



**Conseil Supérieur de la Pêche**

# **Contribution à la recherche des causes de régression de l'écrevisse "Pieds Blancs"** *(Austropotamobius pallipes)*

**Expérimentation dans le département du Jura de 2000 à 2003**

**Recherche des causes insidieuses d'extinction  
Caractérisation des exigences habitationnelles minimales  
Mise au point d'un système expert.**



**Étude réalisée par**

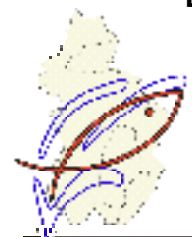
## **TELEOS**

DECOURCIERE Hervé (rapporteur)  
DEGIORGI François (rapporteur)  
GOGUILLY Michael  
GRANDMOTTET Jean Pierre  
LUCOT Éric (consultant)

## **Fédération de Pêche 39**

MORILLAS Norbert  
TOURREAU Grégory

**Avec l'appui de la  
Brigade CSP 39**





## Sommaire

<b>INTRODUCTION : PROBLÉMATIQUE ET DÉMARCHE. ....</b>	<b>3</b>
RÉGRESSION DE L'ÉCREVISSE PIEDS BLANCS : LE CONTEXTE JURASSIEN.....	3
DÉMARCHE DE RECHERCHE DES CAUSES DE DISPARITION INSIDIEUSE .....	4
DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE .....	6
<b>A. RÉPARTITION DES PIEDS BLANCS DANS LE JURA. ....</b>	<b>7</b>
A1. STRATÉGIES D'ÉCHANTILLONNAGE EMBOÎTÉES .....	7
A2 RÉSULTATS : RÉPARTITION DES <u>A. PALLIPES</u> DANS LE JURA .....	9
A3. INTERPRÉTATION : RÉGRESSION DES <u>A. PALLIPES</u> DANS LE JURA.....	11
<i>Évaluation de l'inventaire : représentativité de l'image obtenue. ....</i>	<i>11</i>
<i>État de santé et type de répartition actuelle des écrevisse Pied Blancs.....</i>	<i>11</i>
<i>Tendance évolutive des populations de Pieds Blancs jurassiennes. ....</i>	<i>12</i>
<i>Bilan sur l'inventaire départemental et cadre des études rapprochées. ....</i>	<i>13</i>
<b>B. ANALYSE DIFFÉRENTIELLE DE STATIONS AVEC ET SANS ÉCREVISSE .....</b>	<b>14</b>
B1 MILIEU ET MÉTHODES .....	14
<i>Choix des sites ateliers.....</i>	<i>14</i>
<i>Méthodes globales (à l'échelle du BV) .....</i>	<i>16</i>
<i>Méthodes stationnelles .....</i>	<i>23</i>
B2 ATELIER « FROIDEAU / SARON ».....	27
<i>Localisation de la limite d'extension des A. pallipes sur le Froideau. ....</i>	<i>28</i>
<i>Densités astacicoles et piscicoles .....</i>	<i>29</i>
<i>Métabolisme thermique et typologie. ....</i>	<i>30</i>
<i>Analyse standard de l'habitat aquatique du Saron et du Froideau. ....</i>	<i>32</i>
<i>Occupation des BV du Saron et du Froideau : démarche comparative .....</i>	<i>36</i>
<i>Recherche des toxiques par la méthode des multirésidus.....</i>	<i>38</i>
<i>Bilan et recommandations pour la restauration du Froideau et du Saron.....</i>	<i>39</i>
B3 ATELIERS LIZON / PRÉVERANT .....	42
<i>Localisation de la limite d'extension des Pieds Blancs du LIZON.....</i>	<i>43</i>
<i>Densité et structure de population des Pieds Blancs du Lizon .....</i>	<i>43</i>
<i>Métabolisme thermique et typologie .....</i>	<i>45</i>
<i>Analyse comparative de l'habitat aquatique du Saron et du Froideau.....</i>	<i>46</i>
<i>Occupation des BV du Lizon et du Bief de Préverant. ....</i>	<i>51</i>
<i>Recherche de contaminations toxiques sédimentaires.....</i>	<i>54</i>
<i>Bilan et recommandations pour la restauration du Lizon et du Préverant .....</i>	<i>56</i>

