditions d'écoulements plus variées que les autres secteurs, mais dont les fonds sont parfois uniformisés, des diversifications locales pourront être créées par différents types d'aménagements ponctuels. Cette stratégie pourra également être mise en œuvre dans en plusieurs endroits très homogènes des portions navigables ou même des tronçons court-circuités (« Vieux Doubs »).

Cette approche consiste à apporter ponctuellement des caches et des abris hydrauliques ainsi que des rugosités diversifiant les écoulements. Pour atteindre ces objectifs, on pourra ainsi édifier, selon les endroits et les contraintes hydrauliques, des banquettes avec caches (fig. 42), des amas de blocs ménageant des anfractuosités (fig. 34 et 43) ou des épis crénelés (fig. 44). La mise en œuvre de ces techniques doit toutefois suivre des modalités bien particulières.

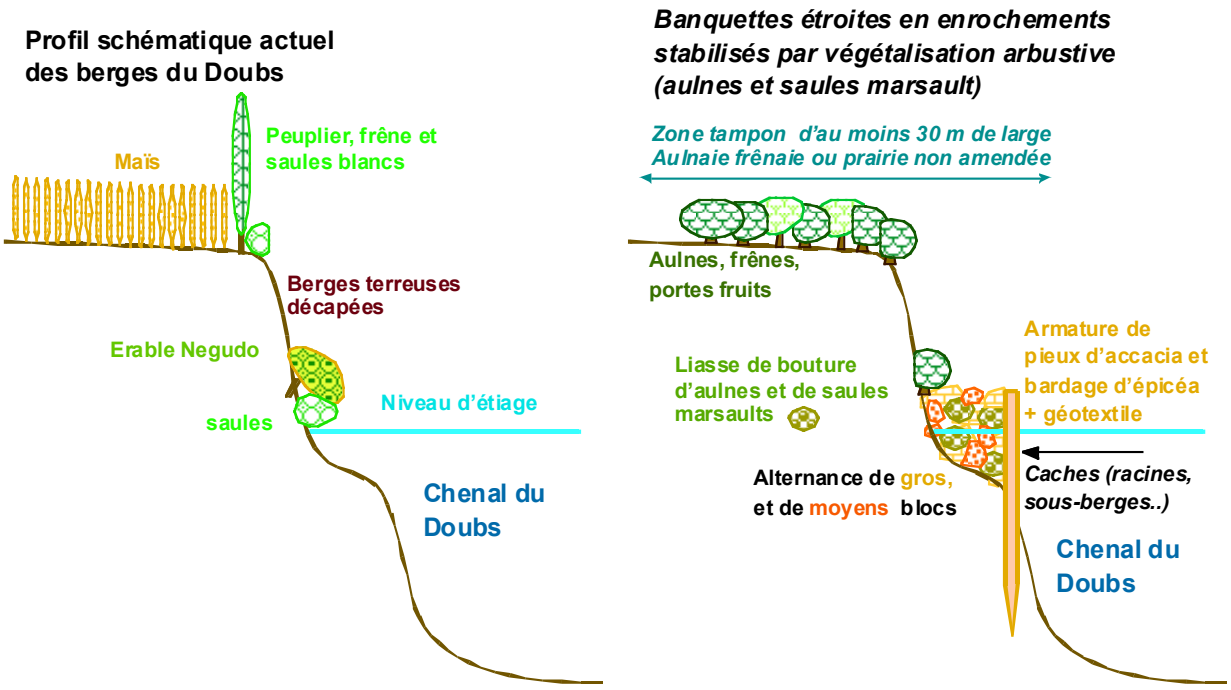


Figure 42. Diversification ponctuelle : aménagement d'une banquette ancrée à l'aide d'un bardage et dont la stabilité sera relayée par la reprise de boutures d'aulne

Les banquettes enrochées seront maintenues par des fascines vives d'aulne et de différentes espèces de saules en évitant le saule blanc qui s'installera de façon spontanée. Des liasses de bouture d'aulnes et de saules marsaults seront enfouies dans les remplissages de la risberme, entre les blocs de taille moyenne afin que leur reprise rapide renforce puis relaye le maintien assuré par les fascines.

Les amas de blocs seront constitués d'une alternance de trois classes granulométriques distinctes (fig. 43) :

- des gros blocs de 2/3 tonnes ;
- des blocs de taille moyenne (0,4 à 0,8 tonnes) ;
- des dalles grossières de 1,2 à 2,4 m de long sur 0,2 à 0,4 d'épaisseur.

Une quarantaine de ces éléments au moins par amas seront nécessaires. Idéalement les amas seront eux-mêmes disposés en quinconces, par groupe de 4 à 8 de façon à ménager entre eux des turbulences empêchant leur engravement.

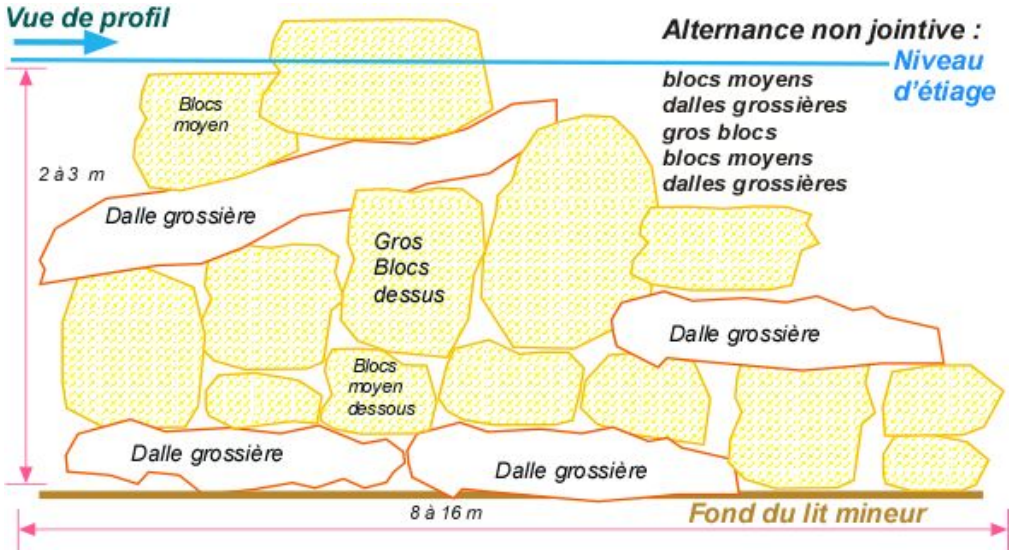


Figure 43. Diversification ponctuelle : aménagement d'amas de blocs avec des anfractuosités de grandes tailles.

Les épis crénelés seront édifiés à partir d'un ancrage en berge et à l'aide d'une alternance de blocs appartenant à une ou l'autre des classes granulométriques détaillées ci-dessus (fig. 34). Les crénelures ainsi créées ménageront des contre-courants en diversifiant les vitesses d'écoulement. Les épis favoriseront le piégeage de bancs de graviers biogènes.

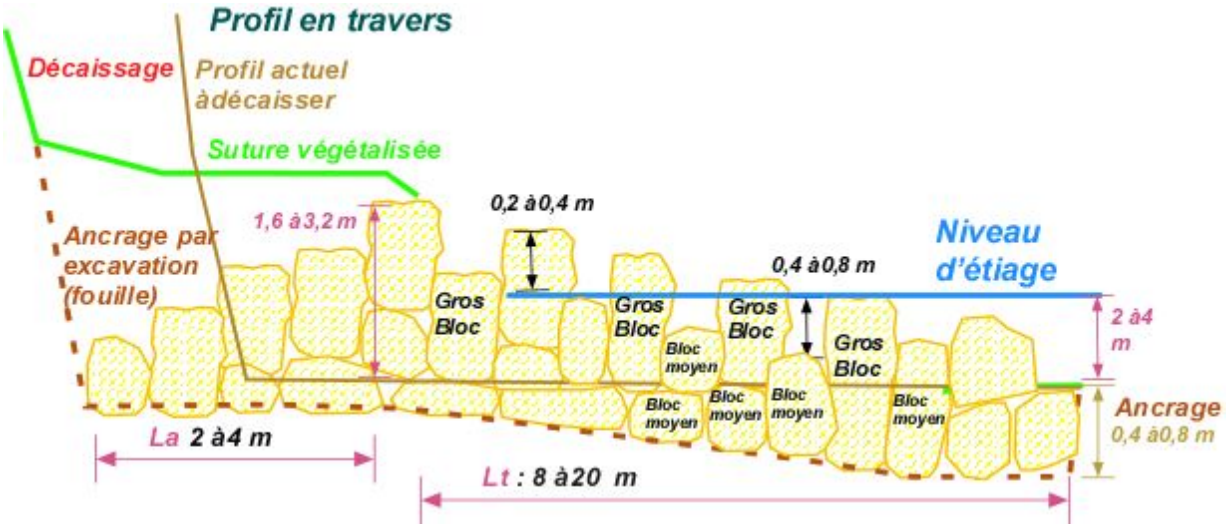


Figure 44. Diversification ponctuelle : aménagement d'épis crénelé.

Dans certains cas, et en particulier lors de l'édification des épis, les aménagements destinés à augmenter la diversité physique nécessiteront le décaissage conjoint des berges proches ou opposées pour limiter les tendances érosives. Idéalement, ce remodelage sera suivi d'une modification de l'occupation des marges fluviales (cf. bande tampon ci-dessus) et d'une restauration de la ripisylve (cf. ci-dessous).

Gestion de la ripisylve

Le petit nombre de caches observés dans le Doubs entre Fraisans et Dole est lié à l'état et à la dynamique de la ripisylve. D'une part, les bois morts qui constituent des abris et des supports de nourriture privilégiés par la faune aquatique sont très peu denses. D'autres part, la fréquence des sous-berges et des branchages immergés en basses eaux est extrêmement limitée.

En effet, sur la quasi-totalité des tronçons étudiés, la ripisylve, déconnectée par l'enfoncement du lit, se réduit à un étroit cordon arbustif et arborescent perché au dessus des berges encaissées. Les rares formations racinaires ou branchiales encore baignées par les niveaux d'étiage se composent de saules blancs ou marsault buissonnants, de quelques aulnes et d'une proportion notoire d'érables Negundo (*Acer negundo*).

Dans les vallées alluviales françaises, cette essence exotique d'origine asiatique montre depuis quelques années des tendances envahissantes. Sa dynamique est renforcée par les altérations morphologiques subies par les grands cours d'eau ainsi que par une mauvaise gestion de la ripisylve, souvent victime d'une pression régulatrice trop forte (SACCONE *et al.* 2010-2012).

Son euryècie vis-à-vis de la lumière et des conditions d'hydromorphie des sols, comme son affinité pour les nutriment favorisent son extension au détriment des frênes et des aulnes, dans les marges fluviales comme sur la ligne de rivage des rivières soumises à des pressions chenalisatrices et à des surcharges azotées ou et phosphorées. Dans les corridors fluviaux de la Loire, de la Garonne ou du Rhône, les érables negundo vont jusqu'à constituer des peuplements monospécifiques.

