



## Potentiels piscicoles et qualité physique du Doubs entre Dole et Verdun-sur-le-Doubs



Etude réalisée par TELEOS-Suisse, pour et avec l'appui logistique et technique de :

DEGIORGI François (rapporteur)  
DECOURCIERE Hervé  
PARIS Jonathan  
PERIAT Guy



La Fédération des AAPPMA du Jura  
La Fédération des AAPPMA de Saône et Loire  
L'APPMA la Gaule du Bas-Jura  
L'APPMA Doubs-Guyotte  
L'APPMA la Pochouse Verdunoise



# Potentiels piscicoles et qualité physique du Doubs entre Dole et Verdun-sur-le-Doubs

*Évaluation de la structure quantitative et de l'organisation spatiale de l'ichtyofaune du Doubs entre Dole et Verdun-sur-le-Doubs en 2015, en relation avec ses variations de qualité physique*

## Préambule

L'étude de la qualité physique et des potentialités piscicoles du Doubs à l'aval de Dole dans les départements du Jura et de Saône-et-Loire s'inscrit dans une démarche globale destinée à restaurer les milieux aquatiques de la Basse-Vallée : le Contrat de rivière de la vallée du Doubs et de ses territoires associées, « orchestré » par l'EPTB Saône-et-Doubs.

Cette étude qui fait partie intégrante de ce programme (fiche action n°I21-BVD-15) présente un double objectif :

- d'une part, elle doit permettre d'obtenir un état initial intéressant et relativement exhaustif de la qualité physique et piscicole de la basse vallée du Doubs en préalable à la réalisation des actions programmées sur la durée du Contrat ;
- d'autre part, elle doit confirmer ou non la pertinence de certaines opérations prévues et aboutir à la définition de principe et de stratégie de restauration des milieux aquatiques de la Basse Vallée du Doubs

L'étude ci présente a été réalisée sous la maîtrise d'ouvrage de la Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche et la protection du Milieu Aquatique.

Compte tenu de l'importance des investigations à mener et du caractère interdépartemental de cette étude, pour la parfaite réalisation de ces missions la Fédération de Pêche de Saône-et-Loire a mandaté le bureau d'étude Téléos Suisse (rédacteur de l'étude) ainsi que la Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique.

Sans l'aide financière de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, de la Région Bourgogne, de la Région Franche Comté, du Conseil Départemental du Jura et de la Fédération Nationale Pour la Pêche en France, cette étude n'aurait pu être accomplie.



Gyoataku de hotu du Doubs : « l'âme du poisson »  
Rémy Chassignol : [www.siaux-fishing.fr](http://www.siaux-fishing.fr)

# Sommaire

<b>INTRODUCTION : CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE.....</b>	<b>5</b>
POTENTIEL ECOLOGIQUE DU DOUBS BASAL .....	5
ALTERATIONS DES CAPACITES BIOGENES DU DOUBS BASAL .....	6
OBJECTIFS ET ARTICULATION DE L'ETUDE.....	7
<b>1. CONTENU ET MODALITES DE L'ETUDE : MILIEUX ET METHODES .....</b>	<b>9</b>
1.1. DOMAINE GEOGRAPHIQUE ET DISPOSITIF D'ETUDE SPATIAL.....	9
1.2. CRIBLE PHENOMENOLOGIQUE .....	11
1.3. INVESTIGATIONS ICHTYOLOGIQUES .....	12
1.4. MESURES PHYSIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES CONJOINTES .....	12
<b>2. STRUCTURES SPATIO-TEMPORELLES DE L'ICHTYOFAUNE .....</b>	<b>13</b>
2.1. METHODE DE DIAGNOSE DES PEUPEMENTS PISCICOLES.....	13
<i>Protocole d'échantillonnage.....</i>	<i>13</i>
<i>Codage des données .....</i>	<i>15</i>
<i>Principe d'interprétation à l'aide de la biotypologie.....</i>	<i>16</i>
<i>Modalités d'échantillonnage du Doubs basal .....</i>	<i>17</i>
2.2. COMPOSITION DES PEUPEMENTS PISCICOLES DU DOUBS BASAL.....	19
<i>Composition qualitative des peuplements.....</i>	<i>19</i>
<i>Composition quantitative : rendement de captures.....</i>	<i>22</i>
2.3. STRUCTURES ET REPARTITION SPATIALE DES PEUPEMENTS.....	25
<i>Éléments de typologie .....</i>	<i>25</i>
<i>Structures des peuplements site par site .....</i>	<i>26</i>
<i>Comparaisons interstationnelles et temporelles.....</i>	<i>30</i>
<i>Organisation spatiale des peuplements en été.....</i>	<i>34</i>
<i>Structure et répartition des populations.....</i>	<i>36</i>
<i>Bilan sur l'état des peuplements.....</i>	<i>44</i>
<b>3. QUALITE PHYSIQUE DU DOUBS BASAL .....</b>	<b>45</b>
3.1. QUALITE DES MOSAÏQUES D'HABITAT A L'ECHELLE STATIONNELLE .....	45
<i>Mise en œuvre de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique.....</i>	<i>45</i>
<i>Caractérisation des mosaïques d'habitat du Doubs basal .....</i>	<i>48</i>
<i>Évaluation des capacités biogènes liées à l'habitat aquatique.....</i>	<i>51</i>
3.2. QUALITE DES MOSAÏQUES DE FACIES ET DE BIOTOPES.....	54
<i>Méthode des tronçons : appels des principes et modalités.....</i>	<i>54</i>
<i>Sectorisation et application au Doubs inférieur.....</i>	<i>54</i>

<i>Potentiels biogènes et altérations physiques des systèmes latéraux</i> .....	56
<i>Qualité physique globale des tronçons du Doubs basal</i> .....	58
<i>Bilan sur la qualité physique globale du Doubs basal</i> .....	69
<b>3.3. THERMOGRAPHIE DU DOUBS BASAL</b> .....	<b>72</b>
<i>Dispositif d'étude et de suivi thermographique</i> .....	72
<i>Régimes thermiques du Doubs basal et des mortes connectives (tab. 22)</i> .....	72
<b>3. 4. RECHERCHE DES CAUSES D'ALTERATION</b> .....	<b>74</b>
<i>Prise en compte de la qualité chimique du Doubs basal</i> .....	74
<i>Causes et mécanismes des altérations de la qualité physique (fig. 50-51)</i> .....	77
<b>4. RESTAURATION DES POTENTIELS PISCICOLES</b> .....	<b>79</b>
<b>4. 1. STRATEGIES DE RESTAURATION DE LA QUALITE PHYSIQUE</b> .....	<b>79</b>
<i>Elaboration d'une stratégie d'ensemble</i> .....	79
<i>Rehaussement des niveaux d'étiage et recharge des nappes (fig. 57)</i> .....	80
<i>Réhabilitation pérennes des mortes et franges humides</i> .....	81
<i>Amélioration de l'hospitalité biogène du chenal</i> .....	82
<b>4. 2. MODALITE DE MISE EN ŒUVRE DE LA STRATEGIE DE RESTAURATION</b> .....	<b>83</b>
<i>Modalités de restauration des mortes</i> .....	83
<i>Restauration des affluents (fig. 61)</i> .....	86
<i>Amélioration de l'hospitalité biogène du chenal</i> .....	87
<i>Restauration de la connectivité longitudinale : le barrage de Crissey</i> .....	91
<i>Gestion de la ripisylve</i> .....	92
<b>4. 3. DECLINAISON DES MODALITE DE RESTAURATION LE LONG DU DOUBS</b> .....	<b>94</b>
<i>Tronçon A : entre l'aval de Dole et la confluence de la Loue</i> .....	94
<i>Tronçon B : entre la Loue et l'aval du pont de Petit Noir</i> .....	96
<i>Tronçon C : entre le pont de Petit Noir et le pont de Navilly</i> .....	100
<i>Tronçon D : entre le pont de Navilly et la confluence avec la Saône</i> .....	103
<b>SYNTHESE, CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b> .....	<b>107</b>
<i>BILAN SUR L'ETAT DES PEUPEMENTS PISCICOLES (TAB. 22)</i> .....	107
<i>BILAN SUR LES CAUSES D'ALTERATION DES CAPACITES BIOGENES</i> .....	108
<i>SYNOPTIQUE SUR LA STRATEGIE DE RESTAURATION (TAB. 23)</i> .....	109
<i>DEMARCHE DE MISE EN ŒUVRE ET ELEMENTS DE PRE-CHIFFRAGE</i> .....	110
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE CITEE ET UTILISEE</b> .....	<b>114</b>
<b>ANNEXES (EN FASCICULES SEPARES)</b> .....	<b>117</b>

# Potentiels piscicoles et qualité physique du Doubs entre Dole et Verdun-sur-le-Doubs

*Évaluation de la structure quantitative et de l'organisation spatiale de l'ichtyofaune du Doubs entre Dole et Verdun-sur-le-Doubs en 2015, en relation avec ses variations de qualité physique*

## Introduction : contexte et problématique

### *Potentiel écologique du Doubs basal*

Dans sa basse-vallée, le Doubs arrose les départements du Jura puis de la Saône-et-Loire avant de confluer avec la Saône à Verdun-sur-le-Doubs. Entre Dole et sa confluence, ce grand cours d'eau calcaire s'écoule sur près de 66 km en suivant une faible pente. Sur ce parcours, son débit augmente de plus de 130 à un peu moins de 200 mètres cubes par seconde. Il y présente de forts potentiels écologiques.

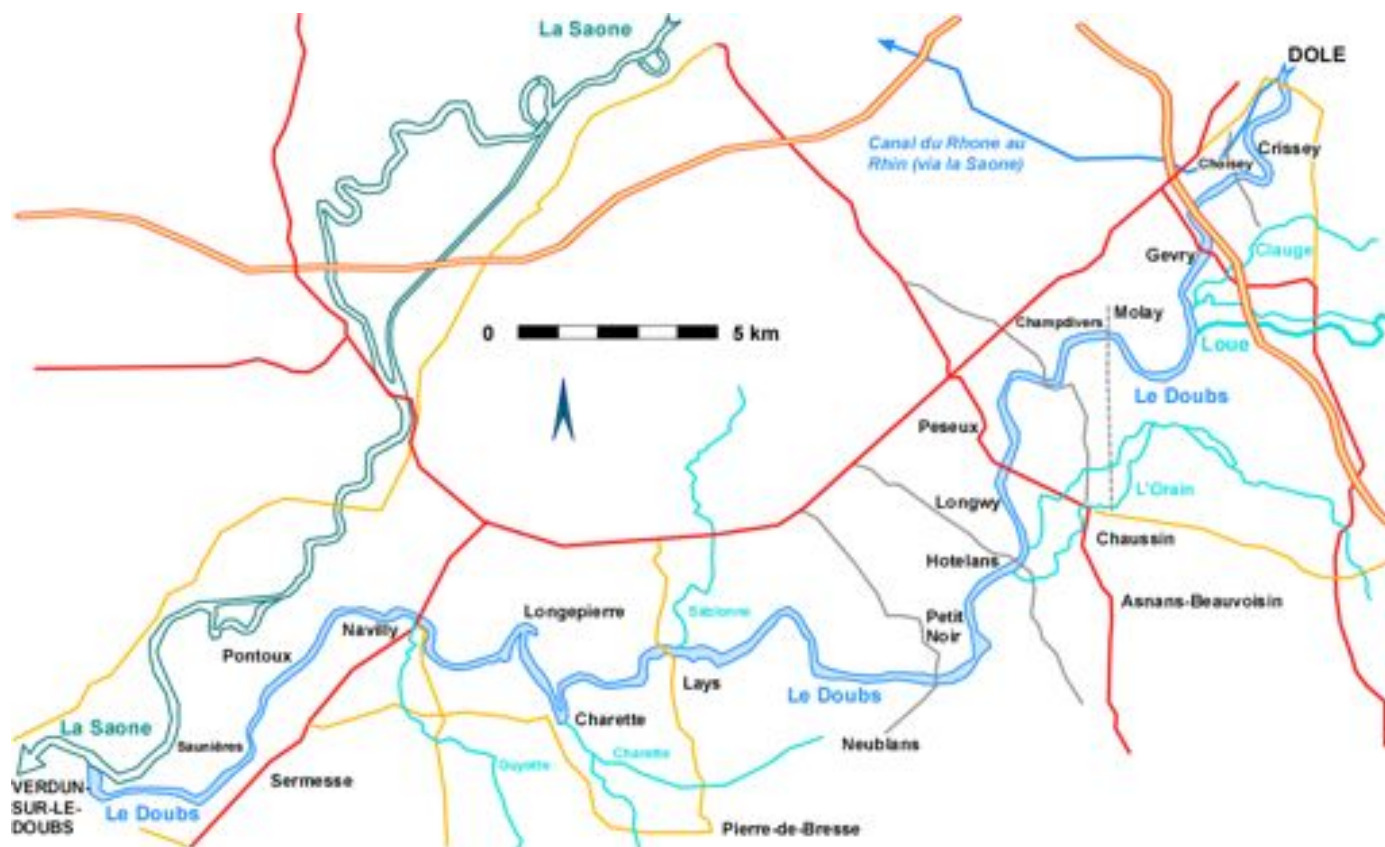


Figure 1. Le Doubs entre Dole (39) et sa confluence à Verdun-sur-le-Doubs (71)

En effet, ses eaux calcaires s'écoulent sur l'immense cailloutis siliceux formé par les dépôts alluviaux qui ont comblé le fossé Bressan (Malavoi 2004). En outre, grâce aux rajeunissements intermittents induits par les apports d'eau fraîche provenant de la Loue, puis de la nappe alluviale, il 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, CTGREF 1978).

Parallèlement, la morphologie et la dynamique originelles du Doubs, oscillant, d'après Malavoi (2004) entre tressage et méandrage, ont généré de très nombreux systèmes latéraux. Cette hétérogénéité physique, se combinant avec la diversité bio-typologique du chenal a conféré au corridor fluvial des ressources écologiques potentielles très diversifiées.

Enfin, si une petite partie des débits est dérivée vers la Saône via le canal du Rhin au Rhône, depuis le barrage de Crissey, à l'aval immédiat de Dole, la totalité du Doubs basal considéré n'a pas été aménagé pour la navigation. Par conséquent, ni son écoulement ni par conséquent la circulation ne sont entravés par aucun barrage sur plus de 65 km.

Ainsi, le Doubs basal est susceptible d'abriter le plus grand nombre d'espèces de poisson que l'on puisse rencontrer en France dans un même site d'eau courante. Pour des situations peu ou pas altérées, il est en effet possible d'y capturer de 24 à 30 espèces dans chaque « station », c'est-à-dire dans chaque portion de 3 à 6 Km linéaire séparant deux grands radiers (CTGREF 1978, Verneaux 1981, CSP RHP DR5 1994).

Le haut niveau de la richesse spécifique potentielle de l'ichtyofaune du Doubs s'explique par les caractéristiques écologiques particulières de ce cours d'eau. D'une part, les arrivées d'eau fraîche, la fréquence des radiers et la dominante lithologique des fonds, se combinant avec la connectivité des affluents apicaux, autorisent le développement de populations migratrices d'ombres et de truites ainsi que des petites espèces lithophiles d'eau froide (chabot, vairon, loche, blageon).

D'autre part, la connectivité du chenal avec les mortes aussi bien qu'avec de larges franges humides, la présence de grandes mouilles, l'importance des herbiers et les taux de minéralisation naturellement élevés favorisent le développement optimal des carnassiers électifs des cours d'eau potamiques et de leurs proies. La lotte, le brochet, le sandre et le black bass sont ainsi susceptibles de cohabiter avec les salmonidés et de présenter eux aussi des abondances élevées.

### ***Altérations des capacités biogènes du Doubs basal***

Cependant, le Doubs basal est depuis longtemps en butte à de nombreuses pressions d'origine anthropique. En particulier, dès le XIXe siècle, sa morphologie et sa dynamique ont été altérées par une succession de travaux de rectification, d'enrochement et d'endiguement (Malavoi 2004).

Plus récemment, d'importantes extractions de granulats ont déstabilisé les fonds, provoqué l'incision du chenal et la déconnection des systèmes latéraux, tout en favorisant

les phénomènes de colmatages (Larinier 1980, Malavoi 2004, Rollet et al. 2006). Enfin, en plusieurs points, la qualité chimique de l'eau et des sédiments est perturbée par les rejets domestiques et agricoles (EPTB 2006).

Corrélativement, selon les secteurs et les époques, les peuplements piscicoles de la Basse-Vallée du Doubs apparaissent appauvris ou simplifiés, sinon complètement déstructurés (Verneaux 1973, CETEGREF 1978-1982, ISTE 1993, CSP RHP DR5 1994-1995, ARALEPBP 1997, SDVP39 1987-2001, GREBE 1992...). Dans l'ensemble, les études menées entre 1990 et 2000 montraient la domination des espèces ubiquistes comme la brème et le gardon, et la régression des espèces sensibles (Fruget et al. 1998).

Les potentiels biologiques relictuels semblent se maintenir grâce à la variété et à la multiplicité des systèmes latéraux qui émaillent encore la Basse 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 (CSP DR 5 1994), les milieux annexes du Doubs basal, perchés au-dessus d'un lit mineur chenalisé et incisé, sont menacés de colmatage, voire d'oblitération. Dans de nombreux cas, des actions restauratoires apparaissent nécessaire.

Parallèlement, comme les extraction de graviers dans le lit mineur des cours d'eau ont été interdites à la fin des années 1980', la dynamique de réajustement des pentes et du transports solides du Doubs se traduit par de fortes tendances érosives.

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

Dans ce contexte, plusieurs questions se sont posées aux gestionnaires :

- quel est l'état de santé des peuplements piscicoles du Doubs basal en 2015 ?
- quels sont les mécanismes qui expliquent son évolution?
- quels sont les facteurs limitant le développement des espèces sensibles ?
- quelles sont les actions à entreprendre pour enrayer l'érosion des potentiels biologiques en général et piscicoles en particulier.

Ces questions dépassent largement des objectifs purement halieutiques ou uniquement piscicoles. En effet, chacune des espèces de poissons électives de la mosaïque de type écologique composant le Doubs basal constitue un indicateur à la fois robuste et sensible de la qualité physique du cours d'eau ainsi que de ses relations avec son corridor fluvial.

Ainsi le défaut de connectivité fonctionnelle entre le chenal et sa zone inondable provoque la régression ou la disparition des espèces comme le brochet ou la lotte (SDVP 39 1987-2001, ONEMA 2007).

Parallèlement, la nature, le rythme et l'intensité du transport solide déterminent l'occurrence et l'abondance de l'ombre, de la truite, comme du chabot et de la loche ainsi que des nombreuses espèces de cyprinidés d'eau vive lithophiles. Ces espèces et leurs associations constituent des indicateurs robustes et puissants de la qualité des fonds de graviers et de leur aptitude à abriter la vie comme à assurer l'autoépuration.

En réponse à cette problématique, le dispositif d'étude a donc été conçu pour comparer les structures et la dynamique des peuplements de poissons à la qualité physique de six sites jalonnant le Doubs basal.

Pour atteindre cet objectif, des méthodes comparatives ont été mises en œuvre. Simultanément, 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 ont été acquises. Pour certains niveaux d'investigation le domaine d'étude recouvre aussi la totalité du linéaire de façon à prendre en compte les échelles d'action qui déterminent les tendances

Ces mesures conjointes permettront d'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 des différents types de d'altérations subies par le milieu.

L'étude comparative des structures des peuplements et des populations piscicoles de plusieurs secteurs du Doubs basal 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 aux altérations élucidées 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 :

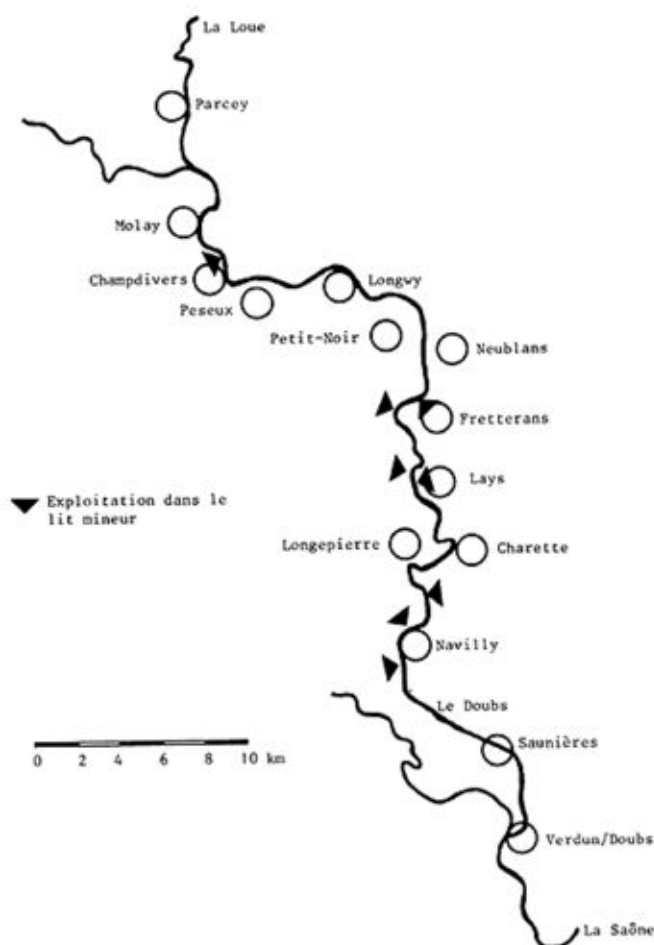
- 1°. Mise en place d'un système de 6 stations d'étude jalonnant le Doubs basal ainsi que l'éventail des potentiels écologiques et des degrés d'altérations physiques qui le caractérise.
- 2°. Diagnostic comparatif de l'état de santé et de l'organisation spatio-temporelle des peuplements piscicoles de chacun des 6 sites étudiés.
- 3°. Analyse de la qualité physique stationnelle pour interpréter les variations de structures quantitative des peuplements piscicoles puis pour hiérarchiser l'importance relative des différents mécanismes d'altérations rencontrés.
- 4°. Analyse de la qualité physique globale pour orienter la recherche des causes premières des éventuelles altérations, puis pour proposer des principes et des modalités d'actions coordonnées pour restaurer la qualité du Doubs basal.



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

## 1.1. Domaine géographique et dispositif d'étude spatial

Le domaine d'étude recouvre le Doubs « basal », aussi appelé « Basse-Vallée du Doubs », entre Dole et la confluence avec la Saône, à Verdun-sur-le-Doubs. Il s'étend sur 65,5 km de linéaire. Sur sa partie amont, de Dole à Navilly, il n'est pas navigable mais sa dynamique y a été bouleversée par les extractions de granulats et les pressions chenalisatrices (fig. 3, Larinier 1980, Malavoi 2004, Rollet et al. 2006). La partie aval, de Navilly à Verdun-sur-le-Doubs a en outre été rendue navigable.



**Figure 3. Localisation schématique des zones d'extraction de granulats dans le lit mineur du Doubs basal entre les années 1960 et la fin des années 1980 (tirée de Larinier 1980)**

Ces pressions physiques déterminent des configurations habitationnelles différentes tout au long du linéaire considéré. En particulier, selon la sinuosité résiduelle et selon la proximité aux anciennes fosses d'extraction, ainsi que selon leur taille respective, le lit est plus ou moins enfoncé. Corrélativement, la frange humide et les systèmes latéraux sont plus ou moins déconnectés.

Pour balayer l'éventail des situations morphologiques et biotypologiques, 6 stations d'étude ont été délimitées en jalonnant le linéaire du domaine d'étude (fig. 4). Pour chaque station, deux mortes directement connectives à la portion considérées ou à proximité ont été sélectionnées pour être étudiées plus en détail.

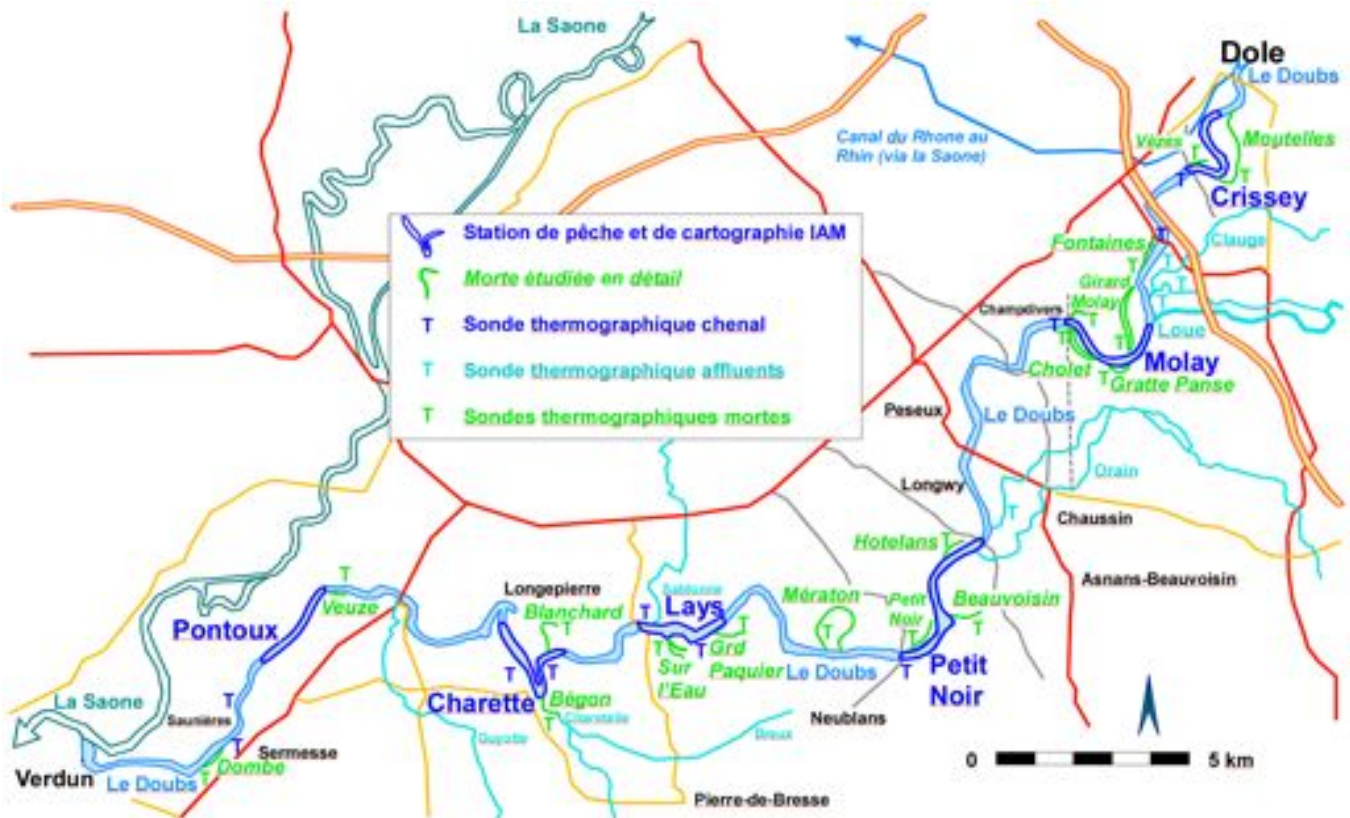


Figure 4. Localisation des stations d'étude et des thermistors implantés sur le Doubs basal

La largeur moyenne du lit en eau en étiage des stations d'étude varie de 55 à 90 m, pour des longueurs allant de 3 à 6 km (tab. 1). Leurs pentes locales sont comprises entre 0,90 et 0,05 pour mille. Deux des stations sont disposées en amont des anciennes zones d'extraction (Crissey et Molay), 2 autres englobent une des anciennes fosses d'extraction (Lays et Pontoux) et les deux dernières sont situées à l'aval proche d'une de ses fosses.

Stations	Distance km	Largeur m	Pente ‰	Longueur m	Caractéristiques propres
<b><i>Crissey</i></b>	399	55	0,83	3080	Amont des anciennes extractions Aval proche rejets Dole et STEP
<b><i>Molay</i></b>	408	60	0,6	4040	Amont proche ancienne extraction Aval proche confluence Loue
<b><i>Petit Noir</i></b>	423	75	0,56	5520	Aval secteur d'ancienne extraction Pente moyenne à faible
<b><i>Lays</i></b>	431	90	0,23	3125	Secteur d'ancienne extraction Pente faible
<b><i>Charrette</i></b>	437	80	0,23	4500	Aval secteur d'ancienne extraction Pente faible
<b><i>Pontoux</i></b>	453	80	0,07	3180	Secteur d'ancienne extraction Pente très faible

Tableau 2. Description synoptique des investigations mises en œuvre sur le Doubs basal

## 1.2. Crible phénoménologique

Les méthodes mises en œuvre ont été choisies et articulées pour atteindre les objectifs opérationnels définis dans l'introduction (tab. 2). Les investigations se sont déroulées de novembre 2014 à mars 2016 inclus, en s'appliquant, selon l'échelle de travail pertinente, soit au 6 stations jalonnant le linéaire, soit à la totalité du linéaire considéré.

<i>Investigations</i>	<i>Contenu</i>	<i>Objectifs</i>	<i>Dates et durée</i>
<b>Thermographie</b>	24 Sondes thermographiques jalonnant le chenal et ciblant des mortes au fonctionnement contrasté	Typologie des stations et fonctionnement des annexes, relations avec la nappe	Enregistrement durant les étés 2014 et 2015 (pas horaire)
<b>Cartographie de l'habitat stationnel</b>	Cartes des 3 composantes de la qualité habitationnelle et de leurs interrelations pour chacune des 6 stations	Plan d'échantillonnage, diagnostic qualité physique et prise en compte des différences habitationnelles	Juin à aout 2015 : bathymétrie, courantométrie et cartographie des fonds
<b>Pêches automnales</b>	Triple prospection des habitats aquatiques des 6 stations et des annexes connectées à l'aide d'araignées multimailles (AVM)	Structure et abondance des populations de carnassiers	Novembre 2014 : 84 postes prospectés à l'aide d'AVM
<b>Pêches estivales</b>	Triple prospection des habitats aquatiques des 6 stations et des annexes connectées à l'aide d'AVM et de pêches électriques par ECD en bateau et a pied	Structure quantitative et organisation spatiale des peuplements	Juin-juillet 2015 : 94 postes à l'aide d'AVM 104 placettes à l'électricité
<b>Qualité physique globale</b>	Description standard des composantes de la qualité physique (hétérogénéité, attractivité, connectivité, dynamique) sur la totalité du linéaire, par tronçon	Diagnostic qualité physique Recherche des causes et mécanisme d'altérations physiques	Aout-septembre 2015 : description des tronçons + Inventaires fonctionnels des annexes et ZH
<b>Diagnose piscicole et halieutique</b>	Comparaisons des structures quantitatives des peuplements, prises en compte de la répartition, de la structure et de la dynamique des populations	Diagnostic par comparaison entre l'état de santé et le potentiel des différentes stations	Septembre 2015 à janvier 2016
<b>Bilans et propositions</b>	Synthèse générale (cartes de stratégie de restauration physique, tableaux de synthèse et de propositions) Application sur 4 à 6 APS "type" en guise d'exemple	Stratégie et principes de restauration / gestion des milieux humides. Recommandations halieutique	Mars avril 2015 : analyses de 6 mortes "témoin" Février mars 2016 : synthèse

Tableau 2. Description synoptique des investigations mises en œuvre sur le Doubs basal

### **1.3. Investigations ichtyologiques**

L'étude de la structure des peuplements piscicoles et de leur évolution 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 suivant des protocoles fondés sur la triple prospection des habitats aquatiques non minoritaire 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.

Ainsi, en novembre 2014, cette stratégie d'échantillonnage « par habitat » a été appliquée à l'aide de filet de type araignées « verticales » multimailles de façon à profiter de la mobilité majeure et donc de la vulnérabilité maximale, en automne, des carnassiers en général et des salmonidés en particulier. Puis, la triple prospection simultanée des habitats représentatifs de chaque station a été répétée entre la fin juin et le début du mois de juillet, cette fois-ci en utilisant à la fois les araignées verticales multimailles et la pêche électrique, en bateau et à pied.

Cette approche multisaisonnaire standardisée a permis d'obtenir des éléments de comparaison dans l'espace (pour la campagne estivale de juin et juillet 2015) mais aussi dans le temps. Ce protocole est en effet très similaire à celui qui a été mis en œuvre à la fin des années 1970 par le CTGREF (1978) et au début des années 1980 par le CEMAGREF (1982). Il est identique à celui qui a été mis en place par le CSP pour l'instauration d'une station de suivi RHP à MOLAY de 1994 à 1997. En outre, cette approche permet de tenir compte des différences habitationnelles et d'évaluer la nature et l'intensité de l'attractivité relative des chenaux et des mortes ainsi que des grands types d'habitats aquatiques.

### **1.4. Mesures physiques et physico-chimiques conjointes**

Initialement, 24 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 le chenal et dans les mortes associées. 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)

Suivant la même optique, la qualité physique des différents secteurs et stations d'étude a été évaluée à l'aide de méthodes standard adaptées 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 :

- la réalisation de cartes des mosaïques de chacune des 6 stations d'étude selon la méthode IAM (TELEOS 2002).
- 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).

## 2. Structures spatio-temporelles de l'ichtyofaune

### 2.1. 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 basal 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 méso habitats 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. 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).

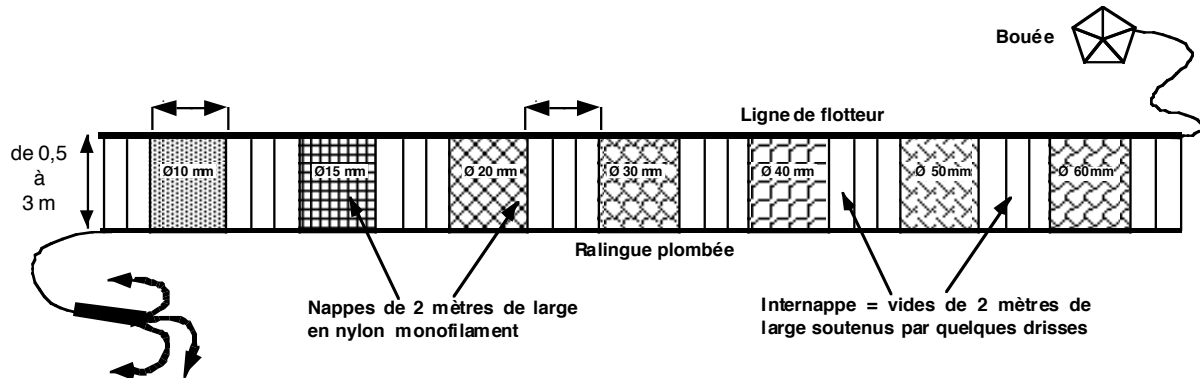


Figure 5. Schéma de montage des araignées « verticales » multimailles

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 professionnelle dans le département du Jura).

Cependant, la faible longueur des nappes constituant les AVM (2 m seulement) nous permet de répéter l'échantillonnage et de prospector 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 capturées par unité d'effort est de l'ordre de  $\pm 20\%$  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.

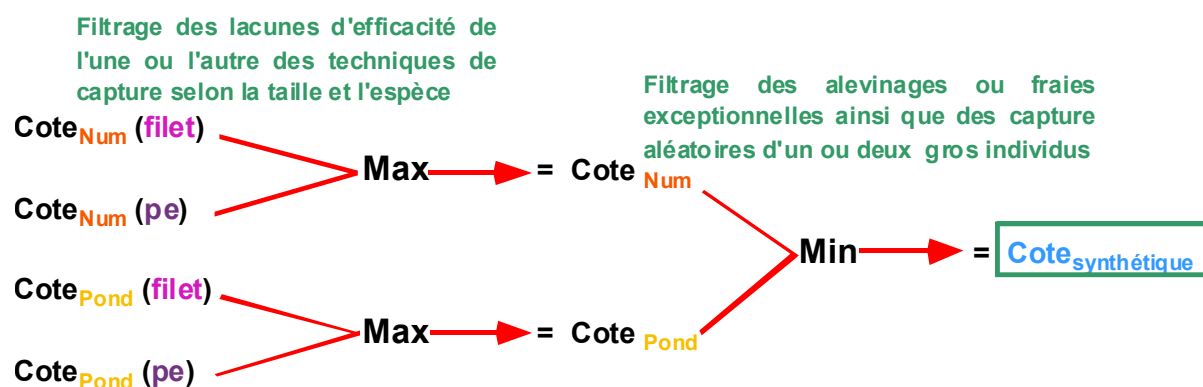


Figure 6. Principe du filtrage des données numériques et pondérales obtenues par une double prospection à l'électricité et à l'aide de filets pour chaque espèce

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<sup>2</sup> ;  
*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 basal

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

1. Une campagne de pêche au filet du 06/11 au 7/11 puis du 26/11 au 04/12 2014.
2. Une campagne de pêche au filet et à l'électricité du 22/06 au 03/07 2015.

Durant la campagne automnale, 81 araignées verticales ont été tendues, pour une surface totale de 2 278 m<sup>2</sup> (tab. 3). Cet échantillonnage en eau froide a été essentiellement mis en œuvre pour mieux évaluer les stocks de carnassiers apicaux.

En effet, les sandres et les brochets adultes sont plus actifs et donc plus vulnérables à la capture par filet en saison froide (fin d'automne et début de printemps). Parallèlement, les truites adultes, elles aussi carnassières mais effectuant en outre des déplacements pré-migratoires avant reproduction sont elles aussi plus facilement capturables en fin d'automne.

Stations	Échantillonnage		Nombre de		Surface de filet (m <sup>2</sup> )
	Tn	stratégie	Pôles	Postes	
<b>A</b> Crissey	AVM	par pôle	5	15	434
<b>B</b> Molay	AVM	par pôle	5	15	336
<b>C</b> Petit Noir	AVM	par pôle	5	15	462
<b>D</b> Lays	AVM	par pôle	5	15	357
<b>E</b> Charrette	AVM	par pôle	4	13	301
<b>F</b> Pontoux	AVM	par pôle	4	12	389

**Tableau 3. Description de l'effort de pêche produit durant la campagne hivernale, du 6/11 au 7/11 (station F) puis du 26/11 au 04/12 2014 sur 6 stations jalonnant le Doubs basal**  
Tn = technique ; AVM = araignées verticales multimailles ; postes = localisation des filets tendus

Stations	Tn	Échantillonnage stratégie	Nombre de		Surf. prosp. ou filet (m <sup>2</sup> )
			Pôles	Plac. / post.	
<b>A</b> Crissey	PE	ECD par pôle	6	18	416
	<i>Filet</i>	<i>Pole</i>	5	14	406
<b>B</b> Molay	PE	ECD par pôle	6	19	344
	<i>Filet</i>	<i>Pole</i>	8	13	350
<b>C</b> Petit Noir	PE	ECD par pôle	8	16	336
	<i>Filet</i>	<i>Pole</i>	9	18	448
<b>D</b> Lays	PE	ECD par pôle	10	17	350
	<i>Filet</i>	<i>Pole</i>	5	16	462
<b>E</b> Charrette	PE	ECD par pôle	10	17	370
	<i>Filet</i>	<i>Pole</i>	7	17	364
<b>F</b> Pontoux	PE	ECD par pôle	7	17	318
	<i>Filet</i>	<i>Pole</i>	7	16	546

**Tableau 4. Description de l'effort d'échantillonnage produit durant la campagne estivale, du 22/06 au 03/07 2015 sur 6 stations jalonnant le Doubs basal**  
Tn = technique ; AVM = araignées verticales multimailles ; Plac. = placettes (ECD) post. = poste (filet)

Durant la campagne estivale, 104 placettes ont été prospectées à l'électricité pour une surface totale de 2 134 mètres carrés (tab. 4). Parallèlement des araignées verticales ont été disposées sur 94 postes, à chaque fois pendant une nuit, pour un total de 2 576 mètres carrés de filet tendus.



Figure 7. Prospection d'une placette d'hélophytes en eau calme et moyennement profonde par pêche électrique en continu à partir d'un bateau (le Doubs à Dole).

Durant la campagne automnale de novembre 2014, les débits sont restés compris entre 70 et 105 m<sup>3</sup>/s à Neublans soit un régime intermédiaire entre le QMNA5 (23 m<sup>3</sup>/s) et le module (174 m<sup>3</sup>/s). Durant la campagne estivale entre fin juin et début juillet 2015 le débit à Neublans est resté compris entre 45 et 70 m<sup>3</sup>/s.



Figure 8. Tendue d'une araignée multimaille verticale sur un fond de gravier et de galets (le Doubs à Longwy).

## 2.2. Composition des peuplements piscicoles du Doubs basal

### Composition qualitative des peuplements

Les pêches scientifiques réalisées à l'aide de filet et à l'électricité au cours de deux campagnes saisonnières sur les 6 stations jalonnant le Doubs basal ont permis de capturer 26 espèces de poissons et une espèce d'écrevisse (tab. 6). La composition qualitative des peuplements de poisson du Doubs basal suit plusieurs tendances évolutives amorcées dès la fin des années 1960'. Certaines de ces transformations des biocénoses semble s'être accélérées depuis la fin des années 2000'.

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

Les quelques anguilles capturées depuis des décennies résultent de translocations d'anguillettes par des associations de pêche.

2. Deux espèces endémiques du Rhône, l'apron et le toxostome semblent avoir disparu. Depuis la Seconde Guerre Mondiale, l'apron, réputé polluo-sensible, n'a été mentionné dans le Doubs basal qu'à une occasion, non validée, en 2001.

Le toxostome, réputé résistant aux pollutions organiques, est en régression régulière depuis la fin des années 1970 ; il n'a pas été capturé en 2014 / 2 015.

3. Une partie des espèces d'eau froide, rhéophiles, oxyphiles et frayant dans les substrats gravillonneux ou pierreux, comme le vairon et le chabot, quoiqu'en régression, sont toujours présents sur la majorité des secteurs étudiés, de même que la loche franche.

En revanche, ni le blageon, ni l'ombre, ni la truite n'ont pu être capturés. Ils semblent avoir disparu du domaine d'étude.

Ces trois dernières espèces sont pourtant encore capturées ou observées à la fin des années 1990 et même au début des années 2000 dans le Doubs basal (cf. point RHP sur le Doubs à Molay, CSP DR5 RHP de 1996 à 1998, et résultats ONEMA de 2000 à 2013 en annexe 1). Elles sont encore signalées dans une partie des rivières qui confluent le long du linéaire étudié.

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 peu du Doubs basal, malgré les fortes densités signalées dans la partie apicale de la Clauge qui conflue dans la partie amont du secteur d'étude.

La vandoise est en régression moins accentuée depuis les années 1990.

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

Le silure, introduit depuis longtemps dans le Doubs, mais en expansion exponentielle depuis une dizaine d'année a colonisé l'ensemble du linéaire.