B4. ATELIER « DOULONNES / CLAUGE».....	58
<i>Localisation de la limite d'extension des Pieds Blancs des Doulonnes.</i> .....	58
<i>Densité et structure de la population de Pieds Blancs des Doulonnes.</i> .....	59
<i>Débit d'étiage, métabolisme thermique et typologie</i> .....	60
<i>Analyse comparative des mosaïques d'habitat de 3 stations des Doulonnes</i> .....	62
<i>Occupation des BV du Lizon et du Bief de Préverant.</i> .....	66
<i>Recherche de toxiques dans les sédiments fins</i> .....	68
<i>Bilan et recommandations pour la restauration des rus de la Forêt de Chaux</i> .....	69
<b>C. ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION RAPIDE DU RU D'IVREY</b> .....	<b>71</b>
C1. EVOLUTION DE LA POPULATION DE PIEDS BLANCS DU RU D'IVREY .....	71
<i>État initial de la population en octobre 1999</i> .....	71
<i>État de la population après travaux (inventaires de 2000 et 2001)</i> .....	74
C2. RECHERCHE DES CAUSES DE L'EFFONDREMENT DE LA POPULATION D'ÉCREVISSES .....	74
C3. RECOMMANDATIONS POUR LA PROTECTION ET LA RESTAURATION DU RU D'IVREY .....	78
<b>D SYNTHÈSES DIAGNOSTIQUES ET MÉTHODOLOGIQUES.</b> .....	<b>79</b>
D1. DÉTERMINISME DE LA PRÉSENCE DES PIEDS BLANCS .....	79
<i>Thermographie</i> .....	79
<i>Typologie</i> .....	80
<i>Habitat</i> .....	81
<i>Remarque : importance éventuelle d'oligo-éléments</i> .....	82
D2. CAUSES PREMIÈRES, PRINCIPALES ET CONJOINTES DE DISPARITION .....	83
<i>Anciennes décharges et épandages de boues de STEP : métaux lourds</i> .....	83
<i>Traitement du bois : pesticides organo-azotés, fongicides</i> .....	86
<i>Drainage, dérivation, captage : réduction des débits, échauffement</i> .....	86
<i>Curages et incision : réduction des capacités d'auto-épuration</i> .....	87
<i>Bilan sur les causes de régression de disparition des Pieds Blancs.</i> .....	88
D3. CRITIQUE ET AMÉLIORATION DU SYSTÈME D'EXPERTISE.....	89
<i>Renforcement de la recherche des toxiques</i> .....	89
<i>Renforcement de l'étude de l'évolution de l'occupation des sols</i> .....	90
<i>Intérêt de l'analyse du macrobenthos</i> .....	91
<i>Proposition et chiffrage d'un système expert amélioré</i> .....	91
<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE</b> .....	<b>95</b>
<b>ANNEXES (SUR FASCICULE SÉPARÉ)</b> .....	<b>97</b>

# Contribution à la recherche des causes de disparition de l'écrevisse "Pieds Blancs" (*Austropotamobius pallipes*)

## *Expérimentation dans le département du Jura de 2000 à 2003*

Recherche des causes insidieuses d'extinction  
 Caractérisation des exigences habitationnelles minimales  
 Mise au point d'un système expert.

## Introduction : problématique et démarche.

### *Régression de l'écrevisse Pieds Blancs : le contexte jurassien*

L'écrevisse Pied Blanc, *Austropotamobius pallipes*, est un **indicateur biologique** particulièrement **sensible** des systèmes apicaux référentiels ou peu perturbés (cours d'eau froid et indemne de pollution). Cette espèce, **autochtone** en France, a vu ses populations **régresser** drastiquement depuis les années 50. Même s'il semble que des populations résiduelles se maintiennent en fluctuant, il paraît urgent de disposer de **règles** techniques précises pour **préserver** ou/et **restaurer** les milieux dont cette écrevisse est élective.

La **région Franche-Comté** s'inscrit complètement dans cette problématique puisqu'elle est caractérisée à la fois par un **fort potentiel** astacicole et par une **diminution drastique** des stocks d'écrevisses autochtones. Ainsi, à partir de 48 sites témoins prospectés en 1959 et en 88-89, puis en 1998, on peut estimer que l'écrevisse Pied Blanc a **disparu de plus de 80 %** des ruisseaux qu'elle peuplait au début des années 60.