Les potentiels habitationnels et nutritionnels de ces «pseudo-ripisylves » d'érable negundo vis-à-vis des organismes aquatiques et amphibies sont évalués de façon controversée. Toutefois, il semble que leurs capacités biogènes soient très inférieures à celles des mosaïques d'essences autochtones composant les ripisylves originelles. Parallèlement, la prolifération d'autres essences envahissantes, combinée avec les plantations de cultivars de peupliers, renforce encore la banalisation des associations végétales occupant les marges fluviales.

D'une part, de nombreux bosquets de renouée du Japon (*Fallopia japonica*) et de budlleïa (*Buddleja davidii*) émaillent chacun des tronçons étudiés. Ces plantes envahissantes, aussi peu hospitalières pour l'entomofaune que pour les batraciens, les reptiles ou l'avifaune, constituent des formations végétales monospécifiques en concurrençant sévèrement les espèces herbacées et arbustives locales. Adaptées aux sols graveleux fortement drainants, mais ne supportant pas l'asphyxie racinaire consécutive à des immersions de plusieurs jours, leur progression témoignent de l'assèchement des marges fluviales ou de la rudéralisation des berges.

D'autre part, les cultivars de peupliers (*Populus x nigra*) plantés en cordon le long des berges ou en ligne dans les dépressions humides fragilisent les berges et appauvrissent les potentiels entomologiques et aviaires des marges fluviales (MARIDET 1995). Les peupliers produisent en effet des substances allélopathiques qui tendent à décourager les consommateurs comme à évincer les espèces concurrentes, tandis que leur litière, riche en phénols, se dégrade difficilement.

Leur culture intensive nécessite en outre des opérations de drainage, de traitements chimiques et de fertilisations initiales qui sont autant de perturbations pour les milieux aquatiques. On peut ajouter que leur culture n'est plus rentable depuis l'introduction d'emballage plastique dans le transport des produits maraîchers.

En résumé, la ripisylve constitue originellement un puissant moteur de diversité physique tout en fournissant des apports trophiques notoires pour la faune terrestre comme pour les invertébrés aquatiques (litière, bois morts…). Compte tenu de son état d'altération dans le long du Doubs entre Fraisans et Dole, il convient d'en établir un plan de restauration et de gestion à grande échelle.

La restauration puis la gestion de la ripisylve s'articulera sur quatre axes à suivre simultanément :

1. **Coupe des érables negundo** (ou écorçage pour les faire dépérir) **et des peupliers** ; proscription des plantations de peupliers à remplacer par des frênes.
2. **Plantation d'essences autochtones adaptées** en privilégiant, l'aulne (*Alnus glutinosa*), le frêne (*Fraxinus excelsior*), l'orme lisse (*Ulmus laevis)*, en utilisant des clones résistants à la graphiose (PINON et FEUGEY 1993) et le chêne pédonculé (*Quercus robur*)…
3. Sur les talus décaissé à l'occasion de la création des banquettes et risbermes, **plantation d'aulne de frêne et d'ormes mais aussi d'arbustes portes-baies** comme la viorne obier (*Viburnum opulus*), le sureau (*Sambucus nigra*), le prunellier (*Prunus spinosa*), le fusain (*Euonymus europea*)…
4. **Éviter les coupes à blanc et proscrire l'enlèvement des bois morts** sur les tronçons court-circuités ; puis, sur ces secteurs ainsi que, par endroits choisis, sur les bordures des tronçons navigables, **arrimage ou ancrage des bois morts** à l'aide de pieux d'acacia pour les conserver tout en freinant leur dérive vers les chenaux navigables ou vers les ponts et canaux.

L'efficacité de ces quatre modalités de restauration et de gestion de la ripisylve est subordonnée à l'amélioration de la connectivité latérale. Par conséquent, cette stratégie doit être combinée avec des décaissements de berges et des créations de risbermes. Ces aménagements favoriseront grandement la reprise des essences arbustives et arborescentes autochtones aux dépens des espèces exotiques.

Déclinaison sur les 6 tronçons étudiés

Les principes et modalités d'application des stratégies de restauration présentées ci-dessus ont été déclinés et adaptés aux 6 unités hydrauliques jalonnant le Doubs entre Fraisans et Dole. Le but de cette étape est de spatialiser et de prioriser les actions à mener, ainsi que d'en évaluer le volume global.

Les actions préconisées, pour être efficaces, ne doivent pas être envisagées séparément ni réparties aux hasard, mais au contraire priorisées, concaténées, et synchronisées. En outre, le dimensionnement ainsi que les modalités précises de mise en œuvre des différents aménagements requerront des études spécifiques et opérationnelles sur chaque unité hydraulique à restaurer.

Tronçon A : entre Fraisans et Rans

Sur ce tronçon, deux séries d'actions prioritaires et trois séries d'actions d'accompagnement sont à engager ou à programmer et à négocier (fig. 45).

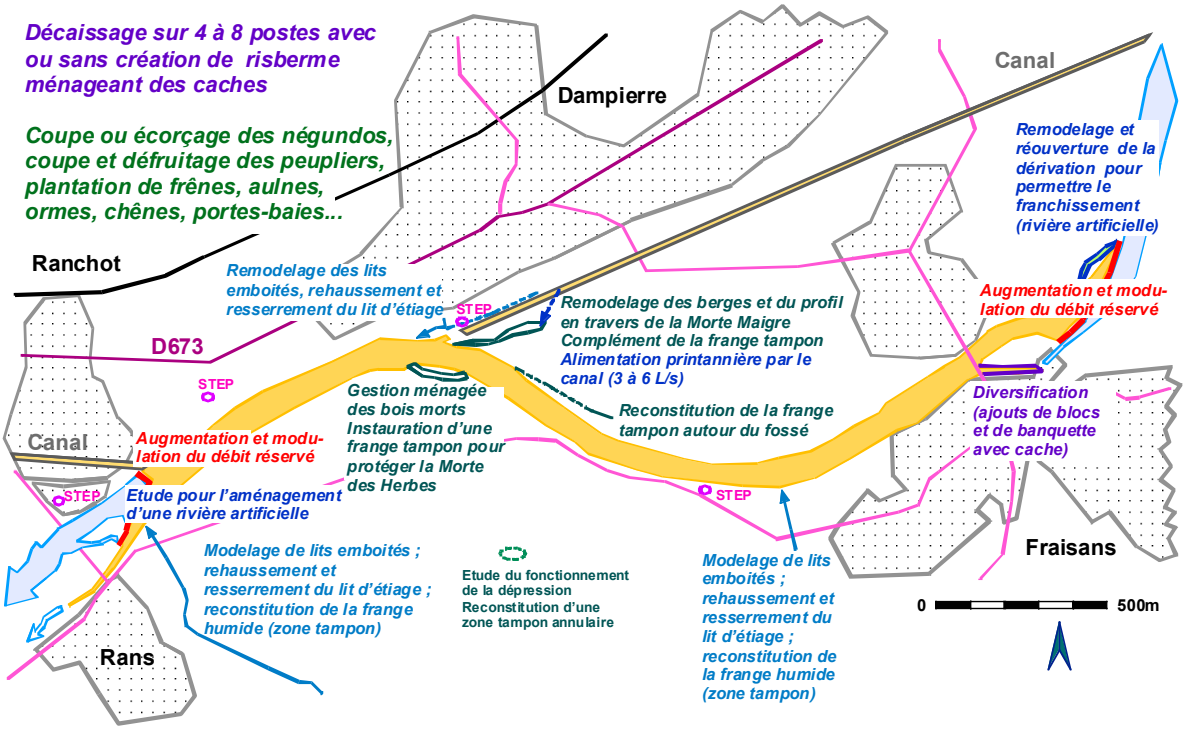


Figure 45. Stratégie de restauration proposée pour le tronçon A (entre Fraisans et Rans)

Priorité 1. Augmenter la connectivité longitudinale entravée par le barrage de Fraisans et sa dérivation. Dans cette optique :

* Augmenter le débit réservé de 10 à 15 m^3/s (valeur du Q_{MNA5}).
* Transformer le bras de dérivation abandonné (rive droite), en rivière artificielle ; cet aménagement n'est pas contradictoire mais complémentaire avec l'implantation de la passe à poisson prévue en rive gauche car le barrage mesure plus de 500 m de long ; en revanche, il nécessitera l'abandon ou une sérieuse modification du projet d'équipement d'une deuxième usine en rive droite.

Priorité 1. Restaurer les capacités biogènes des trois affluents, Sersaine, Bief de Dampierre et Ru Capucine, suivant la stratégie des lits emboîtés. Une étude opérationnelle par cours d'eau est nécessaire pour dimensionner les aménagements en tenant compte de la topographique, des contraintes hydrauliques et d'un niveau optimal de gain biologique.

Priorité 2. Augmenter les capacités biogènes et optimiser la connectivité des deux mortes identifiées. Dans cette optique :

* Remodeler les berges et le profil en travers de la Morte Maigre.
* Assurer, à l'aide d'une conduite enterrée, une alimentation minimale de 3 à 6 L/s à partir du canal, au moins en période printanière sèche.
* Supprimer une partie des bois morts oblitérant complètement la Morte des Herbes pour laisser environ 50 % de la surface en eau libre.
* Compléter la ripisylve entourant les deux mortes pour reconstituer des zones tampon annulaire intégrales de trente mètres de large ou plus.

Priorité 2. Améliorer au moins ponctuellement la connectivité et la fonctionnalité des franges humides. Dans cette optique :

* Décaisser les berges sur 4 à 8 postes répartis le long du tronçon court-circuité et d'une partie du tronçon navigable
* Ménager des risbermes avec caches sur une partie de ces postes, et planter aulnes érables ormes chêne pédonculé et portes baies sur les talus chanfreinés
* Couper ou écorcer systématiquement tous les érables negundo, arracher les bosquets de renouée du japon ainsi que de buddleia et replanter des plants d'aulnes sur les placettes ainsi nettoyées pour réduire les risques de reprise.
* Couper systématiquement tous les cultivars de peupliers et les remplacer par des frênes, des aulnes ou des clones d'ormes résistant à la graphiose.

Priorité 3. Diversifier les écoulements et les habitats dans les bras artificiels et dans les zones urbanisées. Dans cette optique, à partir d'une étude tenant compte à la fois des contraintes hydrauliques et des objectifs biologiques :

* Implanter entre 2 et 4 amas de blocs ainsi que 2 risbermes dans le bras artificiel de l'usine de Fraisans (rive gauche).
* Implanter entre 4 et 8 amas de blocs en quinconce entre l'aval du barrage et le pont de Fraisans.
* Implanter entre 6 et 12 amas de blocs ainsi que 2 risbermes dans le bras artificiel de l'usine de Fraisans (rive gauche).

Tronçon B: la Boucle d'Etrépigney

Sur ce secteur, trois actions prioritaires et deux séries d'actions d'accompagnement sont à engager ou à programmer et à négocier (fig. 46).