Otyp	Nom français	Nom latin	Ant	1970	1980	1990	2000	2015	SE	SF
21	Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	X	X	X	X	X	X		
<b>GM</b>	<b>Anguille</b>	<i>Anguilla anguilla</i>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>		
<b>8</b>	<b>Apron</b>	<i>Zingel Asper</i>	<b>X</b>				<b>?</b>		An II B3	<b>d</b>
14	Barbeau	<i>Barbus barbus</i>	X	X	X	X	X	X	An V	
<b>24</b>	<b>Black bass</b>	<i>Micropterus salmoides</i>		<b>P</b>	<b>P</b>					
<b>8</b>	<b>Blageon</b>	<i>Leuciscus souffia</i>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>P</b>	<b>P</b>		An II B3	<b>r</b>
24	Bouvière	<i>Rhodeus amarus</i>	X	X	X	X	X	X		
27	Brème	<i>Abramis brama</i>	X	X	X	X	X	X		
28	Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i>	X	X	X	X	X	X		
18	Brochet	<i>Esox lucius</i>	X	X	X	X	X	X		v H rg
<b>22</b>	<b>Carassin commun</b>	<i>Carassius carassius</i>				<b>P</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
23	Carpe (« écaille »)	<i>Cyprinus carpio</i>	X	X	X	X	X	X		
2	Chabot	<i>Cottus gobio</i>	X	X	X	X	X	X	An II	
9	Chevesne	<i>Squalius cephalus</i>	X	X	X	X	X	X		
20	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	X	X	X	X	X	X		
11	Goujon	<i>Gobio gobio</i>	X	X	X	X	X	X		v
<b>28</b>	<b>Grémille</b>	<i>Gymnocephalus cernuus</i>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
13	Hotu	<i>Chondrostoma nasus</i>		X	X	X	X	X	An II	
<b>3</b>	<b>Lamproie de Planer</b>	<i>Lampetra planeri</i>	<b>P</b>	<b>?</b>					An II B3	<b>v H</b>
5	Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	X	X	X	X	X	X		
<b>15</b>	<b>Lote</b>	<i>Lota lota</i>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>			<b>v</b>
<b>6</b>	<b>Ombre</b>	<i>Thymalus thymalus</i>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>P</b>		An V B3	<b>v H rg</b>
19	Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	X	X	X	X	X	X		DB
<b>26</b>	<b>Perche soleil</b>	<i>Lepomis gibbosus</i>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		DB
<b>28</b>	<b>Poisson-chat</b>	<i>Ameiurus melas</i>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>P</b>				DB
<b>22</b>	<b>Pseudorasbora</b>	<i>Pseudorasbora parva</i>					<b>P</b>	<b>X</b>		
26	Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus*</i>	X	X	X	X	X	X		
<b>27</b>	<b>Sandre</b>	<i>Sander lucioperca</i>		<b>P</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
<b>28</b>	<b>Silure</b>	<i>Siluris glanis</i>				<b>P</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
16	Spirilin	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	X	X	X	X	X	X	An II B3	
24	Tanche	<i>Tinca tinca</i>	X	X	X	X	X	<b>P</b>		
<b>12</b>	<b>Toxostome</b>	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>P</b>	<b>P</b>		An II B3	
<b>1</b>	<b>Truite</b>	<i>Salmo trutta fario</i>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>		An II	<b>H rg</b>
<b>1</b>	<b>Truite arc en ciel</b>	<i>Onchorynchus mykiss</i>			<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>?</b>		
4	Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>	X	X	X	X	X	X		
17	Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	X	X	X	X	X	X		v H
<b>1</b>	<b>Pied blanc</b>	<i>Austropotamobius pallipes</i>	<b>X</b>	<b>?</b>					An II-VB3	<b>v BE rg</b>
<b>20</b>	<b>Ecrevisse américaine</b>	<i>Orconectes limosus</i>			<b>?</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>DB</b>

LEGENDE : espèces en régression, non capturées ou anecdotiques en 2015 ; espèces exotiques ou allochtones

- Otyp** : Ordre d'apparition typologique; GM = grands migrateurs susceptibles de coloniser tous les biotypes  
**Ant** = TELEOS 2001, 1970 = VERNEAUX 1973 ; CTEGREF 1978 ; 1980 =CEMAGREF 1982 ; 1990 CSP RHP 1996-99 ;  
**2000** : données ONEMA ; **2015** : présente étude  
**SF** *Statut français* : dans le livre rouge (MNH 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 5. Liste des espèces capturées sur le Doubs basal à différentes époques ;**  
« P » = présence sporadique ou rare, « ? » non capturée mais introduite.

6. Une partie des espèces exotiques ou allochtones introduites depuis plusieurs décennies, activement ou par le biais des canaux, sont sur le déclin.

Le black bass ne s'est jamais vraiment acclimaté sur le Doubs basal, alors que le poisson-chat, qui y proliférait entre la fin des années 1980 et le milieu des années 1990, y a pratiquement disparu.

En revanche, sur l'ensemble du linéaire considéré, la perche soleil s'avère fréquente tandis que la grémille est omniprésente.

Enfin, le pseudorasbora, introduit plus récemment, est en progression.

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 partout fréquents et abondants. La brème commune est elle aussi omniprésente mais en abondance plus limitée.

En revanche, la tanche n'a plus été capturée que sur une seule station et semble en régression.

8. Les cyprinidés d'eau vive tolérant ou appréciant les eaux plus chaudes, comme le chevesne, le spirin, le goujon ou le barbeau, colonisent la totalité du linéaire.



Gyoataku de brème commune du Doubs : « l'âme du poisson »  
Rémy Chassignol : [www.sieux-fishing.fr](http://www.sieux-fishing.fr)

### Composition quantitative : rendement de captures

La composition spécifique de l'ichtyofaune varie peu entre les 6 stations d'étude dans chacune desquelles 17 à 21 espèces de poisson ont été capturées au cours des deux campagnes cumulées. En revanche, les structures des peuplements, approchées par les rendements de captures obtenues à l'aide des 2 techniques d'échantillonnage, mises en œuvre au cours d'une ou deux campagnes saisonnières, varie notablement d'une station à l'autre (tab. 6 à 8).

Durant la campagne d'automne, qui n'a consisté qu'en des pêches au filet, seules 22 espèces ont été capturées pour les 6 stations cumulées (tab. 6). Les biomasses les plus importantes ont été capturées à Molay et à Petit Noir. Les rendements pondéraux sont essentiellement dominés par le hotu et le chevesne pour les trois stations amont, et par le seul chevesne pour les trois stations aval.

CPUE <i>Esp. / Stations</i>	Nb / (1000 m <sup>2</sup> de filet)						kg / (1000 m <sup>2</sup> de filet)					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Ablette			17	325	130	3			0,3	3,1	1,1	0,1
Barbeau	2				7	3	2,4				5,3	5,2
Bouvière	74	27	37	123	346	116	0,3	0,1	0,1	0,6	1,6	0,5
Brème brd	14	6	41	106	186	3	4,4	0,0	0,9	1,3	2,4	0,0
Brème	7	21	11	11	56	3	7,1	22,8	5,8	3,3	2,0	3,5
Brochet	2		2	3	3		3,5		2,3	6,1	9,0	
Carassin			4						3,9			
Carpe				3						18,2		
Chabot			2		3				0,0		0,0	
Chevesne	18	30	22	28	56	34	<b>12,6</b>	<b>33,9</b>	<b>26,3</b>	17,8	11,5	14,6
Gardon	7	9	106	148	196	44	0,2	0,1	3,6	2,6	6,0	0,5
Goujon	37	193	117	115	116	36	0,3	1,6	1,2	1,1	1,0	0,3
Grémille	83	137	45	25	23	90	1,3	2,3	1,2	0,4	0,5	1,6
Hotu	51	30	45	11	3		<b>17,2</b>	<b>34,4</b>	<b>39,4</b>	7,3	5,4	
Perche	9	6	9	36	23	28	0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	0,4
Pseudorasbora	2				93	5	0,0				0,6	0,0
Rotengle		12	4		159	3		0,2	0,1		4,7	0,0
Sandre		3	2	3				5,3	0,7	0,1		
Silure					3						7,8	
Spirilin	41	33	156	6	60		0,3	0,2	1,3	0,0	0,5	
Tanche	7	9	15	14	17		0,2	0,2	0,5	0,4	0,9	
<b>Total</b>	<b>355</b>	<b>515</b>	<b>636</b>	<b>958</b>	<b>1482</b>	<b>366</b>	<b>49,8</b>	<b>101,1</b>	<b>87,9</b>	<b>62,7</b>	<b>60,8</b>	<b>26,8</b>

Tableau 6. Rendements numériques et pondéraux des pêches aux filets effectuées du 06/11 au 07/11 puis du 26/11 au 04/12 2014 sur les 6 stations jalonnant le Doubs basal : A = Crissey ; B = Molay ; C = Petit Noir ; D = Lays ; E = Charrette ; F = Pontoux

Les brochets adultes, absents des échantillons de Molay et de Pontoux n'ont été capturés que dans 4 stations sur 6, tandis que les sandres adultes n'ont pu être échantillonnés que dans la seule station de Molay. Sur l'ensemble des stations, aucune perche adulte n'a été capturée, mais les individus de grande taille de cette espèce sont thermophiles et ne devaient guère être capturables au filet. Parallèlement, le silure, lui aussi peu mobile durant les saisons froides hors périodes pré-nuptiales, n'a été échantillonné que sur une seule station.

En été, les rendements de captures numériques montrent la complémentarité des deux procédés d'échantillonnage (tab. 7). Les fluctuations rapides du recrutement des alevins rendent cependant difficile les comparaisons interstationnelles à l'aide de ces seules données de rendements numériques.

CPUE <i>Esp. / Stations</i>	Pêches électriques par pôles Nb / (10 ares prospectés)						Pêches au filet par pôles Nb / (1000 m <sup>2</sup> de filet)					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Ablette	14	41	98	34	154	35	174	152	105	327	699	42
Anguille						3						
Barbeau	12	32	6		16	3	44	55	42	2	46	
Bouvière	77	47	15	54	3	9	12	19	49	312	87	11
Brème brd		9	48	69	43	16	76	39	16	331	93	49
Brème				3			10	19	51	19	9	7
Brochet	5	3		6	5			3				
Carassin	5					3	2					
Carpe			3							2	3	
Chabot		17	12		8	13						
Chevesne	156	12	45	103	246	132	7	23	13	26	19	35
Gardon	82	55	101	117	49	22	206	55	107	279	164	103
Goujon	65	17	36	26	11	79	241	100	254	117	207	44
Grémille	2		12			16	34	10	11	32	53	40
Hotu			12		8		25	19	54	50	43	2
Loche Fr.	7	17	9	3								
Perche	5	12	54	46	46	47	44	42	38	119	49	70
Perche soleil		3	3	9	5					15	3	
Pseudorasbora			9	40	22	6			13	45	28	2
Rotengle	2	9	3		5		15	71	96	11	74	18
Sandre										2	3	2
Silure	29	44	60	11	32	38	10	6	4	2	6	
Spirilin	10	15	202		16	3	42	58	92		118	18
Tanche				6						2		
Vairon	274	308	36	334	24							
Vandoise	36		15	11	16	6	12	26	49	43	90	
Total	781	640	777	871	711	431	955	698	996	1738	1793	443

**Tableau 7. Rendements numériques des pêches électriques en bateau et aux filets obtenus du 22/06 au 03/07 2015 sur les 6 stations jalonnant le Doubs basal :**

**A = Crissey ; B = Molay ; C = Petit Noir ; D = Lays ; E = Charrette ; F = Pontoux**

En revanche, les rendements de capture pondéraux sont plus intégratifs et plus facilement comparables. Si l'on cumule les valeurs obtenues par les 2 procédés d'échantillonnage, ces rendements atteignent les plus fortes valeurs dans les stations de Crissey et de Petit Noir (tab. 8). Ces deux stations sont celles qui sont le plus éloignées d'une des anciennes fosses d'extraction.

CPUE <i>Esp. / Stations</i>	Pêche électrique par pôle kg/(10 ares prospectés)						Pêche au filet par pôle kg/(1000 m <sup>2</sup> de filet)					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Ablette	0,0	0,1	0,5	0,1	0,3	0,2	1,8	1,6	1,1	3,5	7,6	0,4
Anguille						2,1						
Barbeau	0,2	0,3	0,2		0,5	0,0	5,9	3,5	9,9	0,1	<b>15,8</b>	
Bouvière	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,2	0,3	0,0
<b>Brème brd</b>		0,1	1,3	2,3	0,5	0,3	8,1	3,0	0,9	<b>36,4</b>	6,0	4,9
<b>Brème</b>				0,0			<b>9,9</b>	<b>12,8</b>	<b>17,5</b>	<b>19,3</b>	<b>6,4</b>	<b>6,7</b>
Brochet	1,4	0,1		0,3	11,9			8,2				
Carassin	3,6					2,7	2,7					
<b>Carpe</b>			<b>44,2</b>							<b>26,0</b>	<b>30,9</b>	
Chabot		0,1	0,0		0,0	0,1						
Chevesne	12,2	0,0	3,2	5,2	2,6	5,7	0,2	6,0	4,5	9,0	7,1	<b>6,6</b>
Gardon	0,7	2,4	2,5	4,0	1,0	0,1	5,6	4,0	2,6	11,3	4,6	3,4
Goujon	0,5	0,2	0,3	0,2	0,1	0,4	1,9	0,9	2,1	0,9	1,6	0,3
Gremille	0,1		0,1			0,2	0,6	0,3	0,2	0,5	1,0	0,7
<b>Hotu</b>			0,5		0,0		8,9	<b>16,1</b>	<b>40,6</b>	2,0	6,8	0,1
Loche fr.	0,0	0,1	0,0	0,0								
Perche	0,1	0,3	0,7	0,9	1,6	0,2	2,8	2,3	1,9	7,4	1,2	2,4
Perche soleil		0,1	0,0	0,1	0,0					0,2	0,0	
Pseudorasbora			0,0	0,1	0,1	0,0			0,1	0,3	0,2	0,0
Rotengle	0,3	0,4	0,0		0,1		1,4	1,8	3,4	0,4	1,3	0,4
Sandre										3,0	2,0	0,2
<b>Silure</b>	<b>85,4</b>	<b>45,7</b>	<b>88,9</b>	<b>26,1</b>	<b>21,8</b>	<b>27,0</b>	<b>29,9</b>	11,4	<b>42,0</b>	4,2	4,2	
Spirilin	0,0	0,0	1,0		0,1	0,0	0,3	0,3	0,7		0,7	0,1
Tanche				0,4						1,5		
Vairon	0,5	0,4	0,1	0,3	0,1							
Vandoise	0,4		0,2	0,0	0,2	0,1	0,6	1,0	0,8	0,8	1,4	
Total	<b>105,6</b>	50,5	143,6	40,2	41,0	39,2	80,6	73,2	128,3	128,1	99,2	26,2

**Tableau 8. Rendements pondéraux des pêches électriques en bateau et aux filets obtenus du 22/06 au 03/07 2015 sur les 6 stations jalonnant le Doubs basal :**

**A = Crissey ; B = Molay ; C = Petit Noir ; D = Lays ; E = Charrette ; F = Pontoux**

Pour pouvoir interpréter plus précisément ces données biocénétiques, les informations quantitatives obtenues par chacun des protocoles de captures durant chacun des saisons d'échantillonnage ont été traduites en cote d'abondance. Les structures des peuplements ainsi obtenues ont pu alors être comparées aux potentiels optimaux associés au type écologique de chacun des sites d'étude.



## 2.3. Structures et répartition spatiale des peuplements

### Éléments de typologie

Dans la formule typologique de VERNEAUX (1976), le facteur thermique déterminant est approché à l'aide de la valeur moyenne des températures maximales hebdomadaires mesurées dans l'eau sur 3 ans durant les trente jours consécutifs les plus chauds de chaque année. Pour les 3 stations aval, la température de l'eau n'a été enregistrée les deux dernières années.

Cependant, les périodes estivales des années 2014 et 2015 furent très contrastées en ce qui concerne l'hydroclimat : autant l'été 2014 fut frais et humide, autant l'été 2015 a été chaud et sec (cf. aussi la partie « thermographie », § 3.1). Par conséquent, il paraît judicieux de prendre la moyenne des valeurs enregistrées durant ces deux années pour approcher le niveau typologique des 6 stations.

En outre, les sondes de la partie jurassienne n'ayant fonctionné qu'en 2015 et n'étant pas encore relevées à la date de rédaction du présent rapport des mesures ponctuelles approchant les valeurs maximales ont été utilisées. Selon ce calcul et ces estimations, les niveaux théoriques respectifs des 6 stations s'inscrivent dans une gamme allant de 7 à 9 (tab. 9).

Facteurs	Tmm	do	D	L	Sm	pen	NTT	Type
Stations	°C	Km	mg/L	m	m <sup>2</sup>	‰		
<b>Crissey</b>	25,5	399,3	88	90	68,75	0,83	7,9	<b>8</b>
<b>Molay</b>	23,5	408,6	80	105	58,2	0,6	7,3	<b>7+</b>
<b>Petit Noir</b>	24,5	423,4	84	105	72,75	0,56	7,7	<b>8</b>
<b>Lays</b>	25,7	431,2	83	150	166,5	0,23	8,4	<b>8+</b>
<b>Charette</b>	25,7	436,8	80	115	124	0,23	8,5	<b>8+</b>
<b>Pontoux</b>	25,8	453,0	83	108	264,8	0,05	9,6	<b>9 (8+)</b>

**Tableau 9. Types théoriques des six stations jalonnant le Doubs basal (cf. légende des abréviations en page de la partie milieux et méthodes) : les Tmm retenues pour les trois stations jurassiennes sont provisoires**

En termes de zonation piscicoles, ce spectre écologique est compris entre la zone à Ombre inférieure et la zone à Brème en passant par la zone à Barbeau. Le long du Doubs, ces types écologiques ne se succèdent pas de façon géographique, mais composent une mosaïque de biotopes complexe. On note en particulier le rajeunissement typologique de Crissey à Molay essentiellement lié aux influences rafraichissantes de la nappe et de la Loue.

Cette configuration était déjà signalée par Verneaux (1973). En effet, à la fin des années 1970, cet auteur, à partir de la composition des peuplements de poisson, éphémère, trichoptère et plécoptère, attribuait au Doubs entre Dole et sa confluence des biotypes variant de B8 à B9.

Or, l'intervalle d'imprécision de la méthode de calcul du type théorique est de plus ou moins un demi-niveau (Verneaux 1977). Compte tenu cette marge d'approximation, le calcul théorique de 2015 indique des types théoriques similaires à ceux qui avaient été déterminés à l'aide des composantes biologiques entre 1968 et 1972 pour les stations de Gevry, Molay et Saunières (Verneaux 1973).

Cependant, déjà à cette époque, la morphologie et l'hydrodynamique du Doubs inférieur étaient fortement perturbées par la chenalisation amorcée dès le début du XIXe siècle et surtout par les extractions massives de granulats qui se sont déroulées entre le début des années 1960 et la fin des années 1980. Comme dans le cas de la Basse-Loue, ces pressions physiques ont impacté en deux temps le fonctionnement écologique de la rivière.

Dans un premier temps, l'augmentation locale de la pente et le drainage des nappes a provoqué un « rajeunissement temporaire » (Verneaux 1973). Dans un deuxième temps, l'incision du chenal en provoquant l'assèchement des nappes et l'étalement des lames d'eau d'étiage a induit un net réchauffement en période estivale. Le spectre typologique originel du Doubs inférieur, probablement plus large et plus apical que celui qui a été déterminé en 1973 et en 2015, devait en fait se situer plutôt entre B6 et B8.

En particulier, le type théorique calculé pour la station la plus aval (Pontoux) apparaît imposé par la déstructuration physique du Doubs. Sur ce secteur allant de Navilly à la confluence, le surcreusement du Doubs et l'uniformisation de la pente qui tend maintenant partout vers 0 tendent à transformer le Doubs en plan d'eau, au moins en conditions d'étiage.

### **Structures des peuplements site par site**

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.

#### ***Station A : Crissey***

La station de Crissey, à l'aval de Dole, abrite une forte abondance de hotu, de chevesne et de goujon (fig. 9). En revanche aucun sandre n'a pu être capturé tandis que le brochet et la perche sont déficitaires par rapports aux potentiels optimaux normalement associés à un B8.

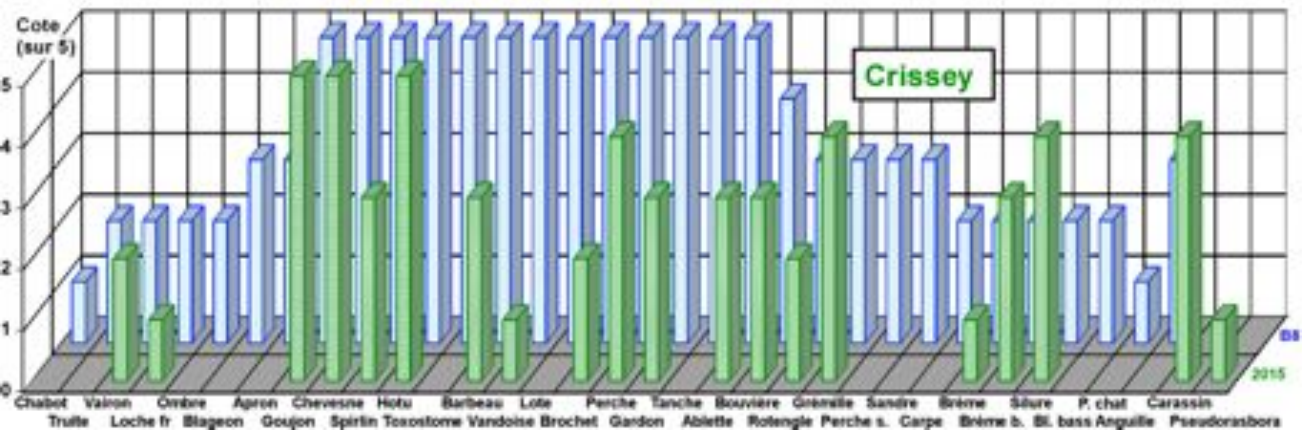


Figure 9. Comparaison de la structure du peuplement observé dans le Doubs à Crissey avec le peuplement optimal associé au type écologique de ce secteur (B8)

Parallèlement, le chabot, l'ombre, la truite et la lote sont totalement absents de l'échantillon tandis que les densités de capture en barbeau et surtout en vandoise sont fortement déficitaires. Seuls, la grémille, la brème bordelière et le silure sont en surabondance par rapport aux potentiels associés à ce type écologique.

#### Station B : Molay

La station de Molay se trouve à l'aval de la confluence du Doubs avec la Loue et bénéficie donc du rajeunissement typologique induit par les apports d'eau plus fraîche de la Loue et surtout de la nappe. Ce processus explique les abondances non négligeables de chabot, vairons et loches, conformes aux potentiels optimaux d'une zone à ombre inférieure (figure 10).

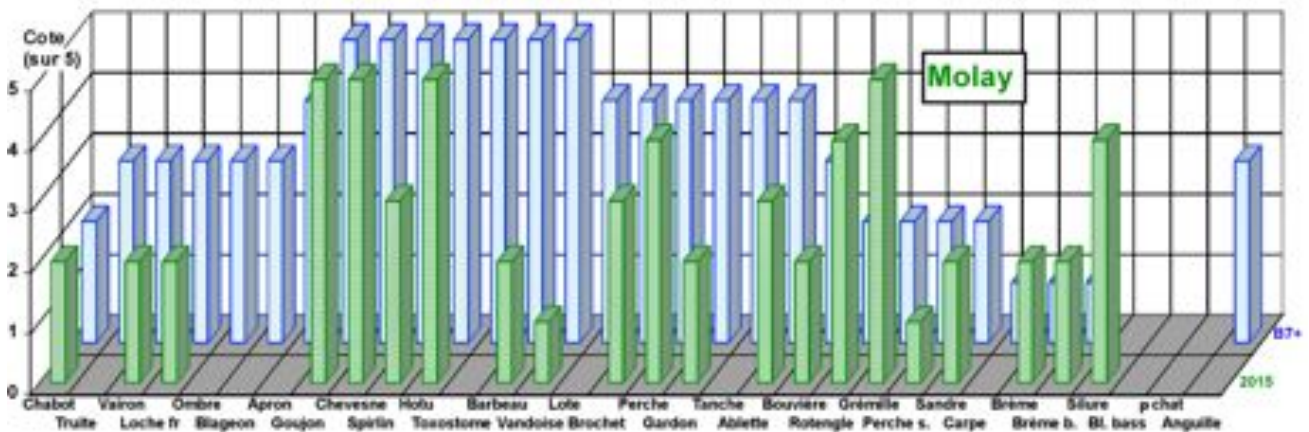


Figure 10. Comparaison de la structure du peuplement observé dans le Doubs à Molay avec le peuplement optimal associé au type écologique (B7+)

En revanche, ni truite, ni ombre, ni blageon ni lote n'ont pu être capturés en 2015 alors que ces espèces étaient régulièrement échantillonnées entre 1995 et 2005 (CSO RHP 1997-1998), puis plus rarement entre 2000 et 2010 (données ONEMA DR Dijon). Parmi les cyprinidés d'eau vive, la vandoise, le spirin et le barbeau sont aussi nettement déficitaires, contrairement au chevesne, au goujon et au hotu.

Une partie des espèces à affinités potamiques, comme l'ablette, le gardon, la bouvière sont également en sous-densité. En revanche, l'abondance du brochet n'est que

légèrement déficitaire, tandis que celles de la perche et du sandre sont conformes aux valeurs optimales attendues pour une zone à ombre inférieure. Enfin, si ni la carpe ni l'anguille, n'ont pu y être capturées, la station abrite des densités importantes des deux espèces de brèmes et de silure.

#### Station C : Petit Noir

Cette station de la zone à barbeau (B8), abrite une faible densité de chabot ainsi que des densités réduites de vairon et de loche (fig. 11). Le goujon, le chevesne, le hotu et le spirin y sont en abondances optimales.

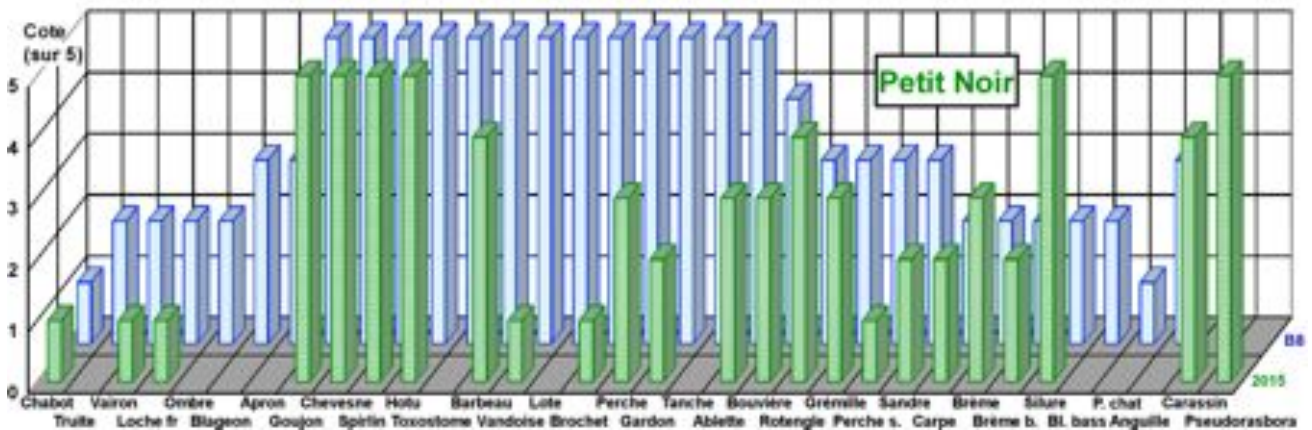


Figure 11. Comparaison de la structure du peuplement observé dans le Doubs à Petit Noir avec le peuplement optimal associé au type écologique de ce secteur (B8)

En revanche, toutes les autres espèces centrales du peuplement « type » y sont déficitaires ou absentes, y compris le barbeau. Seules les espèces limnophiles d'eau chaude y ont des abondance conformes aux potentiels de ce type de cours d'eau. Les carnassiers y sont en faibles densités sauf le silure, ici surabondant.

#### Station D : Lays

Le type actuel de la station de Lays, compris entre les zones à Barbeau et à Brème, a été vieilli par l'effet des travaux de chenalisation puis d'extraction. Aussi, si la station abrite encore quelques vairons et de très rares loches franches, les espèces apicales et centrales de la zone à Barbeau sont déficitaires ou absentes (fig. 12).

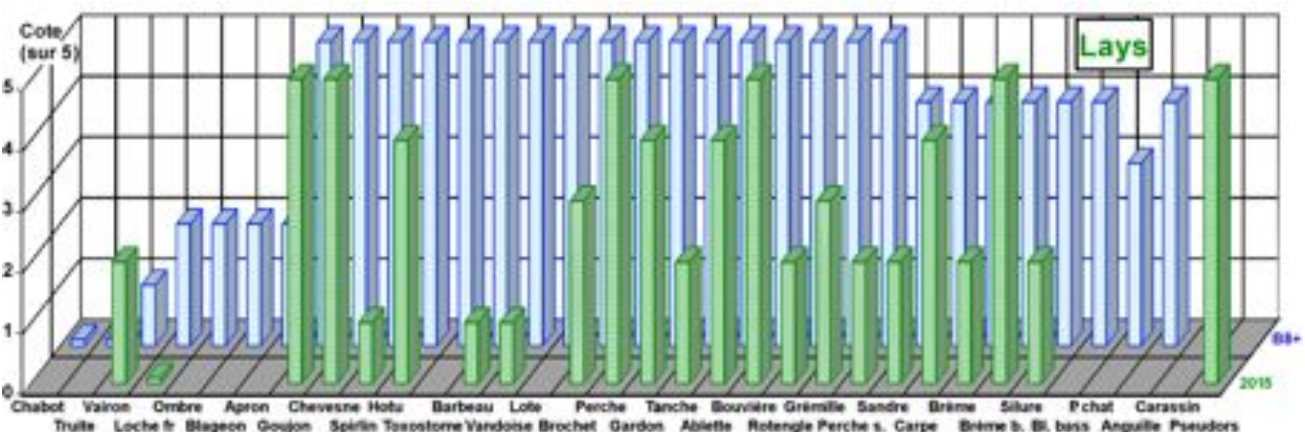


Figure 12. Comparaison de la structure du peuplement observé dans le Doubs à Lays avec le peuplement optimal associé au type écologique de ce secteur (B8+)

En revanche, plusieurs espèces potamophiles sont abondantes (carpe, bouvière, ablette) voire surabondantes (brème bordelière). Sauf en ce qui concerne la lotte et la truite, absentes de l'échantillon, les carnassiers sont représentés en densités moyennes (brochet, sandre et silure) ou forte (perche).

#### Station E : Charrette

Comme dans le cas de la station de Lays, le type écologique du site de Charrette, compris entre la zone à Barbeau et à la zone à Brème a été vieilli artificiellement par rapport à la configuration originelle (fig. 13). Les rares chabots et vairons encore présents témoignent de la composante salmonicole originelle de ce secteur, célèbre dans le monde halieutique pour la densité de ses populations d'ombres et ses truites jusque dans les années 1950.

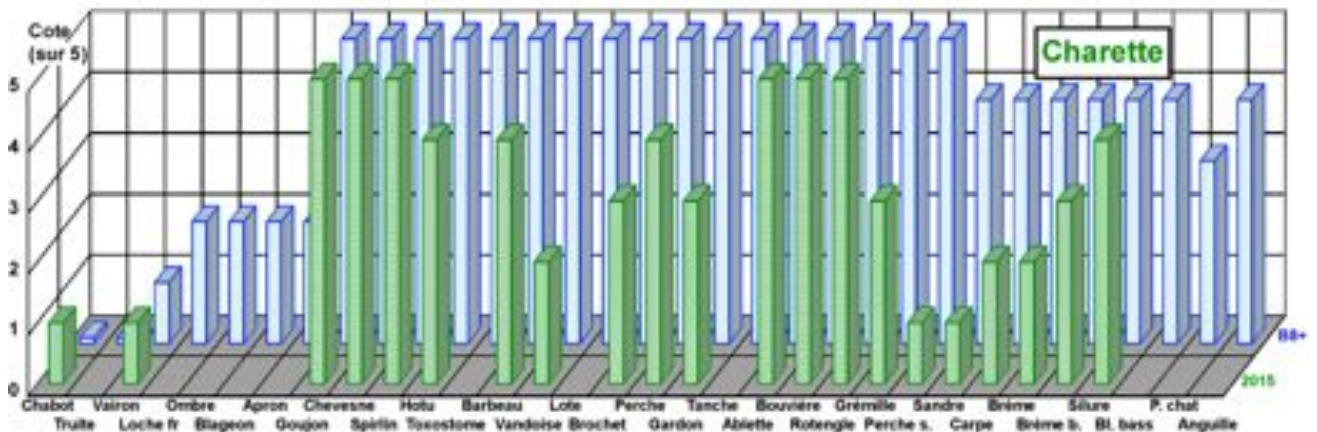


Figure 13. Comparaison de la structure du peuplement observé dans le Doubs à Charrette avec le peuplement optimal associé au type écologique de ce secteur (B8+)

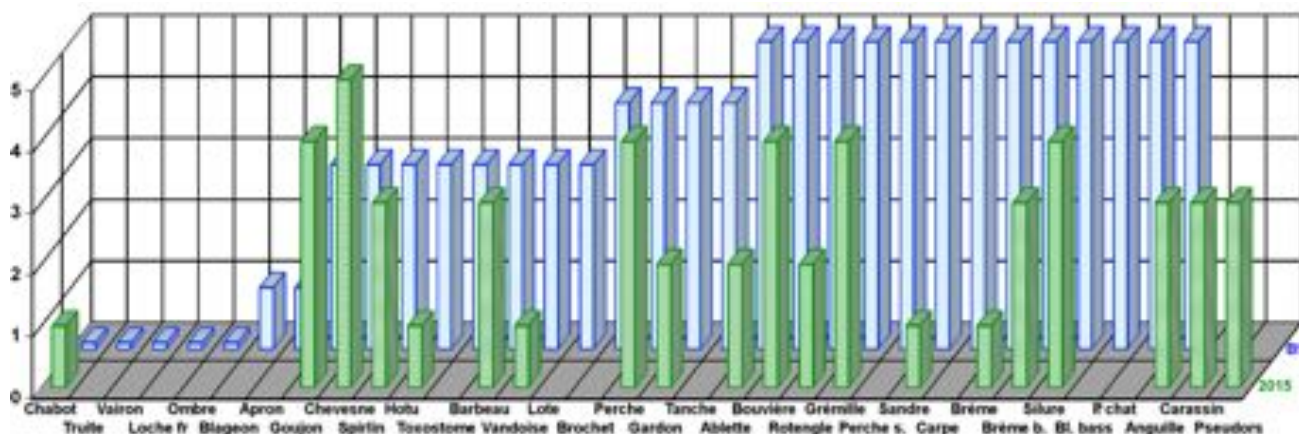
Dans la situation actuelle, on observe dans le Doubs à Charrette des densités élevées pour une partie des cyprinidés d'eau vive électif de la zone à Barbeau. Ainsi, le chevesne le goujon et le hotu mais aussi le spirin ont été capturés en forte abondance. En revanche, la lote est ici aussi absente, tandis que le barbeau et la vandoise sont une fois encore déficitaires.

Parallèlement, le brochet la perche et le sandre n'ont été observés qu'en des densités moyennes à faibles tandis que la situation des cyprinidés d'eau calme est, sur ce secteur, mitigée. En effet, si les ablettes les bouvières et les rotengles sont abondants, les gardons, les deux espèces de brèmes et la carpe sont plus ou moins déficitaires. Le silure est ici abondant.

#### Station F : Pontoux

Le Doubs à Pontoux est un B9 imposé soit une zone à Brème « forcée ». En étiage, ce secteur se transforme en canal lénitique homogène, à cause du surcreusement du lit combiné à la faiblesse de la pente naturelle.

Malgré cela, quelques chabots ont pu y être capturés (fig. 14). Parallèlement, les densités de chevesnes, de goujon et de spirin sont élevées et les barbeaux ont pu être capturés en abondance optimale. En revanche toutes les autres espèces électives de ce type écologique sont déficitaires ou absentes.



**Figure 14. Comparaison de la structure du peuplement observé dans le Doubs à Pontoux avec le peuplement optimal associé au type écologique de ce secteur (B9)**

Sur cette station, aucun brochet n'a pu être capturé, tandis que l'échantillon de sandre est réduit à deux juvéniles capturés en été à l'aide des filets. Seule la perche a été observée en abondance optimale pour ce type écologique. Les grémilles et les silures, quoique abondants, étaient en légère sous-densité par rapport au potentiel théorique.

## Comparaisons interstationnelles et temporelles

### *Bilan interstationnel de la structure des peuplements*

Sur toutes les stations, les espèces apicales associées aux types écologiques originels (truite, vairon, loche, apron, ombre, blageon) sont déficitaires ou absentes (fig. 9 à 16). Le chabot, le vairon et la loche restent présents, chacun, dans 4 stations sur 6. En revanche, aucune autre espèce apicale n'a pu être capturée sur l'ensemble des sites prospectés. La lotte et le toxostome n'y ont pas non plus été observés.

En ce qui concerne les espèces centrales rhéophiles, le barbeau et la vandoise sont déficitaires sur 5 stations sur 6. *A contrario*, les hotus et les chevesnes et les goujons sont toujours capturés en forte densité.

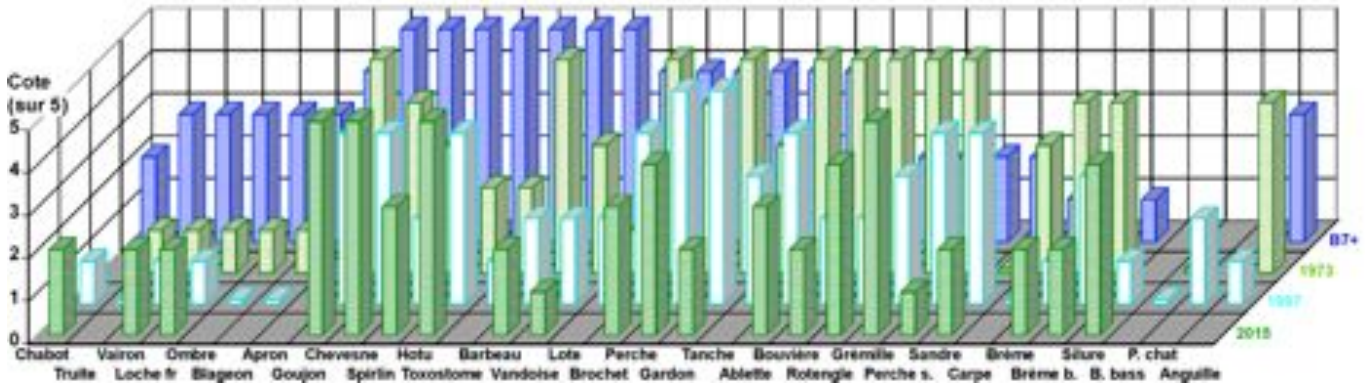
En ce qui concerne les espèces lénitophiles, la tanche n'a pu être capturée que dans une unique station. Les abondances de l'ablette, du gardon et du rotengle fluctuent entre des valeurs moyennes à forte mais atteignent rarement l'optimum. En revanche, la brème bordelière, la grémille et le silure sont abondants, voire surabondants, chacune dans au moins 5 des 6 stations prospectées.

Parmi les carnassiers d'eau calme, le brochet et le sandre sont systématiquement déficitaires. Seuls les perches ont pu être capturées dans des densités proches des valeurs optimales associées aux types écologiques rencontrés. Les silures sont abondants à surabondants sur 5 des 6 sites prospectés.

D'une manière générale, les peuplements étant banalisés, les contrastes écologiques et les inversions typologiques se sont estompés. Dans cette optique, le peuplement observé à Pontoux s'inscrit comme le plus altéré.

### Evolution temporelle du peuplement dans le secteur Molay Neublans

Un de peuplements le moins altérés semble celui de Molay, même si sa structure indique une simplification et un appauvrissement. Or sur cette station, des inventaires ont été réalisés avec le même type de protocole d'échantillonnage fondé sur des prospection par habitat réalisés à l'aide d'électricité et de filet (Verneaux 1973, CTGREF 1978, CSP DR5 RHP 1996 à 1998).



**Figure 15. Comparaison de la structure du peuplement observé dans le Doubs à Molay à trois époques différentes avec le peuplement optimal associé au type écologique de ce secteur intermédiaire entre la basse zone à Ombre et la zone à Barbeau (B7+)**

La comparaison de ces données acquises au cours de trois études effectuées chacune à une vingtaine d'années d'intervalle confirme la régression puis la disparition progressive des salmonidés (truite et ombre) ainsi que du blageon, de la lote et du toxostome (fig. 15).

L'image obtenue à la fin des années 1960' (VERNEAUX 1973) indique déjà une forte déstructuration, liée à l'érosion régressive et à l'impact des travaux d'extractions alors en cours à l'aval proche de la station. Toutefois, à cette époque toutes les espèces apicales sauf l'apron étaient encore bien présentes. Parallèlement les abondances des espèces lénitophiles étaient beaucoup plus soutenues.

En 1997, des truites et des ombres sporadiques ainsi que de rares blageon étaient encore présents, mais seuls quelques individus juvéniles étaient capturés pour ces espèces. La lote, et le toxostome composaient encore des populations mais leurs densités avaient sensiblement diminué par rapport à 1973. Parallèlement, les abondances des espèces d'eau calme apparaissaient plus fluctuantes. Le silure faisait son apparition alors que le poisson-chat était encore bien implanté.

En 2015, les régressions amorcées de 1997 à 1998 se sont traduites par des disparitions, ou en tous cas par des absences totales de capture. Corrélativement, l'abondance de la plupart des espèces centrales même peu polluosensibles montre une tendance plus nette encore à la diminution.

### Biomasse globale et proportion de carnassiers

Dans l'ensemble, les rendements obtenus sur le Doubs basal durant les campagnes d'inventaires 2014/2015 indique des biomasses globales moyennes à faibles (fig. 16-17). En effet, les CPUE mesurées au cours de la présente étude pour les carnassiers comme pour l'ensemble des espèces sont nettement inférieures à celles qui ont été observées en 2011 sur les meilleures stations du Doubs jurassien navigable dont le type écologique est proche (entre B8 et B9).