L'extension de cette espèce est désormais réduite à quelques populations, le plus souvent **cantonnées** dans les têtes de bassins forestières. Il reste tout de même un nombre tangible de sites en Franche-Comté, mais leur extension spatiale est très limitée. Ces tendances se retrouvent dans les 4 départements composant la région est en particulier dans celui du Jura

Pour conserver ces populations résiduelles et surtout pour rétablir puis pour valoriser la partie altérée de ce potentiel biologique, un programme d'actions correctement structurées et coordonnées est mis en place Franche comté. Cette approche consiste d'abord à rechercher toutes les **causes** de disparition et les **exigences écologiques** des Pieds Blancs, puis **d'agir sur ces causes** pour les supprimer, avant de mettre au point, lorsque cela est nécessaire, des **modalités de repeuplement** à partir de populations assez denses.

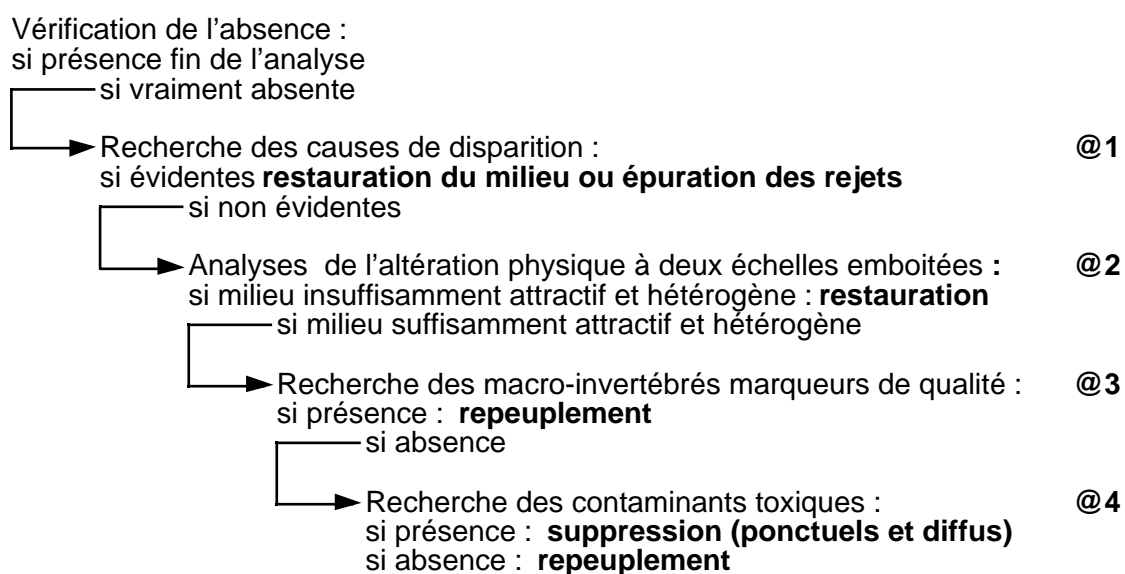
Cette démarche globale comprendra aussi un important volet sanitaire avec une appréciation du risque de contamination pathologique associé aux écrevisses américaines. Enfin, plusieurs actions de valorisation et de transfert des technologies mises au point sont également prévues. Toutefois, l'ensemble de l'approche nécessite la mise en place préalable d'un pilote pour élaborer et tester le système expert : c'est le but de l'étude faisant l'objet de la présente convention.

### ***Démarche de recherche des causes de disparition insidieuse***

Afin de parvenir à proposer un ensemble coordonné d'action rationnelles et efficaces, il convient d'abord de **déterminer** et de **hiérarchiser** les **causes de raréfaction** et de **disparition**. En effet, si certaines **extinctions** de populations ont pu être expliquées par des perturbations nettes et bien repérées (curages sévères, toxiques en doses massives...) d'autres **disparitions** ou la lente **régression** de populations résiduelles ainsi que la **non-recolonisation** de certains ruisseaux apparemment restaurés est **plus difficile à interpréter**. Les **altérations du milieu**, qui sont alors suspectées sans preuve absolue, sont **pernicieuses** : enrésinement, multiplication d'étangs, modification des pratiques culturales, gestion de la ripisylve, compétition avec d'autres espèces, contaminations insidieuses par des toxiques, pathologies ...

Il semble donc que pour **formuler des règles de gestion et de restauration** des systèmes concernés il soit nécessaire de mieux déterminer, **in situ**, les principales **exigences et sensibilités écologiques** des écrevisses autochtones. Cet objectif peut être atteint à l'aide **d'analyses comparatives** effectuées sur le plan **temporel** (comparaison entre sites actuels et sites anciens, cf. travaux du PNR du Morvan ou recherches bibliographiques CSP-DR5 sur la disparition de l'apron en Haute-Saône) mais aussi sur le plan **spatial** par la comparaison entre des secteurs paraissant référentiels et abritant ou non des écrevisses (fig. 1).