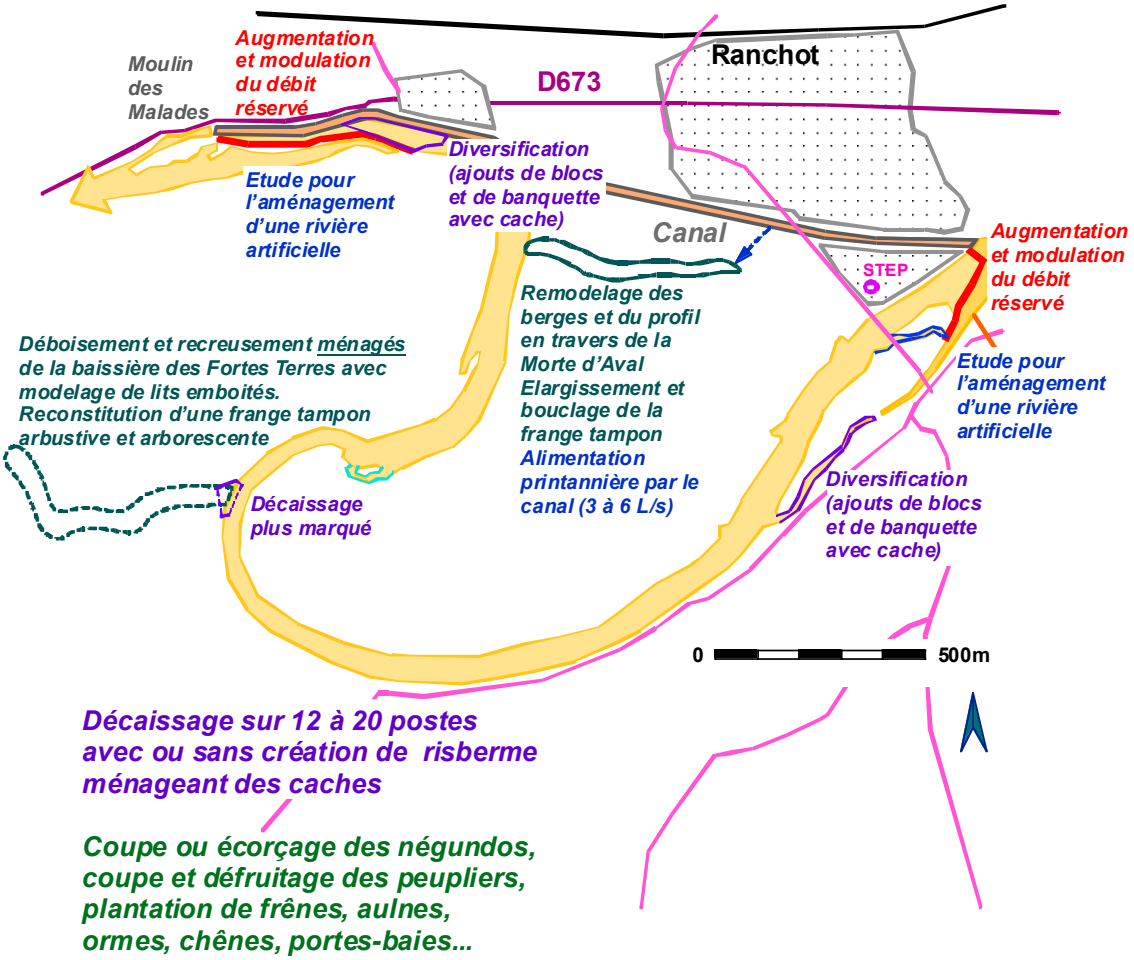


Figure 46. Stratégie de restauration proposée pour le tronçon B (boucle d'Etrépigney)

Priorité 1. Augmenter la connectivité longitudinale entravée par le barrage de Rans et, le cas échéant, de sa dérivation. Dans cette optique :

* Déterminer la valeur optimale du débit réservé en supérieur à 15 m^3/s (débit d'étiage approché à partir du Q_{MNA5}).
* À partir d'une étude intégrant impératifs écologiques et hydrauliques, transformer le bras secondaire ménagé par l'île adossée au barrage en rivière artificielle permettant au brochet de franchir le barrage.

Priorité 1. Restaurer les capacités biogènes et optimiser la connectivité de la Morte d'Aval. Dans cette optique :

* Remodeler les berges et le profil en travers.
* Assurer une alimentation minimale de 3 à 6 L/s à partir du canal, au moins en période printanière sèche (idéalement toute l'année).
* Compléter la ripisylve pour reconstituer une zone tampon annulaire intégrale d'au moins trente mètres de large.

Priorité 1. Reconstituer les capacités biogènes de la baissière de Fortes Terres :

* Étudier le fonctionnement hydraulique et phréatique de ce secteur.
* Déboiser et recreuser la baissière en modelant des lits emboîtés sinueux ; le calage altitudinal des fonds de lit se faisant en fonction des résultats l'étude préconisée ci-dessus.
* Replanter aulnes, frênes, saules ormes et portes-baies sur une frange annulaire complète d'une trentaine de mètres de large au moins.
* Décaisser largement les berges du Doubs au droit de cette baissière selon les modalités détaillées ci-dessous.

Priorité 2. Améliorer la connectivité et la fonctionnalité des franges humides. Dans cette optique, après étude opérationnelle :

* Démanteler toutes les surdigues, ainsi que les enrochements de berge (après étude hydraulique et géomorphologique).
* Décaisser les berges sur une vingtaine de postes au moins répartis majoritairement en rive gauche.
* Ménager des risbermes avec caches sur une partie de ces postes, ou / et utiliser les enrochements pour aménager des amas de blocs.
* Planter aulnes érables ormes chêne pédonculé et portes baies sur les talus chanfreinés
* Supprimer les érables negundo, arracher les bosquets de renouées du japon et de buddleia ; replanter des plants d'aulnes pour réduire les risques de reprise des espèces envahissantes.
* Couper systématiquement les cultivars de peupliers et les remplacer par des frênes, des aulnes ou des ormes résistants à la graphiose.

Priorité 3. Diversifier les écoulements et les habitats dans le bras de dérivation de l'usine de Rans et en amont du barrage du Moulin des Malades. A partir d'une étude tenant compte à la fois des contraintes hydrauliques et des objectifs biologiques :

* Implanter entre 8 et 12 amas de blocs ainsi que 4 risbermes dans le bras artificiel de l'usine de Rans.
* Implanter entre 4 et 6 amas de blocs en quinconce entre le canal en surplomb et le barrage du Moulin des Malades.

Tronçon C : l'amont d'Orchamps

Sur ce secteur, 4 actions prioritaires et 2 séries d'actions d'accompagnement sont à engager ou à programmer et à négocier (fig. 47).

Priorité 1. Augmenter la connectivité longitudinale entravée par le barrage du Moulin des Malades et de sa dérivation. Dans cette optique :

* Si la dérivation est utilisée même sporadiquement ou si l'installation d'une centrale hydroélectrique est envisagée, déterminer la valeur optimale du débit réservé en supérieur à 15 m^3/s (Q_{MNA5}).

* À partir d'une étude intégrant impératifs écologiques et hydrauliques, créer une rivière artificielle. Idéalement, remettre en eau et remodeler la baissière des Grands Clavautiers pour réactiver l'ancien bras secondaire originel, rescindé et comblé lors de la mise au gabarit Freycinet du canal en 1880.

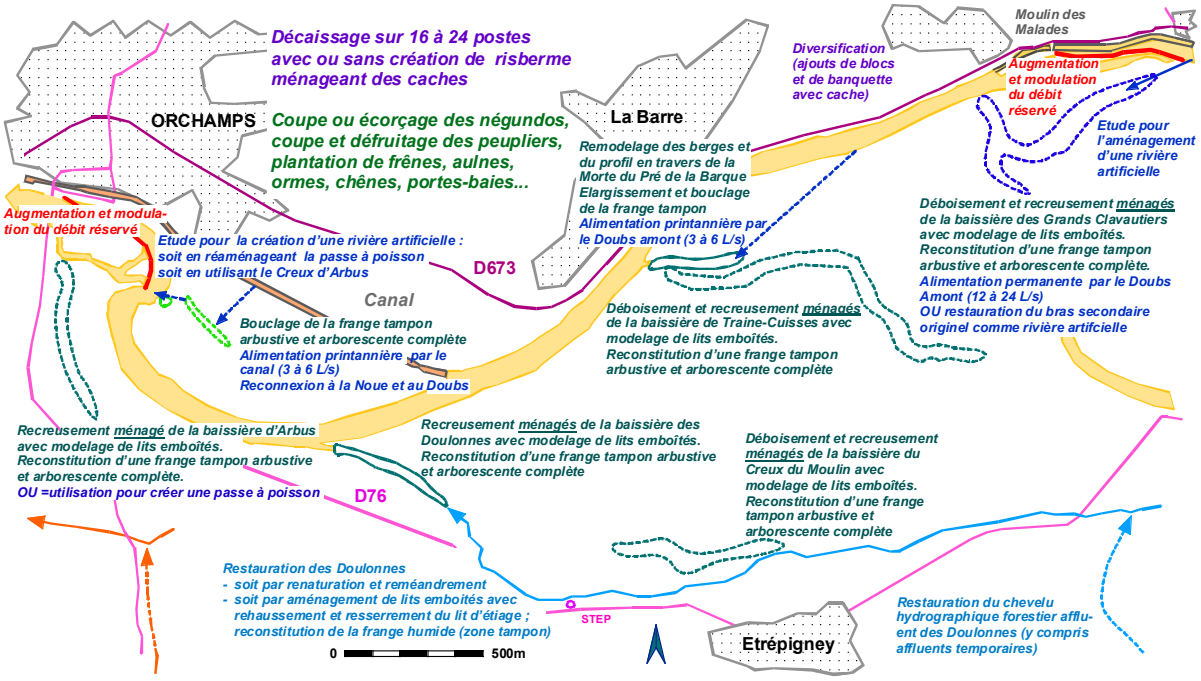


Figure 47. Stratégie de restauration proposée pour le tronçon C (amont d'Orchamps)

Priorité 1. Restaurer les capacités biogènes des Doulonnes. Dans cette optique, une étude opérationnelle préalable est nécessaire pour :

*Déterminer la stratégie optimale de restauration en comparant avantages et inconvénients de la renaturation par reméandrement (option haute) et du compromis par modelage de lits emboîtés.

* Dimensionner les aménagements en tenant compte de la topographique, des contraintes hydrauliques et d'un niveau optimal de gain biologique.

Priorité 1. Restaurer les chevelus hydrographiques forestiers alimentant les Doulonnes en forêt de Chaux (cf. étude effectuée par Université Franche-Comté dans le cas des affluents temporaires de la Clauge).

Priorité 1. Restaurer les capacités biogènes et optimiser la connectivité des mortes du Pré de la Barque et des Doulonnes. Dans cette optique :

* Remodeler les berges et le profil en travers.
* Dans le cas de la Morte du Pré de la Barque, assurer, à l'aide d'une conduite enterrée, une alimentation minimale de 3 à 6 L/s à partir du Doubs, au moins en période printanière sèche.
* Compléter la ripisylve pour reconstituer une zone tampon annulaire intégrale de trente mètres de large au moins.