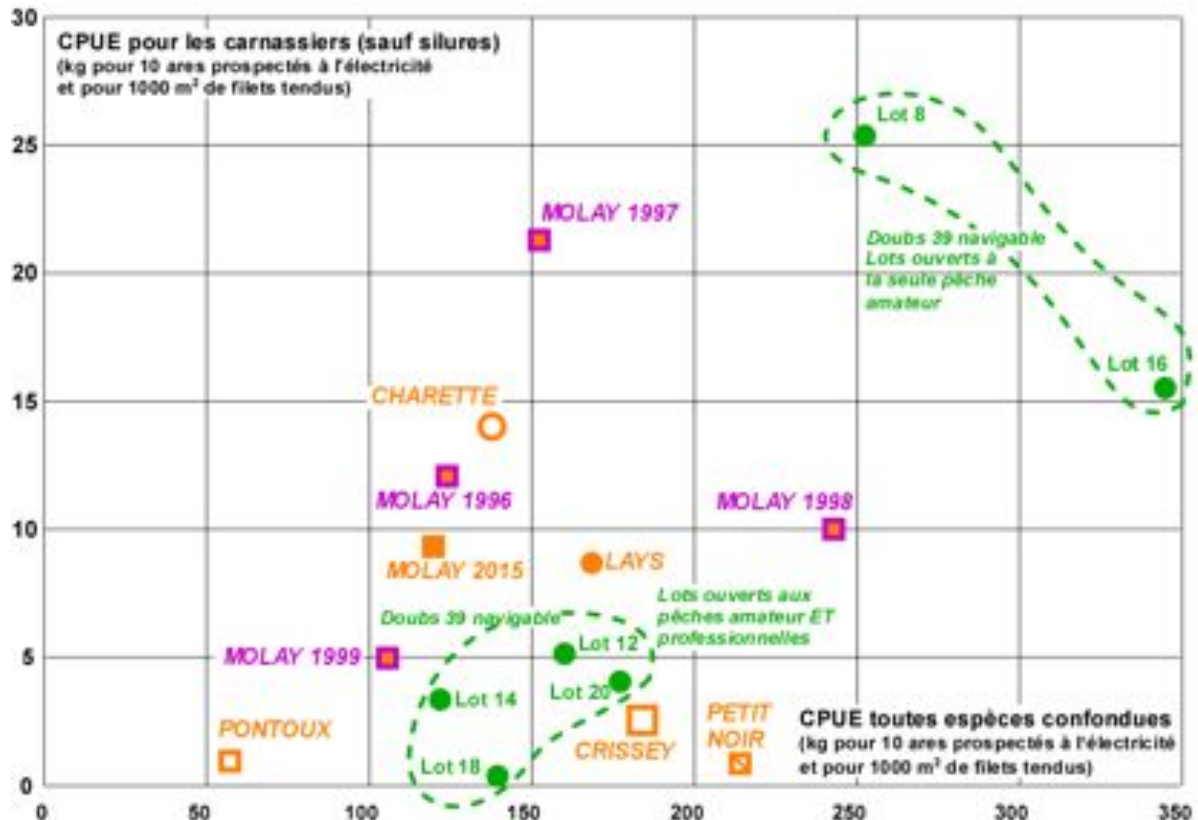


Figure 16. Captures pondérales Par Unité d'Effort obtenues pour les carnassiers et pour toutes les espèces confondues par l'application du dispositif d'échantillonnage standard en juin/juillet 2015 sur 6 stations jalonnant le Doubs basal et comparaison avec les CPUE obtenues en août 2011 sur les 6 stations du Doubs navigable jurassiens ainsi qu'avec celles observées de 1996 à 1999 à Molay

Sur la station de Molay, qui est la seule pour laquelle on dispose de données antérieures obtenues avec le même protocole d'échantillonnage, même s'il n'a été appliqué durant la seule campagne estivale, les rendements de capture observés étaient nettement plus importants en 1997. Les CPUE de carnassier étaient en particulier soutenus par la capture d'une forte densité de brochet et de lottes.

En revanche, les CPUE mesurées en 1996, 1998, et 1999 étaient du même ordre que celles qui sont observées en 2015. Les rendements de capture massiques des carnassiers (sauf silure) étaient en particulier compris entre 5 et 12 kg par Unité d'Effort, similaire à la valeur observée en 2015. Cette variabilité des rendements de captures standard dans une gamme de valeurs moyennes à faibles est typique de milieux altérés, mais conservant une résilience. Les aléas hydroclimatiques amplifient alors sensiblement les fluctuations de la production piscicole.



La campagne d'automne a permis de confirmer la faiblesse des abondances des carnassiers (hors silures) et des biomasses totales observées dans le Doubs basal en 2014 et 2015 (fig. 17). En effet, les rendements de pêches pondéraux obtenus en novembre 2014 pour les brochets sandres et perches dans les 6 stations jalonnant sont entre 2 et 6 fois moins importants que les meilleures rendements observés en novembre 2011 dans les meilleures stations du Doubs navigable jurassien (non ouvertes à la pêche professionnelle).

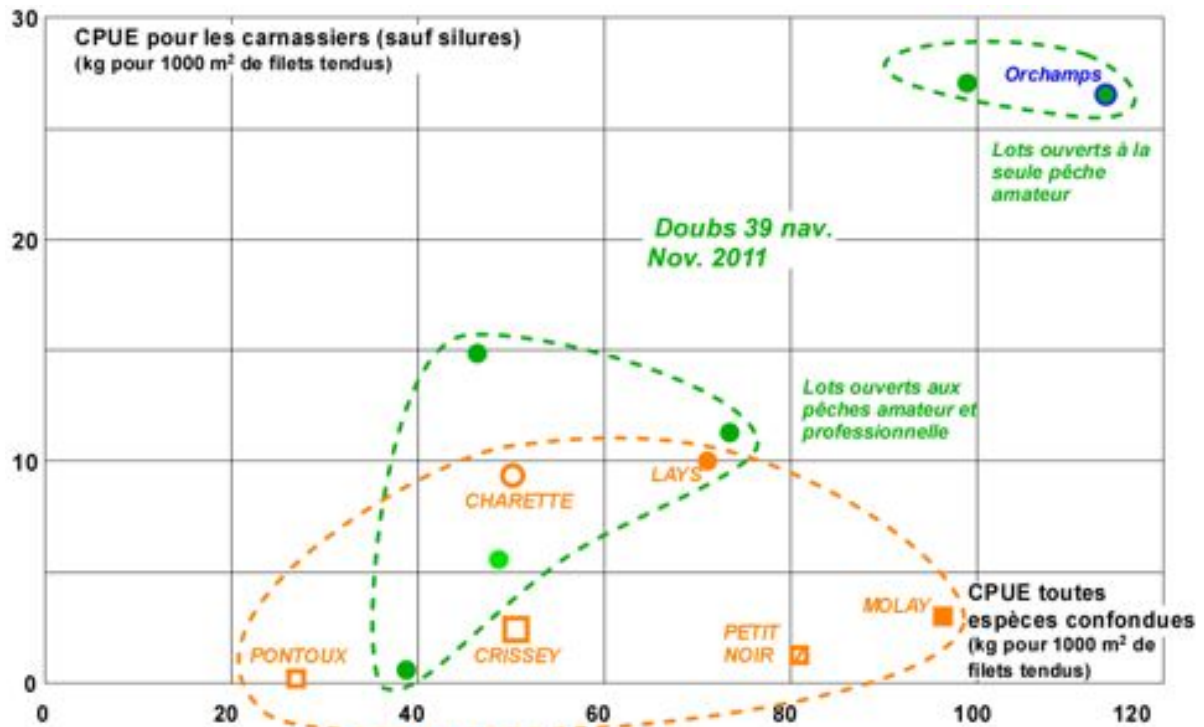


Figure 17. Captures pondérales Par Unité d'Effort obtenues pour les carnassiers et pour toutes les espèces confondues par l'application du dispositif d'échantillonnage standard en novembre 2014 sur 6 stations jalonnant le Doubs basal et comparaison avec les CPUE obtenues en novembre 2011 sur les 6 stations du Doubs navigable jurassien.

Parallèlement, les CPUE pondérales toutes espèces confondues sont aussi de deux à trois fois moins importantes. Cependant, les rendements de captures observés en octobre 1996 sur la station d'Orchamps (en bleu sur la figure 17) étaient alors 3 à 4 fois plus élevées qu'en novembre 2011, qu'il s'agisse des carnassiers hors silure (86 kg/1000 m<sup>2</sup> de filet) ou de la biomasse totale (367 kg/1000 m<sup>2</sup> de filet).

La diminution très nette de ces rendements entre 1996 et 2011 a pu être mise en relation avec l'envasement de la morte des Doulonnes et par l'incision de l'affluent éponyme de ce système latéral (DEGIORGI et al. 2013). On en déduit dans ce cas l'importance de la qualité physique, plus que du type de pression de pêche, comme facteur limitant la production piscicole.

Pour préciser ces tendances, l'organisation spatiale de l'ensemble des peuplements en période estivale, puis la structure en taille et la répartition habitationnelle de 6 espèces bio-indicatrices présentant des exigences contrastées ont été analysées.

## Organisation spatiale des peuplements en été

En période d'étiage estival, l'organisation spatiale de l'ichtyofaune reflète l'état global du cours d'eau. En effet, la répartition des abondances piscicoles à différents moments de l'année est déterminée par les aptitudes de chaque compartiment ou habitat à servir de cache, d'abris hydraulique, de voie de circulation, ou de support de ressources alimentaires à un ou plusieurs écostades d'une ou plusieurs espèces de poissons. Selon cette optique, la répartition des densités numériques et pondérales des captures estivales de l'ensemble des 6 stations jalonnant le Doubs inférieur a été analysée (tab. 10 et 11).

### Répartition estivale entre le chenal et les mortes

Cette approche indique que les mortes en eau au moment des pêches possèdent des capacités piscicoles équilibrées avec celles qui sont associées aux chenaux proprement dits (tab. 10). En effet, les densités numériques toutes espèces confondues sont en moyenne légèrement supérieures dans les mortes alors que les densités pondérales sont un peu plus importantes dans le chenal.

<i>Groupe indicateur</i>	<b>Chenal (C)</b>	<b>Coef variation</b>	<b>Mortes (M)</b>	<b>Coef variation</b>
<i>CPUE numériques (nb pour 10 ares prospectés par ECD et pour 1000 m<sup>2</sup> de filets tendus)</i>				
<b>Toutes espèces</b>	1723	±37%	<b>2 125</b>	±37%
<b>Carnassiers totaux</b>	131	±34%	<b>156</b>	±62%
<b>Silures</b>	<b>41</b>	±37%	22	±140%
<b>Carnassiers sauf silures</b>	90	±63%	<b>134</b>	±54%
<i>CPUE pondérales (kg pour 10 ares prospectés par ECD et pour 1000 m<sup>2</sup> de filets tendus)</i>				
<b>Toutes espèces</b>	<b>151</b>	±41%	130	±71%
<b>Carnassiers totaux</b>	<b>68</b>	±50%	41	±125%
<b>Silures</b>	<b>61</b>	±62%	28	±144%
<b>Carnassiers sauf silures</b>	7	±99%	<b>13</b>	±127%

**Tableau 10. Comparaison des densités de captures obtenues en juin et juillet 2015 sur les différents compartiments hydrauliques du Doubs inférieur entre Dole et la confluence**

Cependant, les systèmes latéraux fonctionnels et connectifs apparaissent tout de même plus attractifs vis-à-vis des sandres et des brochets. Les silures sont au contraire plus denses numériquement et pondéralement dans le chenal. Enfin, la variabilité de ces tendances est plus forte dans le cas des mortes dont la connectivité et l'attractivité varie plus fortement d'une station à l'autre.

### Répartition estivale en fonction des substrats

La répartition des captures à l'échelle des habitats montre aussi des tendances récurrentes d'une station à l'autre. Les mosaïques de vitesses de courant et de hauteur d'eau varient fortement d'une station à l'autre.

Néanmoins, l'organisation spatiale de l'ichtyofaune reste fortement déterminées par les substrats-supports (tab. 11). En effet, chaque modalité de cette composante est généralement associée à un ou au maximum deux couples de vitesse et de profondeur dominants. En outre, la présence et l'extension de la plupart des substrats minéraux et supports végétaux sont liées aux conditions d'écoulement.

	BLO	BLS	GGR	FNM	FNO	DAL	HYF	HYI	BRA
<i>CPUE numériques (nb pour 10 ares prospectés par ECD et pour 1000 m<sup>2</sup> de filets tendus)</i>									
Cyprinidés limnophiles	<b>732</b>	122	267	592	198	0	<b>680</b>	<b>627</b>	530
Cyprinidés rhéophiles	176	154	300	63	114	<b>200</b>	121	<b>392</b>	<b>342</b>
Espèces benthiques	54	108	110	<b>146</b>	<b>149</b>	100	104	<b>214</b>	119
Carnassiers sauf silures	27	44	17	<b>95</b>	20	<b>100</b>	73	<b>85</b>	55
Silures	9	<b>80</b>	2	0	18	0	0	5	<b>34</b>
<b>Toutes espèces</b>	1029	545	745	905	511	400	<b>1032</b>	<b>1374</b>	<b>1111</b>
<i>CPUE pondérales (kg pour 10 ares prospectés par ECD et pour 1000 m<sup>2</sup> de filets tendus)</i>									
Cyprinidés limnophiles	10,7	2,3	22,9	14,4	8,6	0,0	<b>36,9</b>	<b>33,2</b>	<b>43,0</b>
Cyprinidés rhéophiles	2,9	<b>16,7</b>	<b>17,9</b>	0,8	0,6	0,3	0,9	<b>9,5</b>	5,9
Espèces benthiques	0,6	1,0	1,0	<b>1,6</b>	0,7	0,3	<b>1,1</b>	<b>1,8</b>	<b>1,1</b>
Carnassiers sauf silures	0,7	<b>2,6</b>	1,4	<b>2,4</b>	0,4	0,2	1,5	<b>12,6</b>	2,0
Silures	8,7	<b>77,2</b>	0,8	0,0	<b>55,4</b>	0,0	0,0	10,6	<b>86,2</b>
<b>Toutes espèces</b>	23,9	<b>100,8</b>	46,4	30,4	67,6	2,1	43,5	<b>71,0</b>	<b>154,3</b>

Tableau 11. Comparaison des densités de captures obtenues en juin / juillet 2015 à proximité des substrats et supports majoritaires émaillant les fonds du Doubs basal

Code des substrats supports :

**BLO** = bloc avec anfractuosités

**FNM** = fond nus minéraux

**DAL** = dalle marneuse

**BLS** = blocs sans caches

**GAL** = galets non pavés

**HYF** = hydrophytes flottants

**BRA** = branchages racines immergés

**GGR** = mélange de galet et de gravier

**HYI** = hydrophytes immergés

Les **cyprinidés d'eau courante** juvéniles ou et de petite taille sont attirés par les zones de mises en vitesses, même quand elles baignent des dalles marneuses ou rocheuses, mais de préférences dans les herbiers et branchages qui leur ménagent un abris. Les plus gros individus appartenant à ce groupe sont encore plus inféodés aux courants moyens à forts, en particulier sur les fonds de graviers ou à proximité de blocs sans anfractuosités mais ménageant des caches hydrauliques.

Les **petites espèces benthiques**, et en particulier les goujons et les grémilles qui en composent l'essentiel de l'effectif et de la biomasse, sont surtout capturées à proximité d'herbiers immergés baignés de courants moyens à forts, ainsi que sur des dépôts de sédiments fins plus ou moins organiques.

Cette répartition est sans doute liée à la recherche de ressources alimentaires, mais pourrait aussi indiquer l'altération de la capacité biogène des fonds de gravier dans les radiers, normalement très attractif pour les goujons, loches et chabots.

Parmi les **carnassiers**, les juvéniles de perche sont capturés essentiellement en pleine eau, au dessus de fond nus ou de dalles baignées de vitesses lentes à nulles en étiage, mais qui signalent des zones érosives en hautes eaux. Les brochets et sandres adultes ont en revanche été capturés majoritairement à proximité d'herbiers d'hydrophytes.

Les **silures** adultes sont majoritairement observés dans les branchages immergés. Les silures juvéniles et immatures, eux, colonisent surtout les blocs ménageant des abris hydrauliques, qu'ils soient avec ou sans anfractuosités. Cette espèce est en expansion depuis une quinzaine d'années, dans tous le Doubs inférieur. Elle est susceptible d'exercer une forte compétition spatiale, avec la lote dans les blocs, et avec les autres carnassiers dans les branchages et les racines immergées.

Pour l'ensemble du peuplement, les branchages et les différentes sortes d'herbiers sous hauteurs d'eau moyenne et courants moyens à faibles composent les habitats aquatiques les plus attractifs. Les abris hydrauliques constitués par les amas de blocs, avec ou sans anfractuosités baignés par des courant plus rapides jouent aussi un rôle important de refuge (pour les cyprinidés et les perches) ou d'affut (pour le silure). Ces habitats sont toutefois minoritaires au seins des stations étudiées (cf. § sur l'analyse des mosaïques d'habitats aquatique à l'aide de l'IAM).

### **Structure et répartition des populations (fig. 18 à 24, annexe 2)**

L'analyse comparative de la structure taille / fréquence et de la répartition spatiale des populations des espèces non anecdotiques permet d'affiner le diagnostic piscicole puis d'orienter la recherche des facteurs de potentiels piscicoles mesurés. Dans cette optique, cette démarche est développée ci dessous pour deux espèces de cyprinidés d'eau vive, et pour quatre espèces de carnassiers.

#### ***L'ablette***

Quoique les densités d'ablettes varient fortement d'une station à l'autre, tous les sites abritent des populations comportant plusieurs classes d'âge, ce qui démontre l'importance du potentiel de colonisation de l'ablette dans le Doubs basal (fig. 18). Les densités de juvéniles (taille entre 4 et 8 cm) sont toutefois déficitaires sur toutes les stations. En revanche, la densité des adultes dont la longueur dépasse 10 cm se révèle particulièrement importante sur les stations de Lays et de Charette.

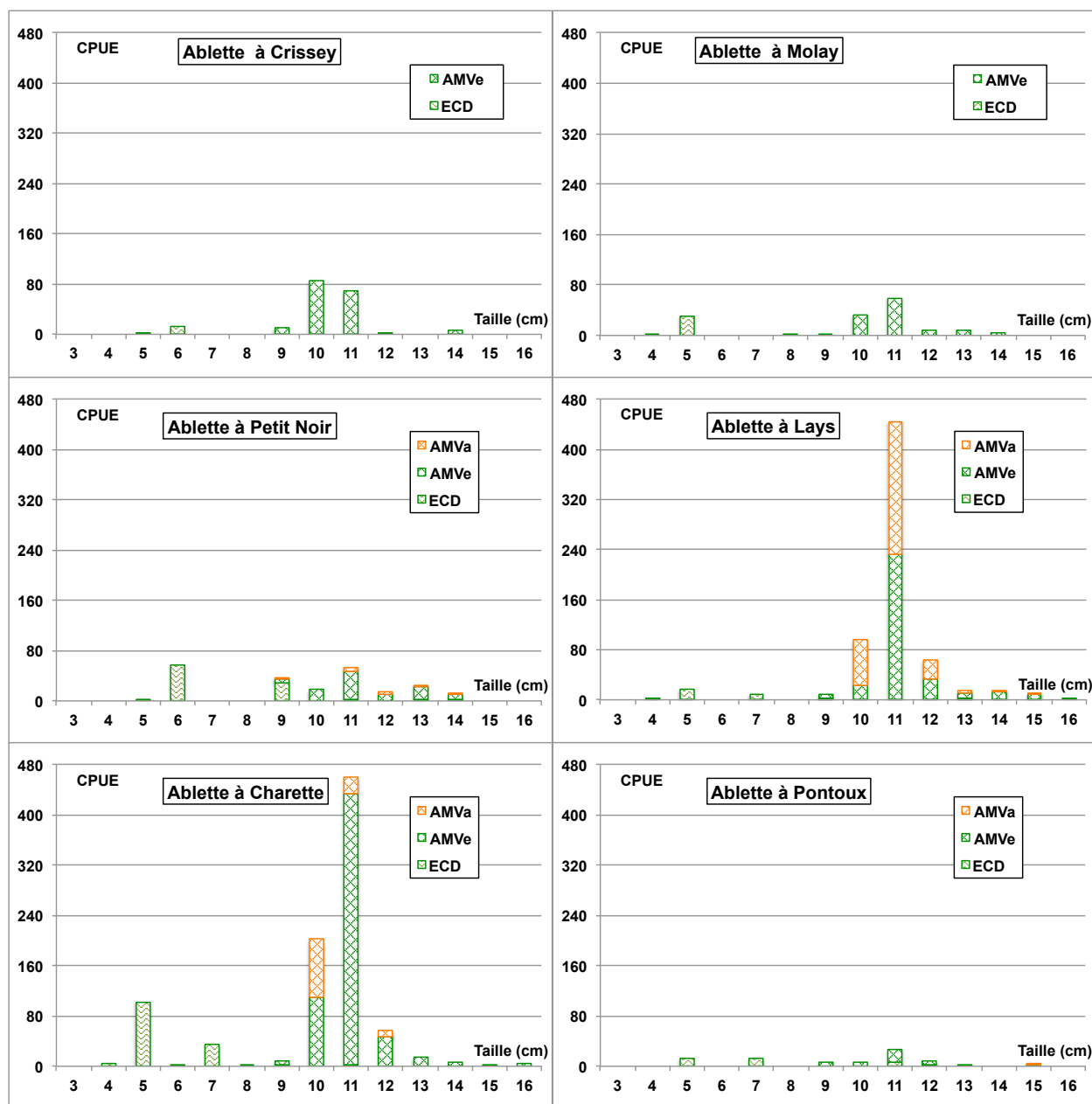


Figure 18. Comparaison des structures taille / densité des populations d'ablettes capturées dans les 6 stations d'étude prospectées en novembre 2014, puis juin / juillet 2015

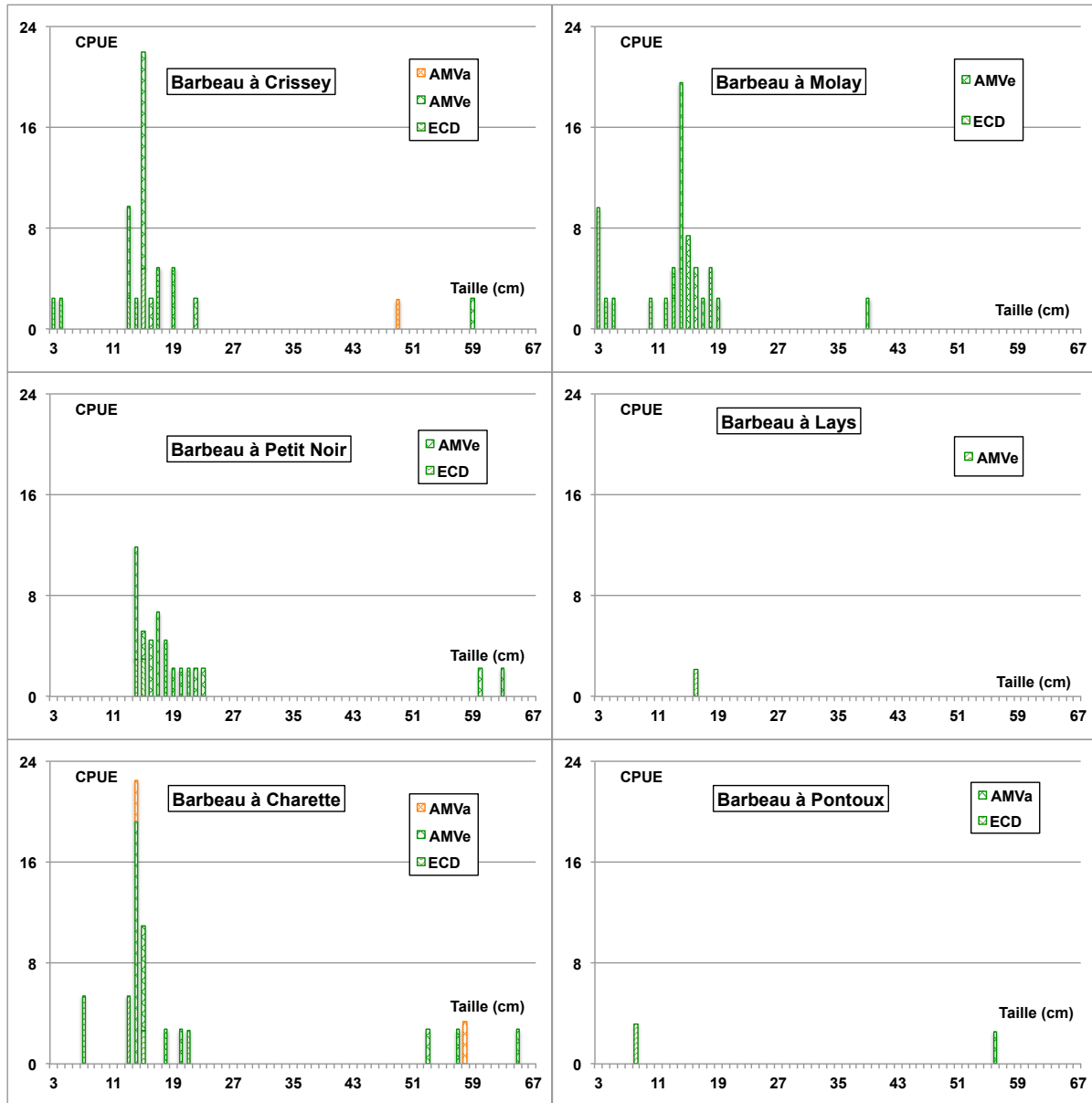
CPUE = nombre de Capture par Unité d'effort c'est à dire pour 1000 m<sup>2</sup> de filets standard tendus en automne (AVMa), autant en été (AVMe), ainsi que pour 10 ares prospectés à l'électricité en été (ECD).

De tels contrastes reflètent des différences habitationnelles ou et des variations de la disponibilité des ressources trophiques. En effet, les ablettes affectionnent les calmes profonds et les fosses de dissipation d'énergie.

Dans le Doubs basal, ces deux habitats sont morcelés et séparés par des veines de courant rapide ce qui doit affecter les migrations entre zone de repos diurne et zone d'alimentation nocturne. Les déficits d'abondance pour certaines stations pourraient aussi être liés à des déséquilibres trophiques affectant les ressources alimentaires de pleine eau. L'hypothèse de contaminations du compartiment pélagique ou de perturbations trophiques intermittentes ne peut être écartée.

### Le barbeau

Dans le cas du barbeau les juvéniles ne sont présents en densité optimale que dans 4 des 6 stations (fig. 19). Les adultes sont partout en très faible densité, et aucun d'eux n'a pu être capturé à Lays.

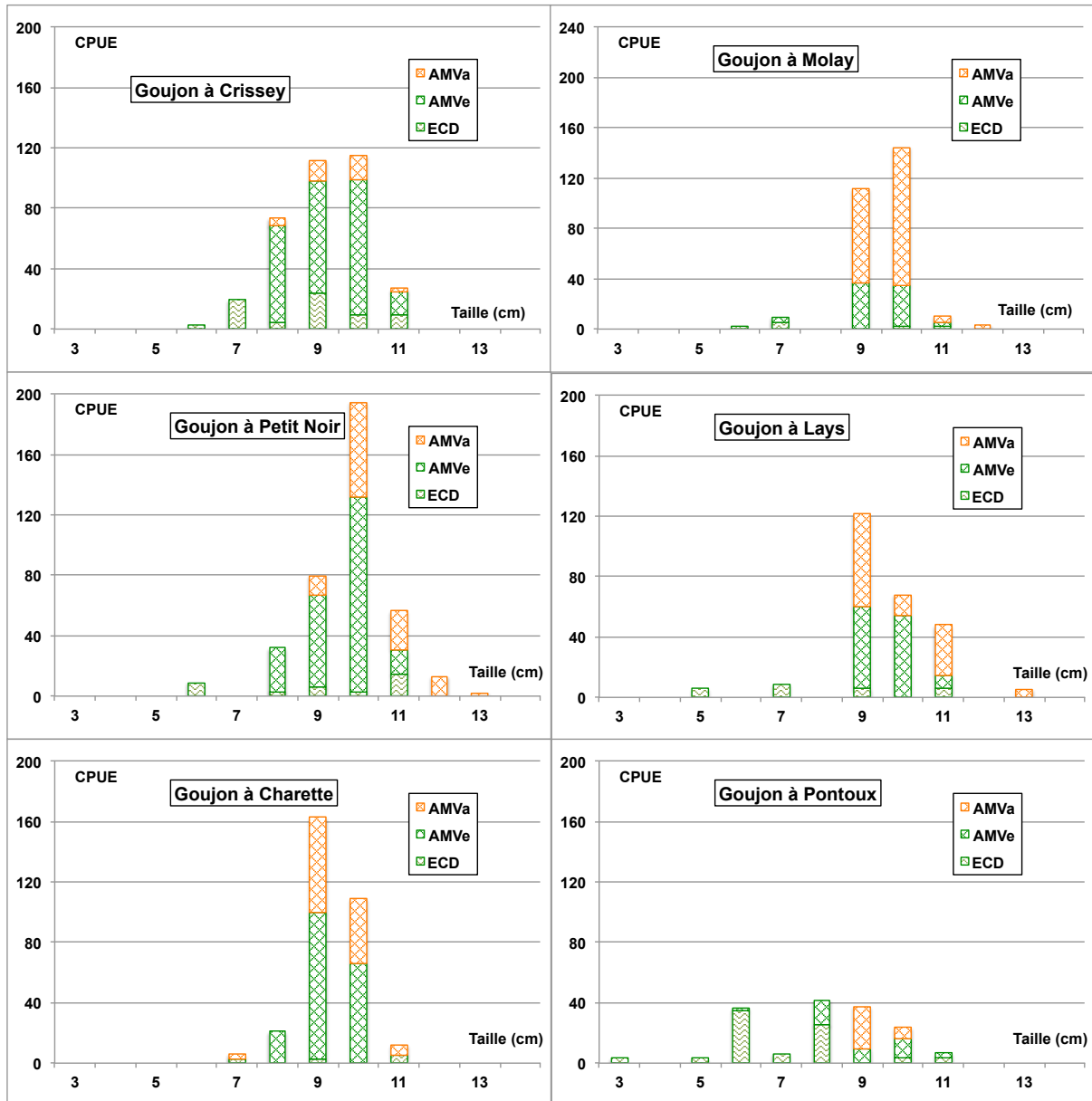


**Figure 19. Comparaison des structures taille / densité des populations de barbeaux capturés dans les 6 stations d'étude prospectées en novembre 2014, puis juin / juillet 2015**  
 CPUE = nombre de Capture par Unité d'effort c'est à dire pour 1000 m<sup>2</sup> de filets standard tendus en automne (AMVa), autant en été (AMVe), ainsi que pour 10 ares prospectés à l'électricité en été (ECD).

Sur l'ensemble des stations, le déficit d'adultes pourrait indiquer l'effet des perturbations physique comme le colmatage ou l'instabilité des graviers et galets. Ces deux processus limitent en effet les ressources trophiques disponibles pour le barbeau, typiquement entomophage. Cette espèce est aussi très sensible aux altérations des écoulements (BARAS 1992-1993-1997).

### Le goujon

Les populations de goujons du Doubs sont denses et comportent plusieurs classes d'âge témoignant de la stabilité de la production pour cette espèce (fig. 20). Les faibles abondances observées pour les juvéniles (taille de 3 à 6 cm) s'expliquent par la date relativement précoce des pêches électriques : les juvéniles de l'année n'avaient probablement pas encore assez grandi pour être capturables.



**Figure 20. Comparaison des structures taille / densité des goujons capturés dans les 6 stations d'étude prospectées en novembre 2014, puis juin / juillet 2015**

CPUE = nombre de Capture par Unité d'effort c'est à dire pour 1000 m<sup>2</sup> de filets standard tendus en automne (AVMa), autant en été (AMVe), ainsi que pour 10 ares prospectés à l'électricité en été (ECD).

Les captures de goujons ont été réalisées ultra-majoritairement dans des zones courantes, à proximité de branchages immergés ou d'herbiers d'hydrophytes. En revanche, leur densité dans les radiers de graviers ou de galets était très faible.

### Le brochet

La faiblesse des densités de brochets capturées dans les six stations reflète l'intensité des perturbations des habitats aquatiques nécessaires d'une part à la reproduction et au développement des brochetons et d'autre part au repos et à l'affût des adultes (fig. 21). En effet, les échantillons capturés, comportent très peu de juvéniles de l'année et aucun brochet dépassant 80 centimètres.

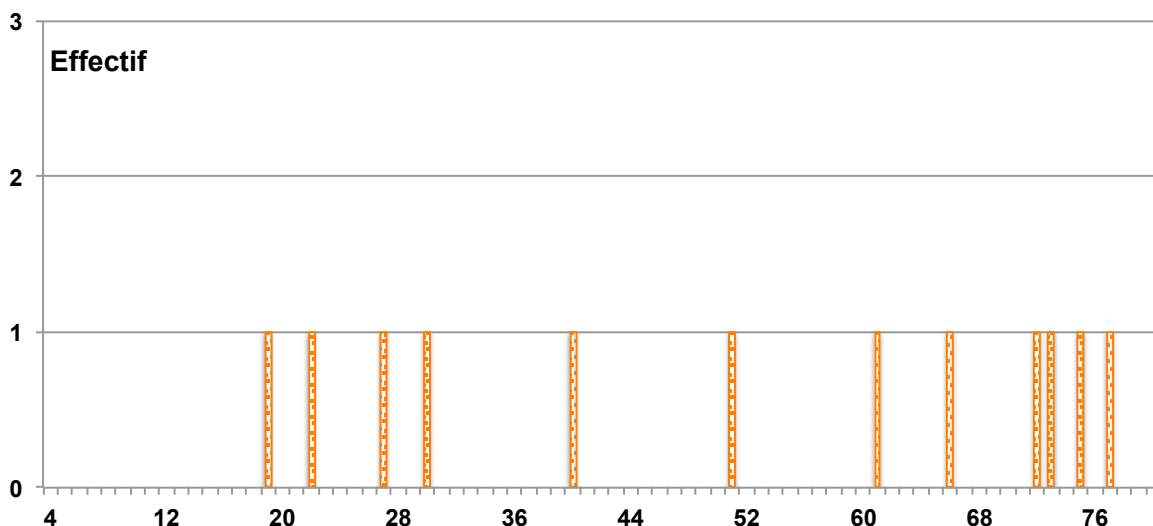


Figure 21. Structures taille / densité des brochets capturés dans les 6 stations d'étude prospectées en novembre 2014, puis juillet 2015 ; l'effort d'échantillonnage est de 4 854 m<sup>2</sup> de filet dont 2 278 en automne et de 2 134 m<sup>2</sup> prospectés à l'électricité

La moitié des brochets échantillonnés en été et les trois-quarts de ceux qui l'ont été en automne ont été capturés dans une morte. La totalité d'entre eux ont été pris à proximité de branchages immergés ou d'herbiers d'hydrophytes non colmatés.

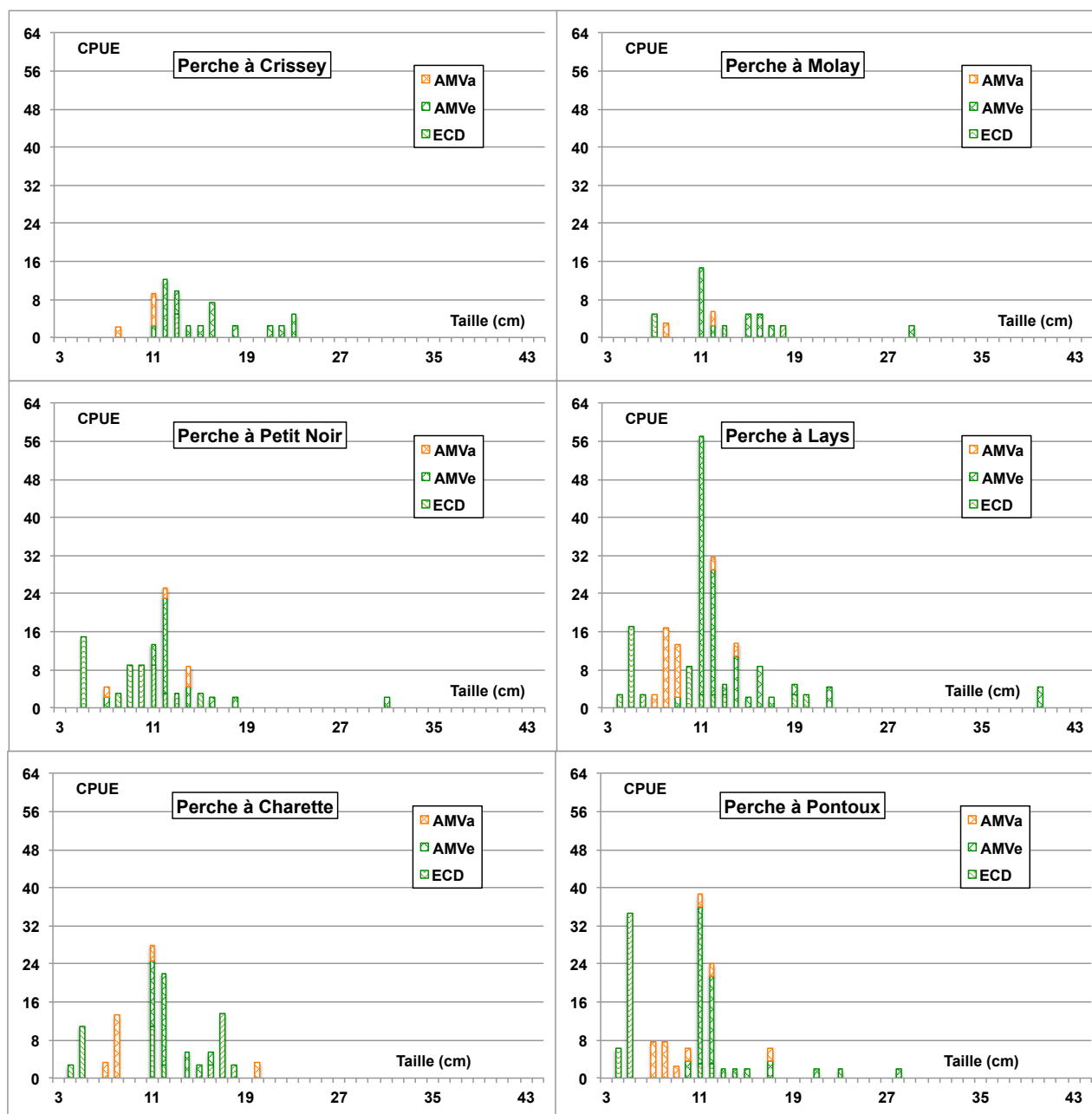
Enfin, la quasi absence de juvéniles de l'année dans les captures de chacune des deux campagnes montre que la connectivité du chenal et des zones humides est problématique, au moins durant les années dont l'hydrologie printanière est moyenne à faible. En effet, les zones de fraie et surtout de nurseries les plus efficaces pour la production de 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.

### La perche

Les populations de perche échantillonnées sont dans la plupart des cas équilibrées puisqu'elles comptent plusieurs classes d'âge (fig. 22). Les densités de juvéniles et d'immatures sont assez soutenues pour des systèmes d'eau courante, surtout dans les stations de Lays et de Charrette, mais sans y être exceptionnelles. En revanche, les adultes de grande taille sont rares sur l'ensemble des 6 stations.

Les perches se répartissent majoritairement dans le chenal plutôt que dans les mortes. Elles ont été essentiellement capturées à proximités des herbiers et des branchages immergés.





**Figure 22. Comparaison des structures taille / densité des perches capturées dans les 6 stations d'étude prospectées en novembre 2014, puis juin / juillet 2015**

CPUE = nombre de Capture par Unité d'effort c'est à dire pour 1000 m<sup>2</sup> de filets standard tendus en automne (AMVa), autant en été (AMVe), ainsi que pour 10 ares prospectés à l'électricité en été (ECD)

### ***Le sandre***

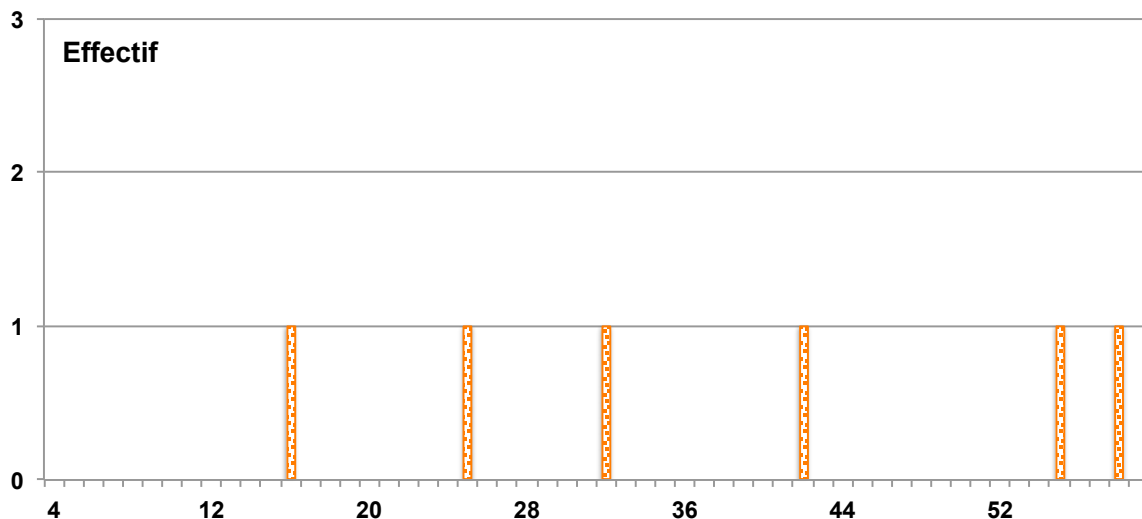
Les densités de sandre observées dans le Doubs basal sont très faibles. L'échantillon capturé sur les 6 stations ne comprend que 6 individus dont un juvénile, 3 immatures et 2 adultes de tailles modestes (fig. 23).

Les sandres ont été capturés majoritairement dans le chenal, durant les deux campagnes, et plutôt sur des fonds minéraux. Ces habitats sont aussi fréquentés par les ablettes.

La configuration habitationnelle du Doubs n'est pas favorable à cette espèce, même si elle profite de la tendance au réchauffement. En effet les systèmes latéraux d'eau calme qui lui

sont le plus favorables montrent des tendances au colmatage et à la fermeture (cf. § sur la qualité physique).

Parallèlement, les proies du sandre se trouvent d'avantage dans le chenal dont les fortes vitesses d'écoulement ne sont pas propices à ce carnassier.

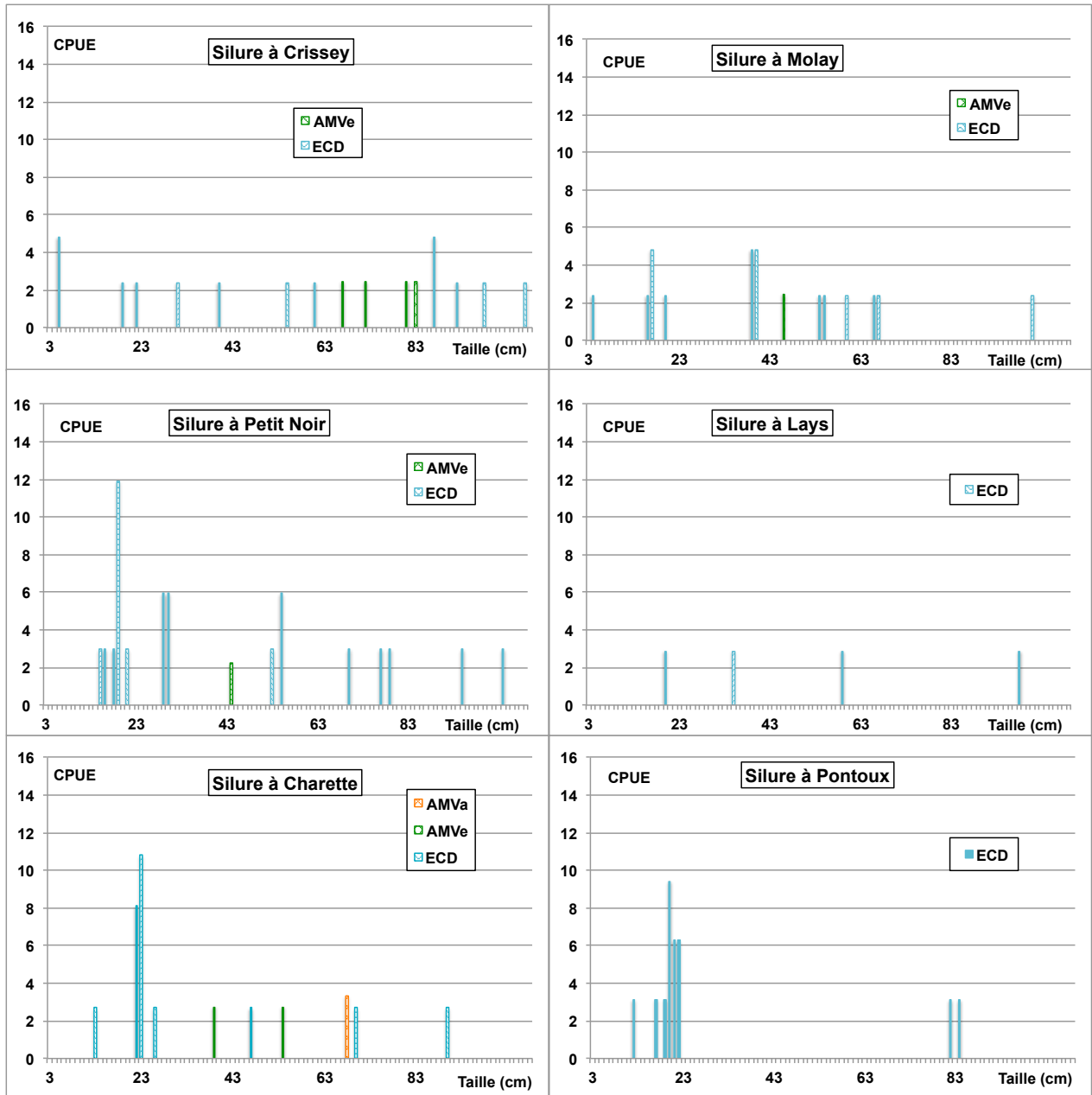


**Figure 23. Structures taille / densité des sandres capturés dans les 6 stations d'étude prospectées en novembre 2014, puis juillet 2015 ; l'effort d'échantillonnage est de 4 854 m<sup>2</sup> de filet dont 2 278 en automne et de 2 134 m<sup>2</sup> prospectés à l'électricité**



### Le silure

Les populations de silures sont denses sur les 6 stations prospectées. En effet les échantillons capturés pour cette espèce comprennent de juvéniles de l'année, des immatures et des adultes (fig. 24). Les secteurs étudiés comportent probablement des individus de plus grandes tailles encore, mais ils sont difficiles à échantillonner à l'électricité comme au filet.