## Rouages fonctionnels du "système expert"



### Cheminement analytique

- @1 : Définition d'un seuil de qualité globale minimale pour les A. p. et circonscription de pratiques "à risque" sur le bassin versant.
- @2 : Définition d'un seuil de qualité physique minimale pour les A. p.
- @3 : Identification de macro-invertébrés sensibles et régulièrement cocénotiques avec A.p.
- @4 : Balayage très large des toxiques probables : diagnostic des rejets sur le BV et analyses "multirésidus".

Figure 1 : rouages fonctionnels d'un système expert de diagnose des causes de disparition et de guide à la restauration des populations de Pied Blanc.

En effet, il a été remarqué à de nombreuses reprises que les écrevisses autochtones colonisaient des **tronçons** de cours d'eau bien **délimités** et souvent **très localisés**. Il apparaît donc intéressant d'observer, entre les secteurs abritant des Pieds Blancs et ceux qui n'en contiennent pas, la **variation des facteurs** qui déterminent la présence et l'abondance de cette espèce sensible.

Pour cela, il est proposé d'appliquer **un panel de mesures** spécifiques et ciblées à la fois sur des sites abritant des **populations référentielles** et sur des sites où elles ont été signalées mais où elles ont **disparu** ainsi que sur des tronçons sans écrevisse à l'aval des secteurs astacicoles ou à proximité dans le même réseau hydrographique.

## ***Déroulement de l'étude***

Suivant cette optique, la présente étude a été réalisée en adoptant une démarche exploratoire appliquée à 2 échelles emboîtées. D'une part, un bilan global de la répartition et de l'extension des populations a été effectué à l'échelle départementale. D'autre part, des études stationnelles et habitationnelles ont été menées sur un ensemble de sites ateliers.

Tout d'abord, tous les cours d'eau jurassiens susceptibles d'abriter des Pieds Blancs, c'est-à-dire des têtes de bassin préservées ont été prospectées systématiquement et à plusieurs reprises afin de vérifier la présence et le cas échéant l'extension des populations de cette espèce autochtone. Cette démarche préalable était nécessaire pour constituer un outil de gestion et de suivi des populations, mais aussi pour servir de fondement et de cadre à la démarche d'étude détaillée.

Puis, un zoom a été effectué sur 3 ensembles de cours d'eau identifiés au cours de la première approche d'ensemble. Ainsi, chaque année pendant 3 ans, un bassin versant abritant au moins une population de Pieds Blancs a été étudié. Sur chacun de ces 3 BV, 3 sites témoins de statut différent ont été sélectionnés :

- \* 1 avec écrevisse
- \* 1 sans écrevisse, sur le même cours d'eau, à l'aval immédiat du secteur précédent
- \* 1 sur un autre ruisseau sans écrevisses (sans raison nette), dans le même BV.

Un ensemble cohérent d'analyses complémentaires coordonnées a été appliqué sur chacun de ces sites. Les données obtenues à l'aide de protocoles standard sont comparables. Elles ont permis d'effectuer, par confrontation des descripteurs synthétiques ainsi dégagés, une analyse différentielle des sites où les écrevisses ont disparu et des sites où elles sont toujours présentes.

Parallèlement, de 2000 à 2002, un bilan préalable de la répartition des pieds blancs dans le département du Jura a été réalisé. Les cartes provisoires établies l'année dernière sont en cours d'actualisation et de finalisation. Par conséquent les cartes définitives seront fournies en 2003 avec le rapport final. En revanche Les 2 échelles de travail ont été utilisées simultanément pour la mise au point du système expert.

Enfin en 2003, les enseignements obtenus sur les cours d'eau à écrevisses du Jura, principalement en contexte géologique calcaire ont été utilisés pour étudier des ruisseaux haut-saônois s'écoulant sur des terrains siliceux. Quoique ces approches complémentaires ne fassent pas partie de la présente étude, les résultats ont été confrontés afin de préciser les interprétations.

## A. Répartition des Pieds Blancs dans le Jura.

Un inventaire des sites à Pieds Blancs a été réalisé par la Fédération 39 et la brigade CSP 39, en appliquant un protocole de prospection systématique mis au point conjointement avec TELEOS. Le but de cette opération était triple.