Priorité 1. Reconstituer les capacités biogènes des baissières : des Grands Clavautiers et du Creux d'Arbus (si celles-ci ne sont pas choisies pour constituer des rivières artificielles améliorant la franchissabilité des barrages) ainsi que de Traine-Cuisses et du Creux du Moulin. Dans cette optique suivre la démarche suivante :

* Étudier le fonctionnement hydraulique et phréatique de ces secteurs ainsi que les possibilités de modification de l'occupation des sols.
* Déboiser et recreuser les baissières en modelant des lits emboîtés sinueux ; le calage altitudinal des fonds de lit se faisant en fonction des résultats de l'étude préconisée ci-dessus.
* Replanter aulnes, frênes, saules ormes et portes-baies sur une frange annulaire complète d'au moins une trentaine de mètres de large.
* Lorsque l'extrémité aval de ces baissières est contiguë au lit du Doubs, décaisser largement les berges du chenal à la confluence selon les modalités détaillées ci-dessous.
* Dans le cas de la Grands Clavautiers, si le bras secondaire originel n'est pas restauré, assurer, à l'aide d'une conduite enterrée, une alimentation minimale de 6 à 12 L/s à partir du Doubs amont.

Priorité 2. Améliorer la connectivité et la fonctionnalité des franges humides. Dans cette optique, après étude opérationnelle :

* Démanteler toutes les surdigues, ainsi que, quand c'est possible, les enrochements de berge (après étude hydraulique et géomorphologique).
* Décaisser les berges sur une vingtaine de postes au moins répartis majoritairement en rive gauche.
* Ménager des risbermes avec caches sur une partie de ces postes, ou / et utiliser les enrochements pour aménager des amas de blocs.
* Planter aulnes érables ormes chêne pédonculé et portes baies sur les talus chanfreinés.
* Supprimer les érables negundo, arracher les bosquets de renouée du japon ainsi que de buddleia et replanter des plants d'aulnes sur les placettes ainsi nettoyées pour réduire les risques de reprise de ces végétaux envahissants.
* Couper systématiquement tous les cultivars de peupliers et les remplacer par des frênes, des aulnes ou des ormes (dans ce dernier cas en utilisant des clones résistant à la graphiose).

Priorité 2. Soutenir et renforcer les capacités biogènes du complexe du Pré du Fol (noue et baissière). Dans cette optique :

* Assurer, à l'aide d'une conduite en prise sur le canal, une alimentation minimale de 3 à 6 L/s, au moins en période printanière sèche.
* Caler une connexion temporaire entre la baissière, la noue et le Doubs
* Compléter la ripisylve pour reconstituer une zone tampon annulaire intégrale de trente mètres de large au moins.

Tronçon D : l'aval d'Orchamps jusqu'à Audelange

Sur ce secteur, 4 actions prioritaires et 2 séries d'actions d'accompagnement sont à engager ou à programmer et à négocier (fig. 48).

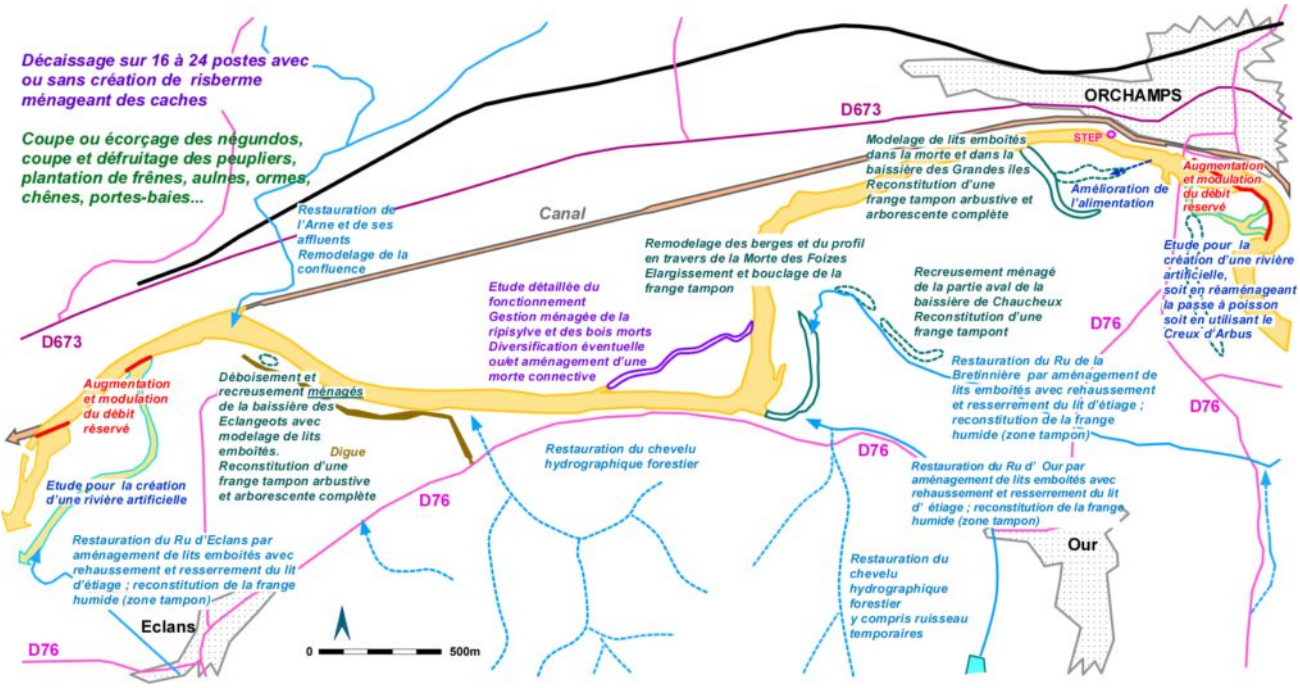


Figure 48. Stratégie de restauration proposée pour le tronçon D (aval d'Orchamps)

Priorité 1. Rétablir la connectivité longitudinale entravée par le barrage d'Orchamps et de sa dérivation. Dans cette optique :

* Déterminer la valeur optimale du débit réservé en prenant comme base minimale la valeur de 15 m^3/s (étiage approché par le Q_{MNA5}).
* À partir d'une étude intégrant impératifs écologiques et hydrauliques, créer une rivière artificielle permettant aux brochets, aux lottes et aux barbeaux, qui sont des espèces migratrices indicatrices, de franchir le barrage soit en réaménageant et en agrandissant la passe à poisson, soit en utilisant le Creux d'Arbus.

Priorité 1. Restaurer les capacités biogènes, suivant la stratégie des lits emboîtés, des ruisseaux d'Our, de l'Arne et de la Brétenière. Pour chacun de ces cours d'eau, une étude opérationnelle sera nécessaire pour dimensionner les aménagements en tenant compte de la topographique, des contraintes hydrauliques et d'un niveau optimal de gain biologique.

Priorité 1. Restaurer les chevelus hydrographiques forestiers alimentant le Doubs et ses affluents (cf. étude effectuée par Université Franche-Comté dans le cas des affluents temporaires de la Clauge).

Priorité 1. Reconstituer les capacités biogènes des baissières. Dans cette optique suivre la démarche suivante :

* Étudier le fonctionnement hydraulique et phréatique de ces secteurs ainsi que les possibilités de modification de l'occupation des sols.
* Recreuser et, le cas échéant, déboiser, de façon ménagée, les baissières en modelant des lits emboîtés sinueux ; le calage altitudinal des fonds de lit se faisant en fonction des résultats de l'étude préconisée ci-dessus.
* Replanter aulnes, frênes, saules ormes et portes-baies sur une frange annulaire complète d'au moins une trentaine de mètres de large.
* Lorsque l'extrémité aval de ces baissières est contiguë au lit du Doubs, décaisser largement les berges du chenal à la confluence selon les modalités détaillées ci-dessous.

Priorité 2. Augmenter les capacités biogènes et optimiser la connectivité des mortes connectives. Dans cette optique :

* Remodeler les berges et le profil en travers des mortes des Grandes Iles et des Foizes ainsi que des baissières qui leur sont associées.
* Assurer, à l'aide d'une conduite enterrée ou d'un chenal recreusé depuis le Doubs amont une alimentation minimale de 4 à 8 L/s du complexe des Grandes Iles, au moins en période printanière sèche.
* Compléter la ripisylve entourant les mortes et les baissières afin de reconstituer des zones tampons annulaires intégrales de trente mètres de large ou plus.

Priorité 2. Améliorer la connectivité et la fonctionnalité des franges humides. Dans cette optique, après étude opérationnelle :

* Démanteler toutes les surdigues, ainsi que, quand c'est possible, les enrochements de berge (après étude hydraulique et géomorphologique).
* Décaisser les berges sur une vingtaine de postes au moins répartis majoritairement en rive gauche.
* Ménager des risbermes avec caches sur une partie de ces postes, ou / et utiliser les enrochements pour aménager des amas de blocs.
* Planter aulnes, érables, ormes, chênes pédonculés et portes-baies sur les talus chanfreinés
* Supprimer les érables negundo, arracher les bosquets de renouées du japon ainsi que de buddleia et replanter des plants d'aulnes sur les placettes ainsi nettoyées pour réduire les risques de reprise de ces végétaux envahissants.
* Couper systématiquement tous les cultivars de peupliers et les remplacer par des frênes, des aulnes ou des ormes (dans ce dernier cas en utilisant des clones résistant à la graphiose).

Tronçon E : d'Audelange à Rochefort sur Nénon

Sur ce secteur, 3 séries d'actions prioritaires et 2 séries d'actions d'accompagnement sont à engager ou à programmer et à négocier (fig. 49).