**Figure 24. Comparaison des structures taille / densité de silures capturés dans les 6 stations d'étude prospectées en novembre 2014, puis juin / juillet 2015**

CPUE = nombre de Capture par Unité d'effort c'est à dire pour 1000 m<sup>2</sup> de filets standard tendus en automne (AMVa), autant en été (AMVe), ainsi que pour 10 ares prospectés à l'électricité en été (ECD)

Les individus échantillonnés ont été capturés essentiellement dans le chenal, essentiellement dans les blocs avec ou sans anfractuosités pour les juvéniles et à proximité des branchages immergés pour les adultes. En condition automnale, le silure, thermophile, est très peu mobile et n'a donc que très peu été capturé.

## Bilan sur l'état des peuplements

En 2015, les peuplements piscicoles du Doubs basal sont donc appauvris et déstructurés :

1. Les 6 stations étudiées abritent des biomasses moyennes à faibles (toutes espèces confondues).
2. Les espèces les plus apicales (vairon, ombre, blageon...) ou centrales mais réputées sensibles à la qualité de l'eau et exigeantes quant à leurs habitats (vandoise, toxostome...) sont en régression ou ont complètement disparu.
3. Une partie seulement des espèces centrales d'eau courante sont en abondance conforme aux potentiels (goujon, hotu, chevesne...).
4. Une partie des espèces réputées résistantes et limnophiles mais possédant de fortes exigences trophiques et connues pour pratiquer des migrations journalières « trophiques » (ablettes, brèmes...) sont déficitaires dans la moitié au moins des stations d'étude.
5. Les carnassiers d'eau vive (truites lottes) ont disparu tandis que brochet et sandre sont déficitaires ; seul le silure est abondant sur la totalité des sites.

Ces tendances déjà signalées dès la fin des années 1970, alors que les extractions battaient leur plein (CTGREF 1978), se sont accentuées depuis. En effet la comparaison des résultats obtenus par des protocoles identiques (RHP CSP DR 5 1996 à 1999) ou similaires (Verneaux 1973) montre que les espèces apicales sensibles régressent progressivement tandis que les espèces ubiquistes, parfois allochtones semblent prendre leur place au fur et à mesure de leur disparition. Seul le chabot semble échapper à cette tendance.

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 dont la connaissance nécessite en toute rigueur la prise en compte de la récolte exportée par les pêcheurs. Toutefois, la biomasse et la production piscicoles sont fortement corrélées entre elles (RICKER 1980).

Les déficits ou régressions de certaines espèces, combinées avec les différences spatiales et temporelles des rendements de pêche globaux ou en carnassiers, orientent la recherche des causes de limitation des potentiels ou d'appauvrissement des peuplements vers 2 hypothèses:

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. 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 de ces 2 hypothèses nécessite l'analyse standard et comparative de la qualité physique des 6 stations étudiées.

### 3. Qualité physique du Doubs basal

Les mécanismes dysfonctionnels qui brident ou réduisent les capacités biogènes d'un cours d'eau peuvent procéder soit de perturbation chimique soit d'altération morphologique ou et hydrodynamique. Cependant, les analyses chimiques sont forcément partielles et partiales car les polluants possibles se comptent par milliers. Comme elles sont aussi ponctuelles, il est aussi difficile de prendre en compte la variabilité spatio-temporelle de la qualité chimique de l'eau. Il est donc plus pertinent de commencer par évaluer la qualité physique du Doubs entre Dole et la confluence. Cette démarche a été réalisée aux deux échelles emboîtées qui intéressent les gestionnaires.

D'une part, les mosaïques d'habitats ont été caractérisées et analysées à l'échelle stationnelle, pour chacun des 6 sites de pêche. Cette approche a pour but de vérifier si les écarts mesurés entre les densités piscicoles s'expliquaient par des écarts habitationnels. Elle s'attache également 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 interconnexions 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 aperçu synthétique des connaissances sur les contaminations chimiques sera réalisé à partir des suivis effectués dans l'eau et dans les sédiments à Gevry et à Saunières, dans le cadre du réseau RCS (données Agence de l'Eau RMC).

#### **3.1. 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 démarche 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 méandriformes à très faible pente, la longueur de la station peut parfois dépasser 30 ou même 40 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.

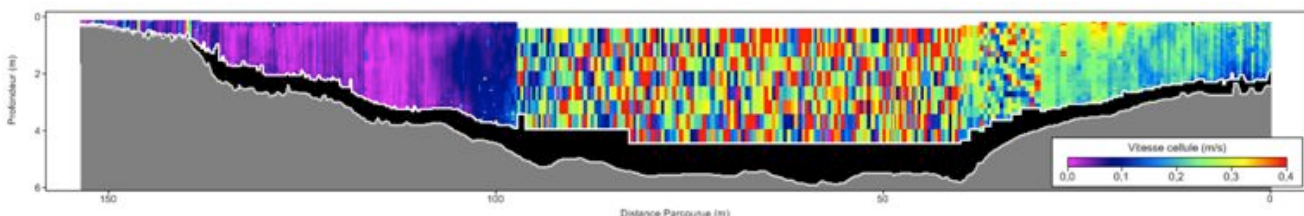
Les capacités piscicoles associées à la morphologie d'une station sont chiffrées globalement, et non pas reconstituées placette par placette, ni fondées sur la définition de *preferenda* spécifiques associées séparément à chaque descripteur fondamental (substrat, profondeur, vitesse). Leur évaluation 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***

Les cartes de profondeur et de vitesse ont été réalisées à l'aide d'un appareil de type « Riversurveyor » couplant un radar « Doppler » M9 avec un GPS SBAS ainsi qu'avec 9 transducteurs dont 8 bifaisceaux orientés à 25° de 1 et 3 Mhz et un monofaisceau vertical de 0,5 Mhz.

Sur chaque station, 60 à 80 de transects de profondeurs ont été réalisés en suivant un cheminement d'allure carré. Les cartes bathymétriques en ont été déduites par intrapolation à l'aide du logiciel du constructeur.

Les vitesses ont été mesurées et enregistrées sur toute la lame d'eau pour de dix à seize transects (fig. 25). Elles ont été complétées sur plusieurs points non navigables à l'aide d'un courantomètre.



**Figure 25. Exemple de transects de mesure de la vitesse de courant en tous points de la lame d'eau (station Lays sur le Doubs).**

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.

Toutes les cartographies ont été réalisées alors que les débits étaient compris entre 22 et 35 m<sup>3</sup>/s. Ces écoulements, très proches du QMNA5, qui vaut 15 m<sup>3</sup>/s, correspondent à un étiage courant.

### Outils indiciaires 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 resitue 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 :

$$\text{Div} = - \sum_{i=1}^n S_i \times [(\log_{10}(S_i))]$$

où : n est le nombre de catégorie (n=var)

$S_i$  est la surface cumulée des placettes appartenant à la i<sup>ème</sup> 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 :

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

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 du Doubs basal

### *Cartes des composantes de l'habitat*

Cette approche de cartographie standard a permis de caractériser la composition des mosaïques de pôles d'attraction des six stations étudiées (exemple sur la figure 26, détail de toutes les cartes en annexe 3). La méthode IAM permet d'analyser séparément les trois composantes fondamentales de l'habitat aquatique puis d'évaluer la diversité et l'attractivité de leurs combinaisons.

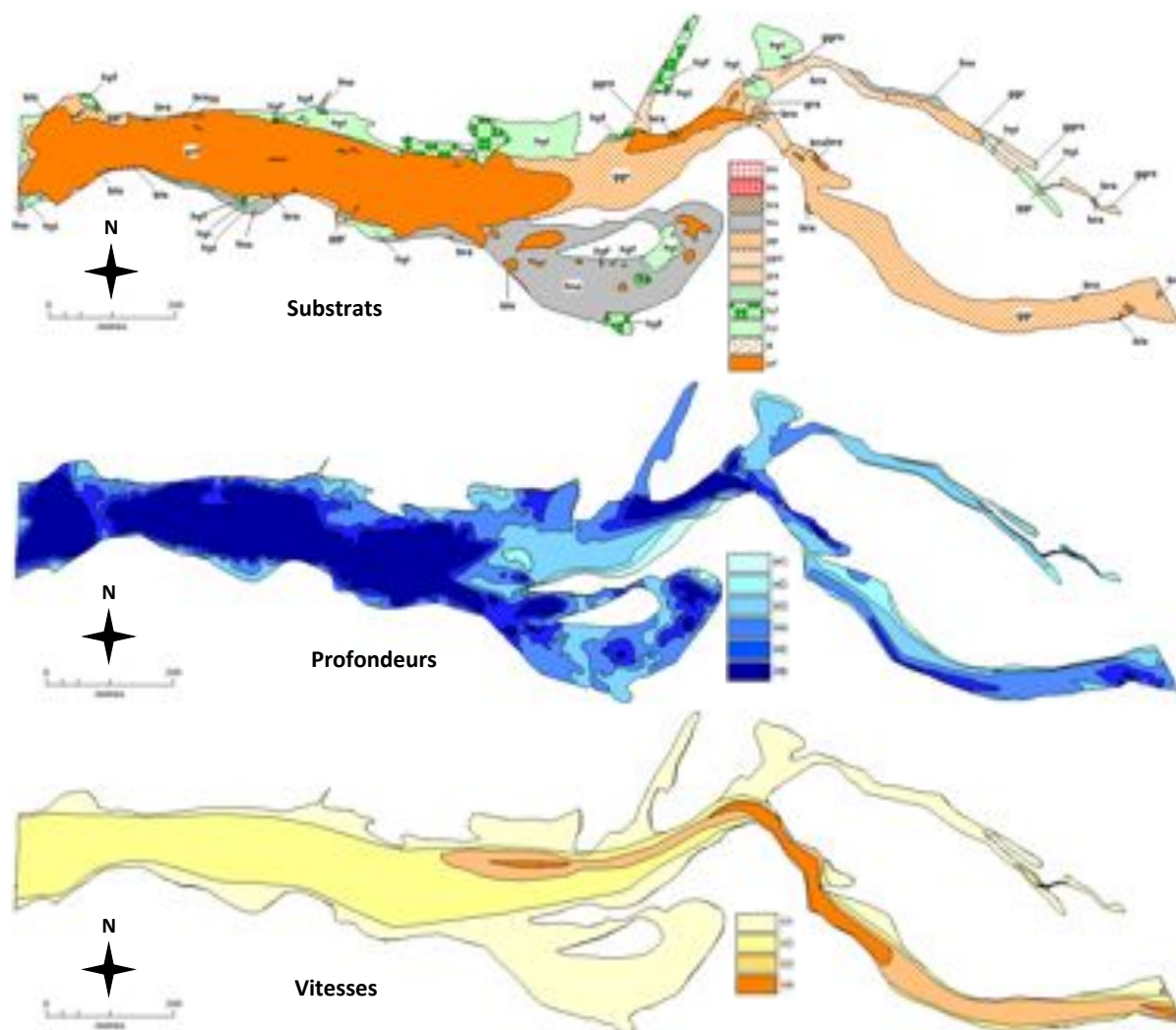


Figure 26. Exemple, pour la station de Lays, des cartes de mosaïques de substrats-soutiens, des hauteurs d'eau et des vitesses de courant ; codes dans les tab. 14 et 15

### *Mosaïques des substrats / supports*

L'analyse et la confrontation des 6 séries de carte montre à la fois des tendances constantes pour au moins 5 stations sur 6 et plusieurs contrastes flagrants d'un site à l'autre (tab. 15). En particulier, sur toutes les stations, sauf Pontoux, fortement surcreusée, les mosaïques de substrats supports sont dominées par des fonds de graviers mélangé de galets.



En fait, là où les extractions n'ont pas mis à nue la couche de marne sous-jacente, les fonds de la station Pontoux sont aussi constitués de graviers et de galets, mais noyé sous de fortes hauteurs d'eau. Or, à partir d'environ deux mètres et demi, la profondeur efface ou atténue l'attractivité du substrats ou du support sous-jacent.

	A	B	C	D	E	F
<b>Classes de substrats / supports (%)</b>						
Blocs avec anfractuosités	0,3	1,4	0,9	0,1	0,8	0,1
Blocs sans anfractuosité	6,5	5,4	1,1	0,2	0,6	0,5
Branchages immergés	0,4	0,2	0,2	0,6	0,7	1,0
Dalle marneuse ou calcaire	0,0		0,6			0,4
Dépôts fins ± organiques	1,8	2,3	4,8	15,9	8,2	5,9
Galets avec anfractuosité	<u>0,2</u>				0,8	
Mélange de graviers galets	<u>72,1</u>	82,4	<u>84,4</u>	28,0	<u>49,3</u>	0,0
Graviers		0,9	4,3	1,0	4,7	
Hélophytes ± denses				0,1		
Hydrophytes flottants	1,4	0,6	0,3	4,3	0,3	3,6
Hydrophytes immergés	7,7	1,0	3,4	10,3	4,8	0,1
Litière organique grossière		0,0		0,0		
Profonds	9,5	5,7		39,7	29,8	88,3
Sables	0,1	0,2	0,0			
<b>Variété</b>	10	10	9	10	8	8
<b>Classes de hauteurs d'eau (%)</b>						
0-5 cm	1,0	3,1	5,0	2,2	4,6	1,4
6-20 cm	7,5	9,4	10,0	5,0	14,2	6,0
21-70 cm	36,8	43,7	42,4	21,9	17,6	2,8
71-150 cm	27,4	25,6	32,0	27,1	25,2	4,3
151-250 cm	17,7	12,5	8,9	15,2	17,9	8,8
>250 cm	9,5	5,7	1,8	28,4	20,5	76,7
<b>Variété</b>	6	6	6	6	6	6
<b>Classes de vitesses de courant (%)</b>						
0- 10 cm/s	34,5	17,2	24,8	44,4	30,1	49,3
11- 40 cm/s	37,8	42,7	31,7	40,2	53,1	50,7
41- 80 cm/s	25,1	31,6	32,8	11,9	16,3	
81 -150 cm/s	2,0	8,3	10,7	3,6	0,5	
> 150 cm/s	0,6	0,1				
<b>Variété</b>	5	5	4	4	4	2

**Tableau 15. Composition des mosaïques d'habitats des six stations d'étude jalonnant le Doubs basal (les valeurs sous lignées indiquent l'existence de pavages)**  
A = Crissey ; B = Melay ; C = Petit Noir ; D = Lays ; E= Charrette ; F = Pontoux

En période d'étiage, ces profonds, dont l'importance croit d'amont en aval constituent en elles-mêmes des refuges dans lesquels l'atténuation du courant rend les abris hydrauliques inutiles. Leur attractivité globale se révèle toutefois plus faible que des herbiers ou des branchages, surtout si les courants demeurent sensibles.

Sur toutes les stations, les substrats-supports les plus attractifs sont absents, comme les sous-berges, ou ultraminoritaires, comme les branchages immergés. En effet, la ripisylve est très réduite, et ses reliques sont perchées, ou ne constituent qu'un couvert horizontal non immergé, dont les racines se retrouvent à plusieurs mètres au-dessus du niveau d'étiage. La densité et la fréquence des bois morts sont étiées, comme celles des branchages et des racines immergées.

Parallèlement, dans 4 stations sur 6 les herbiers d'hydrophytes, immergés ou flottants, sont aussi fortement réduits, sans doute à cause de l'instabilité des fonds qui empêche leur installation et leur développement. Les seules stations qui en comportent des proportions sensibles d'herbiers sont :

- Crissey dont les fonds, parfois pavés, sont plus stables en dépit de l'érosion régressive qui marque cette station ;
- Lays où le chenal est connectif avec des mortes de grandes étendues dont les fonds sont colonisés par les hydrophytes immergés et flottants ;

Le manque d'extension et d'attractivité des pôles végétaux est renforcé par l'absence presque systématique de ceintures hélophytiques, y compris dans les mortes connectives. Cet important déficit traduit l'absence de fonctionnalité de la frange humide.

De même, la répartition uniquement marginale des dépôts fins plus ou moins organiques indique l'importance du niveau d'énergie maintenu dans le chenal en crue. Seules les mortes connectives constituent des abris hydrauliques fonctionnels pour les poissons, mais la plupart d'entre elles s'avèrent très envasées par ce processus de piégeage latéral des dépôts fins.

Enfin, comme la confluence de chacun des affluents collectés par le Doubs a été sur-élargie et incisée, leur influence rhéologique sur le Doubs est désormais nulle en étiage, y compris pour les principaux affluents. La simplification de leur morphologie a ainsi réduite fortement l'attractivité biogène des confluences de la Loue, de l'Orain, la Sablone, la Charetelle, la Guyotte ...

### ***Mosaïques des profondeurs et des écoulements***

Les mosaïques de profondeurs sont diversifiées pour les 3 stations amont qui comportent des fonds calmes, des plats courants, des fosses de dissipation et des radiers en proportion équilibrés. En revanche, à Lays, à Charrette, et surtout à Pontoux les fonds prennent de plus en plus d'importance en passant d'une gamme de représentativité entre 2 et 10 % (pour les trois stations jurassiennes) à une gamme de 20 à 30 % (Charrette et Lays). Leur proportion dépasse 75 % à Pontoux, transformée en canal uniforme.

Parallèlement, ce gradient d'agrandissement de la représentativité des fonds s'accompagne d'un élargissement du lit mineur résultant à la fois de la chenalisation et des extractions. En étiage les mosaïques de vitesses sont ainsi simplifiées et leur variété passe de 5 en amont à 4 pour les stations médianes puis 2 à Pontoux.

## Évaluation des capacités biogènes liées à l'habitat aquatique

L'analyse séparée des composantes de l'habitat aquatique permet de décrire la morphologie des fonds ainsi que l'hydrodynamique d'une rivière. Cependant, la capacité biogène d'un cours d'eau est *in fine* déterminée par leur association. Par conséquent, les qualités physiques des 6 stations ont été évaluées à l'aide de la méthode IAM qui prend en compte ces multiples combinaisons (tab. 16).

Stations	IAM	IAM%	Var	Div	Systèmes latéraux (mortes ou bras secondaires)		
					Nb	Gain IAM	Commentaire
<b>Crissey</b>	<b>8927</b>	<b>60</b>	104	1,39	2	± 0 %	Aval morte Moutelle très envasé
<b>Molay</b>	<b>7866</b>	<b>52</b>	112	1,33	6	+ 10 %	Aval des mortes envasés ; herbiers uniqts ds les mortes
Petit Noir	5600	36	119	1,37	6	+ 23 %	Mortes en cours d'atterrissement
Lays	7242	44	110	<b>1,43</b>	6	+ 22 %	Herbiers uniquement dans les mortes
Charrette	5333	33	115	<b>1,53</b>	3	+6 %	Sortie de morte-confluence très fortement envasée
Pontoux	2820	17	46	0,73	1	± 0 %	Morte de petite taille (+ 1 complètement oblitérée)

**Tableau 16. Evaluation de la qualité physique des 6 stations étudiées et de la « meilleure » morte associée à chacune d'entre elles à l'aide de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM) et des descripteurs synthétiques de l'hétérogénéité**

**IAM % = rapport à l'optimal ; var = nombre de pôle ; div = diversité des pôles ;**  
**A = Crissey ; B = Molay ; C = Petit Noir ; D = Lays ; E = Charrette ; F = Pontoux**

Suivant cette approche, la qualité des mosaïques d'habitat du Doubs apparaît moyennement à fortement simplifiée puisqu'elle ne varie qu'entre 15 et 60 % du potentiel optimal normalement associé à cette gamme de cours d'eau. La valeur de l'habitat aquatique montre aussi une tendance à la décroissance d'amont en aval, ou plutôt de l'amont à l'aval des anciennes fosses d'extraction.

Selon cette optique, la station de Lays, fortement élargie et creusées au moment des extractions pourrait être en cours de réajustement grâce aux bancs de galets de graviers provenant de l'érosion latérale et transportés par le Doubs. Néanmoins, comme dans le cas de 3 des 5 autres stations d'étude, les mortes associées à ce site confortent la qualité de ses mosaïques d'habitat (tableau 16).

A cette échelle, les mortes apportent surtout une plus grande diversité de substrats, en particulier des herbiers d'hydrophytes et des dépôts fins à tendance organique apportant, pour les premiers, des caches, mais aussi, dans les deux cas, des ressources alimentaires qui font défaut dans la plupart des chenaux, sauf peut être pour la station la plus amont (Crissey).

Cependant, les mortes servent aussi d'abris hydrauliques au moment des crues, et pour certaines d'entre elles de refuge thermique au moment des étiages en tamponnant les températures extrêmes, d'hiver comme d'été. Ces avantages qui leur confèrent un rôle très important pour la fraie de certaines espèces et pour le développement de la plupart des alevins. Ces fonctionnalités s'inscrivent toutefois à l'échelle plus large des tronçons (cf. § sur la qualité des mosaïques de biotopes).

Même lorsque les stations sont connectées à plusieurs mortes, celles-ci sont souvent partiellement ou complètement envasées. Parallèlement les mosaïques d'habitats du chenal apparaissent très peu attractives par manque de branchages immergés et d'herbiers d'hydrophytes immergés.

En outre, pour les 5 stations aval selon les pêches de novembre 2014 et pour les 4 stations aval d'après les pêches de l'été 2015, les biomasses capturées sont fortement corrélées avec l'évaluation de la qualité physique fournie par l'IAM (fig. 27 et 28). Pour ces stations, on en déduit qu'au moment des pêches, les densités piscicoles étaient surtout limitées par la mauvaise qualité des habitats aquatiques.

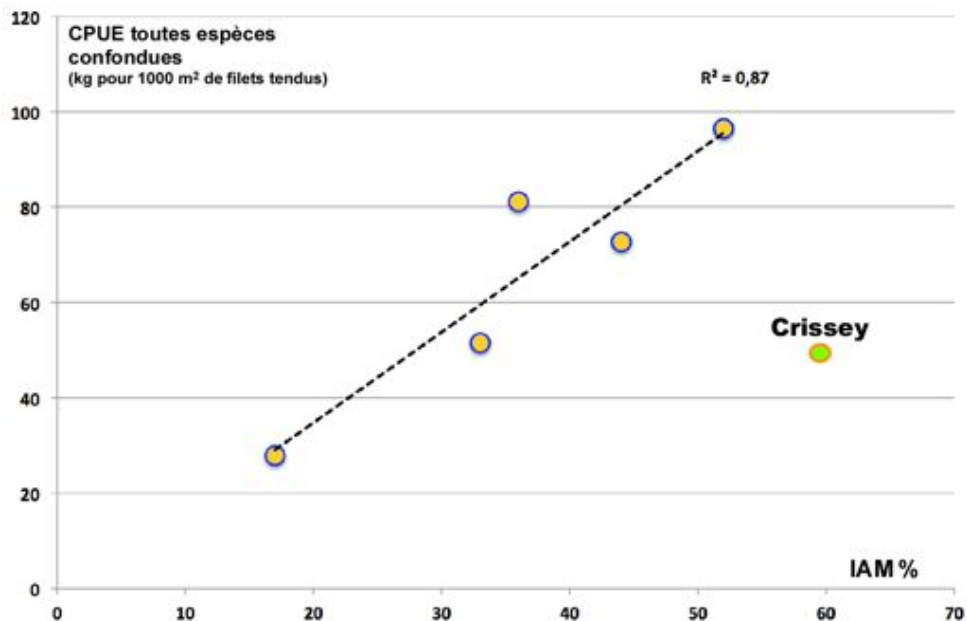


Figure 27. Relations entre la qualité de l'habitat évaluée par l'IAM (sur 100) et les biomasses capturées à l'aide du protocole de pêche standard appliqués en novembre 2014

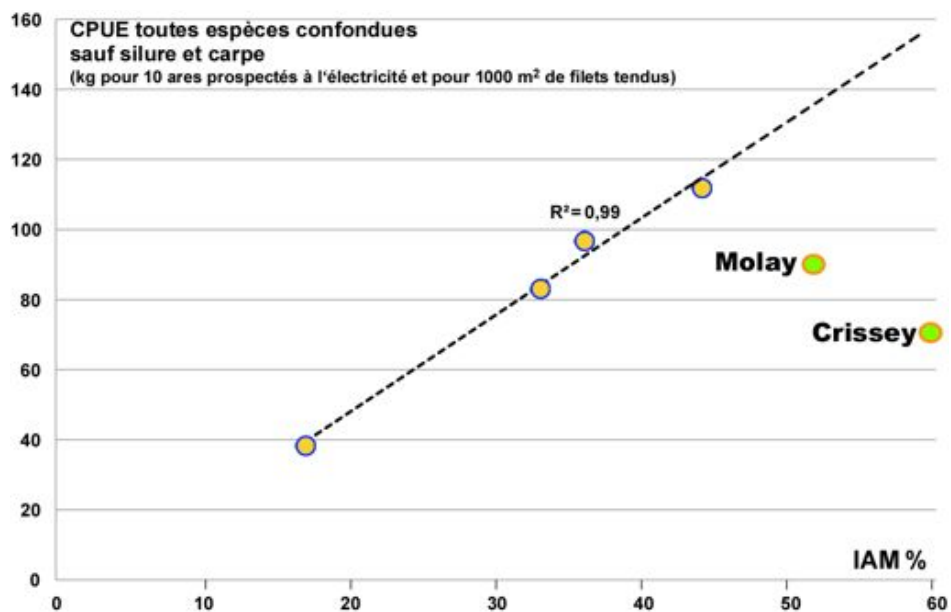


Figure 28. Relations entre la qualité de l'habitat évaluée par l'IAM (sur 100) et les biomasses capturées à l'aide du protocole de pêche standard appliqué en juin/ juillet 2015

En revanche, les biomasses observées à Molay durant l'été 2015 et à Crissey durant l'automne 2014 et l'été 2015 sont en déficit par rapport aux potentiels habitationnels pourtant supérieurs de ces deux sites. Cet écart révèle des altérations de la qualité de l'eau plus importantes au niveau de l'amont du secteur d'études que celles qui sont susceptibles d'exister en aval (cf. § 3.3 sur la hiérarchisation des causes d'altération).

La pollution chimique majeure ainsi décelée pourrait être en relation avec les rejets de la Station d'Épuration de Dole qui se déversent dans le Doubs à l'amont immédiat de la station de Crissey. Leurs impacts pourraient avoir été amplifiés et étendus à la station de Molay à faveur de l'hydroclimat de l'été 2015, particulièrement chaud et sec.

Cette hypothèse ne minimise pas pour autant l'importance de la dégradation des habitats aquatiques. Pour préciser son intensité et afin d'élucider les mécanismes déterminant cette altération de la qualité physique, un diagnostic de la morphologie et de la dynamique du Doubs basal a été réalisé à l'échelle plus globale de la mosaïque des biotopes. A cette occasion, une attention particulière a été portée aux systèmes latéraux d'eau calme et d'eau vive qui émaillent la basse vallée du Doubs.

### 3.2. Qualité des mosaïques de faciès et de biotopes

#### Méthode des tronçons : appels 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. 29).

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

#### Sectorisation et application au Doubs inférieur

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 habitational (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 1/25 000<sup>e</sup> et géologique (pente, dimension et forme du lit, sinuosité, *substratum*...). La sectorisation est ensuite affinée par des reconnaissances de terrain.

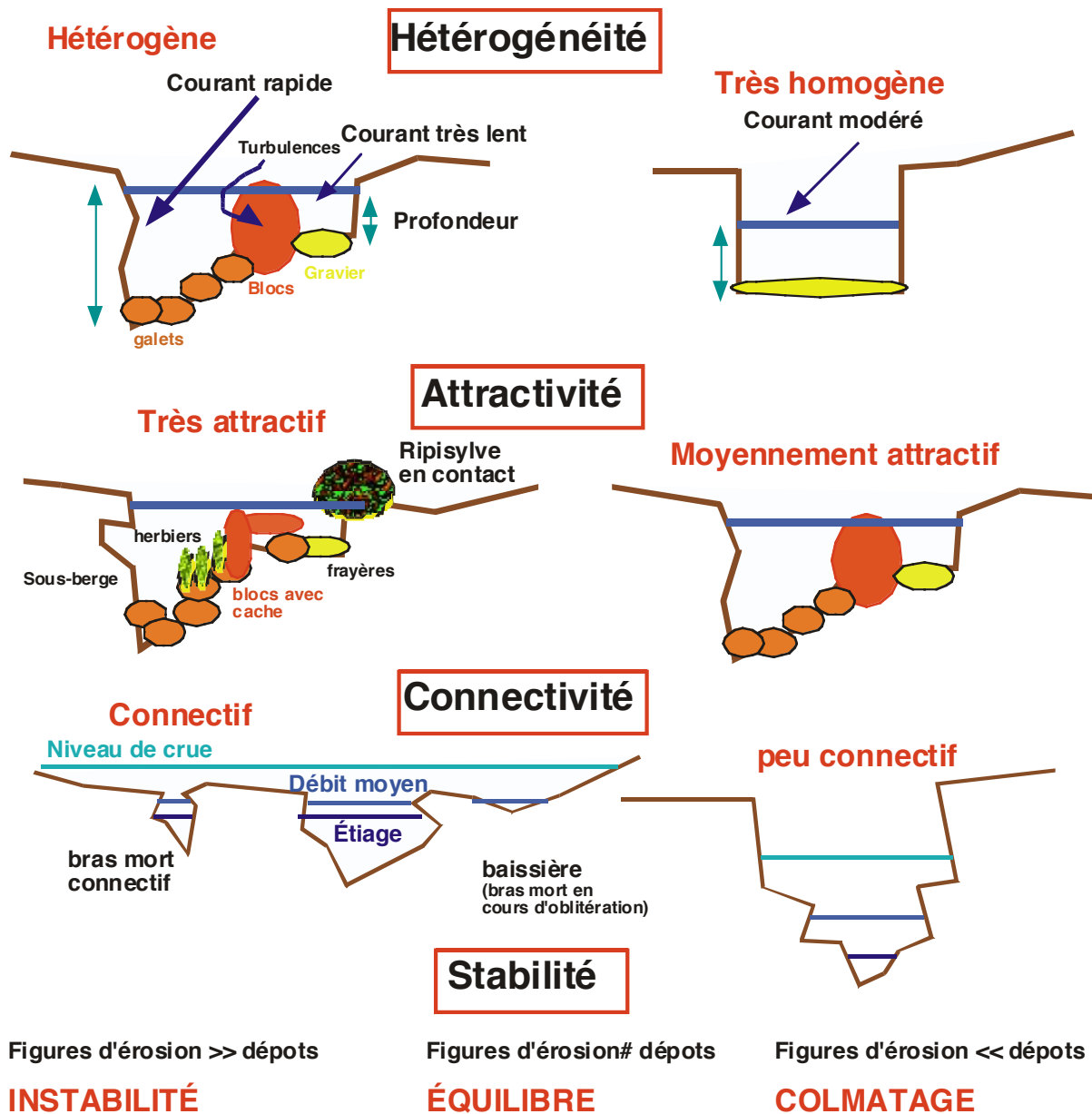


Figure 29. Présentation schématique des composantes de la qualité physique

Entre Dole et Verdun-sur-le-Doubs, 4 grands tronçons hydrodynamiques ont pu être identifiés (fig. 30, tab. 17). Les facteurs discriminant ces 4 unités sont d'ordre hydro-géomorphologiques :

- la pente est globalement faible, mais diminue continûment entre 0,80 et 0,05 ‰ ;
- le débit augmente notablement à la confluence avec la Loue, puis progressivement sous l'influence des apports de la nappe et de confluences mineures successives (Orain, Sablonne, Charetelle, Guyotte)
- 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 ; la variation de l'épaisseur des alluvions siliceuses fait toutefois apparaître des ruptures de pentes nettes quand l'incision atteint la couche marneuse sous-jacente ;
- l'intensité et la nature du transport solide fluctuent en fonction des tendances érosives qui différencient ces différents tronçons (Malavoi 2004).

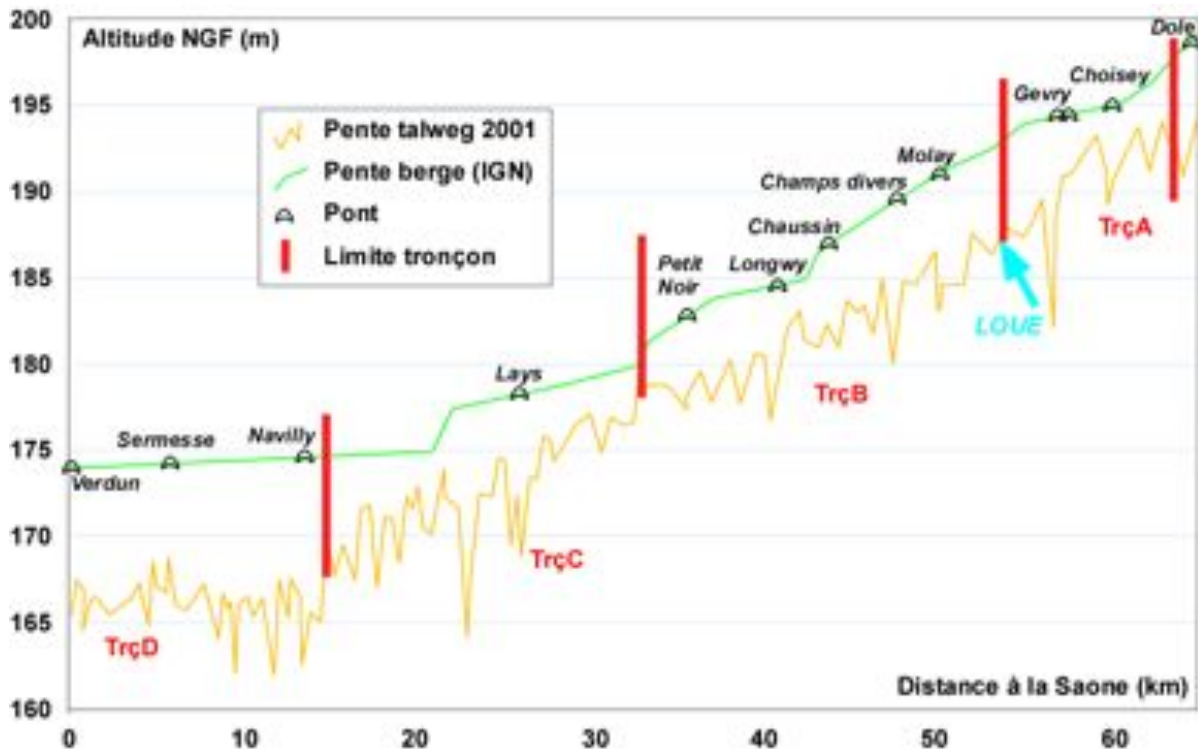


Figure 30. Délimitation des tronçons en fonction de la pente, du débit et des tendances hydrodynamiques (pentes d'après Malavoi 2004)

Trç	Limite amont	Limite aval	Linéaire (km)	Sinuosité	Pente talweg ‰	Pente berge ‰
A	Seuil Crissey	Confluence Loue	10,5	1,31	<b>0,67</b>	0,57
B	<b>Confluence Loue</b>	Av. Pont Petit Noir	19,0	1,48	<b>0,47</b>	<b>0,68</b>
C	Av. Pont Petit Noir	Pont de Navilly	21,4	1,47	0,42	<b>0,26</b>
D	Pont de Navilly	Confluence Saône	14,1	<b>1,25</b>	<b>0,35</b>	<b>0,04</b>

Tableau 17. Délimitation, longueur, sinuosité et pentes des 4 tronçons définis sur le secteur

### Potentiels biogènes et altérations physiques des systèmes latéraux

L'application de la méthode tronçon nécessite l'évaluation de la capacité biogène d'un échantillon des systèmes latéraux et annexes de chaque tronçons. Dans le cas du Doubs basal, très altérés, ces systèmes déterminent la valeur écologique relictuelle des différents secteurs. Aussi ont ils été analysés dans leur quasi totalité.



Une grille d'évaluation standard a ainsi été appliquée à plus de 110 systèmes latéraux d'eau calme (tab. 18-19). Les parties aval des affluents ont été décrites synthétiquement à l'aide des grilles du protocole « Tronçon », sauf quand ils étaient à sec, auquel cas une note nulle leur était décernée. Cette approche a permis d'attribuer une note d'aptitude biogène à chacun des systèmes latéraux (ann. 4, fig. 28-31-36-39, tab. 20).

<b>Hydrologie / humidité estivale</b>		<b>Interconnexion</b>	
En eau dont zones > 80 cm	20	Avec autre morte	20
En eau dont zones > 20 cm	10	Avec baissière	10
En eau mais profondeurs < 20 cm	5	Avec fossé	5
A sec	1	Aucune	0
<b>Connexion aval</b>		<b>Envasement</b>	
Permanente	20	Aucun	20
Temporaire fréquente	10	Faible et ou moyen quelques points	10
Exceptionnelle	5	Moyen généralisé ou fort ponctuel	5
Aucune	0	Intense et généralisé	0
<b>Alimentation</b>		<b>Frange tampon</b>	
Permanente et supérieure à EVP estivale	20	Complète, large, essences adaptées	20
Permanente mais inférieure à EVP	10	Incomplète mais large et adaptée	10
Exceptionnelle ou intermittente	5	Incomplète et peu large ou inadaptée	5
Aucune	0	Incomplète peu large et déséquilibrée	0
<b>Morphologie</b>		<b>Substrats</b>	
Pentes douces ou étagées majoritaires	20	Mixtes équilibrés biogènes (ggr/hyi/hyf/hel)	20
Pentes douces ou étagées minoritaires	10	Deux substrats biogènes parmi 4	10
Berges abruptes dominante sauf poche	5	Un seul substrat biogène parmi 4	5
Berges abrupte et profil en long régulier	0	Totalement envasé ou à sec	0

**Tableau 18. Critères d'évaluation des capacités biogènes des systèmes latéraux d'eau calme**

Après application de cette grille d'évaluation un score de capacité biogène peut être calculé. On en déduit une cotation de la qualité biologique ainsi qu'une tendance évolutive probable pour chaque système latéral d'eau calme étudié.

Qualité	Scores	Capacités biogène	Tendances évolutives
<b>Classe A</b>	160 120	Très biogène	Pérenne ou dynamique
<b>Classe B</b>	119 90	Biogène	Risque d'atterrissement
<b>Classe C</b>	89 60	Moyennement biogène	En cours d'atterrissement
<b>Classe D</b>	59 20	Peu biogène	Risque d'assèchement
<b>Classe E</b>	19 0	Très peu biogène	Assèchement régulier en étiage

**Tableau 19. Classe de qualité biologique des systèmes latéraux d'eau calme (bras mort, noue baissières, mares, fossés....)**

## Qualité physique globale des tronçons du Doubs basal (ann. 5 et 6)

### *Tronçon A : de Dole à la confluence de la Loue (fig. 31-32-33)*

Sur ce tronçon, la qualité physique globale du Doubs est inégale et contrastée.

Dans la partie amont, la sinuosité résiduelle, le transport solide non déficitaire et la fréquence des mortes connectives soutiennent l'hétérogénéité. La fréquence, même limitée, des herbiers d'hydrophytes et des bois morts immergés se traduit par une attractivité relative malgré l'absence de cache de berge. Le pavage des galets sur les secteurs les plus courants limite toutefois le nombre d'anfractuosités et d'abris de petite taille pour les espèces rhéophiles.



**Figure 31. Mosaïque d'écoulement diversifiée dans le bras secondaire vif du Doubs à Gevry (G8) ; la berge droite abrupte et plantée de peupliers blancs, surplombe le niveau d'étiage de 2 à 3 m.**

En revanche, l'incision induite par l'érosion régressive limite fortement la connectivité latérale. Cet enfoncement du lit perche la ripisylve et contribue à sa banalisation. Surtout, l'abaissement conjoint du niveau d'étiage des nappes d'accompagnement accélère l'atterrissement des mortes. Ces systèmes latéraux constitués d'anciens méandres rescindés sont pour la plupart connectifs ou subconnectifs par l'aval, mais fortement à très fortement envasés.

Parallèlement, la connectivité longitudinale de ce tronçon est entravée par le barrage de Crissey, infranchissable par les poissons. Enfin les enrochements jointifs qui corsètent les berges du Doubs sur une grande partie du secteur limitent encore les capacités biogènes de la rivière.