D'une part, il s'agissait de déterminer l'état actuel des potentiels astacicoles jurassiens en tenant compte de l'extension linéaire des populations et non plus seulement en termes de présence-absence par cours d'eau. D'autre part, cette approche permettait de préciser l'évolution historique quantitative de la répartition des Pieds Blancs. Enfin, cette vision globale a servi à sélectionner des sites-ateliers pertinents pour remplir nos objectifs.

Les principaux résultats de cette étude sont rappelés brièvement ici et commentés synthétiquement. Ils ont été utilisés pour choisir les sites-ateliers et préciser le cadre des investigations menées à cette échelle rapprochée.

### ***A-1. Stratégies d'échantillonnage emboîtées***

Cette prospection systématique a consisté en une vérification de la présence-absence des écrevisses sur des sites connus ou indiqués dans la bibliographie par **double prospection nocturne**. Les observations ont été réalisées **visuellement, à la lampe**.

Avant chaque sortie nocturne, un calage a été réalisé sur des sites témoins contenant des écrevisses. Cette opération consistait à s'assurer, sur des cours d'eau certifiés « habités », de l'activité et de la visibilité des écrevisses durant la nuit considérée. Dans le cas contraire, la sortie était reportée.

En cas de doute, des nasses ont été posées durant plusieurs nuits « favorables », selon le sens défini ci-dessus. Cette vérification a été effectuée en particulier lorsque aucune écrevisse n'avait pu être observée dans un site où la présence des Pieds Blancs était signalée récemment.

Cette technique d'échantillonnage a été appliquée sur un ensemble de cours d'eau sélectionnés selon la démarche suivante :

- 1° Recensement des sites relevés lors des enquêtes CSP antérieures, effectuées en 1959 (Laurent et Susillon 1962) et de 1981 à 1989 (DR5 CSP 1981-1989).
- 2° Inventaires récents des autres sites connus par la DIREN franche comté puis par la Brigade ou/et par les pêcheurs.
- 3° Définition, à partir des sites connus, de critères cartographiques de présence potentielle d'écrevisse sur un réseau hydrographique.
- 4° Vérification systématique des sites pressentis selon la méthode décrite ci-dessus.

Pour plus de sûreté, une grande partie des absences d'observations seront vérifiées durant l'été 2001. Pour cela de nouvelles doubles prospections nocturnes par observation à la lampe seront reconduites. En définitive le recensement des cours d'eau à écrevisses à pieds blancs a nécessité dans le Jura plus de 2 ans de travail (approximativement 150 hommes/jours). L'étude a porté au total sur **200 cours d'eau** et a comporté **375 observations** (FDPPMA 39 2002, tab. I).

200 cours d'eau étudiés au total	
375 observations réalisées dont :	- 220 prospections CSP/Fédé-39 réalisées de 1997 à 2001
	- 100 observations T. Déforêt réalisées en 2000 et 2001
	- 55 données bibliographiques de 1950 à 1996

**Tableau I : effort d'échantillonnage appliqué par la brigade CSP 39 et la fédération de Pêche 39 pour réaliser l'inventaire des cours d'eau astacicoles du Jura (FDPPMA 39 2002).**

## A2 Résultats : répartition des *A. pallipes* dans le Jura

Entre 1998 et 2001, **26 populations d'écrevisses à pieds blancs ont été recensées dans le département du Jura** (tab. II, fig. 2). La totalité des cours d'eau qui les abritent sont des têtes de bassin forestières réparties dans les principaux réseaux hydrographiques arrosant le département (Ain, Doubs, Ognon).