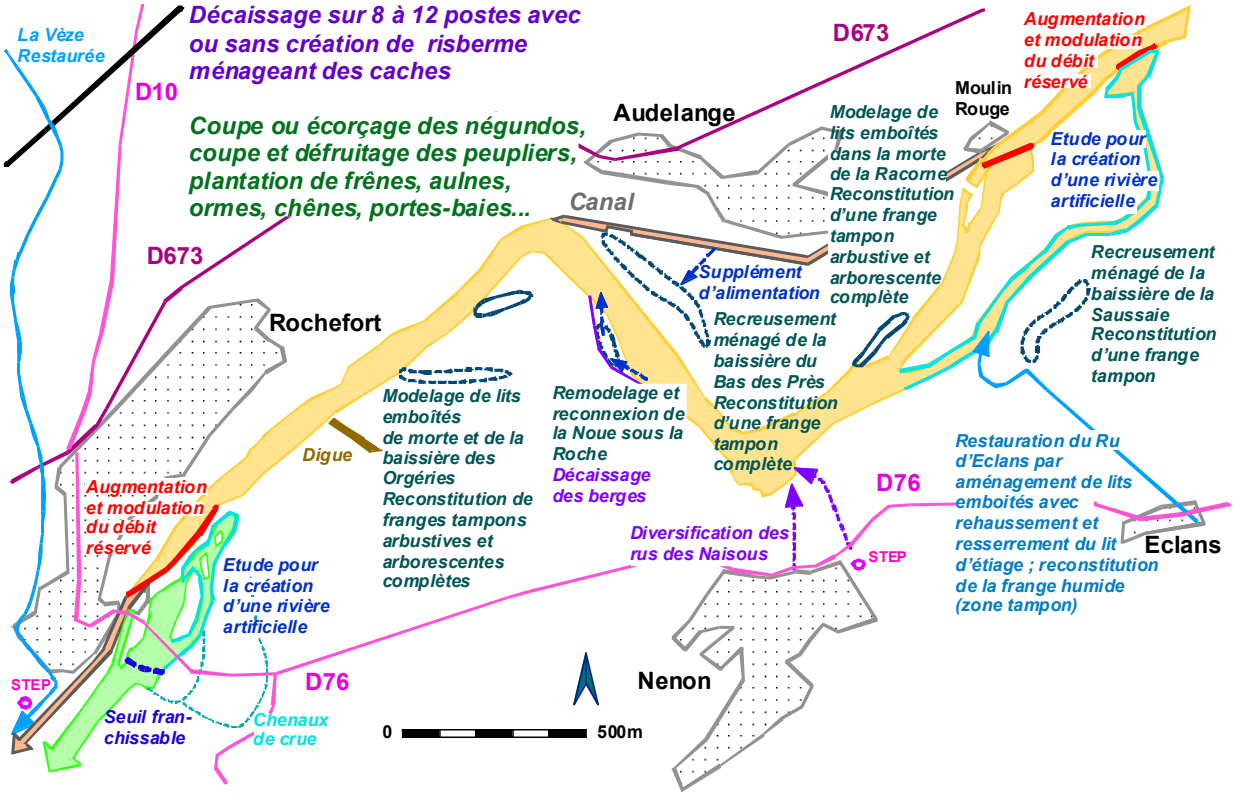


Figure 49. Stratégie de restauration proposée pour le tronçon D (aval d'Orchamps)

Priorité 1. Augmenter la connectivité longitudinale entravée par le barrage d'Audelange et de sa dérivation (Moulin Rouge). Dans cette optique :

* Déterminer la valeur optimale du débit réservé en prenant comme base minimale la valeur de 15 m^3/s (étiage approché par le Q_{MNA5}).
* À partir d'une étude intégrant impératifs écologiques et hydrauliques, créer une rivière artificielle permettant aux brochets, aux lottes et aux barbeaux, qui sont des espèces migratrices indicatrices, de franchir le barrage. Le bras secondaire existant en rive gauche pourrait être reconnecté au Doubs amont en créant une série de bassins rustiques calés de façon à ménager un chenal praticable par toutes les espèces électives du Doubs sur ce secteur.

Priorité 1. Restaurer les capacités biogènes du ru d'Eclans, suivant la stratégie des lits emboîtés. Dans cette optique, et compte tenu des pressions agricoles sur le lit majeur de ce cours d'eau, une étude opérationnelle sera nécessaire pour dimensionner les aménagements. Elle devra tenir compte de la topographie, des contraintes hydrauliques, de l'occupation des sols et des différents usages de l'espace fluvial, mais aussi de l'état des potentiels biologiques et de leur nécessaire restauration.

Priorité 1. Reconstituer les capacités biogènes et optimiser la connectivité des baissières, mortes et noue. Dans cette optique suivre la démarche suivante :

* Étudier le fonctionnement hydraulique et phréatique de ces secteurs ainsi que les possibilités de modification de l'occupation des sols.
* Remodeler les berges et le profil en travers des mortes de la Racorne et des Orgeries ainsi que de la Noue sous la Roche, en calant l'altitude des lits remodelés en fonction des résultats de l'étude préconisée ci-dessus.
* Reconnecter l'amont et l'aval de la noue sous la Roche pour qu'elle soit connective en étiage par l'aval et pleinement alimentée par l'amont en crue. Décaisser les berges du Doubs en vis-à-vis de cette noue suivant les modalités rappelées ci-dessous.
* Recreuser et, le cas échéant, déboiser, de façon ménagée, les baissières de la Saussaie des Prés du Bas et des Orgeries et en modelant des lits emboîtés sinueux ; le calage altitudinal des fonds de lit se faisant en fonction des résultats de l'étude hydraulique et topographique préalable.
* Assurer, à l'aide d'une conduite enterrée ou d'un chenal recreusé depuis le canal une alimentation minimale de 4 à 8 L/s de la baissière des Prés du Bas, au moins en période printanière sèche. Améliorer la connexion de cette baissière avec le Doubs.
* Compléter la ripisylve entourant les baissières, mortes et noues afin de reconstituer des zones tampons annulaires intégrales de trente mètres de large ou plus.

Priorité 2. Améliorer les capacités auto-épuratoires des 2 rus des Naisoux en diversifiant les fonds et les écoulements après étude opérationnelle.

Priorité 2. Améliorer la connectivité et la fonctionnalité des franges humides. Dans cette optique, après étude opérationnelle :

* Démanteler toutes les surdigues, ainsi que, quand c'est possible, les enrochements de berge (après étude hydraulique et géomorphologique).
* Décaisser les berges sur une vingtaine de postes au moins répartis majoritairement en rive gauche.
* Ménager des risbermes avec caches sur une partie de ces postes, ou / et utiliser les enrochements pour aménager des amas de blocs.
* Planter aulnes, érables, ormes, chênes pédonculés et portes-baies sur les talus chanfreinés
* Supprimer les érables negundo, arracher les bosquets de renouées du japon ainsi que de buddleia et replanter des plants d'aulnes sur les placettes ainsi nettoyées pour réduire les risques de reprise de ces végétaux envahissant.
* Couper systématiquement tous les cultivars de peupliers et les remplacer par des frênes, des aulnes ou des ormes (dans ce dernier cas en utilisant des clones résistant à la graphiose).

Tronçon F : de Rochefort à l'amont de Dole

Sur ce secteur, 6 actions prioritaires et 4 séries d'actions d'accompagnement sont à engager ou à programmer et à négocier (fig. 50).

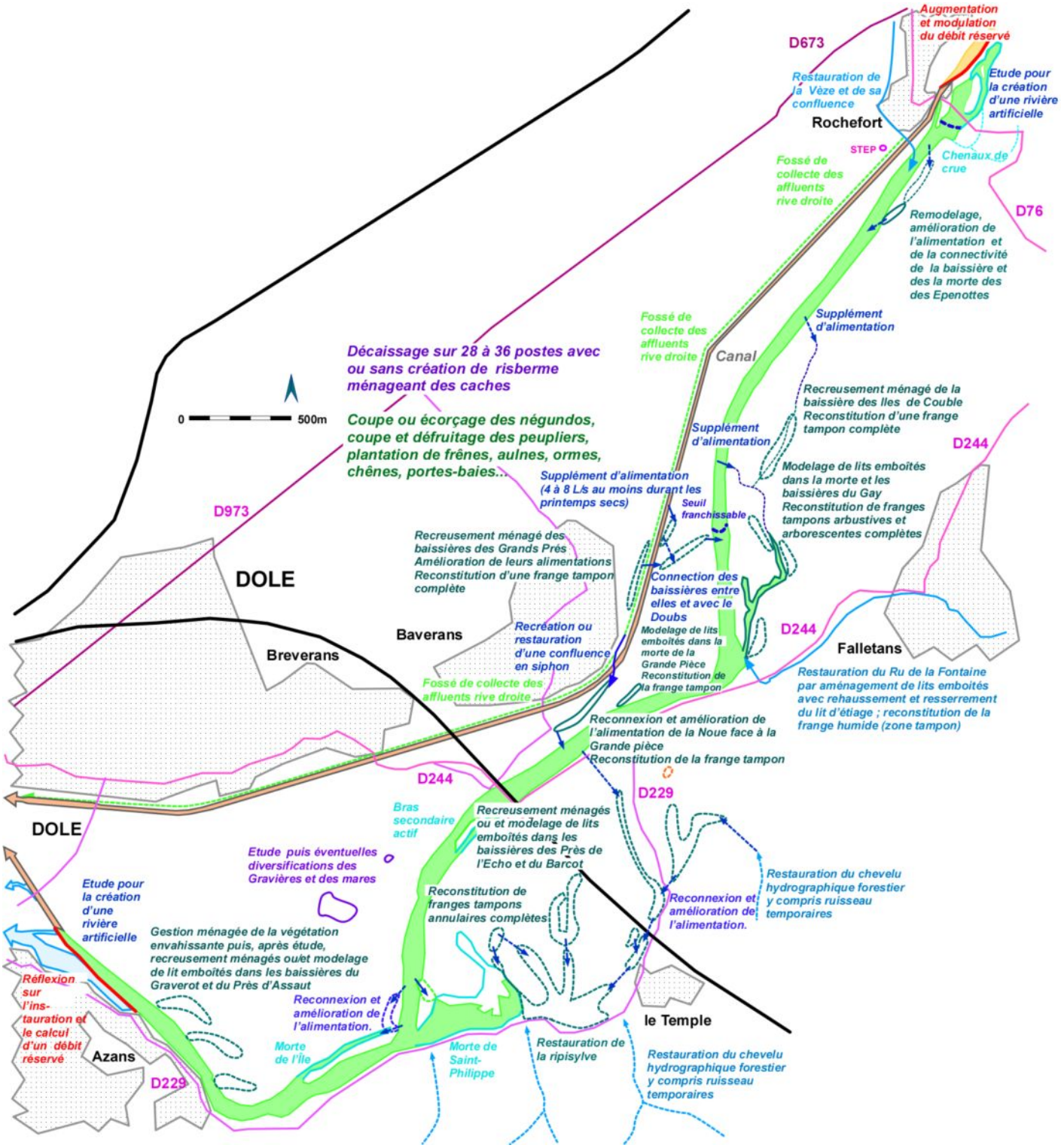


Figure 50. Stratégie de restauration proposée pour le tronçon D (aval Rochefort)

<u>Priorité 1</u>. Rétablir la connectivité longitudinale entravée par le barrage de Rochefort. Dans cette optique :

* Déterminer la valeur optimale du débit réservé en prenant comme base minimale la valeur de 15 m^3/s (étiage approché par le Q_{MNA5}).
* À partir d'une étude intégrant impératifs écologiques et hydrauliques, créer une rivière artificielle permettant aux espèces migratrices indicatrices que sont brochet, lotte et barbeau, de franchir le barrage.

  Cet obstacle pourrait être rendu franchissable en reconnectant le bras secondaire qui le flanque au Doubs amont en rive gauche.

  Dans les deux cas, une succession de bassins rustiques devront être judicieusement calés pour constituer un chenal utilisable par toutes les espèces électives du Doubs. Il faudra aussi aménager le chenal amont pour qu'il soit hospitalier, y compris durant les crues. Enfin, il faudra prévoir des aménagements pour éviter le colmatage des bassins par des graviers ou par des bois morts.