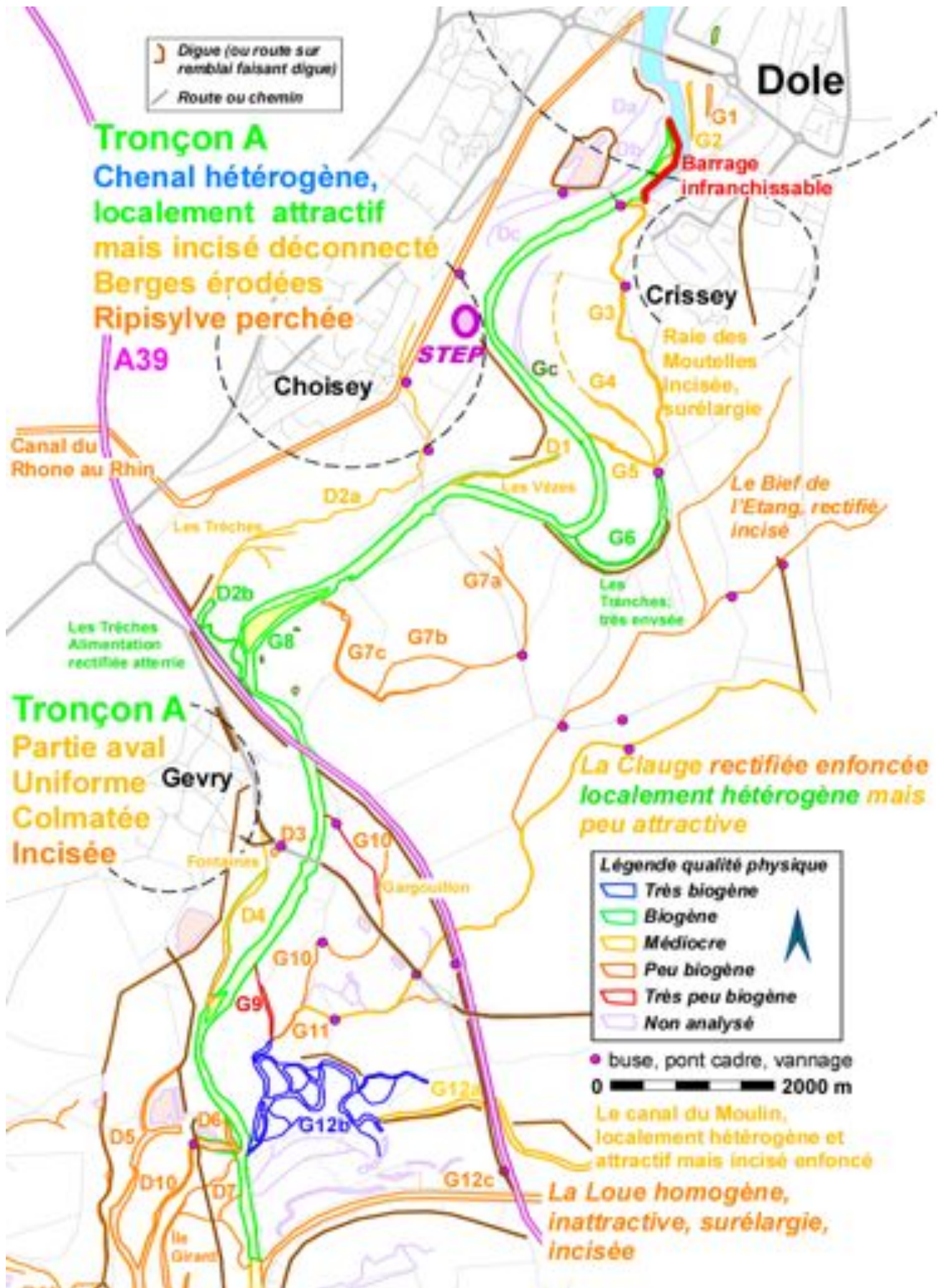


Figure 32. Carte de la qualité physique du Doubs entre Dole et la confluence de la Loue

Dans la partie entre l'aval du pont de Gevry et la confluence avec la Loue, le lit du Doubs est homogène et rectiligne en plus d'être fortement enfoncé. L'étalement de la lame d'eau d'étiage uniformise les écoulements. Les fonds et surtout les bordures sont colmatés, soit par des fines soit par des algues.



**Figure 33. Le Doubs uniformisé et colmaté entre Gevry et la confluence avec la Loue**

Les capacités biogènes de ce secteur sont tout de même soutenues localement par sa connectivité avec l'ancienne confluence de la Loue. Celle-ci est constituée d'un réseau de bras morts et courants, désormais alimenté par la Clauge et par le canal du Moulin qui dérive une petite partie de la Loue. Même si il est globalement enfoncé, ce système latéral complexe demeure très diversifié et il est complètement connectif avec le Doubs

En revanche, les mortes noies et baissière de la Réserve de l'île du Girard, peu connectives ou complètement déconnectées, sont en cours d'atterrissement accéléré (D5, D6, D7). Un peu plus amont, l'ancien bras du Gargouillon (G10) et la Morte des Communaux (G9) sont eux aussi en train de se fermer complètement.

La Morte des Fontaines (D4), si elle bénéficie encore d'arrivées phréatiques qui la maintiennent en eau en étiage durant les périodes sèches, est elle aussi perchée. Elle n'est que semi-connective en hautes et moyennes eaux, et seulement par l'aval (hors crues exceptionnelles). Elle en résulte fortement envasée.

***Tronçon B : de la confluence de la Loue au pont de Petit Noir (fig. 34-35-36-37)***

Ce tronçon est localement hétérogène du point de vue des écoulements qui sont ponctuellement diversifiés par les bancs de galets et de graviers. Ces dépôts, lorsqu'ils sont différenciés par des points durs ou des embâcles, induisent localement la formation de bras secondaires (fig. 34, cf. aussi fig. 37 plus bas).



Figure 34. Bancs de graviers différenciés diversifiant les écoulements (aval pont de Longwy)

Néanmoins, l'ensemble de ce secteur ne bénéficie que d'une qualité physique médiocrement biogène (fig. 35a-b). En effet, les secteurs diversifiés alternent avec des portions beaucoup plus homogènes dont l'extension est majoritaire (fig. 36).

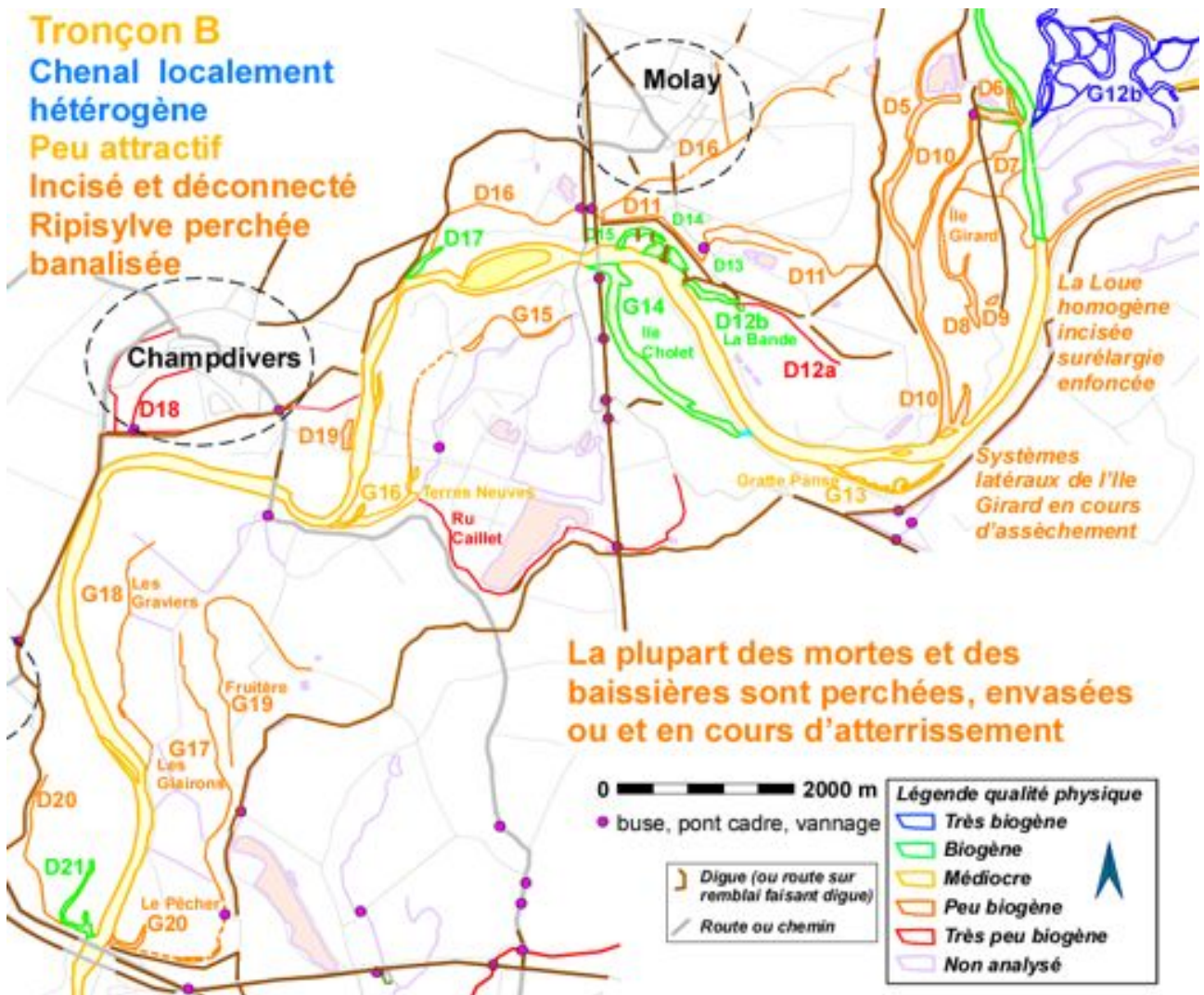


Figure 35a. Carte de la qualité physique du Doubs entre la confluence de la Loue et Petit Noir (partie amont, de la confluence Loue au pont de Pesieux)

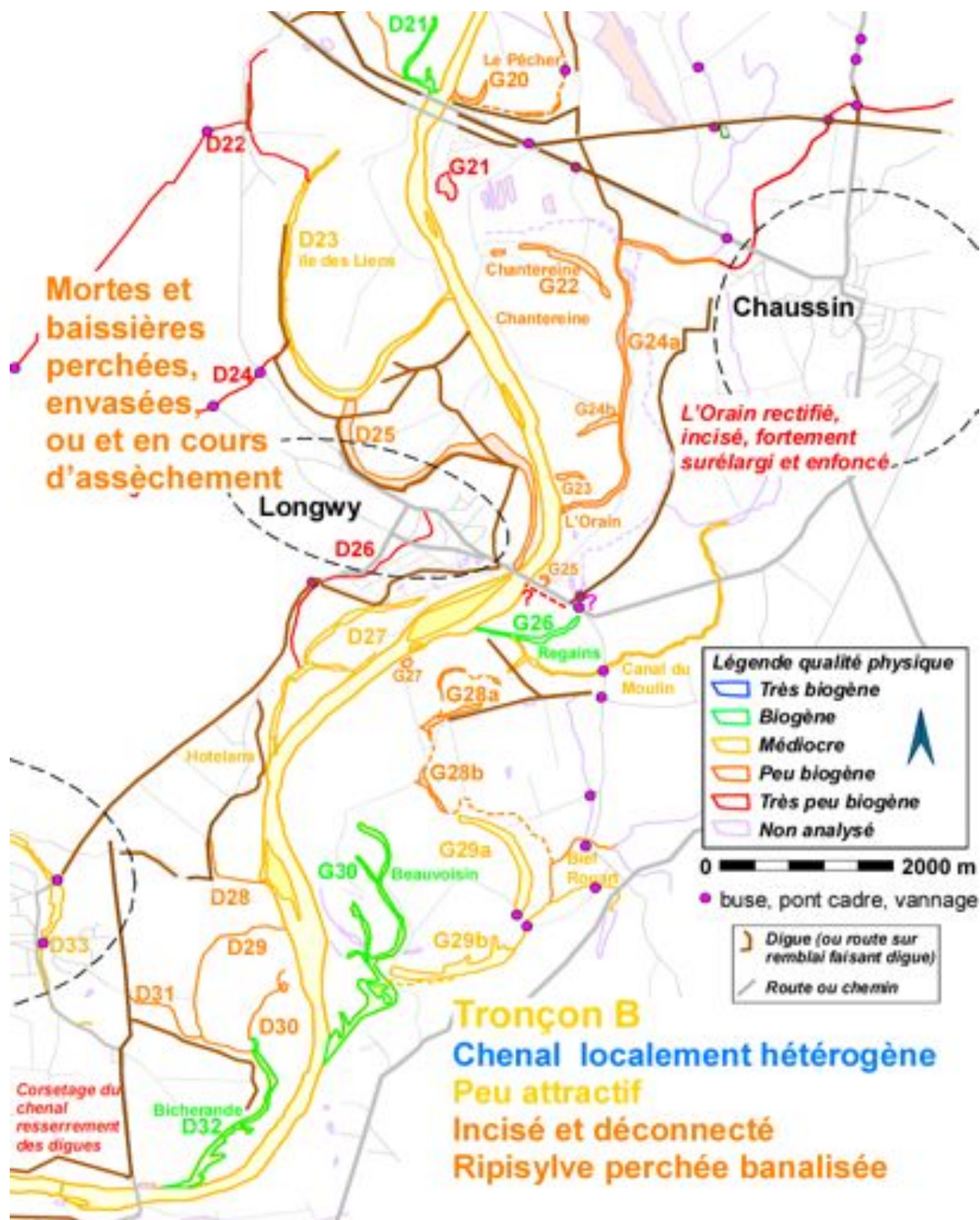


Figure 35b. Carte de la qualité physique de la partie aval du tronçon B (du pont de Peseux à l'aval du Pont de Petit noir)

En outre, l'attractivité de l'ensemble du tronçon est limitée par la faible fréquence et par l'extension limitée des herbiers d'hydrophytes et des branchages immergés. Quelques caches ou abris hydrauliques sont fournies par de rares embâcles en bordure ou au centre du chenal (fig. 37).



**Figure 36. Prédominance des secteurs homogènes et inattractifs dans le tronçon B**



**Figure 37. Embâcle central diversifiant les processus d'érosion / sédimentation**

Si la fréquence et l'amplitude des bancs de galets montrent une tendance récente à l'exhaussement des fonds, le Doubs reste sur ce tronçon fortement incisé. L'abaissement de la lame d'eau d'étiage induit par l'enfoncement et l'élargissement du chenal entraîne des tendances à l'atterrissement voire à l'assèchement des mortes même connectives et des baissières associées.

Les affluents, dont le lit mineur a été également rectifié et sur élargi, sont eux aussi victimes de ce syndrome d'incision. La Loue et l'Orain, s'ils restent connectifs, en résultent uniformisés et banalisés (fig. 38 et 39).



**Figure 38. Etalement de la lame d'eau de la Loue à sa confluence, incisée et sur-élargie**



**Figure 39. Assèchement de l'Orain, très enfoncé, en amont immédiat de sa confluence**

Enfin, si les dépôts de galets signent une tendance, récente, à la sédimentation dans le chenal, le décapage systématique des berges et leur désagrégation ou éboulement fréquent montrent que les tendances érosives persistent. Le surélargissement du lit qui en résulte entraîne une augmentation du débit cantonné dans le chenal avant débordement.



**Tronçon C : du pont de Petit Noir au pont de Navilly (fig. 40-41-42)**

Dans le tronçon C, le chenal du Doubs bénéficie d'une qualité physique globale médiocre (Fig. 40a et 40b). Cette tendance moyenne résulte de configurations contrastées d'importances inégales. Ainsi, les rares secteurs hétérogènes, composés d'îles et de bras (fig. 41), alternent avec de longs linéaires très uniformes (fig. 42). Dans ce dernier cas, majoritaire, les fonds de gravier galets non triés déposés en large lentille sont baignés de courant moyen sous des hauteurs d'eau faibles.

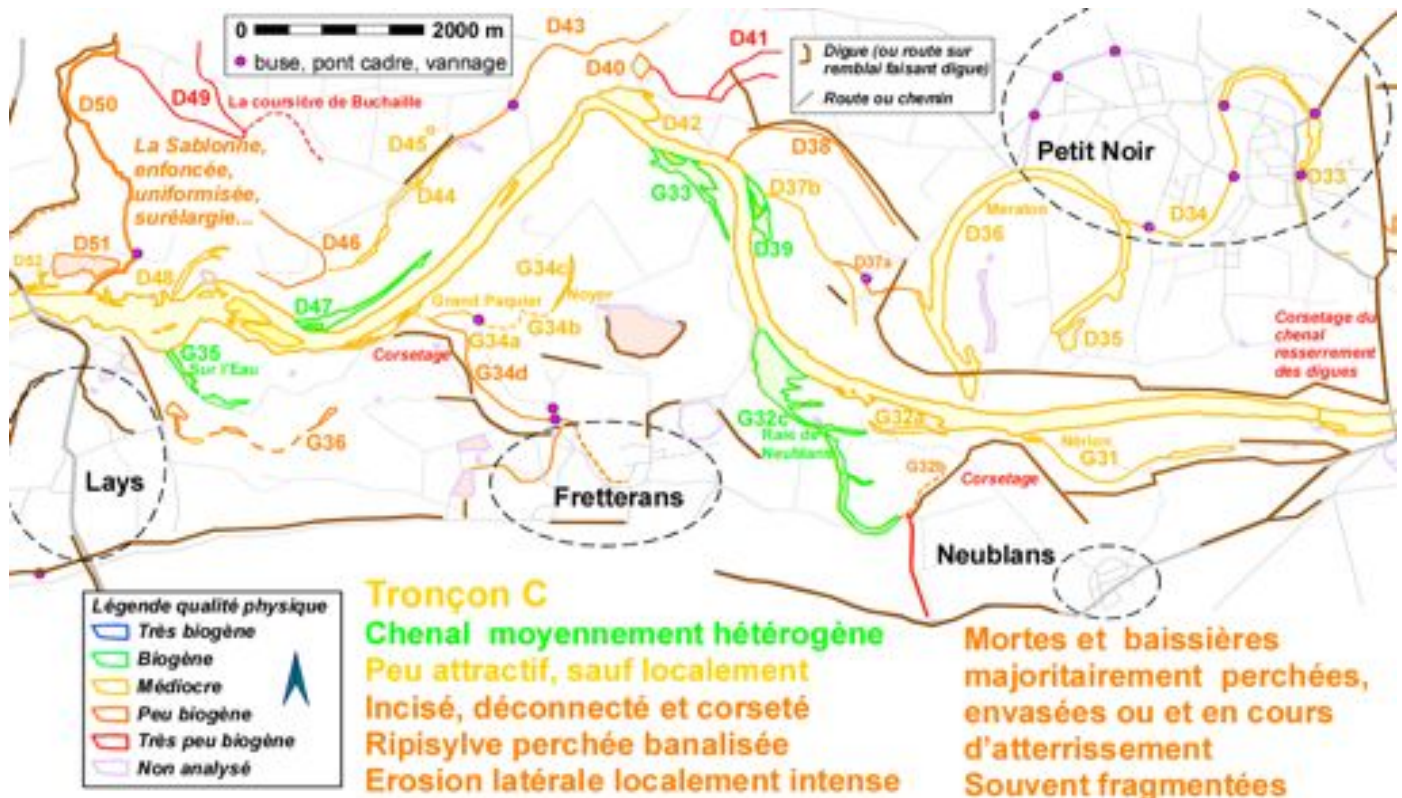


Figure 40a. Carte de la qualité physique du tronçon C, partie amont, (de l'aval du Pont de Petit noir au pont de Lays)

Comme dans le tronçon amont, les caches et abris hydrauliques sont rares. Les herbiers sont cantonnés à quelques bras secondaires courants tandis que la fréquence des embâcles immergés en étiage est inférieure à trois au kilomètre. Les berges décapées et érodées n'offrent aucune cache. Quelques abris hydrauliques épars sont toutefois ménagés par d'anciens enrochements de berge qui, contournés par l'érosion, se retrouvent au centre du chenal et forment des îlots.

Dans la partie aval de tronçon, l'incision dépasse 3 mètres. La plupart des baissières sont ainsi perchées et déconnectées tandis que les mortes sont soit déconnectées, soit envasées. Dans la partie amont, quelques systèmes latéraux restent tout de même très humides, sinon en eau y compris en étiage estival, grâce à des apports de nappes encore notoires (Raie de Neublans, Sur l'Eau...).

En revanche, la partie aval des affluents, quand elle ne s'assèche pas complètement, apparaît très homogène et complètement inattractive. Les rectifications et curages successifs ont enfoncé leur cours et banalisé leurs habitats

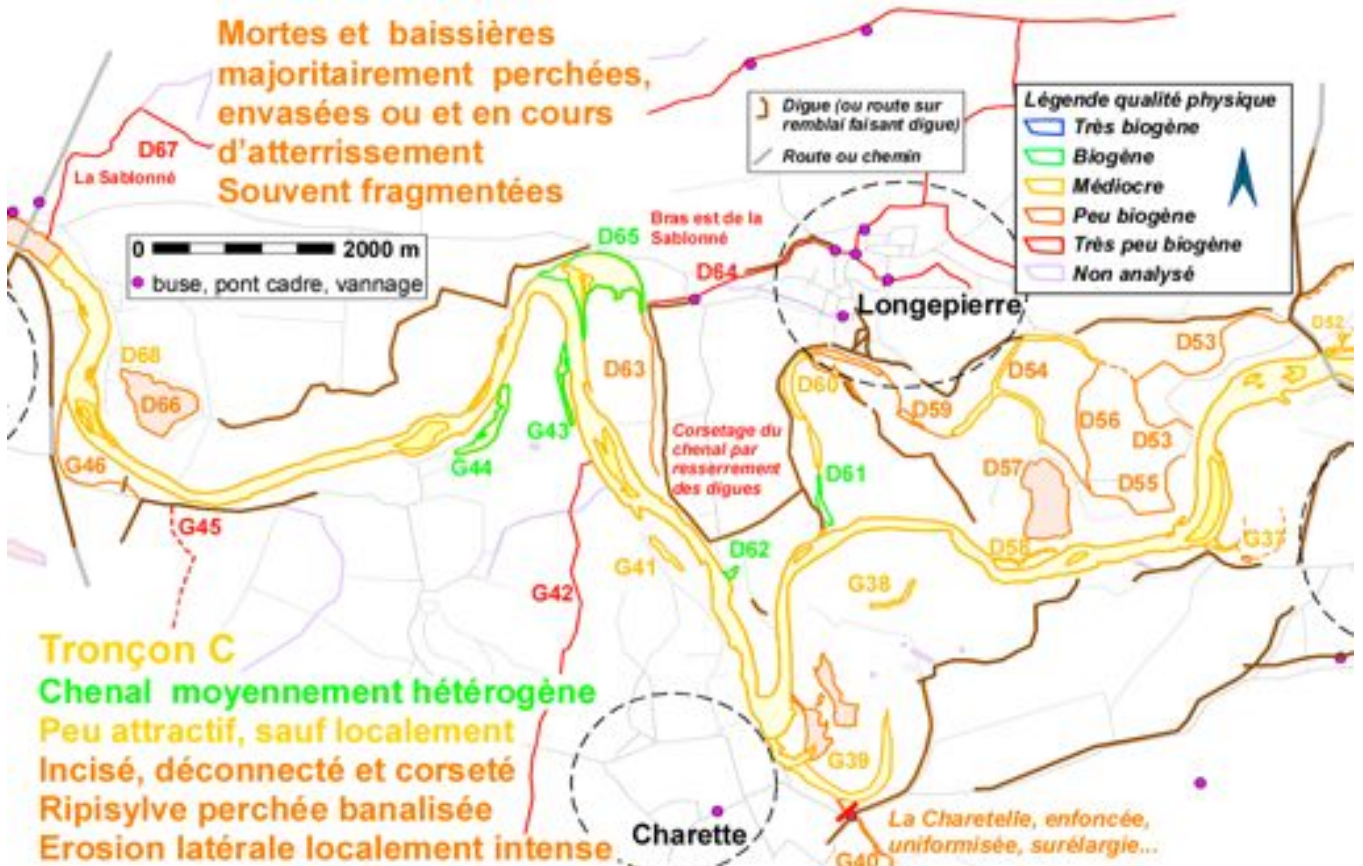


Figure 40b. Carte de la qualité physique du tronçon C, partie aval (de l'aval du pont de Lays à l'amont du pont de Navilly)



Figure 41. Ecoulements diversifiés dans le Doubs à l'amont de Lays



**Figure 42. Portion très homogène du Doubs à l'aval de Petit Noir**

Enfin, sur le plan dynamique, ce tronçon est dominé par de fortes tendances à l'érosion latérale. Les berges sont particulièrement érodées dans les secteurs correspondant à des rescindements de méandres ou lorsque des digues rapprochées corsètent le chenal de très près.

Les matériaux arrachés aux berges sont transportés puis déposés en bancs lenticulaires indifférenciés. Ils sont parfois stockés dans l'intrados de certains méandres à faible rayon de courbure. Dans certains cas, ils donnent naissance à des bras secondaires, qui sont alors biogènes (diversification des mosaïques d'écoulement, implantation d'herbiers d'hydrophytes ...).

Toutefois, en l'absence de point dur ou d'embâcle, ces amas de granulat se déposent en nappes uniformes et participent alors à l'homogénéisation de l'habitat aquatique.

**Tronçon D : du de Navilly à la confluence avec la Saône (fig. 43-44-45)**

La qualité physique du tronçon D est peu biogène (fig. 43). Le chenal surcreusé, transformé en canal profond, est très homogène. Sur les 10 kilomètres de ce linéaire, on ne compte que deux classes de profondeur, et deux classes de vitesse (fig. 44).

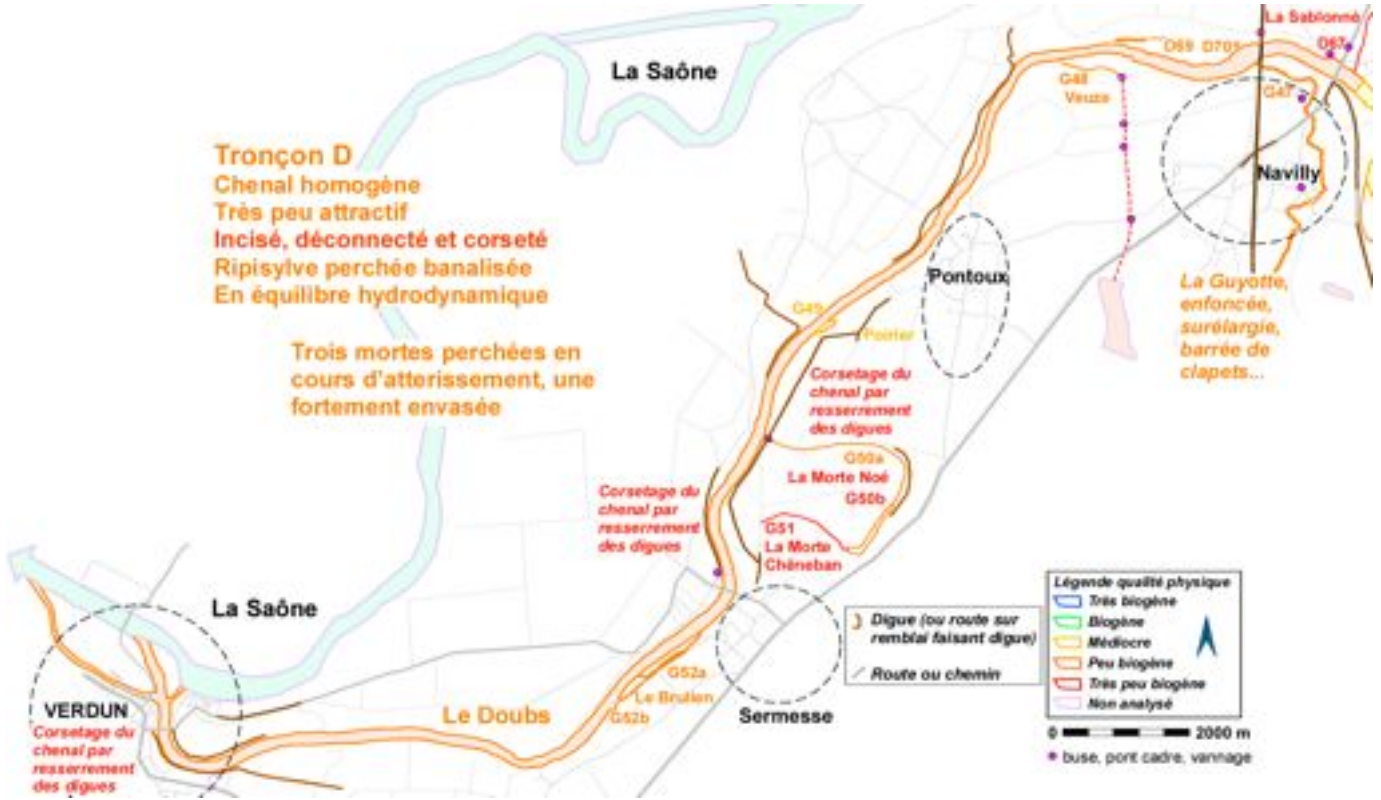


Figure 43. Carte de la qualité physique du tronçon D (du pont de Lays à Verdun-sur-le-Doubs)



Figure 44. Le Doubs à l'aval de Navilly : un canal calme et profond

Sur cette portion du Doubs, caches et abris sont très déficitaires. En effet, la ripisylve est perchée (fig. 45), et les sous-berges inexistantes. La fréquence des embâcles, forcément immergés en eau profonde, est très faible. Quelques abris et frayères à cyprinidés phytophages sont offerts par de très rares banquettes envégétées, souvent associées à un décaissage ponctuel, ou à une reculée relique d'un bras mort désormais oblitéré.



**Figure 45. Le Doubs à l'aval de Navilly : berges hautes mais stables, parfois colonisées par une ripisylve qui tente de s'approcher du niveau d'étiage mais reste perchée**

Les systèmes latéraux sont beaucoup moins nombreux et encore moins connectifs que dans les tronçons amont. Perchés à plus de trois mètres du niveau d'étiage, ils sont tous en cours d'atterrissement (ancien bras secondaire du Brulien, partie amont de la morte de Noe, baissière de la Veuze...) ou totalement asséchés (aval de la Morte de Chênebran).

Les affluents sont également très altérés. La Sablonné sèche complètement en étiage, tandis que la Guyotte, fortement surélargie, est en outre barrée de barrages à clapet qui entravent la circulation des poissons. Par endroits, elle est aussi très envasée.

Sur le plan dynamique, ce tronçon est stable : les berges sont hautes mais stables sur la quasi-totalité du linéaire. Elles sont envégétées, et non décapées par l'érosion. Toutefois, en étiage, la végétation n'est pas en contact avec l'eau. Enfin, les fonds surcreusés ne montrent aucune tendance au comblement.

### **Bilan sur la qualité physique globale du Doubs basal**

Selon les secteurs considérés, le Doubs basal présente une qualité physique globale altérée à très altérée (tab. 20). Pourtant, les 4/5<sup>ème</sup> amont de ce parcours présentent des mosaïques d'écoulement localement diversifiées. Le Doubs y est encore associé à de nombreux systèmes latéraux, contrairement à la partie la plus aval, très uniforme.

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	globale /30600	Classe
<b>DbSA</b>	Barrage Crissey	Confluence Loue	10 460	52	<b>A</b>	35	<b>B</b>	47	<b>C</b>	-12	<b>érosion</b>	1	4 089	<b>B</b>
<b>DbSB</b>	Confluence Loue	Av. pont Petit Noir	19 000	50	<b>A</b>	28	<b>C</b>	44	<b>C</b>	-17	<b>érosion</b>	1	3 432	<b>C</b>
<b>DbSC</b>	Av. pont Petit Noir	Pont de Navilly	21 400	48	<b>B</b>	26	<b>C</b>	46	<b>C</b>	-20	<b>érosion</b>	1	3 404	<b>C</b>
<b>DbSD</b>	Pont de Navilly	Confluence Saone	13 229	25	<b>D</b>	20	<b>D</b>	15	<b>E</b>	-10	<b>équilibre</b>	0,85	574	<b>D</b>

**Tableau 20. Qualité physique globale des 4 tronçons fonctionnels identifiés sur le Doubs**

Sur la plus grande partie du linéaire étudié, les substrats sont constitués ultra-majoritairement de graviers et de galets non triés, déposés en nappe homogène. Dans le chenal, les abris et les caches, très peu fréquents, se limitent à de rares embâcles ou à des amas de blocs anecdotiques résultant de l'éboulement puis du contournement des protections de berges. Les herbiers d'hydrophyte sont cantonnés aux bras secondaires contournant les îles, à l'entrée des mortes, ou, dans le tronçon aval, à quelques minces banquettes résultant de chanfreinage très ponctuel des berges,.

En outre, même sur la partie amont, la connectivité du Doubs basal avec ses systèmes latéraux est limitée par l'incision dont il a été victime. Cet enfoncement généralisé entraîne aussi une tendance à l'atterrissement sinon à l'assèchement des mortes et des baissières dont la capacité biogène s'en trouve altérée (tab. 21).

En effet, les systèmes latéraux sont souvent fragmentés et en partie isolés (fig. 46). Seule une minorité d'entre eux est connective avec le Doubs. Dans presque tous les cas, leur partie amont est déconnectée et leur alimentation en période sèche est étiq ue ou nulle. Parallèlement, la qualité physique de la totalité des affluents est elle aussi très altérée.

Classe	A	B	C	D	E	nb	A	B	C	D	E	nb
<b>Tronçons Lin</b>	<b>Affluents et anabranches</b>						<b>Mortes et baissières</b>					
<b>A</b>	10,5		4	2		6	1	2	6	8	1	18
<b>B</b>	19,0		1	2		3		7	8	20	4	39
<b>C</b>	21,4			2	2	4		7	19	18	5	49
<b>D</b>	13,6			1	1	2			1	4	2	7
<b>Total</b>	64,5		5	7	3	15	1	16	34	40	12	113

**Tableau 21. Qualité physique des systèmes latéraux associés aux 4 tronçons du Doubs basal**



**Figure 46. Remblai rudéral fragmentant une baissière (G17, les Glairons).**

Enfin, si les 4/5<sup>èmes</sup> amont du Doubs basal sont émaillés de dépôt de graviers galets indiquant localement une rehausse relative des fonds, le chenal y est encore fortement enfoncé (fig. 47). Corrélativement, sur ces tronçons amont et médians, des tendances prononcées à l'érosion latérale confortent ou aggravent le surélargissement du lit. Le tronçon aval, malgré son enfoncement, reste stable, en relation avec sa très faible pente ainsi qu'avec son important déficit en transport solide.



**Figure 47. Forte érosion latérale entre Charrette et Longepierre**

### 3.3. Thermographie du Doubs basal (ann. 7)

#### Dispositif d'étude et de suivi thermographique

Dans chacune des 6 stations d'étude, de 4 à 6 sondes thermiques ont été implantées à raison de 2 dans le chenal et d'une par morte connective associée (cf. fig. 4). Sur chaque point un thermistor enregistrant la température une fois par heure durant une à deux années a été implanté de façon à rester immergé en étiage.

Ce dispositif a été conçu pour fournir les données nécessaires aux calculs du niveau typologique ainsi que pour caractériser l'influence de la nappe et des affluents. Il en est aussi déduit une approche synthétique du fonctionnement hydrologique des mortes.

#### Régimes thermiques du Doubs basal et des mortes connectives (tab. 22)

Cette approche montre que la température maximale moyenne des 30 jours les plus chauds du Doubs basal varie entre 23°C durant les années fraîches (typiquement 2014) et 28 °C durant les années chaudes (typiquement 2015). **Il manque encore les données du chenal de la partie jurassienne pour déterminer l'influence de la Loue.** Toutefois, les données acquises sur la partie 71 indiquent qu'en dehors de l'influence éventuelle de cette confluence majeure, la température du Doubs ne varie que très peu tout au long du Doubs basal, ainsi que d'un endroit à l'autre du chenal d'un même site.

Secteurs	2014				2015				
	Chenal1	Chenal2	Morte1	Morte2	Chenal1	Chenal2	Morte1	Morte2	Morte3
<b>Tmm30j</b>									
Crissey				-				24,1	
Molay				-			28,0	22,0	28,1
Petit Noir							26,2		
Lays	23,8	-	25,5	17,6	27,5	27,5	42,6	25,0	
Charrette	23,2	23,2	20,6	25,2	28,2	27,0	27,9	29,5	
Navilly	23,6	23,5	18,9	23,2	27,9	27,8	22,0	28,4	
<b>Tmax</b>									
Crissey									
Molay			29,4					24,0	29,2
Petit Noir							26,7		
Lays	24,4	-	28,6	18,2	28,3	28,5	44,0	26,6	
Charrette	23,5	23,9	21,4	29,1	29,0	28,1	29,0	31,1	
Navilly	23,9	24,0	19,4	25,5	28,2	28,5	22,4	29,0	

**Tableau 22. Température maximale moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds (Tmm30j) et maximale (Tmax) enregistrées dans le chenal et les mortes des 6 secteurs d'étude**

En revanche, les régimes thermiques respectifs des mortes d'un même secteur peuvent se différencier nettement entre eux ainsi qu'avec celui du chenal (fig. 48-49). Ainsi en 2014, la température estivale de l'eau de la morte Sur l'Eau est nettement plus froide que celles du chenal associé ou de la morte voisine du Grand Paquier.



Les écarts thermiques journaliers sont aussi beaucoup plus faibles dans la morte sur l'Eau. Parallèlement, la température de la morte du Grand Paquier est elle aussi plus tamponnée que celle du chenal, tout en restant dans le même registre.

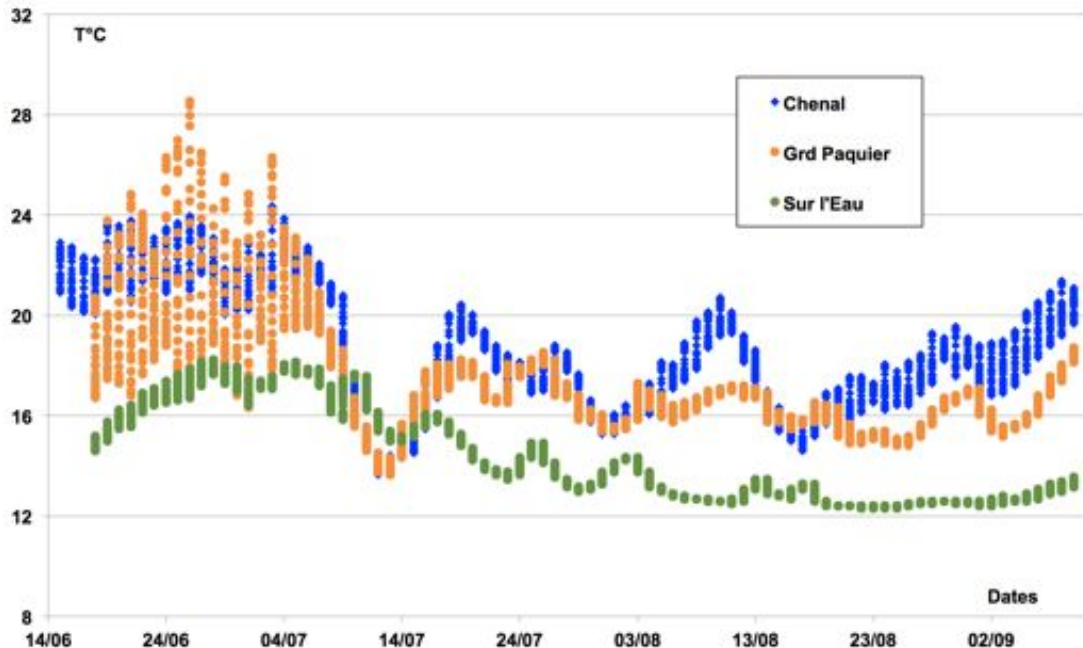


Figure 48. Relevés horaires des températures de l'eau du Doubs (chenal) et de deux mortes connectives entre Fretterans et Lays entre juin et septembre 2014

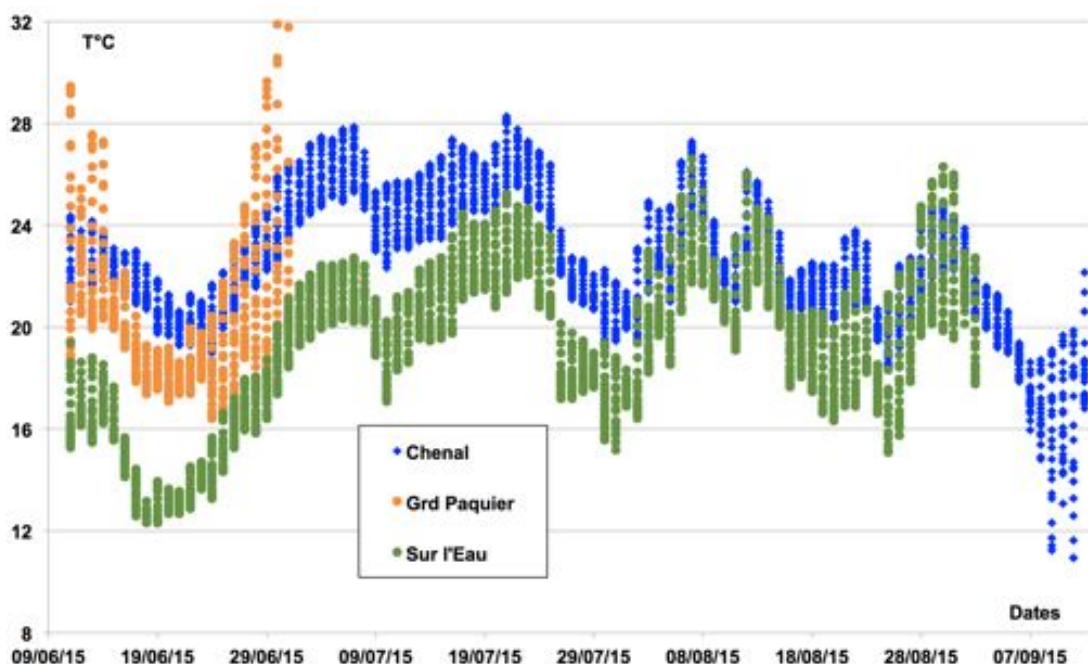


Figure 49. Relevés horaires des températures de l'eau du Doubs (chenal) et de deux mortes connectives entre Fretterans et Lays entre juin et septembre 2015

Cette configuration montre que ces 2 mortes sont alimentées par la nappe d'accompagnement du Doubs, mais que les apports phréatique sont plus importants dans le cas de « Sur l'Eau ». L'évolution des températures observées en 2015 confirme cette hypothèse puisque la morte du grand Paquier s'assèche dès la fin du mois de juin, tandis que la température de Sur l'Eau s'équilibre avec celle du Doubs début août.

### 3. 4. Recherche des causes d'altération

#### Prise en compte de la qualité chimique du Doubs basal

La caractérisation des mosaïques d'habitats et de biotopes, confrontée aux résultats des pêches, révèle que les causes de cette banalisation de l'ichtyofaune du Doubs basal sont également chimiques. En effet l'écart majeur observé entre la biomasse piscicole et le potentiel habitationnel des deux stations amont (Crissey et Molay), dont la qualité physique est pourtant la moins altérée, indique que cette partie du Doubs subit probablement des pollutions chimiques plus importantes.

En outre, comme la réduction des potentiels piscicoles non liée à l'altération des capacités habitationnelles a été plus sensible en été 2015 qu'en automne 2014, il semble que cette pollution soit plutôt de nature organique. En effet, les impacts de ce type de rejets sont amplifiés par l'augmentation de la température de l'eau.

Parallèlement, les suivis chimiques pilotés par l'Agence de l'Eau RMC sur les stations RCS de Gevry et de Saunières montrent que le Doubs basal est contaminé par des pesticides. En effet, les analyses mensuelles effectuées dans l'eau révèlent l'existence de contaminations fréquentes en herbicides et en fongicides (fig. 50).