Cours d'eau	Bassin	Commune	Année	Densité
Bief de l'Étang		Champagnole	2000	Présence
Bief de la Fraite (Conte)	Ain	Conte	2001	Présence
Bief de Malaval (ou de l'Étang)		Crotenay	2001	Forte densité
Sirène		Bonlieu	2000	Forte densité
Ruisseau de Martigna	Bienne	Martigna	2001	Présence
Lison		Les Crozets / Ravilloles	2001	Forte densité
Brenne	Brenne	Saint Lothain	2000	Présence
Ruisseau des Bordes		Saint Lothain	2000	Moyenne
Échenaud	Cuisance	Buvilly	2000	Présence
Ruisseau des Grands Prés		Buvilly	2000	Présence
Froideau	Loue	Montigny Les Arsures	2001	Présence
Ivrey		Ivrey / La Chapelle/Furieuse	2001	Présence
Todeur (ru. Vauxaillon)		Saizenay	2000	Présence
Ruisseau du Bois	Ognon	Brans	2001	Présence
Les Doulonnes	Doubs	Rans	2002	Ext. limitée
Bief Salé	Orain	Grozon	2000	Présence
Bief Février	Orbe	Les Rousses	2000	Forte densité
Bief Rougeau	Seille	Blois Sur Seille	2000	Présence
Ruisseau de Blandans		Domblans	2000	Présence
La Doye de Montagna	Suran	Montagna le Templier	2001	Présence
Noëltant		Monnetay / Louvenne	2001	Forte densité
Affluent Bief du Chanois		Sarrogna	2001	Présence
Bief d'Enfer		Sarrogna	2000	Présence
Ruisseau du Prélieux (Dramelay)	Valouse	Dramelay	1999	Forte densité
Ruisseau de Villette		Sarrogna	2000	Forte densité
Valouse		Écrilles	2000	1 individu

**Tableau II : liste des cours d'eau abritant des Pieds Blancs en 2000-2001 dans le département du Jura (FDPMA 39 2002).**

Parallèlement, un classement réalisé de manière empirique, en considérant à la fois l'étendue spatiale de la population et les densités apparentes observées permet d'évaluer la fragilité des populations (tab. III). Cette évaluation de l'état de santé des populations n'est pas basée sur des investigations rigoureuses, et présente un caractère indicatif.