Priorité 1. Restaurer les capacités biogènes du ru de la Fontaine suivant la stratégie des lits emboîtés. Dans cette optique, et compte tenu des pressions agricoles sur le lit majeur de ce cours d'eau, une étude opérationnelle sera nécessaire pour dimensionner les aménagements en tenant compte de la topographique, des contraintes hydrauliques et d'usage des sols ainsi que d'un niveau optimal de gain biologique.

Priorité 1. Reconnecter les affluents de la rive droite avec le chenal, au moins en restaurant ou aménageant deux ouvrages de franchissement du canal en siphon : en aval immédiat Rochefort pour la Vèze et au droit de Baverans pour les affluents temporaires. Restaurer les capacités biogènes en amont de ces cours d'eau et en particulier de la Vèze.

Priorité 1. Restaurer les chevelus hydrographiques forestiers alimentant les Doulonnes en forêt de Chaux (cf. étude effectuée par Université Franche-Comté dans le cas des affluents temporaires de la Clauge, LUCOT *et al.* 2008a et 2008b, PEREIRA *et al.* 2010).

Priorité 1. Reconstituer les capacités biogènes et optimiser la connectivité des baissières, mortes et noues en cours d'atterrissement ou d'envasement. Dans cette optique suivre la démarche suivante :

* Étudier le fonctionnement hydraulique et phréatique de ces secteurs ainsi que les possibilités de modification de l'occupation des sols.
* Recreuser et, le cas échéant, déboiser, de façon ménagée, les baissières en cours d'atterrissement, le calage altitudinal des fonds de lit se faisant en fonction des résultats de l'étude hydraulique et topographique préalable.
* Assurer, à l'aide d'une conduite enterrée ou d'un chenal recreusé depuis le canal, depuis le Doubs ou depuis les chevelus hydrographique forestiers restaurés, une alimentation minimale de 4 à 12 L/s pour chaque baissière ou groupe d'annexes, au moins en période printanière sèche. Améliorer la connexion des baissières entre elle et in fine avec le Doubs.

* Remodeler les berges et le profil en travers des mortes qui montrent des signes d'envasement ou de colmatage, en calant l'altitude des lits remodelés en fonction des résultats de l'étude préconisée ci-dessus.
* Reconnecter l'amont et l'aval des noues et bras morts pour qu'ils soient connectifs en étiage par l'aval, et alimentés en crue par l'amont.
* Compléter la ripisylve entourant les baissières, mortes et noues afin de reconstituer des zones tampons annulaires intégrales de trente mètres de large ou plus.

Priorité 2. Améliorer la connectivité et la fonctionnalité des franges humides. Dans cette optique, après étude opérationnelle :

* Démanteler toutes les surdigues, ainsi que, quand c'est possible, les enrochements de berge (après étude hydraulique et géomorphologique).
* Décaisser les berges sur une vingtaine de postes au moins répartis majoritairement en rive gauche.
* Ménager des risbermes avec caches sur une partie de ces postes, ou / et utiliser les enrochements pour aménager des amas de blocs.
* Planter aulnes, érables, ormes, chênes pédonculés et portes-baies sur les talus chanfreinés
* Supprimer les érables negundo, arracher les bosquets de renouées du japon ainsi que de buddleia et replanter des plants d'aulnes sur les placettes ainsi nettoyées pour réduire les risques de reprise de ces végétaux envahissant.
* Couper systématiquement tous les cultivars de peupliers et les remplacer par des frênes, des aulnes ou des ormes (dans ce dernier cas en utilisant des clones résistant à la graphiose).

Amélioration de la gestion halieutique

Plusieurs incidents et entretiens nous ont démontré que les relations entre pêcheurs professionnels et amateurs sont conflictuelles. Les pêcheurs à la ligne indiquent une baisse des ressources halieutiques disponibles depuis l'ouverture de la pêche professionnelle, et réclament une amélioration globale de la gestion. Les pêcheurs professionnels se plaignent d'agressions verbales et craignent pour leur matériel.

Pour concilier au mieux les différentes pratiques, il convient avant tout d'accroître les ressources halieutiques. Cependant, l'abondance des stocks piscicoles qui les déterminent est limitée par l'état du milieu qui doit donc être amélioré en priorité. En attendant la restauration indispensable de la rivière et des zones humides associées, des mesures d'amélioration de la gestion de la pêche peuvent être proposées pour faciliter le partage des ressources.

Amélioration des suivis de capture

L'élaboration d'un système rationnel de partage des ressources halieutiques requiert d'abord une meilleure connaissance des pratiques ainsi que de l'évolution des récoltes et des rendements associés aux différents types de pêche. Or, les statistiques de pêche sont pour l'instant lacunaires et imprécises en ce qui concerne la pêche amateur, tandis qu'elles sont inexistantes ou inaccessibles en ce qui concerne la pêche professionnelle. Par conséquent, il est urgent d'instaurer un système d'information sur les captures et sur les efforts de pêche qui soient à la fois plus précis, plus fiable et facilement accessible à tous les gestionnaires.

Pour atteindre ces objectifs, il conviendrait, d'une part, de demander à un échantillon de 10 à 20 pêcheurs par APPMA de remplir un carnet annuel plus détaillé comprenant une description précise de l'effort de pêche (tab 21).Idéalement, ce formulaire de déclaration « renforcé » devrait être confié à une dizaine de volontaires appartenant à l'APPMA FRD et à une vingtaine à celle de la Gaule du Bas Jura.

Date	*Lot*	*Heure*		*Espèce*	*Taille*	*Remis*	*Bredouille*	*Observation*
00/00/00	*n°*	*début*	*fin*		*cm*			
01/06/12	18	8:00	12:00	**BROCHET**	55	**X**		
				SANDRE	25	**X**		
	12	14:00	20:00	**BROCHET**	90			
15/06/12	12	6:30	10:30				**X**	Beaucoup d'algues !
….								

Tableau 21. Modèle de carnet de déclaration de capture « renforcée » permettant de préciser les efforts de pêche

L'exploitation annuelle de ces carnets permettrait de mieux percevoir l'évolution des ressources disponibles pour la pêche à la ligne. Elle fournirait aussi des orientations pour l'interprétation des statistiques de récolte cumulée qui sont enregistrées sur l'ensemble des cartes vendues.

D'autre part, le suivi des captures de la pêche professionnelle devrait également être renforcé suivant le même modèle. En effet, pour que ces statistiques soient exploitables en termes de tendances, il est indispensable que la localisation et la valeur de l'effort de pêche soient explicitées pour chaque sortie, en distinguant chaque lot, en signalant ensuite la taille, le poids et l'espèce de chaque capture (ou lots) sans oublier de mentionner aussi les engins « bredouilles ».

Sous réserve de l'accord des pêcheurs professionnels, le dépouillement de leurs carnets de capture pourrait désormais être réalisé par un service départemental ou régional de l'Etat. Cette administration décentralisée pourrait ainsi publier annuellement les informations synthétiques qui en seraient tirées. En effet, la diffusion, publique et régulière, des résultats des suivis de capture contribuerait à rationaliser les échanges et les relations entre amateurs et professionnels.

Augmentation de la taille de capture pour le brochet et le sandre

L'analyse des structures taille / densité des captures effectuées pour le sandre et le brochet au cours de la présente étude montre un fort déficit en adultes pour ces 2 espèces. Les juvéniles de l'année sont aussi très peu abondants, en particulier en ce qui concerne le sandre. Il en résulte une baisse du potentiel de reproduction.

Certes, ces 2 carnassiers, et surtout le sandre, jouissent d'une fertilité importante. Cependant, étant donné la fragmentation et la réduction des collections d'habitats nécessaires à leur développement optimal, il paraît judicieux d'essayer d'augmenter le stock des géniteurs les plus fertiles en allégeant la pression de pêche.

Or, les rivières calcaires potentiellement très nutritives comme le Doubs, sont associées à des croissances rapides. Aussi, la fraie « efficace » des sandres et des brochets y advient généralement pour des poissons qui sont matures depuis plus de deux ans, et donc pour une taille importante.

Dans ce contexte, une mesure de gestion appropriée serait l'augmentation de la taille minimale légale de capture suivant le schéma suivant :

- pour le brochet : de 50 à 65 cm ;
- pour le sandre : de 40 à 50 cm.

Pour être efficace, cette préconisation devra être accompagnée d'un accroissement simultané du diamètre du vide de maille des filets professionnels en les faisant passer de 60 à 70 mm. De cette façon, la taille minimale des captures effectuées par ces engins augmenterait du même ordre que l'agrandissement de taille minimale légale préconisée pour la pêche à la ligne.

Cependant, pour les rivières, la taille minimale légale de capture à la ligne est décidée au niveau national. Pour modifier cette limitation, il faut donc envisager :

- soit une procédure de dérogation, forcément ardue ;
- soit des mesures de communication et d'incitation pour qu'une partie au moins des pêcheurs à la ligne s'astreigne volontairement à cette nouvelle limitation.

Répartition de la pression de pêche professionnelle

Les différents lots du Doubs navigable s'étendent chacun sur des surfaces comprises entre 20 et 30 ha, ce qui est relativement faible pour supporter simultanément 2 types de pressions de pêche, compte tenu de l'altération des potentiels observés par ailleurs. Comme ces milieux sont en outre séparés les uns des autres par des barrages infranchissables, il serait judicieux d'alterner les lots ouverts et non ouverts à la pêche professionnelle.

L'échange du lot 18 ouvert de 2007 à 2011 à la pêche professionnelle, mais qui a été remplacé à partir de 2012 par le lot 16 jusqu'à présent ouvert à la seule pêche amateur va dans ce sens. Pour compléter ce canevas d'alternance, il faudrait trouver un compromis qui permette de demander aux professionnels de bien vouloir abandonner le lot 14 sans que leur activité globale ne soit pénalisée.

Or, un entretien avec un des deux pêcheurs professionnels adjudicataires a révélé que leur activité serait grandement facilitée s'ils disposaient de l'usage d'un plan d'eau de type gravière bénéficiant du statut d'eau close. Une solution pour réduire la pression de pêche globale sur le Doubs, et apaiser les relations avec les pêcheurs à la ligne, serait donc de procurer aux professionnels l'usage d'un tel plan d'eau en échange de l'abandon d'un des 5 lots qui leur sont proposés.

Valorisation de la ressource « silure »

Une autre façon de réduire la pression de pêche exercée sur les perches, les brochets et les sandres serait de l'orienter davantage sur les silures. En effet, cette espèce est très abondante dans le Doubs navigable jurassien.

D'après la bibliographie, elle ne réalise qu'une prédation mineure sur les brochets et les sandres. Sa prédominance indiquerait surtout une dégradation de l'état du milieu, ce qui correspond bien à la situation observée dans le Doubs. Cependant, le silure exerce tout de même une compétition spatiale avec les autres carnassiers.

Or, les pêcheurs professionnels s'en détournent puisqu'ils ne peuvent plus les commercialiser, à cause de la contamination de leur chair par les PCB. Parallèlement, la plupart des pêcheurs à la ligne qui s'y intéressent pratiquent le « no-kill » et n'en font donc pas diminuer le stock.