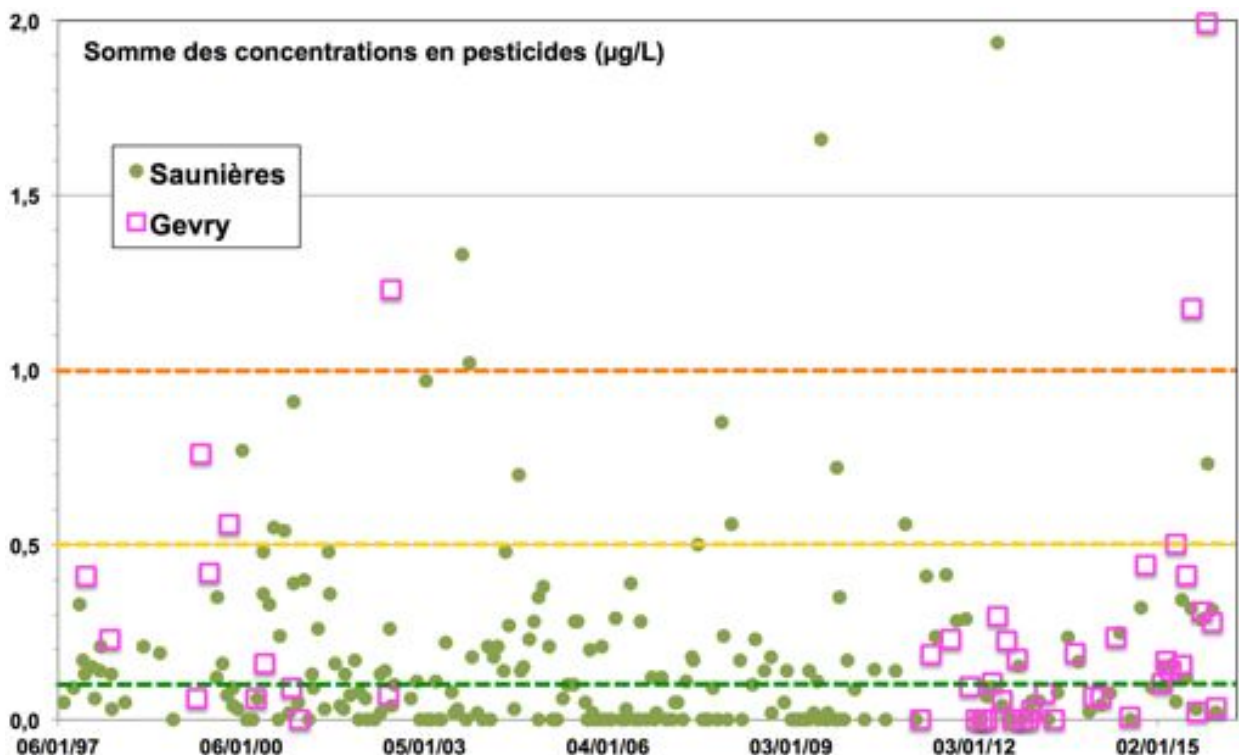


Figure 50. Evolution temporelle de la somme des concentrations en pesticides totaux mesurés dans l'eau du Doubs à Gevry et à Saunières (Agence de l'Eau RMC eaurmc.fr)

Légende : **tireté vert** = seuil de concentration indiquant une contamination nette ;  
**tireté jaune** = seuil de potabilisation pour la somme des pesticides ;  
**tireté orange** = seuil de toxicité aiguë avérée pour de nombreux pesticides

Dans les deux stations, les sommes des concentrations en pesticides indiquent des contaminations très fréquentes : une analyse sur deux, voir deux sur trois pour certaines périodes révèlent des concentrations supérieures à 0,1 µg/L. La norme de potabilisation (0,5 µg/L) est aussi régulièrement atteinte ou dépassée.

En outre, certains de ces produits dépassent régulièrement les normes de qualité environnementale, voir les concentrations maximales admissibles. C'est ainsi le cas d'un fongicide, le carbendazime, décelé plusieurs fois dans l'eau du Doubs à Grevry comme à Saunières durant les deux années qui ont encadrées l'étude piscicole (fig. 51).

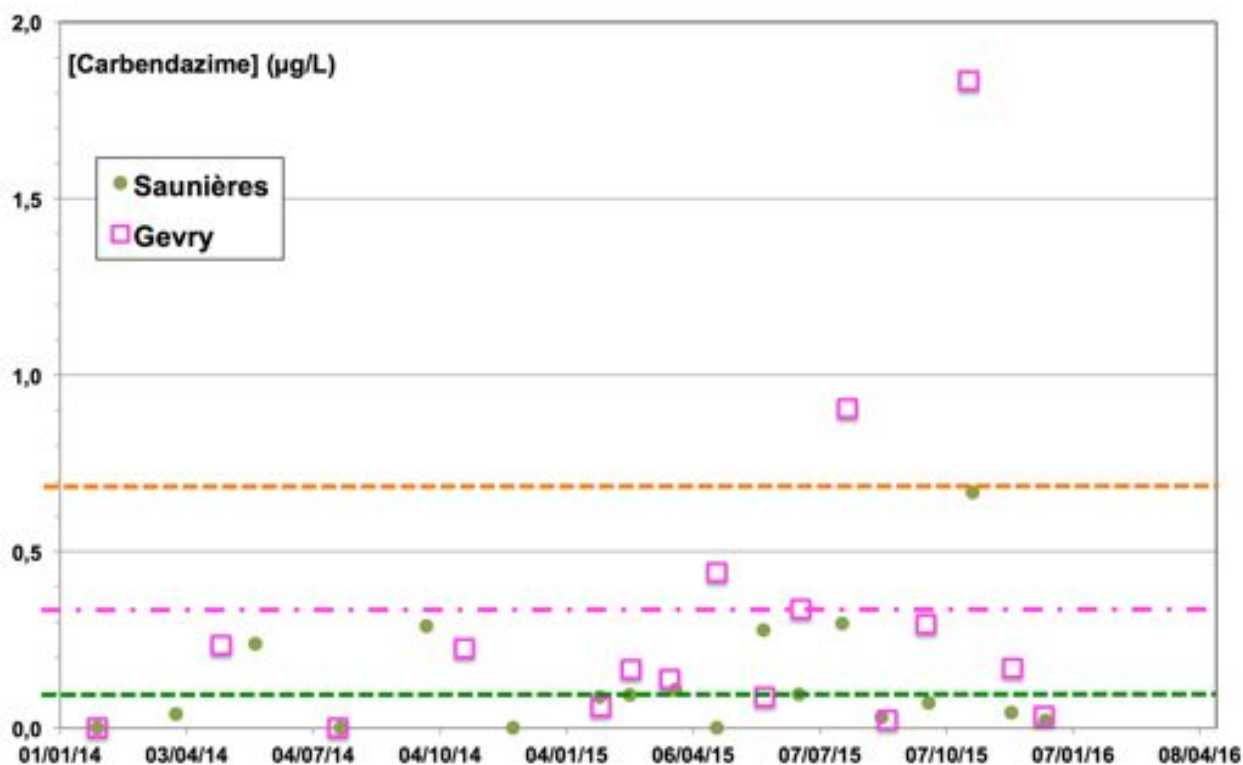


Figure 51. Evolution temporelle des concentrations en carbendazime dans l'eau du Doubs à Grevry et à Saunières en 2014 et 2015 (Agence de l'Eau RMC eaurmc.fr)  
 Légende : **tireté vert** = norme de qualité environnementale (NQE, INERIS 2013) ;  
**pointillé magenta** = moyenne annuelle (0,35 µg/L) ;  
**tireté rouge** = concentration maximale admissible (CMA, INERIS 2013)

D'autres contaminants sont également décelés régulièrement dans les sédiments et dans l'eau. Ces fortes contaminations par de multiples micropolluants sont susceptibles d'inhiber les transferts d'énergie et de matière le long de la chaîne alimentaire, voire d'exercer des effets toxiques directs sur les organismes aquatiques les plus sensibles, depuis les végétaux et le benthos jusqu'aux poissons.

L'importance de ces contaminations est liée aux différents types de pressions et d'usage anthropique des sols et de l'eau. Elle est soutenue et amplifiée par la dégradation des capacités tampons et auto-épuratoires des zones humides, qui sont grevées par plusieurs types d'altérations physiques. Le drainage général des terres agricoles du bassin versant proche à l'aide de fossés profonds non tamponnés et les nombreuses plantations de peupliers « cultivars » sont aussi responsables de la rapidité des transferts des contaminants vers le Doubs (fig. 52-53-54).



**Figure 52. Fossé rectiligne sans frange tampon**



**Figure 53. Eradication de la frange tampon autour d'une morte**



**Figure 54. Plantation de peuplier dans une portion de morte fragmentée**

### Causes et mécanismes des altérations de la qualité physique (fig. 55-56)

La banalisation des mosaïques de biotopes et d'habitat composant la Basse-Vallée du Doubs résultent de causes conjointes et interférentes qui ont d'abord agit sur la rivière elle-même avant de s'étendre aux zones humides associées.

D'une part, la chenalisation advenue par étape entre le début du XIXe siècle et la fin du XXe siècle, a simplifié l'habitat aquatique, puis entraîné une forte tendance à l'érosion et à l'incision (Larinier 1980, Malavoi 2005). Ainsi, le rescindement de plusieurs méandres et le corsetage du lit par des digues rapprochées ont amorcé puis entretenu ces processus qui se sont traduits à leur tour par un premier enfoncement du lit.

D'autre part, les extractions « industrielles » qui ont été menées, elles, entre la fin des années 1950' et la fin des années 1980' ont amplifié et accéléré ce processus. Il en résulte plusieurs mécanismes d'altération de la qualité physique qui agissent conjointement et souvent en synergie :

1. Même si l'érosion latérale a permis de ré-engraisser les fonds du Doubs basal sur ses deux tiers amont (Malavoi 2005), la ligne d'eau d'étiage, fortement abaissée depuis les années 1960', n'a pas été rehaussée (Rollet et al. 2006, cf. fig. 55-56).

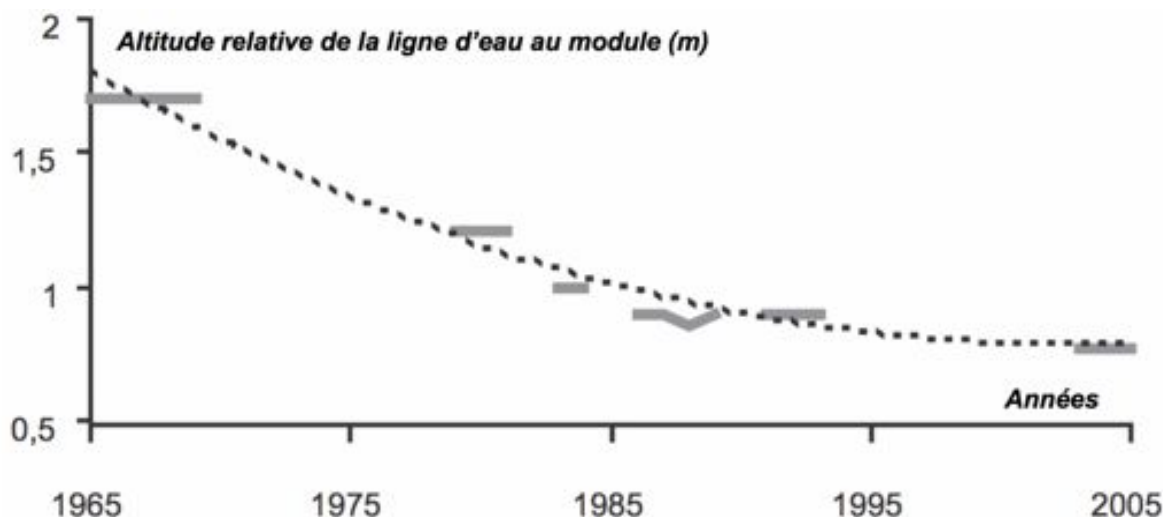


Figure 55. Evolution temporelle de l'altitude relative de la ligne d'eau au module (débit moyen soit environ 180 m<sup>3</sup>/s) à Neublans (tirée de Rollet et al. 2006).

2. L'abaissement conjoint du niveau de la nappe a entraîné la réduction des réserves en eau en étiage et le réchauffement de la température estivale de l'eau. Or, ces deux processus affectent la résilience et le pouvoir autoépurateur du Doubs.
3. L'enfoncement et l'élargissement du lit d'étiage se sont aussi traduits par un assèchement des zones humides, et des systèmes latéraux ; ce processus est encore en cours et menace fortement les capacités biogènes relictuelles.
4. L'effet de ces différentes altérations est encore aggravé par le surélargissement du lit au droit des anciennes fosses d'extraction qui, en accroissant notablement l'énergie cantonnée dans le chenal en crue et en la réduisant en étiage, entraîne :

- durant les crues, l'accélération de l'érosion des berges, supprimant la plupart des caches latérales tout en éradiquant la végétation en contact avec l'eau ;
  - en étiage, le colmatage des bordures et des systèmes latéraux par des dépôts fins ; ce phénomène, déjà décrit par Larinier (1980), participe à l'atterrissement des mortes.
6. La vitesse du transport des galets et des graviers limitent leur hospitalité pour la faune et brident le développement des herbiers dans le chenal. Les secteurs en déficit sédimentaires, pavés ou émaillés de dalles marneuses, ne sont pas plus biogènes.
7. Enfin, l'absence presque totale de bois mort, de bloc ou de ripisylve connective structurant le lit mineur renforce l'accélération de la vitesse de transport des granulats, et la géométrie de leurs dépôts. En de nombreux endroits, le nappage ou l'accumulation d'épais amas lenticulaires surplombant le niveau d'étiage remplace les bancs alternés de faibles hauteurs, beaucoup plus biogènes (fig. 56). Cette homogénéisation sédimentaire, couplée à la rareté des tris granulométriques et au pavage de certains secteurs, renforce encore l'inhospitalité des fonds.

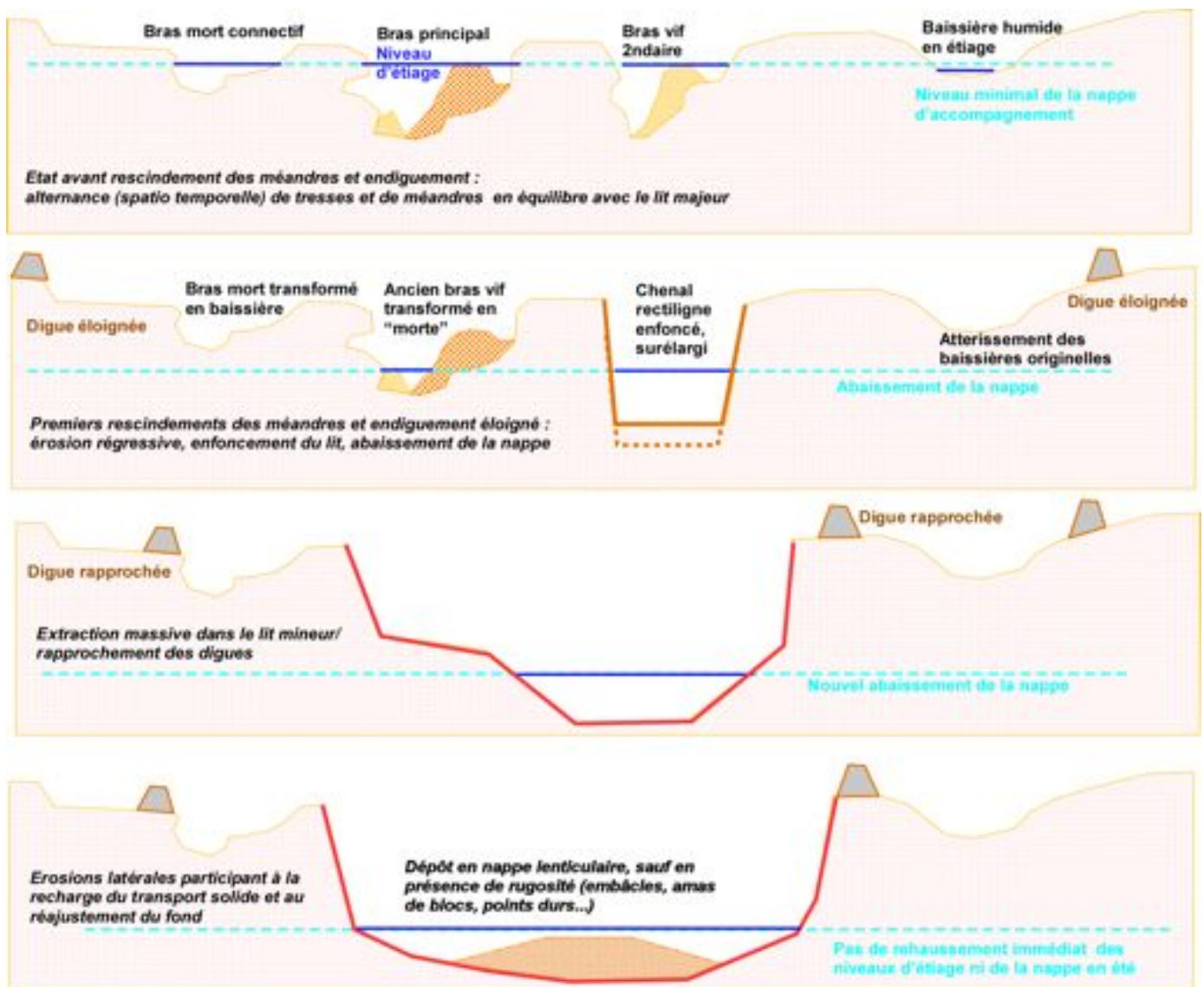


Figure 56. Essai de reconstitution des différentes étapes ayant mené à la banalisation des mosaïques de biotopes et d'habitats humides et aquatiques de la Basse-Vallée du Doubs

## 4. Restauration des potentiels piscicoles

Le diagnostic réalisé permet 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 d'altération de la qualité physique des milieux aquatiques et des ressorts de l'évolution dynamique des mosaïques de zones humides. Dans cet esprit, les actions à entreprendre en priorité concernent la restauration physique du Doubs basal et de ses annexes.

Pour garantir la pertinence et l'efficacité des actions restauratoires, celles-ci doivent être conçues pour traiter les causes de dysfonctionnement et pas seulement leurs conséquences. Elles doivent aussi être coordonnées et atteindre une certaine amplitude pour garantir l'atteinte des objectifs.

### 4. 1. *Stratégies de restauration de la qualité physique*

#### **Elaboration d'une stratégie d'ensemble**

Selon les travaux des géomorphologues et des hydrodynamiciens (Larinier 1980, Malavoi 2004, Rollet 2006), la meilleure façon de restaurer la fonctionnalité écologique du Doubs basal à l'échelle de la mosaïque des biotopes serait de lui restituer complètement son espace de liberté. En effet, sans aucune intervention autre que l'arasement des digues et le démantèlement des berges enrochées, les processus spontanés d'érosion et de sédimentation permettraient, à longs termes, le réajustement du chenal, ainsi que la reconnexion des mortes, et même la recréation de nouveaux systèmes latéraux et annexes.

Une partie des fonctionnalités écologiques du Doubs basal est ainsi en cours de reconstitution « spontanée » grâce à la recharge en granulat elle-même autorisée par l'érosion latérale. En effet, l'engraissement des fonds induite par l'érosion des berges permet la rehausse de leur altitude et la reconstitution de bancs de galet biogènes. Dans ce contexte, l'instauration des fuseaux de liberté proposés par Malavoi (2005) pour le Doubs et les démantèlements d'enrochements ainsi que le recul ou la suppression des digues sont un préalable déterminant à la reconquête des potentiels écologiques de la basse vallée du Doubs.

Cependant, d'une part, les érosions latérales engendrent des conflits d'usage et ne sont pas toujours tolérées par les riverains. En particulier, la protection des habitations et le maintien des usages agricoles actuels ne sont pas partout compatibles avec la reconstitution d'un véritable espace de liberté ni surtout avec la dynamique érosive sous-tendue par cette approche.

D'autre part, la vitesse du réajustement morphologique « spontané » qui prendra plusieurs siècles (Malavoi 2004) n'est pas compatible avec le maintien des espèces aquatiques les plus sensibles en cours de disparition rapide. Enfin, l'abaissement des lignes d'eau d'étiage n'apparaît pas, pour l'instant, spontanément réversible.

Aussi, une stratégie de compromis, alternative ou complémentaire selon les endroits, doit être établie pour réussir la restauration au moins partielle des capacités biogènes du Doubs basal. Pour y parvenir, elle devra traiter les causes de l'altération des ressorts de la qualité physique en tenant compte des contraintes hydrauliques. Ses objectifs opérationnels devront se décliner de la façon suivante :

- augmenter l'hétérogénéité des mosaïques d'habitat aquatiques et humides ;
- accroître leur attractivité ;
- rétablir ou améliorer la connectivité du Doubs avec les franges humides, les affluents, les annexes... ;
- suivant les endroits favoriser ou contrôler les tendances érosives ;
- réduire ou supprimer le colmatage et l'envasement des systèmes latéraux et des bordures de lit.

Pour tenter de restaurer les capacités biologiques optimales du Doubs, les actions restauratoires doivent être orientées suivant trois axes majeurs. Ces principes sont présentés ci dessous avant d'être précisé et déclinés sur les 4 unités fonctionnelles qui ont été définies le long du Doubs basal. La stratégie et les modalités de restauration proposées pour le tronçon le plus aval, de Navilly à Verdun-sur-le-Doubs, constitué d'un chenal uniforme profond et stable, seront toutefois notablement différentes.

### **Rehaussement des niveaux d'étiage et recharge des nappes (fig. 57)**

Sur les 3 tronçons amont, la reconstitution des ressources en eau nécessite avant tout le rehaussement du fond du chenal du Doubs à l'amont et à l'aval des mortes d'intérêt majeur d'au moins 20 à 40 cm par l'implantation de semelle de fond en damier judicieusement disposées. Leur localisation et leur dimensionnement devront être conçus pour augmenter les niveaux d'étiage sans accroître les niveaux de crue.

Parallèlement, le remodelage en lits emboîtés des affluents dans la zone alluviale pourrait permettre de remonter également l'altitude de leur fond et de leur ligne d'eau d'étiage sans accroître les risques d'inondation. Enfin, la connectivité hydraulique entre les systèmes latéraux issus du même bras originel désormais court-circuité et transformé en annexes fragmentées devrait être rétablie.

En effet, les mortes et baissières générées par le rescindement des anciens méandres sont souvent fragmentées et isolées par des chemins, des routes, des remblais, de digues, des cultures mal placées (cf. fig. 46-54)... Leur reconexion entre elles ainsi qu'avec le chenal actif permettrait d'améliorer la fréquence et la durée des recharges de nappe, tout en reconstituant des espaces de dissipation des crues.

Enfin, lorsque le chenal est corseté par des digues rapprochées, celles ci seront supprimées ou déplacées. Cette opération permettra de reconstituer une frange humide plus souvent inondée et de mieux dissiper l'énergie des crues moyennes à fortes. Elle permettra de réduire la pression érosive, voire les risques d'inondation plus en aval, mais elle nécessitera probablement, sur les parcelles riveraines, un changement des pratiques agricoles qui devra être négocié et soutenu par des aides appropriées.



Ces 4 types d'actions, conçues et dimensionnées simultanément pour ne pas entraîner de risques d'inondation supplémentaire, voire pour les réduire, permettraient aussi de ralentir les vitesses d'érosion sans les annihiler.

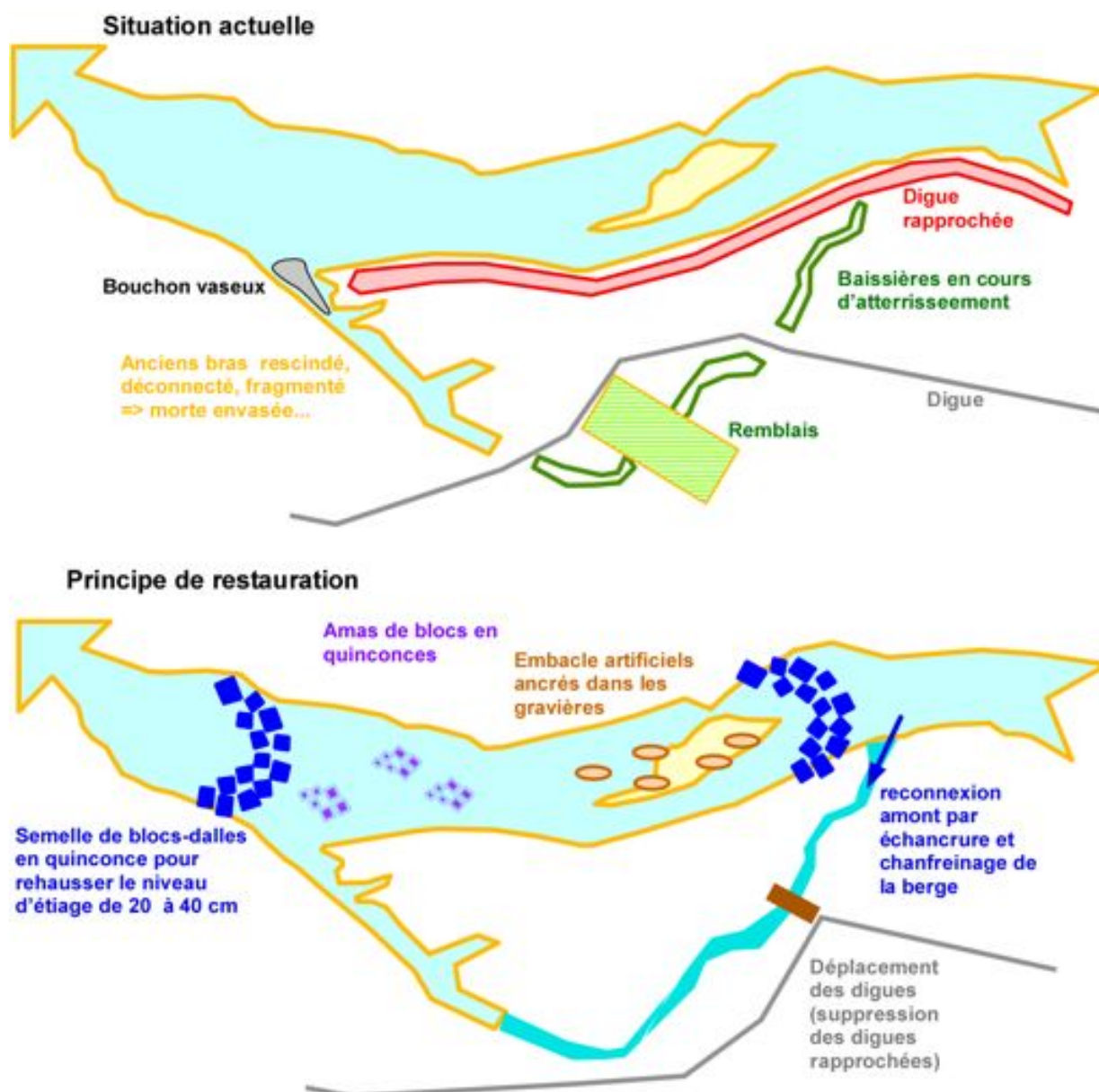


Figure 57. Principes de reconnexion du Doubs avec ses franges humides et de réalimentation pérenne de la nappe (tronçon A, B, et C)

Ces procédés ne sont pas applicables au tronçon D, trop profond et complètement stabilisés. Sur cette partie aval, seule les principes d'amélioration de l'attractivité biogène des berges et d'une partie des systèmes latéraux pourront être mis en œuvre.

### Réhabilitation pérennes des mortes et franges humides

La plupart des mortes du Doubs basal, s'avèrent peu biogènes même quand elles sont connectives. 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 sont proposés.

1. Les mortes et baissière doivent être alimentées par l'amont de façon importante et fréquente sinon permanente ; il faut en particulier que cette alimentation soutenue soit effective au printemps et qu'elle soit régulièrement assez active pour assurer l'auto-curage ;
2. Les cuvettes qu'elles constituent doivent être modelées en escaliers ménageant des pentes douces et non creusées en trapèze ni surtout enfoncées, sous peine de contribuer encore à épuiser les nappes en période estivale.
3. Leur capacité tampon doit être reconstituée : pour cela la ripisylve ou les franges herbacées composant leur frange humide doit être réhabilitée et complétée pour éviter les trouées et constituer un tampon d'autoépuration suffisamment efficace.

### **Amélioration de l'hospitalité biogène du chenal**

Pour diversifier la granulométrie des fonds, ménager d'avantage de caches et, suivant les cas, soit ralentir ponctuellement le transport des graviers galets sans l'entraver, soit stimuler l'érosion latérale, deux types d'actions peuvent être entreprises dans les chenaux actifs du Doubs basal :

- l'ancrage d'arbres morts (saules, frênes et surtout aulnes) pour constituer des embâcles artificiels fixés ;
- l'édification d'amas de blocs en quinconce à très forte granulométrie.

Dans les deux cas, ces éléments structurant devront être implantés vers le centre du chenal et non en bordure quand on aura choisi de limiter leur effet sur l'érosion des berges. Dans certains cas, les berges adjacentes pourront être décaissées pour favoriser le modelage des berges en pente douce tout en limitant encore leur érosion.

*A contrario*, dans les zones où l'érosion latérale peut être tolérée, voire stimulée, pour favoriser la recharge en transport solide, ces aménagements seront implantés à proximité des berges et calés à l'altitude du débit moyen ou à plein bord. De la même façon, leur positionnement par rapport à certains dépôts lenticulaires pourra favoriser leur remaniement ménagé.

Leur altitude devra être calée au ras du niveau d'étiage de façon à ce que leur influence hydraulique soit effacée en crue. Leurs dimensions et leurs dispositions garantiront la pérennité des caches en évitant leur érosion et leur ensablement.

Entre Navilly et Verdun-sur-le-Doubs, comme le chenal bien que plus enfoncé est beaucoup plus stable et beaucoup plus profond, ces deux types d'aménagements pourront être rapprochés des berges. Dès que cela sera possible, celles-ci seront décaissées, chanfreinées et rendues plus biogènes par l'aménagement de risbermes de grandes tailles offrant des caches de bordures.

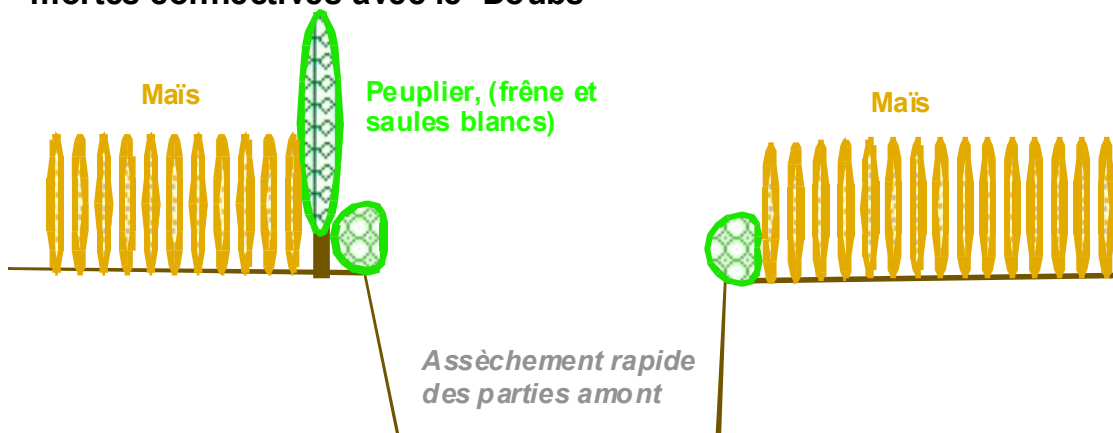
## 4. 2. Modalité de mise en œuvre de la stratégie de restauration

### Modalités de restauration des mortes

#### 1. Remodelage des berges et des fonds (fig. 58-59).

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.

#### Profil en travers schématique actuel des mortes connectives avec le Doubs



#### Profil en travers schématique du projet de restauration et de valorisation des mortes connectives avec le Doubs

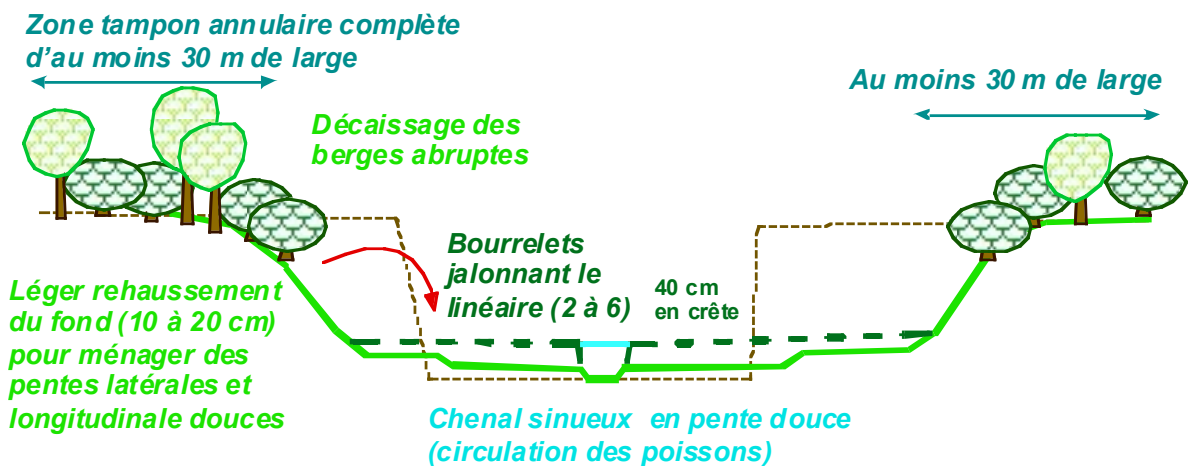


Figure 58. Principe de restauration des mortes connectives = vue schématique transversale

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.

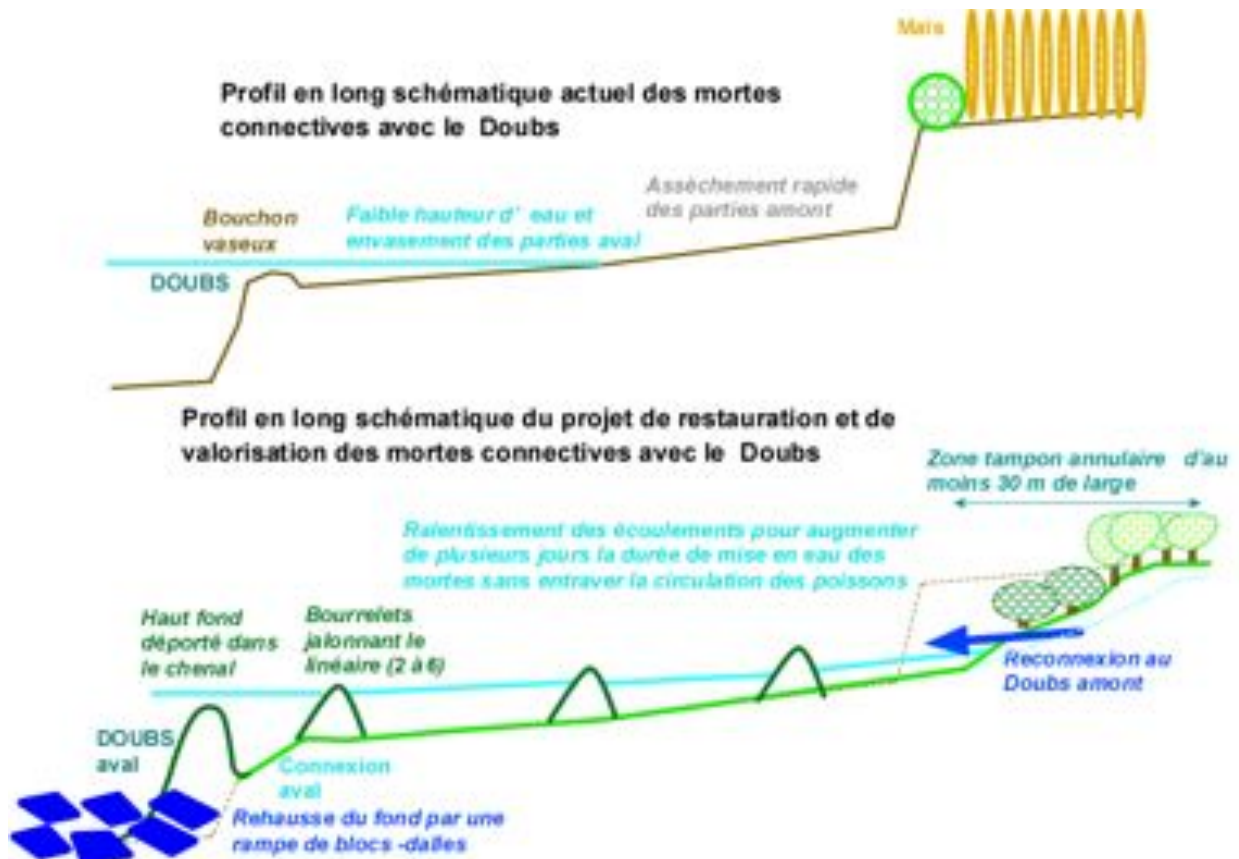


Figure 59. Principe de restauration des mortes connectives = vue schématique transversale

## 2. Amélioration de l'alimentation au printemps (fig.60-61)

Le fonctionnement biologique de ces systèmes annexes est optimisé quand ils restent longtemps en eau, au moins tout au long du 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.

Idéalement, la durée de l'hydropériode sera 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 pourra être obtenu de plusieurs façons :

- quand elles sont alimentées par des affluents rectifiés, grâce à une restauration de ces vecteurs hydriques qui induira l'augmentation de leur débit d'étiage ;
- par le reconnexion au Doubs lui-même à l'amont en créant s'il le faut des rigoles ou des coursières.

## 3. Reconstitution d'une frange intégrale et fonctionnelle (fig. 59-60)

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.

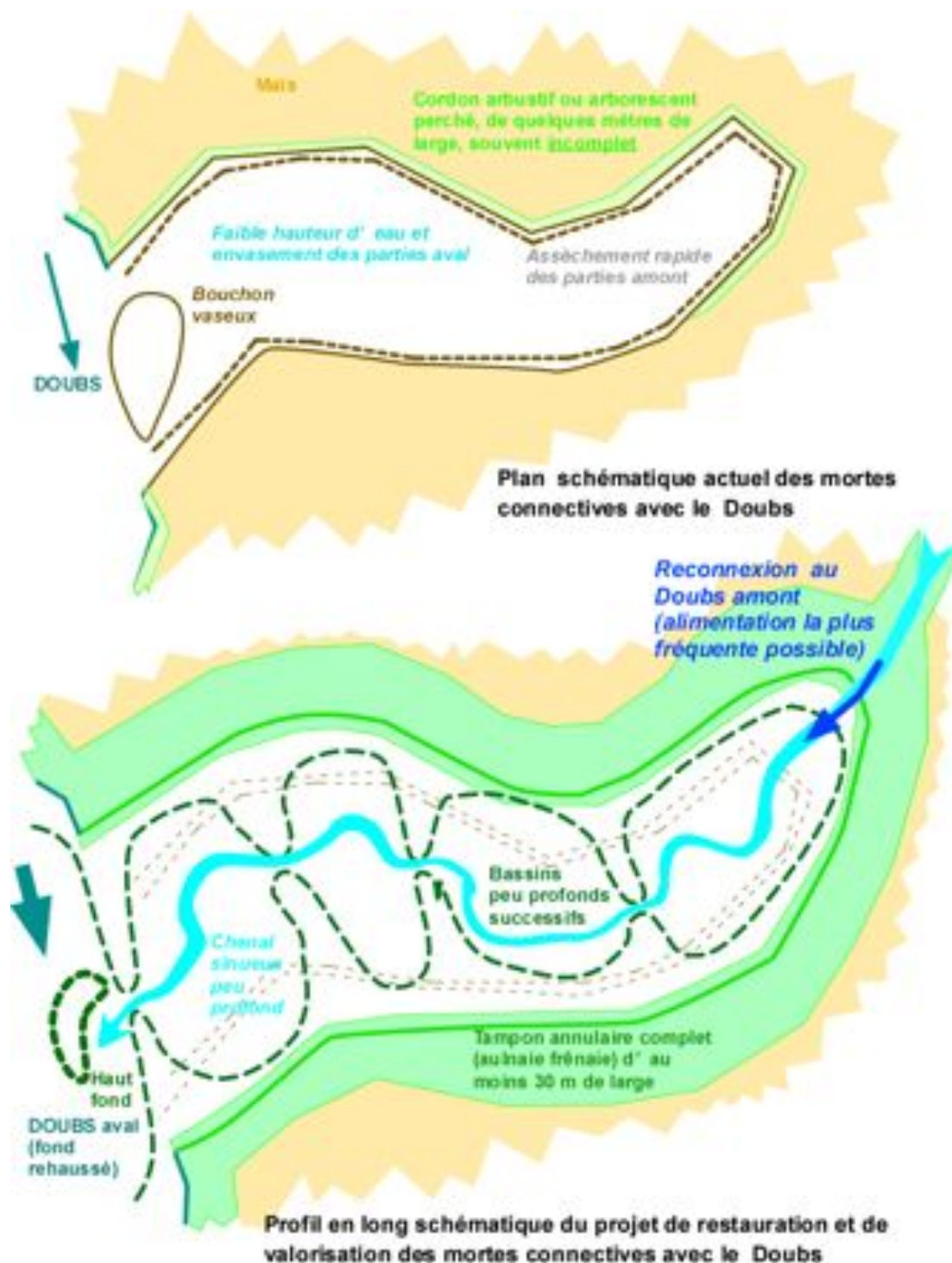


Figure 61. Principe de restauration des mortes connectives : vue en plan schématique

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 supprimés (cf. ci-dessous : gestion de la ripisylve).

## Restauration des affluents (fig. 61)

Entre Dole et la confluence avec la Saône, le Doubs collecte une douzaine d'affluents qui constituent autant de systèmes latéraux à fort potentiels biogènes (élargissement du spectre typologique, frayères, apports d'eaux fraîches oxygénées et moins chargées en nutriments...). Cependant, tous ces affluents sont rectifiés et fortement incisés. En étiage, une partie d'entre eux montre une tendance nette au tarissement liée à leur enfoncement qui accélère et intensifie le drainage des nappes d'accompagnement.

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. 61). 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.