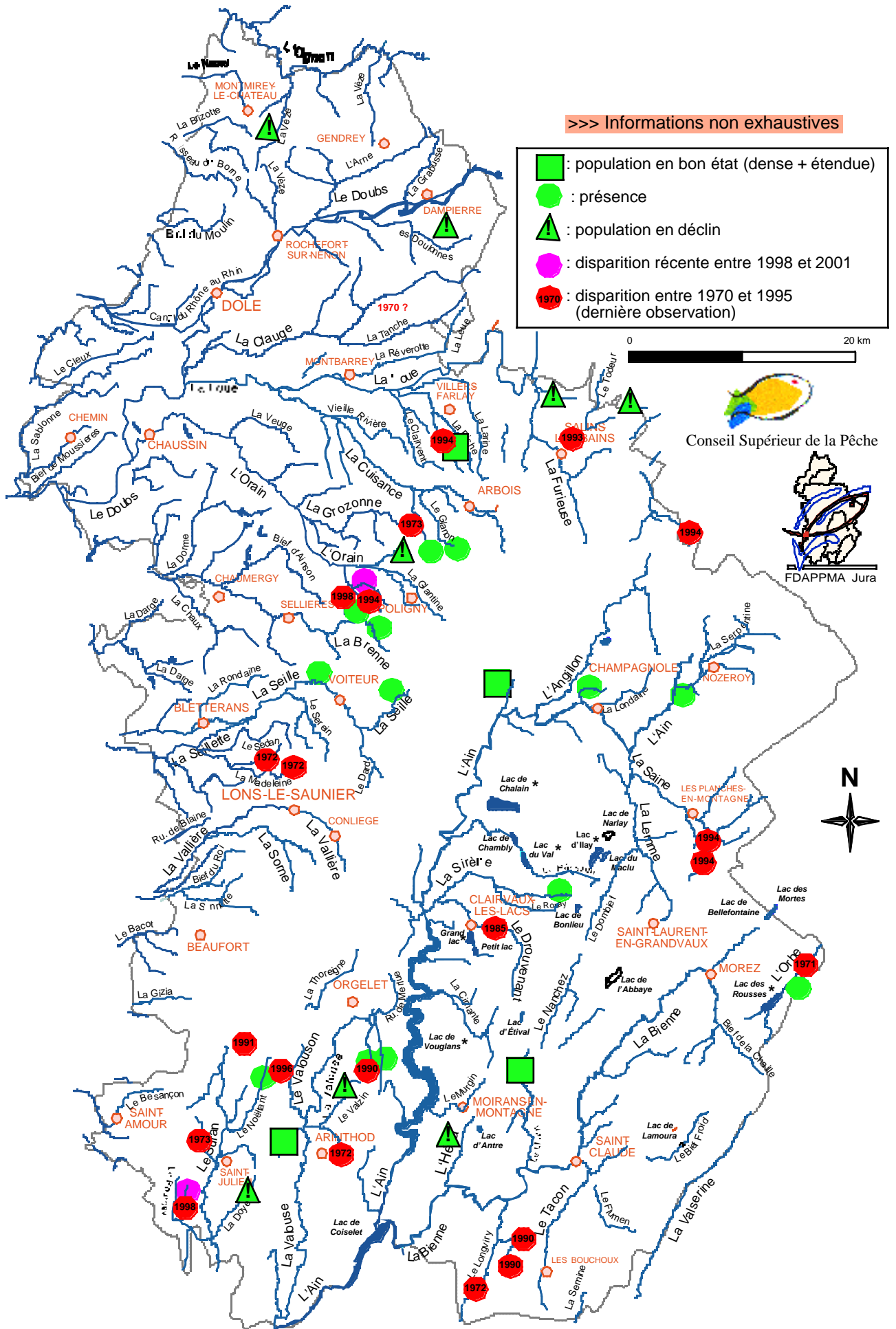


Figure 2 : carte de répartition des écrevisses Pieds Blancs dans le département du Jura en 2002.

26 populations identifiées sur le département du Jura, dont :	- 4 populations considérées en « bon état de santé », présentant une étendue spatiale et des densités importantes
	- 9 populations considérées « en danger » caractérisées par des densités de plus en plus faibles et/ou une étendue spatiale limitée
	- 13 populations présentant un statut indéterminé

Tableau III :Évaluation empirique de la fragilité des populations d'écrevisses à pieds blancs :

### ***A3. Interprétation : régression des A. pallipes dans le Jura***

#### **Évaluation de l'inventaire : représentativité de l'image obtenue.**

La réplication de prospections exhaustives ainsi que le croisement entre plusieurs techniques de capture et d'observation permettent de considérer que le recensement réalisé est bien représentatif de **la réalité du terrain**. En effet, à partir de 2000 la répétition de cet effort d'échantillonnage n'a plus permis de découvrir de nouveaux sites. Parallèlement, les différentes approches fournissent des informations cohérentes

#### **État de santé et type de répartition actuelle des écrevisses Pied Blancs.**

L'inventaire a permis de localiser plusieurs dizaines de populations de pieds blancs. Par rapport à de nombreux départements français ce bilan montre que territoire jurassien abrite encore des potentiels astacicoles autochtones appréciables

Cependant, seules 4 des 26 populations inventoriées peuvent être considérées comme présentant un « bon état de santé » au vu de leur extension et de leur classe de densité. En outre, l'expérience montre que même les populations prospères peuvent être victimes de disparition brutale comme dans le cas de la Balme d'Epy ou de fluctuations intempestives comme dans le Ru d'Ivrey.

Parallèlement, les populations relictuelles observées actuellement sont presque toutes isolées géographiquement les unes des autres. Cette situation constitue certainement un facteur supplémentaire de risque de disparition puisqu'elle rend la recolonisation difficile ou impossible après une pollution.

La répartition actuelle des populations traduit aussi une « remontée typologique » apparente de l'espèce. Les écrevisses à pieds blancs se trouvent aujourd'hui confinées aux portions très apicales des cours d'eau de têtes de bassins, qui ne correspondaient pas, à l'origine, à leur *preferendum* écologique. Les sites répertoriés aujourd'hui résultent d'un effort de prospection plus important qu'auparavant en direction des têtes de bassins. Ainsi, 1/3 des sites actuels n'étaient pas connus en 1990, bien qu'il soit presque certain qu'ils hébergeaient déjà des écrevisses.

**Le nombre de sites connus apparaît ainsi resté quasiment stable alors que de nombreuses populations ont en réalité disparu** : depuis 10 ans, on note 13 disparitions dont 3 pendant l'étude, à comparer aux 24 sites où une population subsiste encore à ce jour (voir § ci-dessous).

### **Tendance évolutive des populations de Pieds Blancs jurassiennes.**

En fait, les résultats de cette prospection systématiques permettent de caractériser et de quantifier une importante régression des *A. pallipes* dans le département du Jura depuis les années 1950 (ann. 1, tab. IV). D'une part, **75 % des sites signalés occupés dans les données datant de l'après-guerre sont apparemment désertés** (Suscillon et Laurent 1962). Certes d'autres sites ont été découverts, mais il est probable qu'il s'agit de la conséquence d'un effort de prospection plus large s'étendant sur des cours d'eau de plus en plus petits.