Pour encourager la récolte de cette espèce, il conviendrait, d'une part, d'encourager les pêcheurs à la ligne à ne pas remettre à l'eau les silures de grande taille. D'autre part, une réflexion devrait être menée à l'échelon national pour vérifier la teneur en PCB des filets de silure une fois débarrassés de leur « glande » à graisse.

En effet, les PCB, liposolubles, sont surtout cantonnés dans les tissus gras. Dans le cas du silure, ces tissus sont bien identifiables et faciles à éliminer. Il y a de fortes probabilités pour que la chair résiduelle soit beaucoup moins contaminée, et peut être consommable. Dans ce cas, l'exploitation du silure par la pêche professionnelle permettrait de soutenir cette activité sans affecter les autres ressources halieutiques disponibles, voire en favorisant le développement des perches brochets et sandres.

Photo 10. Silure capturé en aout 2011 à l'électricité sur la station E

Synthèse, conclusions et perspectives

Synoptique sur l'état des potentiels piscicoles

L'étude de l'ichtyofaune du Doubs entre Dole et Fraisans a permis de décrire l'état des potentiels piscicoles et des ressources halieutiques. Comme les poissons sont particulièrement intégrateurs, ce diagnostic a permis de mettre en évidence plusieurs dysfonctionnements éco-systémique. La connaissance des exigences propres à chaque espèce ou groupe d'espèce a ensuite été utilisée pour orientée la recherche des causes des déséquilibres.

Espèces ou groupe d'espèces	Points forts	Déficits ou déséquilibres	Orientation de la recherche des causes d'altérations
Migrateur amphibiotique (anguille, alose…)-		Disparu	Chenalisation et barrages sur l'axe Rhône Saône Doubs
Espèces apicales ou réputées polluo-sensibles	Quelques loches encore présentes	Régression ou disparition des truites lottes, vandoises, blageons, lamproies…	Dégradation générale de l'eau et de l'habitat aquatique Fortes simplifications des affluents
Cyprinidés rhéophiles de la zone à barbeau	Abondance des goujons	Déficits nets des barbeaux et spirulines sur les tronçons aval Contamination des goujons	Débits réserves insuffisants ou et micro-éclusées à l'aval de certains barrages Source de pollutions anciennes ou actuelles
Cyprinidés limnophiles de la zone à barbeau à la zone à brème	Abondance des brèmes bordelières sur tous les secteurs ainsi que des carpes et des ablettes sur certains secteurs	Déficit net des brèmes communes Déficit des ablettes sur certains secteurs	Entrave à la circulation Fragmentation de la continuité Contamination de certains compartiments écosystémiques ou déficits intermittents des ressources trophiques
Brochet	Présent sur tous les secteurs ; abondant sur le tronçon F	Déficit marqués des adultes ainsi que des juvéniles sur la plupart des secteurs	Réduction de la connectivité. Envasement et banalisation des mortes. Assèchement des baissières Déficits de caches attractives Pression de pêche
Sandre et perche	Présents sur tous les secteurs ; densités moyennes sur le tronçon C et élevée sur le tronçon F	Faible densité des adultes et des juvéniles de sandre Déficit général en adultes de perche	Envasement et banalisation des mortes. Assèchement des baissières Déficits de caches attractives Pression de pêche
Silure	Très abondants	Contamination par les PCB et le mercure	Source de pollutions anciennes ou actuelles Récolte halieutique insuffisante

Tableau 22. Synoptique sur l'état des peuplements du Doubs navigable jurassien et sur l'orientation de la recherche des causes des altérations observées.

Causes d'altération et propositions de restauration

Les hypothèses sur les causes présumées d'altération des potentiels piscicoles ont pu être corroborées et parfois précisées grâce à l'analyse de la qualité physique du Doubs navigable jurassien qui a été effectuée entre août 2011 et août 2012. Il en a été déduit une série de mesures hiérarchisées pour traiter de façon coordonnée les facteurs de perturbation ou de réduction des capacités biogènes (tab. 23).

Altération	Actions	Contraintes
Envasement et assèchement des systèmes latéraux (mortes, noues, baissière)	Remodelage / alimentation des mortes et des baissières	Pression agricole (espace et intrant)
Simplification et incision des affluents, diminution des apports hydriques en étiage	Restauration des affluents par reméandrement ou lits emboîtés	Pression agricole (espace et intrant) / Hydraulique
Insuffisance des débits réservés, mise à sec des parements de barrage, réduction des radiers	Augmentation des débits réservés. Proscription des mini-éclusées. Renforcement des règlements d'eau	Droits et règlements d'eau ; rentabilité
Fragmentation de la continuité longitudinale	Aménagements de 6 rivières artificielles / gestion des sédiments	Difficulté technique / coût / débits
Banalisation et assèchement des franges humides	Chanfreinage des berges abruptes, démantèlement des enrochements, éradication des espèces exotiques, replantation	Espace / difficulté technique / durée / coût
Contamination chimiques (sédiments / eau / poisson)	Recherche des sources de contamination. Modifications des pratiques culturales pour diminuer l'érosion des sols ainsi que les flux de nutriments et de pesticides. Amélioration de l'assainissement urbain	Socio-économie de l'agriculture, héritage industriel (terril, décharge) pressions rurbaines
Diversifications et augmentation de l'attractivité des mosaïques d'habitats	Risbermes avec caches, amas de blocs, épis …	Hydraulique / coût
Déséquilibre des peuplements de poissons / déficit des carnassiers sauf silures proliférants	Amélioration du suivi des captures ; augmentation des tailles de capture pour le sandre et le brochet, harmonisation des pressions de pêche ; valorisation du silure Suivi scientifique régulier	Importance majeure de l'état du milieu Entente entre pêcheurs

Tableau 23. Synoptique du système d'actions coordonnées proposées pour améliorer les capacités biogènes et en particulier les potentiels piscicoles du Doubs jurassien

Pré-chiffrage des actions de restauration

La présente étude a permis d'orienter et de hiérarchiser les actions à entreprendre pour reconstituer les potentiels piscicoles du Doubs entre Fraisans et Dole. Cependant, le dimensionnement et la conception précise de ces opérations restauratoires nécessiteront des études opérationnelles (tab. 24).

Actions	Etude opérationnelle	*Unité*	Coût étude		Coût trvx	
			1	6	1	6
Remodelage / alimentation des mortes et des baissières	Topographie, hydrobiologie, phytosociologie, modélisation hydroécologique et hydraulique	*morte baissière*	16	120	164	960
Restauration des affluents par reméandrement ou lits emboîtés	Topographie, hydrobiologie, phytosociologie, modélisation hydroécologique et hydraulique	*affluent*	36	240	188	1 280
Augmentation des débits réservés.	Etude socio économique, écologique et réglementaire	*barrage*		40	-	-
Proscription des mini-éclusées.					-	-
Renforcement et harmonisation des règlements d'eau					-	-
Aménagements de 6 rivières artificielles / gestion sédiments	Topographie, puis modélisation hydroécologique et hydraulique	*barrage*	24	132	120	640
Chanfreinage des berges abruptes, démantèlement des enrochements, éradication des espèces exotiques, replantation	Topographie Phytosociologie Génie biologique et paysager	*tronçon*	11,6	92	80	384
Recherche puis suppression des sources de contamination.	Inventaires des activités et installations à risques Analyse des sédiments de 8 sites	*vallée*	-	56	?	?
Modifications des pratiques culturales Diminution de l'érosion des sols ainsi que des flux de nutriments et de pesticides.	Etude pédologique et agronomique. Action de communication. Montage de financement d'aide agro-environnementale	*tronçon*	48	240	-	-
Diagnostic puis amélioration de l'assainissement urbain	Etude du fonctionnement et de l'impact réel des STEP et autre procédés d'épuration	*STEP*	44	760	?	?
Risbermes avec caches, amas de blocs, épis …	Topographie, puis modélisation hydroécologique et hydraulique	*tronçon*	16	120	72	400
Amélioration du suivi de capture. Augmentation des tailles légales (sandre et brochet). Harmonisation des pressions. Valorisation du silure	Etude initiale réalisée (présente analyse). Démarche nationale à mener	-		-		
Suivi scientifique piscicole	suivi sur 6 lots = 6 TCC en 2 saisons par PE + PF + analyse 6 lots de goujons et 6 silures	-		48		

Tableau 24. Synoptique et pré-chiffrage, <u>en kilo euros</u>, des opérations restauratoires et des études opérationnelles préalables préconisées pour reconstituer les capacités biogènes optimales du Doubs navigable jurassien. Les estimations sont réalisées par tronçon (1, moyenne) et pour l'ensemble du linéaire considéré (6, compte tenu des économies d'échelle)

Bibliographie citée et utilisée

ARALEPBP. 1997. Liaison navigable Rhin–Rhône. Actualisation des études d'environnement. Etude de la faune piscicole. Rapport édité par la C.N.R., Lyon, 32 pp. + annexes.

BARAS E., 1992. *Contribution à l'étude des stratégies d'occupation du temps et de l'espace chez un poisson téléostéen dulcicole, le barbeau fluviatile, Barbus barbus (L.). Etude par radiopistage, pêche à l'électricité et observation directe*. Thèse de Doctorat, Univ. Liège.

BARAS E., 1993. A study of time and space utilisation strategies in the common barbel Ba*rbus barbus* (L.). *Cahiers d'éthologie*, 12 (2-3), 125-442.

BARAS E., 1997. Environmental determinants of residence area selection by Barbus barbus in the river Ourthe. Aquat. Living Resour., 10, 195-206.

BRAVARD J.P. et GILVEAR D.J., 1993. Structures hydro-géomorphologiques des hydrosystèmes in hydrosystèmes fluviaux. p 83-103.

BRAVARD J.P. et PETTS G.E., 1993. *Interférences avec les interventions humaines in « Hydrosystèmes fluviaux ». p 233-253.*

CETEGREF, 1982. Etude du peuplement ichtyologique du Doubs infe´rieur. D.Q.E.P.P. Cemagref Paris et Laboratoire d'Hydroécologie de l'Université de Franche-Comté, Besançon, 21 pp.

COMPAGNAT P., BARAN P., 2006. La reproduction du brochet. Bilan des suivis en Bourgogne et Franche-Comté. Conseil Supérieur de la Pê che, délégation régionale de Dijon. FDAPPMA 21, 25, 70 et 71. 62p + annexes.

COMPAGNAT P., DEGIORGI F. et coll., 1995. La reproduction du brochet en Val de Saône côte d'orien. Bilan du potentiel, analyse des mécanismes fonctionnels. Rapport pour le Syndicat Mixte Saône-Doubs et l'Université de Bourgogne. 25 p + 2 annexes

CSP DR5 (DEGIORGI F. et RAYMOND J. C), 1993. *Détermination de la qualité physique des systèmes d'eau courante : expérimentation sur le Doubs apical et ses affluents*. Agence de l'eau RMC éd., 42 p.

CSP DR5 (DEGIORGI F., MORILLAS N., PORTERET V., OLIVIER G., AVERLY M.) 1998. Méthode d'estimation des densités de juvéniles de brochetons, tanches et lottes sur les frayères de type « zones annexes » Note technique. 3p.