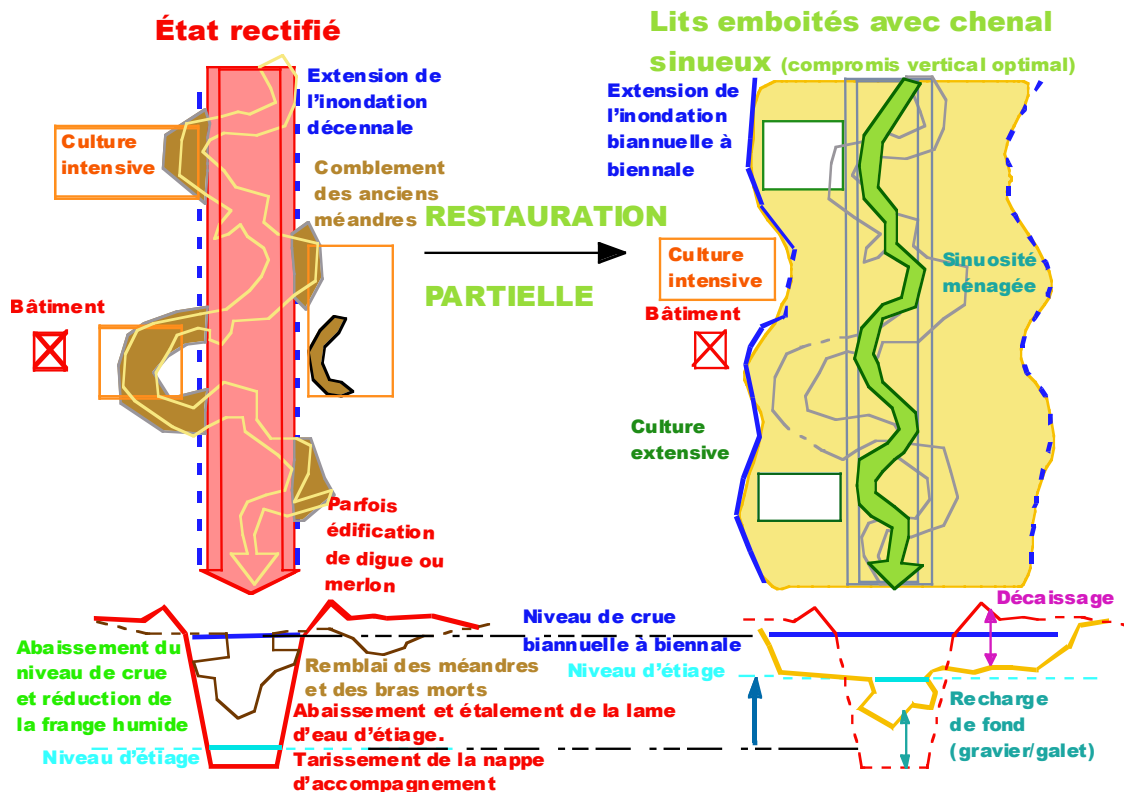


Figure 61. Principe de restauration partielle des affluents rectifiés suivant la stratégie des « lits emboîtés » : profil et vue en plan schématique de l'état actuel et du projet

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 fluvial 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 l'hospitalité biogène du chenal

Pour améliorer l'hospitalité du chenal suivant les principes définis au paragraphe 4.1, trois types de modalités peuvent être proposées selon les secteurs considérés :

- pour la partie amont non navigable (de Dole à Navilly) des aménagements augmentant la rugosité tout en offrant des caches peuvent être implantés au centre du chenal ; il s'agira d'embâcles artificiels ancrés et d'amas de blocs en quinconce ;
- pour la partie navigable de Navilly à Verdun-sur-le-Doubs, des aménagements fournissant des caches de berges peuvent être envisagés ;
- dans les deux cas, des décaissages ponctuels des berges permettrait d'améliorer la connectivité du chenal avec une partie de ses franges humides.

#### 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. 62).

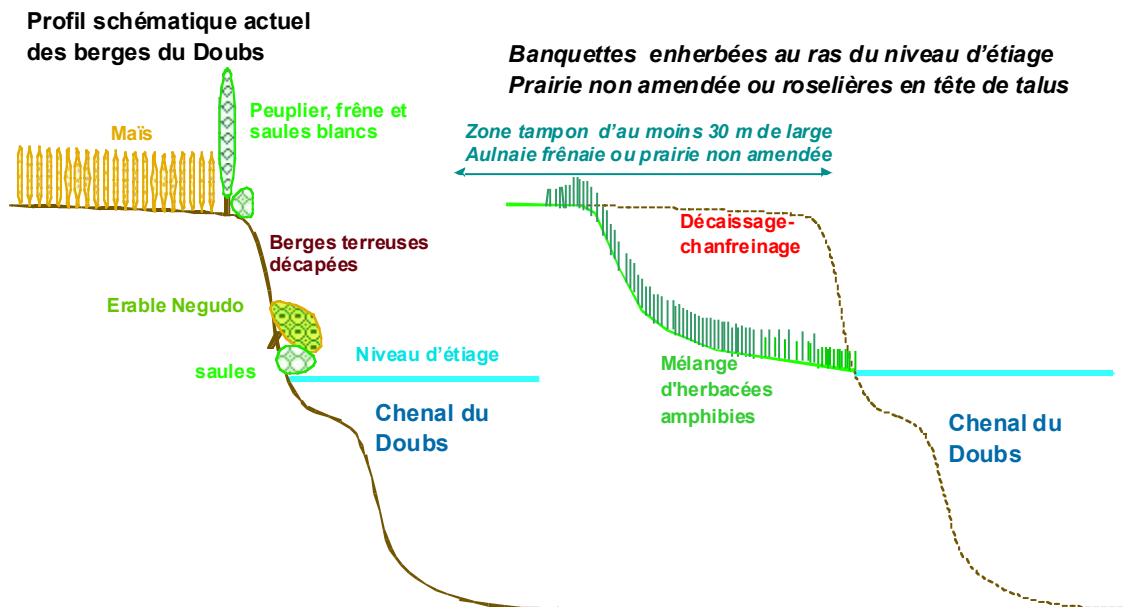


Figure 62. Principe d'amélioration de la connectivité latérale du Doubs par décaissage des berges abruptes pour créer des banquettes enherbées : profil schématique

Une partie de ces franges humides reconstituées pourra être végétalisée à l'aide d'espèces herbacées amphibies décrivant le gradient d'humidité (hélrophytes, 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. 63).

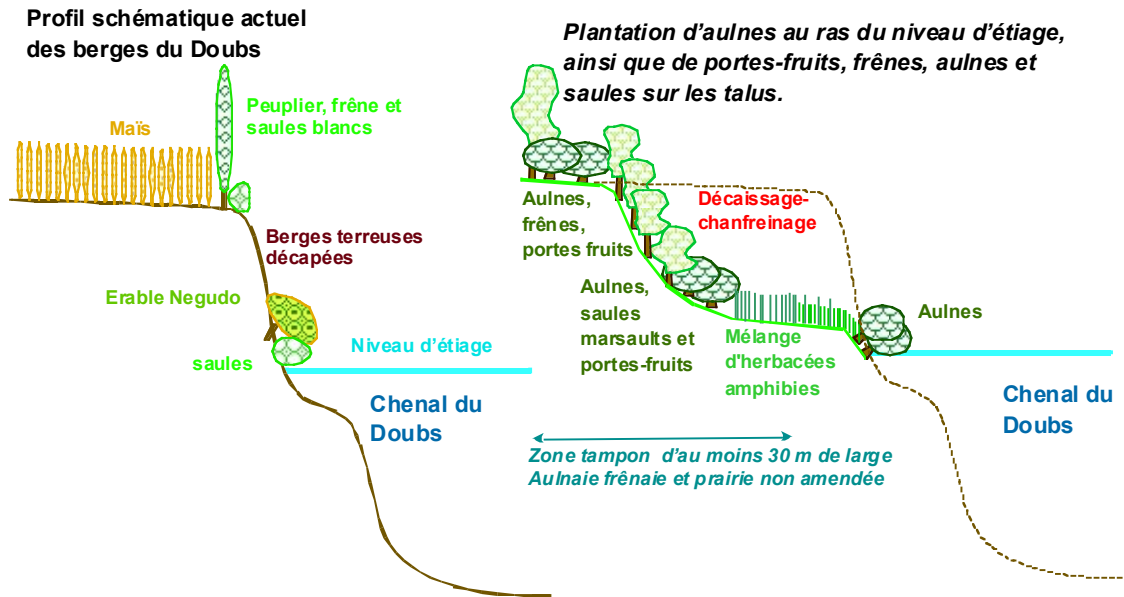


Figure 63. Principe d'amélioration de la connectivité latérale du Doubs par décaissage des berges abruptes pour recréer une ripisylve connective: profil schématique

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.

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 risbermes avec cache édifiées en partie à l'aide des matériaux décaissés (fig. 64).

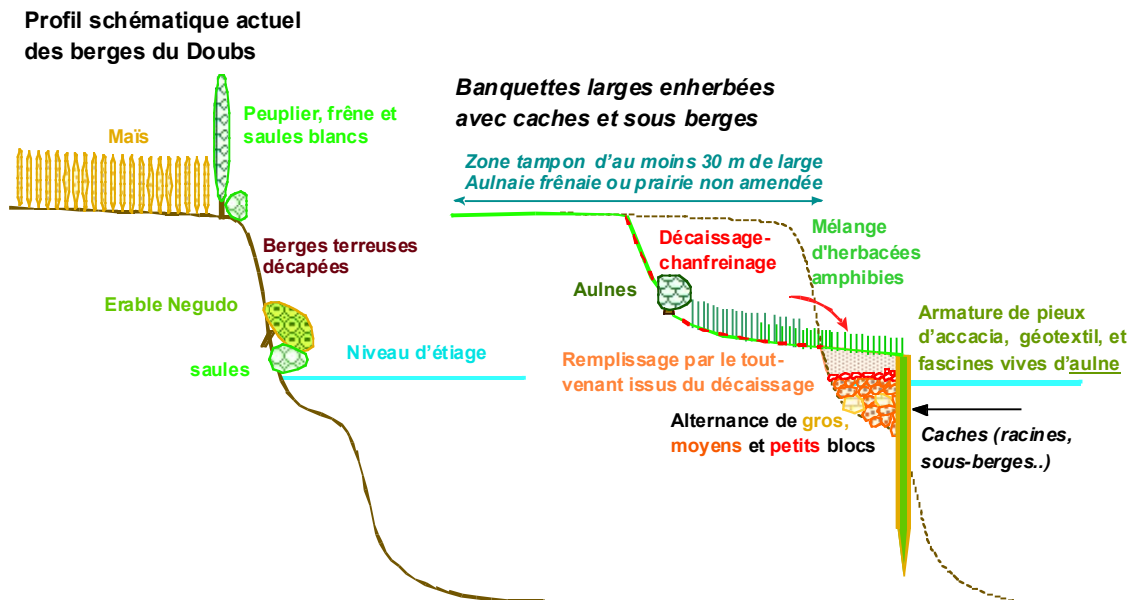


Figure 64. Schéma d'amélioration de la connectivité latérale du Doubs par décaissage des berges abruptes et recréation de banquettes larges enherbées ménageant des caches



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. 65). Dans ce cas, le décaissage de la berge abrupte doit s'accompagner du démantèlement des enrochements.



**Figure 65. Schéma 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.

#### ***Augmentation de la densité des caches***

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 la quasi-totalité du chenal actif du Doubs basal.

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. 66), des amas de blocs ménageant des anfractuosités (fig. 67) ou des embâcles artificiels ancrés (fig. 68). La mise en œuvre de ces techniques doit toutefois suivre des modalités bien particulières.

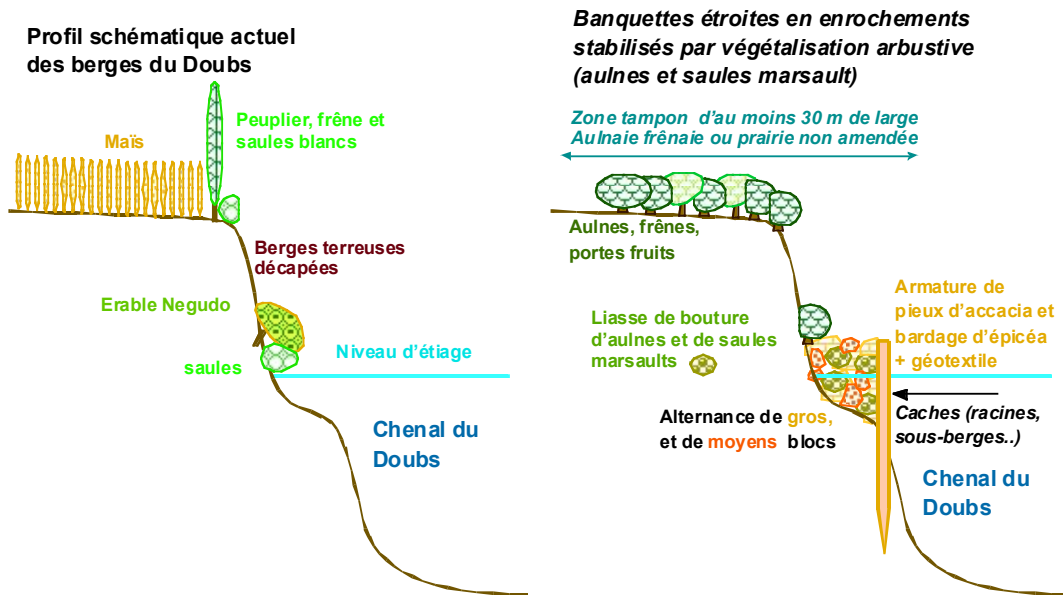


Figure 66. Diversification ponctuelle : aménagement d'une banquette ancrée à l'aide d'un bardage et dont la stabilité sera relayée par la reprise de boutures d'aulne

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. 67) :

- 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.

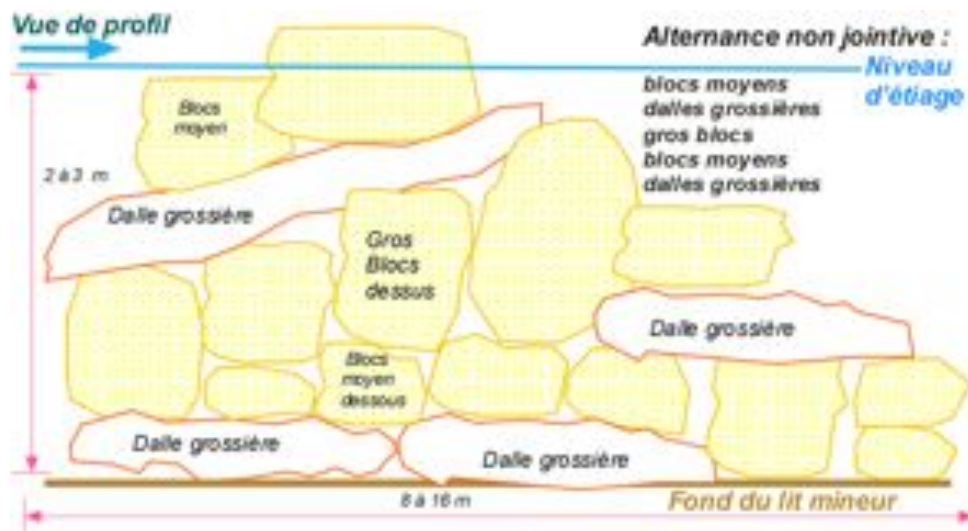


Figure 67. Amas de blocs avec des anfractuosités de grandes tailles.

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 engrèvement.

En guise d'alternative, des embâcles artificiels seront constitués d'aulne, de saule ou de frênes arborescents, ancrés dans le substrat à l'aide de piquets d'acacia ou arrimés à la berge par des câbles. Leur taille, leur densité, leur position et leur altitude en crête seront déterminées suivant les conditions locales des secteurs à aménager et selon l'objectif de leur implantation (érosion latérale ou diversification des écoulements, voire des processus de tri et de sédimentation, fig. 68, cf. aussi fig. 31 et 38).



**Figure 68. Diversification ponctuelle des écoulements et des dépôts granulométriques induits par l'ancrage (spontané) d'embâcles dans le chenal actif du Doubs (ici à droite et à gauche)**

### **Restauration de la connectivité longitudinale : le barrage de Crissey**

Entre l'aval de Dole et Verdun-sur-le-Doubs, le Doubs n'est barré par aucun obstacle. En revanche, à l'amont de ce linéaire, le barrage de Crissey est infranchissable pour la totalité des espèces peuplant cette rivière. Il sert à la fois pour la prise d'eau du canal du Rhône au Rhin et pour alimenter les turbines d'une microcentrale au fil de l'eau.

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 potentiels piscicoles. En effet, toutes les espèces de poissons doivent pouvoir accéder à des frayères fonctionnelles qui, selon l'hydroclimat régnant pendant les périodes de reproduction, peuvent faire défaut dans l'un des tronçons isolés par un ouvrage.

En outre, en cas de pollution localisée, le franchissement des barrages permet la fuite vers l'amont. Les poissons rescapés seront alors aptes à recoloniser le milieu par dévalaison quand le flux polluant se sera tarit.

Leur intérêt est encore renforcé par les surfaces hydropétriques constitués par les parements des barrages. Ces surfaces baignées de fortes vitesses contribuent aux mécanismes d'autoépuration. Elles favorisent la production de macroinvertébrés susceptibles de servir de proies aux 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'attractivité de ces habitats névralgiques dépend donc de la valeur du débit réservé. Pour en déterminer leur valeur optimale, deux solutions peuvent être envisagées.

1. Soit on analyse durant un cycle annuel la chronique des habitats aquatiques et hygropétriques mis à sec durant différentes saisons pour différents débits.
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 au niveau de Dole s'élève à 15 m<sup>3</sup>/s (banque Hydro).

### **Gestion de la ripisylve**

Le petit nombre de caches observées dans le Doubs basal est en partie lié à l'état et à la dynamique de la ripisylve ainsi qu'à sa gestion actuelle. D'une part, les bois morts qui constituent des abris et des supports de nourriture privilégiés par la faune aquatique sont peu denses. D'autre part, la fréquence des sous-berges et des branchages immergés en basses eaux est très limitée. Enfin, elle est souvent mitée et banalisée par des plantations de peupliers cultivars ou par des plantes exotiques envahissantes.

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 racines et branchages 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 comme de l'hydromorphie des sols, et du niveau trophique favorisent son extension au détriment des frênes et des aulnes, dans les marges fluviales ainsi que sur les berges des rivières chenalisées et polluées par des surcharges nutritives. 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 amphibiens 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, des bosquets de renouée du Japon (*Fallopia japonica*) et de budleïa (*Buddleja davidii*) émaillent chacun des tronçons étudiés. Ces plantes envahissantes, peu attractive pour l'entomofaune, les batraciens, les reptiles ou l'avifaune, concurrencent sévèrement les espèces herbacées et arbustives locales. Adaptées aux sols graveleux fortement drainants, mais ne supportant pas l'asphyxie racinaire consécutive à des immersions longues, 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 et de banalisation tout au long du Doubs basal, il est urgent de la réhabiliter.

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.

La restauration puis la gestion de la ripisylve s'articulera suivant 4 axes simultanés :

1. **Coupe des érables negundo** (ou écorçage pour les faire dépérir) **et défruitage systématiques des peupliers** dont les plantations seront désormais à proscrire.
2. **Plantation d'essences autochtones adaptées** comme l'aulne (*Alnus glutinosa*), le frêne (*Fraxinus excelsior*), différentes espèces de saules en plus du saule blanc (*Salix purpurea*, *S. triandra*, *S. viminalis*, *S. caprea*, *S. aurita*, *S. cinerea* ...), l'orme (*Ulmus laevis*), en utilisant des clones résistants à la graphiose (Pinon et Feugey 1993), et le chêne pédonculé (*Quercus robur*)...
3. Sur les talus décaissés, **plantation d'aulnes, de frênes 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 europeae*)...
4. **Éviter les coupes à blanc sur les berges et proscrire l'enlèvement des bois morts** sur l'ensemble du linéaire ; en outre, sur les bordures du tronçon navigable, **ancrage des bois morts en berge** (coté rivière) à l'aide de pieux d'acacia ou et de câble pour freiner sinon enrayer leur dérive vers les ponts.

### **4.3. Déclinaison des modalités de restauration (ann. 8)**

Les principes et modalités d'application des stratégies de restauration présentées ci-dessus ont été déclinés et adaptés aux 4 tronçons fonctionnels jalonnant le Doubs entre Dole et Verdun-sur le Doubs. Le but de cette démarche est d'orienter mais aussi de spatialiser les opérations 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 fonctionnelle à restaurer.

#### **Tronçon A : entre l'aval de Dole et la confluence de la Loue**

Sur ce tronçon, quatre séries d'actions sont à engager ou à programmer et à négocier simultanément (fig. 69). Dans presque tous les cas des études opérationnelles, voire d'orientations et de faisabilité à une échelle plus fine seront nécessaires afin de déboucher sur des plans d'exécution précis.

#### **1. Améliorer les capacités biogènes du chenal et contribuer à son rééquilibrage géomorphologique**

- \* Dans les secteurs où l'érosion est tolérable, démanteler les protections de berges et stimuler l'érosion latérale en implantant des amas de blocs en quinconce au ras du niveau du module ainsi que des embâcles artificiels ancrés dans ou à proximité des berges ou des bancs à éroder.
- \* Supprimer dès que possible les digues « rapprochées » du chenal et des affluents (cf. digue de l'Île Girard, tronçon B), pour favoriser la dissipation de l'énergie.
- \* Aménager une divergence pour alimenter en permanence l'ancien lit du Doubs en cours d'atterrissement dans la partie occidentale de l'Île du Girard (D5 et D10).
- \* Rehausser le fond du lit du Doubs à l'amont et à l'aval des mortes reconnectées pour favoriser la dissipation de l'énergie et pour relever le niveau d'étiage, en priorité pour G6, G9, D2, D5, D6, D7.
- \* Sur la moitié aval du tronçon, diversifier les écoulements et différencier les processus d'érosion et de dépôt en implantant au centre du chenal des amas de blocs en quinconce et des embâcles ancrés, en calant l'altitude de leur cote de crête au ras du niveau d'étiage (QMNA5).
- \* Chanfreiner les berges à proximité des entonnements de reconnexion amont des mortes (cf. ci-dessous) ; planter aulnes, érables, ormes, chênes pédonculés et arbustes portes-baies sur les banquettes ménagées et les talus remodelés.
- \* Réhabiliter la ripisylve : écorcer les érables negundo, arracher les renouées du japon et les buddleias, puis replanter des aulnes et plusieurs espèces de saules autre que blanc et fragile ; défruitier les cultivars de peupliers et les remplacer par des frênes, des aulnes ou des clones d'ormes résistant à la graphiose.

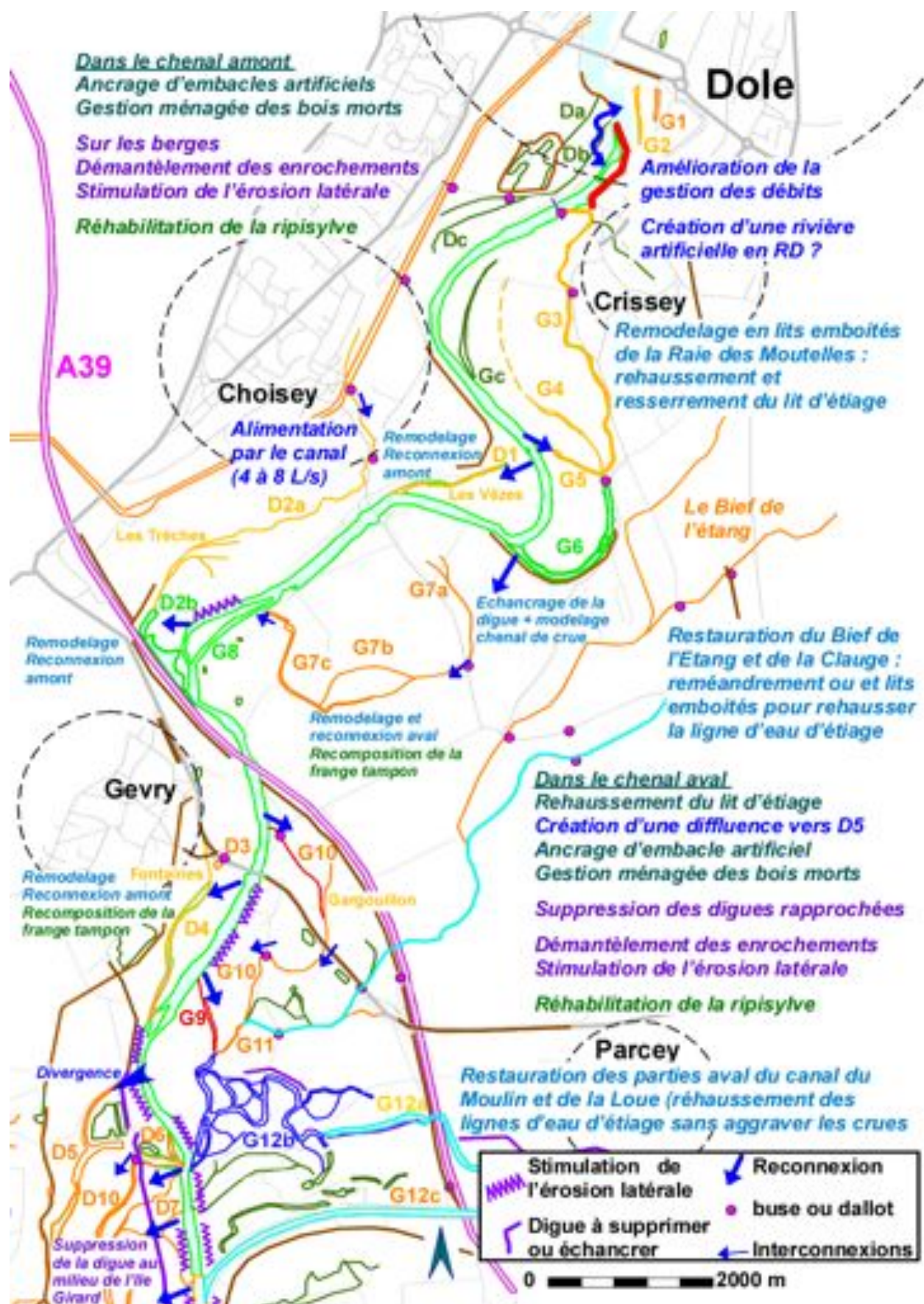


Figure 69. Stratégie de restauration proposée pour le Doubs entre l'aval de Dole et sa confluence avec la Loue

## **2. Augmenter la connectivité longitudinale entravée par le barrage de Crissey, et par les deux prises d'eau associées.**

- \* Créer une rivière artificielle en RD.
- \* Analyser les besoins et les usages des deux prises d'eau et déterminer le débit biologique optimal à maintenir dans le Doubs basal ainsi que surversant sur le parement du barrage.

## **3. Restaurer les capacités biogènes de la Clauge du Ruisseau du Canal du Moulin et de l'Étang et de la Raie des Moutelles**

L'objectif principal est de remonter la ligne d'eau d'étiage, sans aggraver les risques d'inondation quand cela n'est pas tolérable. Dans cette optique, les stratégies optimales sont à la renaturation ou la récréation quand les enjeux d'inondabilité sont faibles, et le remodelage en lits emboîtés dans les autres cas.

Une étude opérationnelle par cours d'eau est donc nécessaire pour choisir la stratégie pertinente, puis pour dimensionner les aménagements en tenant compte de la topographie, de l'occupation des sols et des contraintes hydrauliques tout en garantissant l'optimisation des gains biologiques.

## **4. Restaurer les capacités biogènes des mortes et leur rôle de refuge en enrayant leur atterrissement et en optimisant leur connectivité**

- \* Pour la quasi-totalité d'entre elles, reconnexion amont en ménageant un entonnement dans la berge du Doubs au droit de leur partie apicale, voire en supprimant les digues rapprochées et en s'assurant de leur inter connectivité, en priorité pour G6, G9, D2, D5, D6, D7.
- \* Remodeler les berges et le profil en travers de la plupart des mortes pour les rendre plus biogènes tout en ralentissant leur tarissement (cf. principes § ).
- \* Dans le cas de la Morte des Trèches, assurer, à l'aide d'une conduite enterrée, une alimentation minimale de 4 à 8 L/s à partir du canal.
- \* Réhabiliter et si besoin augmenter l'extension des franges de ripisylve entourant les mortes pour reconstituer des bandes annulaires intégrales d'au moins 30 mètres de large. Lors du défruitage des cultivars de peupliers, les remplacer par des frênes, des aulnes ou des clones d'ormes résistant à la graphiose. Couper aussi les peupliers malades ou « abandonnés ».

### **Tronçon B : entre la Loue et l'aval du pont de Petit Noir**

Sur ce tronçon, trois séries d'actions sont à engager ou à programmer et à négocier simultanément (fig. 70). Dans presque tous les cas, des études opérationnelles, voire d'orientations et de faisabilité devront être réalisées à une échelle plus fine pour déboucher sur un plan d'exécution précis.



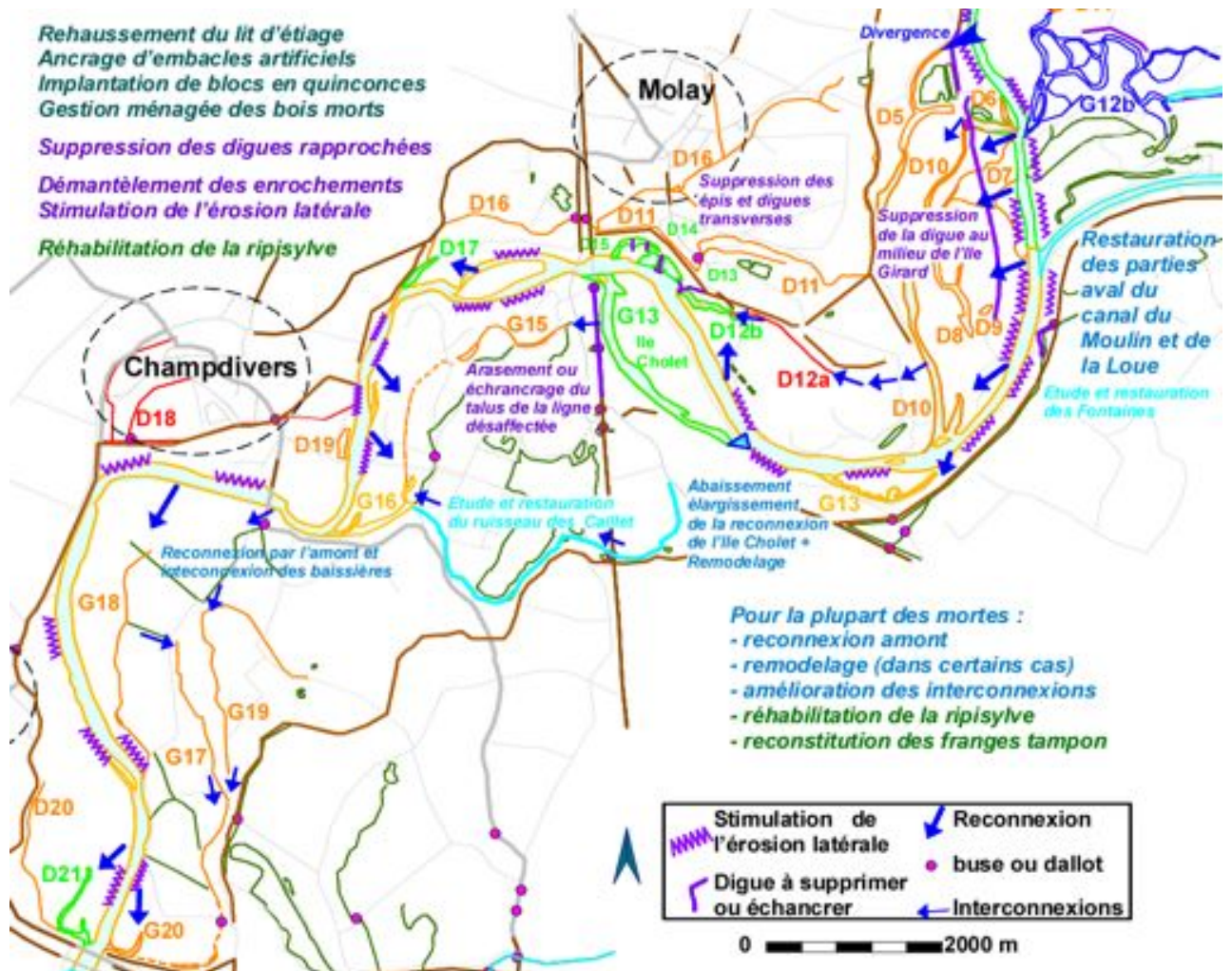


Figure 70a. Stratégie de restauration proposée pour le Doubs entre la confluence avec la Loue et l'aval immédiat du Pont de Petit Noir – partie amont, de la Loue au pont de Pesieux

## 1. Améliorer les capacités biogènes du chenal et contribuer à son rééquilibrage géomorphologique.

- \* Dans l'île du Girard, supprimer complètement la digue centrale, et ménager plusieurs chenaux d'alimentation des mottes par le Doubs en démantelant complètement les enrochements, épis et autre protection de berge au droit de ce système de zone humide en cours d'atterrissement.
- \* Dès que possible, démanteler les protections de berges et stimuler l'érosion latérale en implantant des amas de blocs en quinconce ou / et en ancrant des embacles artificiels à proximité des zones à éroder : berges boisées, bancs de galets surplombant le niveau d'étiage de plus de 50 cm... La crête de ces aménagements devra être calée au niveau du débit moyen pour augmenter la rugosité à pleins bords tout en ménageant des abris hydraulique.
- \* Rehausser le fond du lit du Doubs à l'amont et à l'aval des mottes reconnectées et interconnectées, en priorité pour G13, G14, G16, G18, G20, G30 ainsi que pour D8, D10, D12, D17, D21, D27, D30, D32 et en option à G22 et D23 (cf. option coupure sèche en alternative) ; utiliser les matériaux de démantèlement des protections de berges et des digues pour effectuer des recharges.

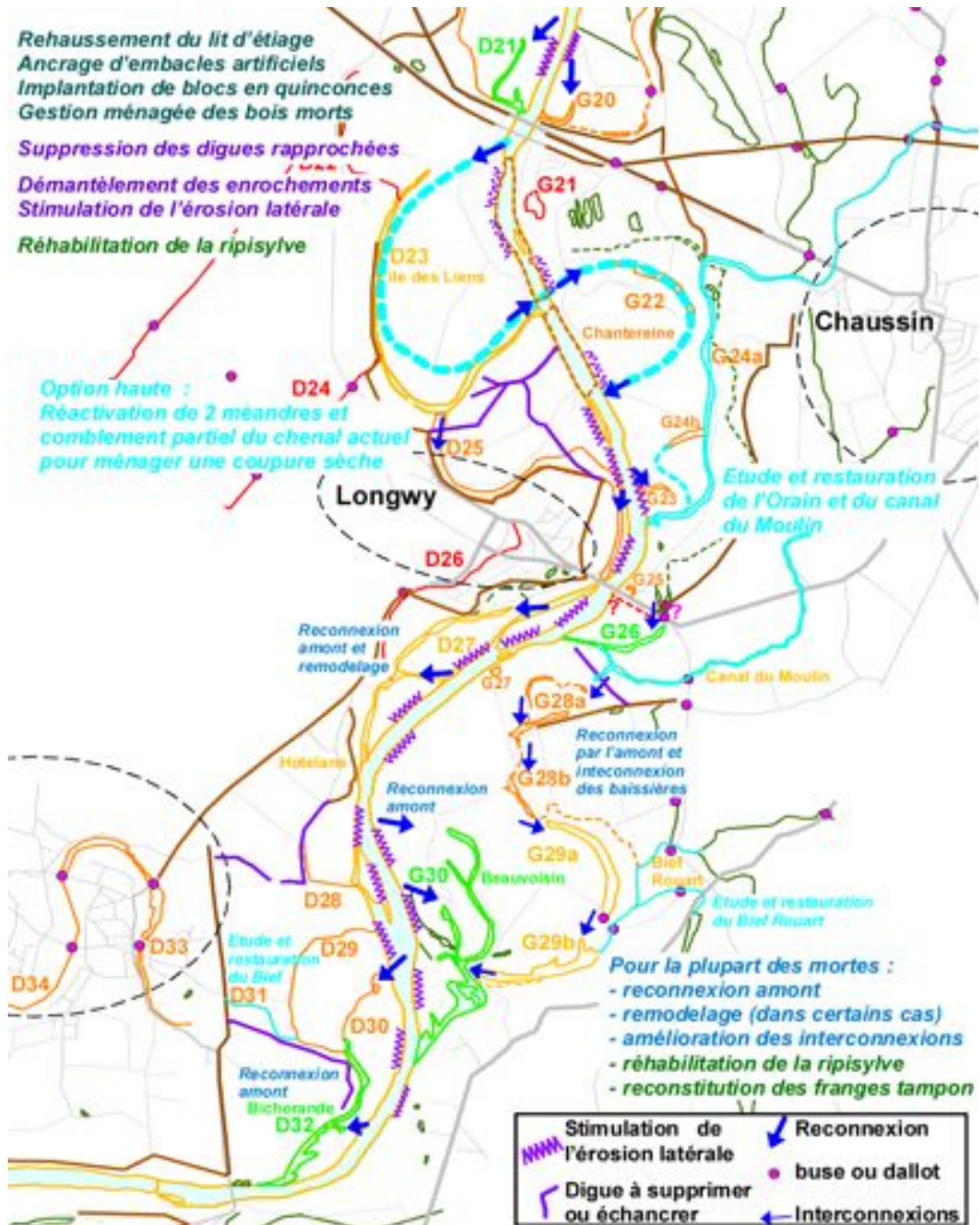


Figure 70b. Stratégie de restauration proposée pour le Doubs entre la confluence avec la Loue et l'aval immédiat du Pont de Petit Noir – partie aval, de Peseux à Petit Noir

- \* Diversifier les écoulements et différencier les processus d'érosion et de sédimentation en implantant des amas de blocs en quinconce et des embâcles ancrés, en calant l'altitude de leur cote de crête au ras du niveau d'étiage (QMNA5) ; ces éléments seront à disposer vers le centre du chenal mais en alternant leur position par rapport à l'axe médian.

- \* Chanfreiner les berges à proximité des entonnements de reconnexion amont des mortes (cf. ci-dessous) ; planter aulnes, érables, ormes, chênes pédonculés et portes baies sur les banquettes ainsi ménagées et les talus ainsi remodelés.
- \* Réhabiliter la ripisylve : écorcer les érables negundo, arracher les renouées du japon et les buddleias, puis replanter des aulnes et saules sur les placettes ainsi nettoyées ; défruitier les cultivars de peupliers et les remplacer par des frênes, des aulnes ou des clones d'ormes résistant à la graphiose.
- \* En alternative à la simple reconnexion, les 2 anciens méandres encadrant le Doubs à l'ouest de Chaussin pourraient être réactivés. Déconnectées par le rescindement du lit originel opéré au XIXe siècle (Malavoi 2004), ils devraient pouvoir être remis en eau en comblant partiellement le chenal rectiligne actuel, selon le principe de la coupure sèche. Cette stratégie consiste à caler le comblement de façon à conserver un chenal de crue modelé en cunette qui reste à sec et enherbé jusqu'au débit moyen, pour que les méandres restent en eau en permanence.

## **2. Restaurer les capacités biogènes de l'Orain et des petits affluents alimentant les mortes**

Pour ces cours d'eau, l'objectif principal est de remonter la ligne d'eau d'étiage, pour reconstituer les réserves en eau et le taux d'humidité en étiage des zones de confluence, mais sans aggraver les risques d'inondation dans les secteurs où cela n'est pas tolérable. Dans cette optique, les stratégies optimales sont le reméandrage par renaturation ou recréation de méandre quand les enjeux d'inondabilité sont faibles, et le remodelage en lits emboîtés dans les autres cas.

Une étude opérationnelle par cours d'eau est nécessaire pour choisir la stratégie pertinente et pour dimensionner les aménagements en tenant compte de la topographie et des contraintes hydrauliques tout en garantissant l'optimisation des gains biologiques. Dans le cas de l'Orain et de sa diffluence (le canal du Moulin), une étude hydraulique approfondie, ainsi qu'une approche biologique fournissant une aide à la décision en matière de partage des débits sont nécessaires.

## **3. Restaurer les capacités biogènes des mortes et leur rôle de refuge en enrayant leur atterrissement et en optimisant leur connectivité**

- \* Pour la quasi-totalité d'entre elles, reconnexion amont en ménageant un entonnement au droit de leur partie apicale, voire en supprimant les digues rapprochées, et en s'assurant de leur inter connectivité. Cette stratégie est à appliquer en priorité à G13, G14, G16, G18, G20, G30 ainsi que pour D8, D10, D12, D17, D21, D27, D30, D32 ainsi qu'à D8, D10, D12, D17, D21, D27, D30, D32 et en option à G22 et D23 si non réactivée en mode coupure sèche.
- \* Remodeler les berges et le profil en travers de la plupart des mortes pour les rendre plus biogènes tout en ralentissant leur tarissement (cf. principes § 4.1).
- \* Réhabiliter et si besoin augmenter l'extension des franges de ripisylve entourant les mortes pour reconstituer des bandes annulaires intégrales d'au moins 30 mètres de large. Lors du défruitage des cultivars de peupliers, les remplacer par des frênes, des aulnes ou des clones d'ormes résistant à la graphiose. Couper aussi les peupliers malades ou « abandonnés » pour les remplacer par les essences autochtones adaptées aux sols alluviaux.

### Tronçon C : entre le pont de Petit Noir et le pont de Navilly

Sur ce tronçon, 3 séries d'actions sont à engager ou à programmer et à négocier simultanément (fig. 71). Des études d'orientations et de faisabilité devront être réalisées à une échelle plus fine pour déboucher sur un plan d'exécution précis.

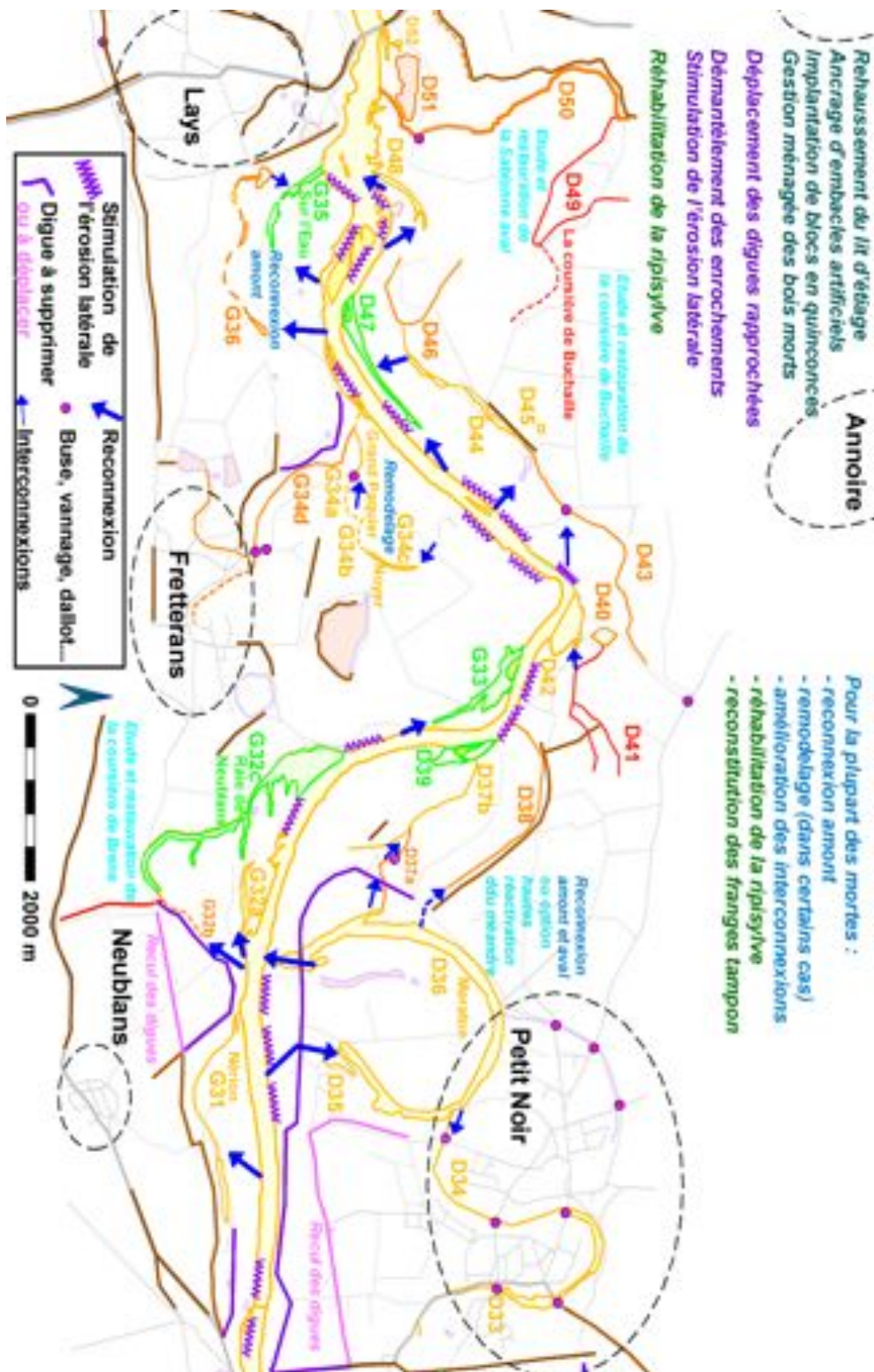


Figure 71a. Stratégie de restauration proposée pour le Doubs pour la partie amont du tronçon C, entre l'aval immédiat du Pont de Petit Noir et le pont de Lays

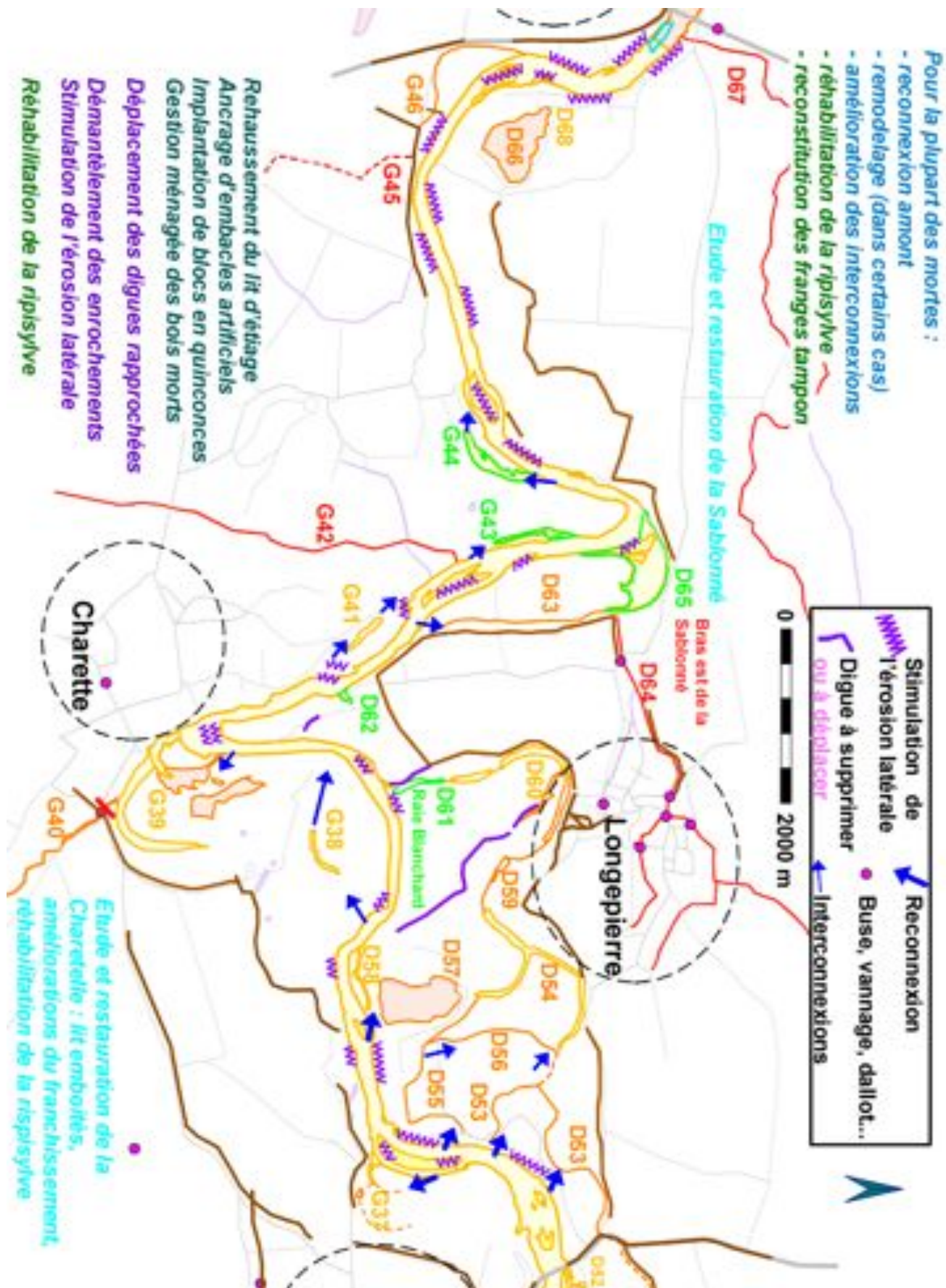


Figure 71b. Stratégie de restauration proposée pour le Doubs pour la partie aval du tronçon C, entre le pont de Lays et l'amont immédiat du pont de Navilly.

## 1. Améliorer les capacités biogènes du chenal et contribuer à son rééquilibrage géomorphologique.

- \* Entre Peseux et Neublans, reculer les digues qui corsètent le Doubs pour reconstituer son espace de liberté et dissiper l'énergie des crues. En profiter pour démanteler complètement les enrochements et autre protection de berge.

La suppression de deux digues transversales doit aussi être envisagée au nord ouest de Fretterans et au sud de Longepierre, après étude hydraulique et négociation de modification de l'occupation des sols.

- \* Sur les autres secteurs, démanteler les protections de berges et stimuler l'érosion latérale en implantant des amas de blocs en quinconce ou / et en ancrant des embâcles artificiels à proximité des zones à éroder : berges boisées, bancs de galets surplombant le niveau d'étiage de plus de 50 cm... La crête de ces aménagements devra être calée au niveau du débit moyen pour augmenter la rugosité à pleins bords tout en ménageant des abris hydrauliques.

Le positionnement et le dimensionnement de ce procédé devront être particulièrement réfléchis et soignés dans la partie convexe des méandres de Charrette et de Longepierre ainsi qu'au niveau des dépôts de graviers qui obstruent le bras gauche de l'île de la Paule (G41).

- \* Rehausser le fond du lit du Doubs à l'amont et à l'aval des mortes reconnectées pour favoriser la dissipation de l'énergie des débits moyens dans les mortes reconnectées et interconnectées, en priorité pour G31, G32, G33, G35, G37, G38, G39, G41, G43 ainsi que D35, D36, D45, D46, D47, D48, D53, D54, D55, D63 ; utiliser les matériaux de démantèlement des protections de berges et des digues pour effectuer des recharges.

Chanfreiner les berges à proximité des entonnements de reconnexion amont des mortes (cf. ci dessous) ; planter aulnes, érables, ormes, chênes pédonculés et portes baies sur les banquettes ainsi aménagées et les talus ainsi remodelés.

- \* Réhabiliter la ripisylve : écorcer les érables negundo, arracher les renouées du japon et les buddleias, puis replanter des aulnes et des saules autres que saules blancs sur les placettes ainsi nettoyées ; défruitier les cultivars de peupliers et les remplacer par des frênes, des aulnes ou des clones d'ormes résistant à la graphiose ; proscrire les plantations de cultivars.

## 2. Restaurer les capacités biogènes de la Sablonne et de la Charetelle ainsi que des petits affluents alimentant les mortes

Pour ces cours d'eau, l'objectif principal est de remonter la ligne d'eau d'étiage, pour reconstituer les réserves en eau et le taux d'humidité en étiage des zones de confluence, mais sans aggraver les risques d'inondation dans les secteurs où cela n'est pas tolérable. Dans cette optique, les stratégies optimales sont le reméandrage par renaturation ou recréation de méandre quand les enjeux d'inondabilité sont faibles, et le remodelage en lits emboîtés dans les autres cas.

Une étude opérationnelle par cours d'eau est nécessaire pour choisir la stratégie pertinente et pour dimensionner les aménagements en tenant compte de la

topographie et des contraintes hydrauliques tout en garantissant l'optimisation des gains biologiques.

Dans le cas de la Charetelle, une réflexion doit être menée sur le franchissement du seuil-barrage de sa confluence avec la Morte du Champ Bégon. Pour l'instant cet ouvrage empêche toute circulation piscicole.

Dans le cas de la Sablonne, et de ses petits affluents plus ou moins temporaires, comme la coursière de Buchaille, une réflexion sur le cycle de l'eau doit être menée pour l'ensemble des bassins versants. Des solutions plus ambitieuses que celles préconisées par le dossier d'orientation proposé par l'EPTB en 2011 doivent être entreprises pour qu'au moins la partie aval du cours d'eau principal ne s'assèche plus durant les étiages, même sévères.

En particulier, il serait judicieux de remplacer les curages répétés par des remodelage du lit comprenant une rehausse du lit d'étiage et une accélération des vitesses en basses eaux. Parallèlement, plusieurs secteurs rectifiés devraient pouvoir être reméandrés.

### **3. Restaurer les capacité biogènes des mortes et leur rôle de refuge en enrayant leur atterrissement et en optimisant leur connectivité**

- \* Pour la quasi-totalité d'entre elles, reconnexion amont en ménageant un entonnement au droit de leur partie apicale, voire en supprimant les digues rapprochées, et en s'assurant de leur inter connectivité. Cette stratégie est à appliquer en priorité à G31, G32, G33, G35, G37, G38, G39, G41, G43 ainsi qu'à D35, D36, D45, D46, D47, D48, D53, D54, D55, D63
- \* Remodeler les berges et le profil en travers de la plupart des mortes pour les rendre plus biogènes tout en ralentissant leur tarissement (cf. principes § 4.1).
- \* Réhabiliter et si besoin augmenter l'extension des franges de ripisylve entourant les mortes pour reconstituer des bandes annulaires intégrales d'au moins 30 mètres de large. Lors du défruitage des cultivars de peupliers, les remplacer par des frênes, des aulnes ou des clones d'ormes résistant à la graphiose. Couper aussi les peupliers malades ou « abandonnés » pour les remplacer par les essences autochtones adaptées aux sols alluviaux. Après ces opérations, proscrire les plantations de peupliers.

#### **Tronçon D : entre le pont de Navilly et la confluence avec la Saône**

Sur ce tronçon uniforme, très profond et stable, les actions destinées à conforter le rééquilibrage géomorphologique ne pourront pas être mises en œuvre. En effet, sur cette portion navigable du Doubs, le déficit de matériaux est considérable, tandis que la stabilité hydrodynamique ne permet pas leur recharge par érosion latérale. L'apport de granulat par le transport solide amont prendra en outre un temps considérable.

Seules des actions ponctuelles d'amélioration de l'hospitalité des berges et de la fonctionnalité des systèmes latéraux pourront être envisagées (fig. 72). Avant de les préciser et de les mettre en œuvre, des études d'orientations et de faisabilité devront être réalisées à une échelle plus fine pour déboucher sur des plans d'exécution précis.

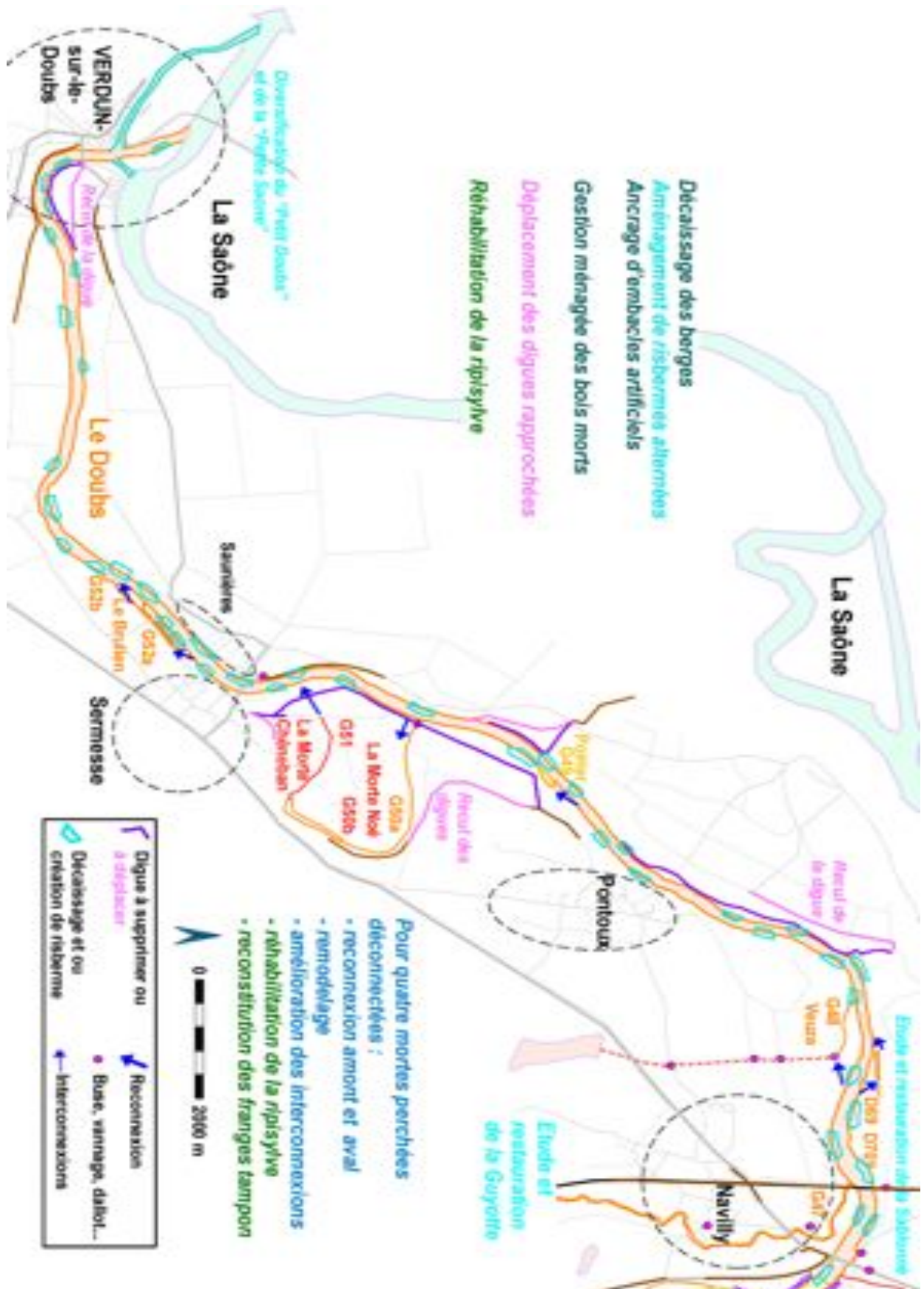


Figure 72. Stratégie de restauration proposée pour le Doubs du pont de Navilly à la confluence



## 1. Améliorer les capacités biogènes du chenal et de ses berges

- \* Avant tout, reconsidérer l'utilité de la navigabilité pour décider s'il est possible de la limiter à la seule plaisance, et donc d'envisager de réduire au moins par endroits la profondeur à deux mètres au maximum tout en ménageant des hauts-fonds latéraux.
- \* Après une étude hydraulique comprenant l'examen de la faisabilité de la modification de l'occupation des sols et des pratiques culturales, proposer le recul des digues qui corsète le Doubs au droit de Charnay-lès-Chalons, entre Pontoux et Sermesse ainsi qu'en amont de Verdun-sur-le Doubs. Ces opérations permettraient de réduire les contraintes hydrauliques tout en restaurant les zones humides et les mortes en cours d'assèchement.
- \* Si le déplacement des digues est possible et accepté, le linéaire à reconstruire sera inférieur au linéaire actuel ; l'excès de matériaux pourra être utilisé pour reconstituer des hauts fonds en rechargeant le chenal ponctuellement.
- \* Décaisser les berges dès que possible en aménagement selon les endroits banquettes ou risbermes avec caches ; planter érables, frênes, ormes chêne pédonculé et portes baies sur ces berges remodelées ; planter aulnes et saules sur les banquettes et les risbermes.
- \* Diversifier les écoulements et apporter d'autre type de caches de berges en ancrant des embâcles dans les berges les plus stables, et en calant l'altitude de leur cote de crête au ras du niveau d'étiage (QMNA5) de façon à ce que ces rugosités locales soit complètement noyées en hautes eaux.
- \* Réhabiliter la ripisylve : écorcer les érables negundo, arracher les renouées du japon et les buddleias, puis replanter des aulnes et saules autres que saules blancs sur les placettes ainsi nettoyées ; défruiter les cultivars de peupliers et les remplacer par des frênes, des aulnes ou des clones d'ormes résistant à la graphiose ; proscrire les plantations de peupliers et faire reculer la limite des champs cultivé au prairie des prairies de fauche et des pâtures.

## 2. Restaurer les capacités biogènes de la Guyotte et de la Sablonné

Pour ces 2 cours d'eau qui confluent avec le Doubs à la hauteur de Navilly, l'objectif principal est à nouveau de remonter la ligne d'eau d'étiage, pour reconstituer les réserves en eau et l'humidité des zones de confluence, mais sans aggraver les risques d'inondation où cela n'est pas tolérable. Compte tenu des contraintes d'usage et d'occupation de l'espace, le remodelage en lits emboîtés semble la meilleure stratégie à employer dans les deux cas de figure.

Toutefois une étude opérationnelle pour chacun de ces deux cours d'eau sera nécessaire pour valider le choix de la stratégie, pour dimensionner les aménagements et pour garantir l'optimisation des gains biologiques

Dans le cas de la Guyotte, une approche globale de la suppression des multiples obstacles devra être menée à partir d'une étude hydraulique globale appuyées sur une modélisation biologique. Cette démarche d'ensemble est nettement préférable au traitement au coup par coup consistant à considérer chaque ouvrage séparément.

Elle permet en effet d'optimiser le rehaussement du niveau d'étiage et donc la reconstitution des réserves en eau.

Dans le cas de la Sablonné, comme pour la Sablonne, une prise en compte du cycle de l'eau est nécessaire sur l'ensemble du Bassin Versant pour diminuer la fréquence des assecs en étiage. Corrélativement, le remodelage du chenal pourrait contribuer à réduire la vitesse du tarissement.

### **3. Restaurer les capacités biogènes des mortes et leur rôle de refuge en enrayant leur atterrissement et en optimisant leur connectivité**

- \* Pour la totalité des mortes et ancien bras relictuels, reconnexion amont en ménageant un entonnement dans la berge du Doubs au droit de leur partie apicale, et en calant la fréquence de prise d'eau sur le débit moyen ou sur un débit plus proche de l'étiage si cela est possible ; prévoir des rigoles ou coursières si nécessaires ; l'implantation des banquettes en face de ces entonnements pourra contribuer à orienter une partie des débits moyens.
- \* Dans le cas des systèmes fragmentés (G51-52 par exemple) rétablir leur interconnectivité ; prévoir des rigoles ou coursières si nécessaires.
- \* Remodeler les berges et le profil en travers de la plupart des mortes pour les rendre plus biogènes tout en ralentissant leur tarissement (cf. principes § 4.1).
- \* Réhabiliter et si besoin augmenter l'extension des franges de ripisylve entourant les mortes pour reconstituer des bandes annulaires intégrales d'au moins 30 mètres de large. Lors du défruitage des cultivars de peupliers, les remplacer par des frênes, des aulnes ou des clones d'ormes résistant à la graphiose. Couper aussi les peupliers malades ou « abandonnés » pour les remplacer par les essences adaptées aux sols alluviaux très humides. Enfin, proscrire désormais les plantations de peupliers cultivars.
- \* Remplacer les cultures intensives en bordure de Doubs par des prairies de fauche ou des pâtures extensives.

### **4. Diversifier les habitats de bordures pour les deux bras du Doubs à Verdun-sur-le-Doubs (Petite Saône et Petit Doubs)**

- \* Sur le Petit Doubs, très artificialisé, seules des banquettes et des risbermes avec caches peuvent être envisagées *a priori* ; dans le cas de la Petite Saône, un peu plus sauvage, des amas de blocs et des embâcles artificiels ancrés pourront en outre être implantés.
- \* Même pour ces actions limitées de diversification, ces deux bras s'écoulent dans un contexte urbanisé ; par conséquent, pour leur réhabilitation, une étude hydraulique couplée à la modélisation biologique doit être prévue pour éviter d'augmenter les risques d'inondation tout en garantissant la réalité des gains écologiques.
- \* Des actions paysagères axées sur la végétalisation des risbermes, leur formes et leur disposition pourront aussi être entreprises à cette occasion.

## Synthèse, conclusions et perspectives

### *Bilan sur l'état des peuplements piscicoles (tab. 22)*

Les peuplements de poisson du Doubs basal, déjà déstructurés à la fin des années 1960, continuent à s'appauvrir et à se banaliser. La régression de l'ombre, de la truite de la lote, et du blageon, déjà relictuels dans les années 1990, s'est poursuivie jusqu'à leur quasi-disparition. Parmi les espèces apicales électives des types écologiques rencontrés, seul le chabot continue à peupler les fonds du Doubs basal. A *contrario*, des espèces plus centrales et réputées moins exigeantes, comme le toxostome, le barbeau et la vandoise sont, elles aussi, en cours de régression.

Plusieurs espèces d'eau calme pourtant ubiquistes sont également déficitaires. Enfin, parmi les carnassiers, l'abondance des sandres et des brochets est fortement réduite, alors que le silure, espèce allochtone polluo-résistante est, elle, en pleine expansion.

Compartiments	Spatialisation	Diagnostic 2015	Tendance
<b>Peuplements pisciaires</b>	amont	Déstructurés et très appauvris	---
	médian	Déstructurés et appauvris	---
	aval	Très simplifiés banalisés	----
<b>Populations piscicoles et ressources halieutiques</b>	Salmonidés	Disparu ?	-----
	Lote	Disparue ?	-----
	Petites esp. apicales	Régression sauf chabot	---
	Cyprinidés eaux vives	Déficit sauf hotu, chevesne et goujon	-
	Cyprinidés eaux lentes	Déficit sauf brème bordelière et rotengle	-
Carnassiers	Déficits importants sauf silure	---	
<b>Habitats aquatiques</b>	amont	Attractivité morphodyn. réduite de 50 %	-
	médian	Attractivité morphodyn. réduite de 60%	--
	aval	Attractivité morphodyn. réduite de 80 %	----
<b>Mosaïques de biotopes et de faciès</b>	amont	Hétérogène mais peu attractif	+ -
	médian	Peu hétérogène peu attractif	-
	aval	Uniforme très peu attractif	---
<b>Chimie de l'eau et des sédiments</b>	amont	Micropolluants ( +pollution organique ?)	-----
	médian	Micropolluants	---
	aval	Micropolluants	---

**Tableau 22. Vue synoptique de l'état d'altération des milieux aquatiques du Doubs basal (les poissons sont utilisés comme indicateurs du compartiment biologique)**

Les potentiels piscicoles du Doubs basal et en particulier les ressources halieutiques sont fortement altérés. Or les poissons, qui agissent sur presque tous les maillons des édifices trophiques et à presque toutes les échelles structurant l'écosystème cours d'eau, constituent des indicateurs particulièrement intégrateurs de l'état de l'ensemble des potentiels biologiques. Ceux ci apparaissent donc réduits de façon préoccupante.

## ***Bilan sur les causes d'altération des capacités biogènes***

L'évaluation de la qualité physique du Doubs basal, confrontée aux résultats des pêches et des relevés thermographiques, révèle que les causes de la banalisation de l'ichtyofaune sont à la fois physiques et chimiques.

=> D'une part, les pressions chenalisatrices subies par la rivière depuis le début du XIX<sup>ème</sup> siècle, interférant avec l'impact des extractions massives advenues entre la fin des années 1950' et celles des années 1980', ont provoqué l'enfoncement du lit du Doubs ainsi que l'élargissement de la lame d'eau d'étiage. Ces modifications morphologiques ont induit l'uniformisation et la banalisation des mosaïques d'habitats aquatiques, encore accentuées par le déficit en transport solide, par l'instabilité des fonds ainsi que par les tendances aux colmatages, en étiage, des bordures et annexes.

Corrélativement, l'abaissement de la ligne d'eau d'étiage et donc du niveau minimal de la nappe s'est traduit par l'accélération de l'atterrissement des mortes et des baissières. La chenalisation simultanée de l'ensemble des affluents, en diminuant les débits d'étiage, a encore aggravé ce processus tout en réduisant encore la qualité et la quantité des refuges pour la faune aquatique.

Depuis la fin des extractions massives, l'érosion latérale des berges du Doubs basal, acceptée ou tolérée, entraîne une recharge partielle du transport solide. Ce processus, en amorçant le comblement des fosses et la reconstitution des bancs de graviers et de galets, a permis une remontée partielle de l'altitude des fonds. Cependant, l'élargissement du lit et la baisse probable des débits d'étiage empêche la rehausse des lignes d'eau en basses eaux. En outre, la faible densité des points durs et des rugosités dans le chenal limite la diversification et la différenciation des bancs de graviers et de galets qui nappent le fond en amas lenticulaires homogènes ou s'accumulent dans l'intrados des méandres à faible rayon de courbure.

=> D'autre part, sur la totalité du linéaire, les espèces qui ont le plus fortement régressé ou qui ont disparu sont celles qui sont les plus sensibles à la qualité chimique (salmonidés, petites espèces apicales, blageon, vandoise ...). Parallèlement, 2 des 3 stations montrant les déficits d'abondances les plus importants, situées à l'aval de Dole, sont associées aux configurations habitationnelles les plus favorables. On en déduit :

- un état de dégradation net de la qualité chimique sur l'ensemble du linéaire, confirmé par l'importance des contaminations en pesticides révélées par les suivis de réseau piloté par l'agence de l'eau à Gevry et à Saunière
- une suspicion de pollution organique plus intense sur la partie amont, probablement reliés aux rejets épurés ou non de l'agglomération doloise.

=> Enfin, les effets de ces pollutions chimiques, ainsi que la vitesse de leur transfert sont fortement amplifiés par la déstructuration des habitats aquatiques du chenal ainsi que par la banalisation de ses annexes. En effet, ces altérations physiques ont bridé l'efficacité du filtrage naturel normalement assuré par les systèmes latéraux et les franges humides. Parallèlement, elles ont aussi grevé les capacités d'autoépuration du Doubs en simplifiant l'édifice biologique et en réduisant l'efficacité de chaîne de production et de consommation, des algues et des macrophytes aux poissons.

### Synoptique sur la stratégie de restauration (tab. 23)

Dans ce contexte, la réhabilitations partielle, empirique et au coup par coup des seules mortes ne pourra suffire à enrayer leur tendances à l'atterrissement et à l'assèchement. Corrélativement, si l'érosion latérale permet de restaurer partiellement le transport solide, elle ne suffit par pour rehausser la ligne d'eau d'étiage, ni pour améliorer la qualité de l'habitat aquatique. En outre, d'après Malavoi (2004), plusieurs siècles seront nécessaire pour que ce processus rétablisse l'équilibre entre le Doubs et sa vallée.

Altérations ou déséquilibre	Actions restauratoires ou compensatoires
Enfoncement et incision du lit Déficit en transport solide	Maintien voir encouragement de l'érosion latérale. Suppression ou recul des digues corsetant le lit mineur
Abaissement de la ligne d'eau d'étiage Atterrissement des mortes et baissières Désordres hydrauliques	Implantations dans le chenal de semelles de fond en dalles- blocs Reconnexion ou/et réalimentation amont des mortes Réactivation des chenaux de crues et des interconnexions entre systèmes latéraux du Doubs au Doubs
Homogénéité et inattractivité des habitats aquatiques Elargissement et aplatissage de la lame d'eau d'étiage Déconnexion de la ripisylve	Ancrage d'embâcle artificiels et implantation d'amas de blocs soit au centre du chenal soit en berge Pour la partie amont, voire aussi rehausse de la ligne d'eau d'étiage Pour la partie aval, chanfreinage des berges, aménagement de banquettes avec caches
Banalisation des affluents	Renaturation par reméandrement ou remodelage du chenal en lit emboîté dans le but de rehausser l'altitude des lignes d'eau d'étiage
Contaminations par les pesticides	Aides à l'agriculture raisonnée ou bio (moins d'intrants) Reconstitution, réhabilitation et agrandissement des franges humides Remodelage des fossés d'assainissement agricole, amélioration de leur tracé et de leur gestion
Pollutions organiques et nutritives	Idem à ci dessus Expertise et amélioration des STEP dont celle de Dole Epurations tertiaires (lagunage en sortie de STEP ?)

**Tableau 23. Présentation synoptique d'une stratégie de restauration par traitement des causes de déséquilibre et d'altération des fonctions écologiques du Doubs basal**

Par conséquent, seule une stratégie globale incluant **la restauration du chenal et d'une masse critique suffisante de systèmes latéraux associés** pourra garantir, à court et moyen termes, l'amélioration réelle de la qualité physique du Doubs. Cette stratégie devra viser :

- la rehausse du niveau d'étiage dans le chenal à l'aide de semelles en dalles-blocs ;
- l'implantation de rugosités (embâcles ancrés, amas de blocs) pour diversifier les écoulements tout en favorisant le tri des dépôts de galets et de graviers.
- la reconnexion amont et aval, le remodelage et, dès que possible, la réalimentation des mortes et de certaines baissières ;
- la réactivation et la multiplication des chenaux de crues et des interconnexions entre mortes pour mieux dissiper l'énergie tout en réalimentant la nappe phréatique ;
- la rehausse du niveau d'étiage de tous les affluents par renaturation, ou en remodelant leur chenal selon le principe des lits emboîtés.

Parallèlement des efforts seront aussi nécessaires pour **juguler ou épurer les pollutions chimiques** qui grèvent la qualité de l'eau et des sédiments du Doubs :

- vérification et dans la plupart des cas amélioration du fonctionnement des stations d'épurations avec un soin tout particulier pour celle de Dole ;
- ajouts de systèmes d'épuration tertiaire de type lagunages dès que possible ;
- réduction des intrants agricoles dans la vallée ;
- reconstitution, réhabilitation ou / et agrandissement des franges humides tampons en bordure du chenal et autour des systèmes latéraux ;
- amélioration de l'aménagement, du cheminement hydraulique et de la gestion des fossés d'assainissement agricole dans le but de ralentir les écoulements d'étiage.

### ***Démarche de mise en œuvre et éléments de pré-chiffrage***

Pour être efficaces, les travaux de restauration doivent être mis en œuvre sur des portions du Doubs d'une taille minimale constituant une unité fonctionnelle de type « séquence de faciès et de biotopes ». Dans la pratique, de telles unités s'étendent sur un linéaire de 2 à 4 km et comprennent un ou deux systèmes latéraux semi-connectifs au moins.

Sur chacune de ces unités, les actions restauratoires doivent viser à la fois le rehaussement de la lame d'eau, la reconnexion des systèmes annexes, l'augmentation des capacités de dissipation latérales de l'énergie des crues et l'accroissement des réserves en eau. Pour garantir l'atteinte de ces objectifs, la démarche doit comprendre les étapes suivantes :

1. Réalisation d'une étude opérationnelle pour finaliser le projet jusqu'au stade des plans d'exécution à l'aide d'allers et retours entre l'approche biologique et les calculs hydrauliques de façon à garantir les gains écologiques, en particulier en étiage, sans entraîner de risques d'inondation qui ne soient pas acceptables.
2. Négociation et recherche d'aides pour faciliter les éventuelles modifications d'occupations des sols, de pratiques et d'usages sur les franges humides à reconquérir ou sur les berges dont l'érosion devra être favorisée.
3. Elaboration des dossiers réglementaires (DLE, DIG...) et animation de l'enquête publique.
4. Constitution de la Mise en Œuvre, consultations des entreprises.
5. Mise en œuvre des travaux de restauration du chenal et des systèmes latéraux associés, ainsi que des affluents.
6. Réhabilitation et reconstitution ou complémentation des franges humides.
7. Suivi morphologique, hydraulique et biologique de l'efficacité des travaux.

La nature, l'articulation et le cout moyen de ces aménagements peuvent être déclinés sur 2 types d'unité de travail correspondant respectivement aux séquences de faciès de la partie amont allant de l'aval de Dole à l'amont de Navilly et de la partie aval (tab. 24 et 25). Sur la partie amont, une unités de travail « type » comprend :

- le chenal sur 2 à 4 km à rehausser, à rediversifier et à rendre plus attractif,

- une portion de digue de 500 à 2000 m à déplacer ou à supprimer
- un linéaire d'enrochement de berge de 500 à 1000 mètres à démanteler
- de deux à trois mortes à reconnecter par l'amont, à remodeler et à reconnecter avec des baissières, des noues, des coursières ou des petits affluents ;
- des franges humides à réhabiliter, à reconstituer ou à compléter sur 1000 à 4000 mètres de linéaire et sur plusieurs mètres de largeur.

Opérations / étapes / actions	Cub./ lin. unitaire	Estim. Prix unitaire	Nb, vol. ou lin.	Coûts
Etude pour modélisation et dimensionnements biologiques et hydrauliques (dont topographie)				48 000
Négociation occupation des sols, usages, aides				12 000
Montage dossier réglementaire, DLE, DIG,				16 000
Aménagement d'une reconnexion amont modelage des berges	100	240	2	48 000
Démantèlement des digues sur 1000 m et recharge	6	12	1000	72 000
Démantèlement des enrochements sur 1000 m	6	16	1000	96 000
Semelle de fond	120	480	3	178 800
Rigole d'amenée des hautes et moyennes eaux ou coursière sur 1000 m en linéaire cumulé	1,6	12	1000	19 200
Forfait passerelles / dalots				20 000
Ancrage d'embâcles		800	24	19 200
Amas de blocs en quinconces	20	240	24	115 200
Réhabilitation ripisylve (par unité de 1000 m)		8 000	4	32 000
Installation chantier, sécurité, surveillance, finitions, remise en état				12 000
Maitrise d'Œuvre (MOE)				61 240
<b>Total en euros Hors Taxes</b>				<b>749 640</b>

**Tableau 24. Chiffrage des coûts pour une opération « type » de restauration intégrée d'une séquence de faciès s'étendant sur de 2 à 4 km dans le Doubs entre l'aval de Dole et l'amont de Navilly ; une grande partie des cubages ou des linéaires, voire du nombre des différents aménagements est susceptible de varier du simple au double**

Entre Navilly et Verdun-sur-le-Doubs, les séquences de faciès et de biotopes « type » à restaurer comprennent :

- le chenal sur 3 à 6 km à rediversifier et à rendre plus attractif en chanfreinant les berges et en modelant des banquettes avec ou sans risberme avec caches,
- une portion de digue de 200 à 1000 m à déplacer ou à supprimer
- un linéaire d'enrochement de berge de 200 à 800 mètres à démanteler
- une morte à reconnecter par l'amont, à remodeler et à reconnecter avec des baissières, des noues, des coursières ou des petits affluents ;

- des franges humides à réhabiliter ou et à reconstituer ou à compléter sur 1000 à 4000 mètres de linéaire et sur plusieurs mètres de largeur.

Opérations / étapes / actions	Cuba./ lin. unitaire	Estim. Prix unitaire	Nb, vol. ou lin.	Coûts
Etude pour modélisation et dimensionnements biologiques et hydrauliques (dont topographie)				48000
Négociation occupation des sols, usages, aides				12000
Montage dossier réglementaire, DLE, DIG,				16000
Aménagement d'une reconnexion amont modelage des berges	100	240	1	24000
Démantèlement des digues sur 1000 m	6	12	1000	72000
Démantèlement des enrochements sur 1000 m	4	20	1000	80000
Rigole d'amenée des hautes et moyennes eau ou coursières sur 500 m en linéaire cumulé	1,6	12	500	9600
Forfait passerelles / dalots				6000
Ancrage d'embâcles		800	24	19200
Réhabilitation ripisylve pour 1000 m linéaire		6800	4	27200
Banquette + risberme avec caches sur 100 m		63200	4	252800
Banquette décaissée sur 100 m		25200	4	100 800
Installation chantier, sécurité, surveillance, finitions, remise en état				12 000
Maitrise d'Œuvre (MOE)				60 360
<b>Total en euros Hors Taxes</b>				<b>739 960</b>

**Tableau 25. Chiffrage des coûts pour une opération « type » de restauration intégrée d'une séquence de faciès correspondant à un linéaire de 3 à 6 km entre l'aval de Navilly et Verdun-sur-le-Doubs ; une grande partie des cubages ou des linéaires, voire du nombre des différents aménagements est susceptible de varier du simple au double**

Le cout de la restauration type d'une unité de travail de 2 à 6 km peut donc être estimé à environ 800 000 euros, tout au long du Doubs. Trois catégories de projets échappent toutefois à cette approche. Elles ne pourront être chiffrées de façon pertinente qu'à l'aide d'une étude opérationnelle, car l'estimation de leur cout requiert des leviers topographiques précis et denses :

- la réactivation des méandres de Chaussin à l'aide d'une coupure sèche ;
- la diversification de la petite Saône et du Petit Doubs ;
- les restaurations des différents affluents dont on ignore pour l'instant jusqu'au linéaire à traiter.



## Conclusion générale

L'étude simultanée des peuplements piscicoles et de la qualité physique du Doubs basal a permis d'obtenir une vision spatialisée de l'état de santé de cet écosystème. L'appauvrissement et la déstructuration de l'ichtyofaune montre que les capacités biogènes sont fortement altérées sur la quasi totalité des 65 kilomètres étudiés, et qu'elles continuent à se dégrader. Les analyses de la qualité physique de la rivière, effectuées à plusieurs échelles, indiquent que les habitats aquatiques sont banalisés tandis que les systèmes latéraux sont en cours d'atterrissement, voire d'assèchement.

Cette évolution préoccupante est liée à l'enfoncement du Doubs basal et de ses affluents qui a lui même été amorcé puis aggravé par des pressions chenalisatrices successives et amplifié par les extraction massive de granulats. L'érosion latérale en cours, bien qu'elle soit très active sur certains secteurs, ne suffira pas à rétablir l'équilibre entre la rivière et sa zone alluviale avant plusieurs siècles, et seulement à condition qu'elle soit tolérée sur des portions suffisamment longues.

En outre, la qualité chimique du Doubs basal est elle aussi affectée. Les suivis pilotés par l'Agence de l'Eau révèlent en effet une contamination quasi permanente de l'eau par des pesticides. La comparaison de la qualité des habitats et des potentiels piscicoles très déficitaire à l'aval de Dole fait en outre suspecter des pollutions supplémentaires plus aiguës dans ce secteur.

Pour restaurer efficacement les ressources écologiques du Doubs basal, une stratégie globale et intégrative est nécessaire. Elle doit viser essentiellement à la rehausse des niveaux d'étiage ainsi qu'à l'augmentation de la fréquence, de la durée et de l'extension de la mise en eau des zones humides. En outre, pour atteindre ces objectifs, les opérations de réaménagement doivent être appliquées simultanément au chenal, aux systèmes latéraux associées et aux frange humides, sur des unités de travail cohérentes d'importance plurikilométrique.

Parallèlement, la qualité chimique du Doubs doit aussi être améliorée. D'une part, les intrants agricoles utilisées en zones alluviales doivent être réduits. D'autre part, la dépollution des rejets domestiques doit être améliorée.

Le volume et le coût de tels actions et travaux sont élevés. Néanmoins, ils permettront le rétablissement de fonctions écologiques pour l'instant fort altérées et la reconstitution de ressources inestimables :

- accroissement notoire de la production piscicole et des potentiels halieutiques ;
- maintien et reconquête de la biodiversité des milieux aquatiques et humides ;
- augmentation de la quantité et amélioration de la qualité des réserves en eau ;
- conservation et renforcement ou même recouvrement de la beauté paysagère et de l'intérêt touristique de la Basse Vallée du Doubs...

Dans le contexte du réchauffement global annoncé, qui risque de se traduire par des périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes et prononcées, ces gains écologiques dépassent largement les seuls enjeux piscicoles.

## 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 *Barbus 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. pp 83-103.
- BRAVARD J.P. et PETTS G.E., 1993. *Interférences avec les interventions humaines in « Hydrosystèmes fluviaux ».* p 233-253.
- C.T.G.R.E.F., 1978. Effets biologiques et écologiques des extractions de matériaux dans le lit des cours d'eau (Pollution « mécanique »). Rapport n° 2. Modification du peuplement ichthyologique du cours inférieur du Doubs D.Q.E.P.P. Antony, 19 p..
- CETEGREF, 1982. Etude du peuplement ichthyologique du Doubs inférieur. D.Q.E.P.P. Cemagref Paris et Laboratoire d'Hydroécologie de l'Université de Franche-Comté, Besançon, 21 p.
- COMPAGNAT P. & Col., 2007. Inventaire des zones à frayères à brochets de la vallée du Doubs dans le département du Jura - ONEMA - DIREN Franche-Comté, 12 p. + annexes.
- COMPAGNAT P., BARAN P., 2006. La reproduction du brochet. Bilan des suivis en Bourgogne et Franche-Comté. Conseil Supérieur de la Pêche, délégation régionale de Dijon. FDAPPMA 21, 25, 70 et 71, 62 p. + 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
- CRANEY E., 1992. La Basse vallée du Doubs : synthèse Ecologique - Fédération de défense de l'environnement du Jura. Association de sauvegarde du Doubs : 62 p. + annexes
- CRANEY E., PINSTON H., CUENIN C., 1991. Etude herpétologique de la Basse vallée du Doubs (Jura) - Université de Franche-Comté - Association de Sauvegarde du Doubs, 48 p.
- CREMADES C., 2002. Les saules têtards de la Basse vallée du Doubs : Intérêts écologiques et paysagers et mesures de conservation - Jura dolois - Dole environnement, 32 p.
- 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 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.
- 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.
- CTGREF, 1976. Effets biologiques et écologiques des extractions de matériaux dans le lit des cours d'eau (Pollution « mécanique »). Rapport préliminaire. Observations réalisées sur le cours inférieur du Doubs, n° 12, Antony : 1-26.
- CUINET A., DAUDET T., RAHON J., 2010. Etude piscicole de la Basse Clauge - Eaux continentales - 2010 - 71 p. + annexes
- 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.erd.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 Pêche, 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-Rhône connection. Regulated River Research & Management 12 (6) : 617-631/
- GADEN J.-L., EGGERT C., 2010. Etude et cartographie des populations d'amphibiens présentes sur le site Natura 2000 de la Basse vallée du Doubs (39). Ecotope-Flore-Faune : 32 p. + annexes
- 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.
- LARINIER M., 1980. Effets mésologiques des extractions de granulats dans le lit mineur des cours d'eau. Rapport de conférence de la FAO, Commission Européenne Consultative pour les Pêches dans les Eaux Intérieures, Vichy, p. 192-211. <http://www.fao.org/docrep/005/ac743e/AC743E10.htm>
- LUCOT E., DEGIORGI F., AUGÉ 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., AUGÉ 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 ed. - 69 p. + annexes + rapports complémentaires
- 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.
- MARIDET, L. 1995. *Rôle des formations végétales riveraines. Recommandations pour une gestion régionalisée*. Rapport Cemagref, Lyon : 69 p.
- 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 Saône. 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 Saône et la basse vallée du Doubs. Rapport pour le Syndicat Mixte Saône Doubs. 38p + 5 annexes.
- 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.
- SACCONI 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.
- SACCONI 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
- 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 (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.
- 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.
- 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, Besançon, 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.

## **Annexes (en fascicules et fichiers séparés)**

Annexe 1. Rendements de capture à Molay : données antérieures

Annexe 2. Structure taille fréquence des captures toutes espèces

Annexe 3. Cartes IAM des 6 stations

Annexe 4. Catalogue et évaluation des systèmes latéraux

Annexe 5. Détails de la qualité physique des tronçons

Annexe 6. Cartes de qualité physique des tronçons

Annexe 7. Thermographie

Annexe 8. Cartes des propositions d'aménagements