CSP RHP DR5, 1994. Réseau national de bassin - mise en place du suivi piscicole : 1ère phase, propositions méthodologiques. l' Agence de l'eau RMC éd. ,44 p.+ ann.

CSP RHP DR5, 1995. Réseau national de bassin - mise en place du suivi piscicole : 2ème phase, test et validation de la méthode. Agence de l'eau RMC éd. 76 p.+ ann.

DEGIORGI F., RAYMOND J. C., 2000. *Guide technique : utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des systèmes d'eau courante.* Agence de l'eau RMC éd. 196 p.+ ann.

EIFAC Symposium sur les Méthodes de prospection, de surveillance et d'évaluation des ressources ichtyologiques dans les lacs et grands cours d'eau. Aviemore, Ecosse (R.-U.), 2–4 mai 1974 Doc. Tech. CECPI, (23):34 p. http://www.fao.org/docrep/003/F4417F/F4417F00.HTM.

FISCHER R.-A., FISCHENICH J.-C., 2000. Design Recommendations for Riparian Corridors and Vegetated Buffer Strips. http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/sr24.pdf.

FROMENT B. 1997. Etude d'un milieu aquatique temporaire : la frayère à Brochets. Répartition de la macrofaune, relation entre le potentiel nutritif et la production en brochetons. Conseil Supérieur de la Pê che, délégation régionale de Lyon ; Université Claude Bernard Lyon 1. 17p + 9 annexes.

FRUGET J.F., CENTOFANTI M., OLIVIER J.M. 1998. *The fish fauna of the Doubs River prior to completion of the Rhine-Rhône connection*. Environmental Management 22 (1) : 129-144.

FRUGET, J.F., DESSAIX, J., PLENET, S., 1996. Macroinvertebrate communities of the *Doubs* River prior to completion of the Rhine-Rh^one connection. Regulated River Research & Management 12 (6) : 617–631/

GRANDMOTTET JP., 1983. Principales exigences des téléostéens dulcicoles vis-à-vis de l'habitat aquatique. *Annls Univ. Fr. Comté Biol An 4 (4) 3-32*.

GREBE, 1992. Projet de canal à grand gabarit Rhin–Rhône. Etude bibliographique. Physicochimie et hydrobiologie. Rapport édité par la C.N.R Lyon.

ISTE, 1993. *Inventaire du peuplement ichtyologique du cours du Doubs et du canal du Rhône au Rhin entre Voujeaucourt et Crissey*. Rapport du Laboratoire d'Hydrobiologie de l'Institut des Sciences et Techniques de l'Environnement, Université de Fr.-Comté, : 73 pages + annexes.

LUCOT E., DEGIORGI F., AUGE V., PEREIRA V., BADOT PM., DURLET P., 2008a. Les effets du reméandrement de ruisseaux temporaires en forêt de Chaux (Jura, France) sur le fonctionnement hydrique des sols riverains : premiers résultats. *Forêt wallonne 97*, 29-38.

LUCOT E., DEGIORGI F., AUGE V., PEREIRA V., BADOT PM., DURLET P., 2008b. Le reméandrement des ruisseaux forestiers : un outil pour atténuer les excès du drainage en forêt de Chaux. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, 22, 56-60.

MALAVOI J.R., 2002. *Etude du transport solide du Doubs entre Voujeaucourt et Dôle. Phase 1 : diagnostic morphologique du cours d'eau*. Ed. BCEOM pour VNF, 68 p. + annexes.

MALAVOI J.R., 2004. Etude hydraulique et morphologique de la Basse vallée du Doubs - *Syndicat Mixte Saône & Doubs* - SAFEGE - 69 p. + annexes + rapports complémentaires

MARIDET, L. 1995. *Rôle des formations végétales riveraines. Recommandations pour une gestion régionalisée*. Rapport Cemagref, Lyon : 69 p.

MARIDET L., COLLIN-HUET M.P., 1995. *La végétation aux abords des rivières : source de vie et d'équilibre.* Ministère de l'Environnement :16p.

MARIDET L., PIÉGAY H., GILARD O., THÉVENET A., 1996. L'embâcle de bois en rivière : un bienfait écologique ? Un facteur de risques naturels ? *La Houille Blanche*, 5 : 32-38.

ONEMA (COMPAGNAT P. et coll.) 2007. Inventaire des zones à frayères à brochets de la vallée du Doubs dans le département du Jura - *ONEMA - DIREN Franche-Comté -* 2007 - 12 p. + ann.

PEREIRA V., DEGIORGI F., LUCOT E., 2010. Restauration des ruisseaux temporaires et de la réserve en eau des sols de la forêt de Chaux (39), *Zones humides infos*, 67, 15-16 (http://www.snpn.com/spip.php?article1091)

PETTS G.E. & BRAVARD J.P., 1993 - Le réseau hydrographique dans le bassin versant in hydrosystèmes fluviaux. Amoros C et Petts G.E. éd. Collections écologie n°24 - Masson Paris. p 21-41.

PHILIPPART J. C., 1979. Observations concernant l'efficacité de la pêche à l'électricité dans une rivière de la zone à barbeau Bull. Fr. Piscic., 273 : 157-172 .

PINON J., FEUGEY L. (coord,), 1993. *La graphiose de l'orme*, Les dossiers de l'environnement de l'INRA, 7, ISSN 1244-7986, 60 p.

PONT D., TORRE F., POIZAT G., 1992. Etablissement d'une méthode pour un suivi piscicole du Rhône. Rapport U.R.A CNRS 1451, 57 p.

PORTERET V. (rapporteur) et al. 1997-a. La reproduction du Brochet dans le val de Saone. Elaboration d'une démarche conservatoire. Inventaire fonctionnel des frayères et nurseries, diagnostic sur les dysfonctionnements, recommandations pour la restauration.

PORTERET V. et al., 1997-b. La reproduction du Brochet. Investigation 1997. Validation des méthodes sur quelques sites et proposition d'un observatoire du brochet sur la Saô ne et la basse vallée du Doubs. Rapport pour le Syndicat Mixte Saône Doubs. 38p + 5 annexes.

REYLE P., 2009a. Microcentrale hydroélectrique. Impact sur l'environnement. L'hydroélectricité au file de l'eau. Le Doubs de Pont de Roide à Dole. Plaquette éditée pour l'Association des Riverains Industriels du Doubs. Phase 1 : Synthèse bibliographique, 66 pages.

REYLE P., 2009b. Microcentrale hydroélectrique. Impact sur l'environnement. L'hydroélectricité au file de l'eau. Le Doubs de Pont de Roide à Dole. Plaquette éditée pour l'Association des Riverains Industriels du Doubs (ARID). Phase 2 : Monographies, 111 pages.

RICKER W.E., 1980. Calculs et interprétation des statistiques des populations de poissons. Bull. Fish. Res. Board Can. 191F, 409 p.

SACCONE P., GIREL, J., PAGES, J.-P., BRUN, J.-J., MICHALET, R., 2012. Ecological resistance to *Acer negundo* invasion in a European riparian forest: relative importance of environmental and biotic drivers. *Applied Vegetation Science*. doi: 10.1111/j.1654-109X.2012.01227.x

SACCONE P., BRUN J.-J., MICHALET R., 2010. Challenging growth-survival trade-off: a key for *Acer negundo* invasion in European floodplains? *Canadian Journal of Forest Research* 2010, 40:1879-1886.

SDVP 39 1987. Schéma De Vocation Piscicole du Jura. Document de synthèse réalisé en collaboration par le CSP DR 5, la DDAF 39 et la Fédération des AAPP du JURA.

SDVP 39 2001. *Schéma départemental de Vocation Piscicole et Halieutique du Jura - bassin versant de la Saône - état actuel et propositions d'actions*. Edité par la Fédération Départementale des AAPPMA du Jura pour le Ministère de l'Environnement, le CG 39 et l'Agence de l'Eau

TELEOS (DEGIORGI F., MORILLAS N., GRANDMOTTET J. P.), 2000. *Méthode standard d'analyse de la qualité de l'habitat aquatique à l'échelle du tronçon*. Note technique interne. 20 p.

TELEOS 2001. Evolution historique des peuplements ichtyologiques du bassin rhodanien. Analyse bibliographique réalisé pour l'Agence de l'Eau RMC. Base de données et cartes.

TELEOS (DEGIORGI F., MORILLAS N., GRANDMOTTET J. P.), 2002. *Méthode standard d'analyse de la qualité de l'habitat aquatique à l'échelle de la station : l'Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM)*. Note technique interne. 7 p.

VERNEAUX J., 1973. Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Thèse d'Etat. Univ. Fr. Comté, Besancon, 257 p.

VERNEAUX J., 1976a. Biotypologie du système "eau courante". La structure biotypologique. C.R.A.S., 283, 1663-1668.

VERNEAUX J., 1976b. Biotypologie du système "eau courante". Les groupements sociologiques. C. R. Acad. Sc., 283, 1791-1793.

VERNEAUX J., 1976c. Fondements biologiques et écologiques de l'étude de la qualité des eaux continentales. Principales méthodes *in* PESSON P., la pollution des eaux continentales 229-285 *Gauthiers-Villards* éd., Paris.

VERNEAUX J., 1977. Biotypologie du système "eau courante". Déterminisme approché de la structure biotypologique. C. R. Acad. Sc., 284, 77-79

VERNEAUX J., 1981. Le poisson et la qualité des cours d'eau. *Annls Univ. Fr. Comté Biol An 4 (2),* 33-41.

VERNEAUX J., VERGON J.P., LARINIER M., 1975. Aspects écologiques des travaux d'aménagement de cours d'eau. Orientations et principes généraux. *Houille blanche*, 2-3 :127-132.

VUILLEMENOT M. 2005. La Vallée du Doubs de Rochefort-sur-Nenon à Annoire (39) : étude de la végétation aquatique, amphibie et rivulaire, identification des enjeux botaniques et définition de mesures de conservation - *Conservatoire Botanique de Franche-Comté,* 70 p. + annexes

WELSCH D.J., 1991. *Riparian forest buffers - function and design for protection and enhancement of water resources.* USDA Forest Service Northeastern Area State & Private Forestry. NA-PR-07-91. Radnor, PA. 20 p.

Site web sur l'historique de la canalisation du Doubs :
http://projetbabel.org/fluvial/rica_rhone-rhin-canal.htm

Annexes (en fascicules séparés)

Annexe 1. Thermographie sur 8 stations jalonnant le Doubs navigable jurassien (enregistrements horaire entre 2011 et 2012)

Annexe 2. Rendements de capture dans le Doubs à Molay (RHP CSP 1996 à 1999).

Annexe 3. Rendement de pêche détaillés pour les TCC (lots 8, 12, 16,

Annexe 4. Structure taille fréquence des captures

Annexe 5. Cartes IAM des 6 stations

Annexe 6. Description standard de la qualité physique des tronçons

Annexe 7. Cartes de qualité physique des tronçons en format A3.

Annexe 8. Schémas d'aménagement en format A3

Annexe 9. Cartes des propositions d'aménagements en format A3