	<b>&lt;1950</b>	<b>51-79</b>	<b>80-89</b>	<b>90-99</b>	<b>Actuel</b>
Nombre de cours d'eau	70	62	36	32	17
% de diminution depuis 1950		- 10	- 48	- 54	- 75
% de diminution successive		- 10	- 42	- 11	- 45
Rang hydrologique max.	5	4	2	2	2
Score de rang hydrologique (moyenne pondérée)	<b>100</b>	79	43	37	<b>20</b>

**Tableau IV : évolution des potentiels astacicole Pieds Blancs dans le département 39.**

En effet, les observations résiduelles portent désormais sur des cours d'eau de rang hydrologique apical d'ordre 1 ou très rarement 2. Jadis les écrevisses à pied blanc peuplaient fréquemment les cours d'eau depuis la zone à truite jusqu'à la zone à ombre et recouvraient les ordres 1 à 5 comme en témoignent les mentions de présences signalées sur la Bienne, l'Ain, la Loue avant les années 1950 (Laurent et Suscillon 1962, Archives DDA 39, in FDPPMA 39 2002).

### **Bilan sur l'inventaire départemental et cadre des études rapprochées.**

Cette démarche a permis d'identifier plusieurs sites présentant la configuration que nous recherchions pour appliquer notre approche d'expertise différentielle. D'une part, de nombreux ruisseaux s'écoulant dans des bassins versant à dominante forestière abritent des populations de pied blancs très localisées dont les limites d'extension ne sont pas expliquées par des pollutions ni par des perturbations évidentes. D'autre part, ces sites « refuges » jouxtent souvent d'autres cours d'eau qui leur ressemblent et qui drainent eux aussi des contextes sylvestres mais qui n'abritent pas d'écrevisses du tout.

Parmi les sites inventoriés, nous avons pu sélectionner 3 têtes de bassins-ateliers » comportant au moins une population de Pieds Blancs dont l'extension est limitée nettement mais de façon inexplicée. Parallèlement, ces unités hydrographiques comportent aussi un ou plusieurs ruisseaux ayant contenu cette espèce d'écrevisses mais n'en abritant plus, sans que l'on ne connaisse *a priori* la cause de la disparition. Enfin, notre dispositif d'étude a aussi inclus l'analyse du Ru d'Ivrey marqué par des fluctuations importantes du stock d'écrevisses qu'il abrite.

## B. Analyse différentielle de stations avec et sans écrevisse

### *B-1 Milieu et méthodes*

#### Choix des sites ateliers

Dans le cadre de cette étude, un système expert comparatif a été appliqué à 12 stations réparties rationnellement sur 6 cours d'eau regroupés en 3 ateliers (fig. 3). Les ruisseaux étudiés dans ce cadre s'écoulent tous en encaissant calcaire, et drainent des bassins versant à dominante forestière nette (entre 75 et 99 %). Ils appartiennent tous à des rangs hydrologiques apicaux (1 à 3 mètres de largeurs moyenne). Les couples de cours d'eau d'une même atelier appartiennent tous deux au même massif forestier mais l'un des deux seulement abrite des écrevisses.

**En 2000**, le bassin versant atelier choisi, situé dans la Forêt de Mouchard, comportait :

- Trois stations sur le **Froideau** (commune de Villeneuve d'aval), qui se jette dans la Biche, confluant elle même dans la Loue. Les deux stations amont jalonnent un linéaire abritant une population référentielle de pieds blancs tandis que la troisième, située à quelques dizaines de mètres en aval seulement de la seconde, n'en contient plus depuis plusieurs années.
- Une station sur le **Saron** (commune de Villeneuve d'aval) qui se jette lui aussi dans la Biche et qui a contenu des Pieds Blancs mais qui n'en contient plus depuis une dizaine d'année (disparition signalées en 1995).

**En 2001**, les investigations ont porté sur deux cours d'eau de la vallée de la Bienne

- D'une part, trois stations ont été implantées sur le **Lizon**, affluent de la Bienne. Le premier site est situé à l'aval du village des Crozets et ne contient pas d'écrevisses probablement à cause de la pollution organique due aux rejets domestiques. Le deuxième site est situé quelques centaines de mètres à l'aval et contient des écrevisses. Le troisième site est situé à l'aval d'un plan d'eau qui barre le Lizon et ne comporte pas de Pieds Blancs.
- D'autre part, une station a été prospectée et étudiée sur le **Bief de Préverant** (commune de Choux). Ce petit cours d'eau comportait des écrevisses il y a une dizaine d'année, mais n'en abrite plus pour des raisons inexplicées (disparition signalées en 1993).

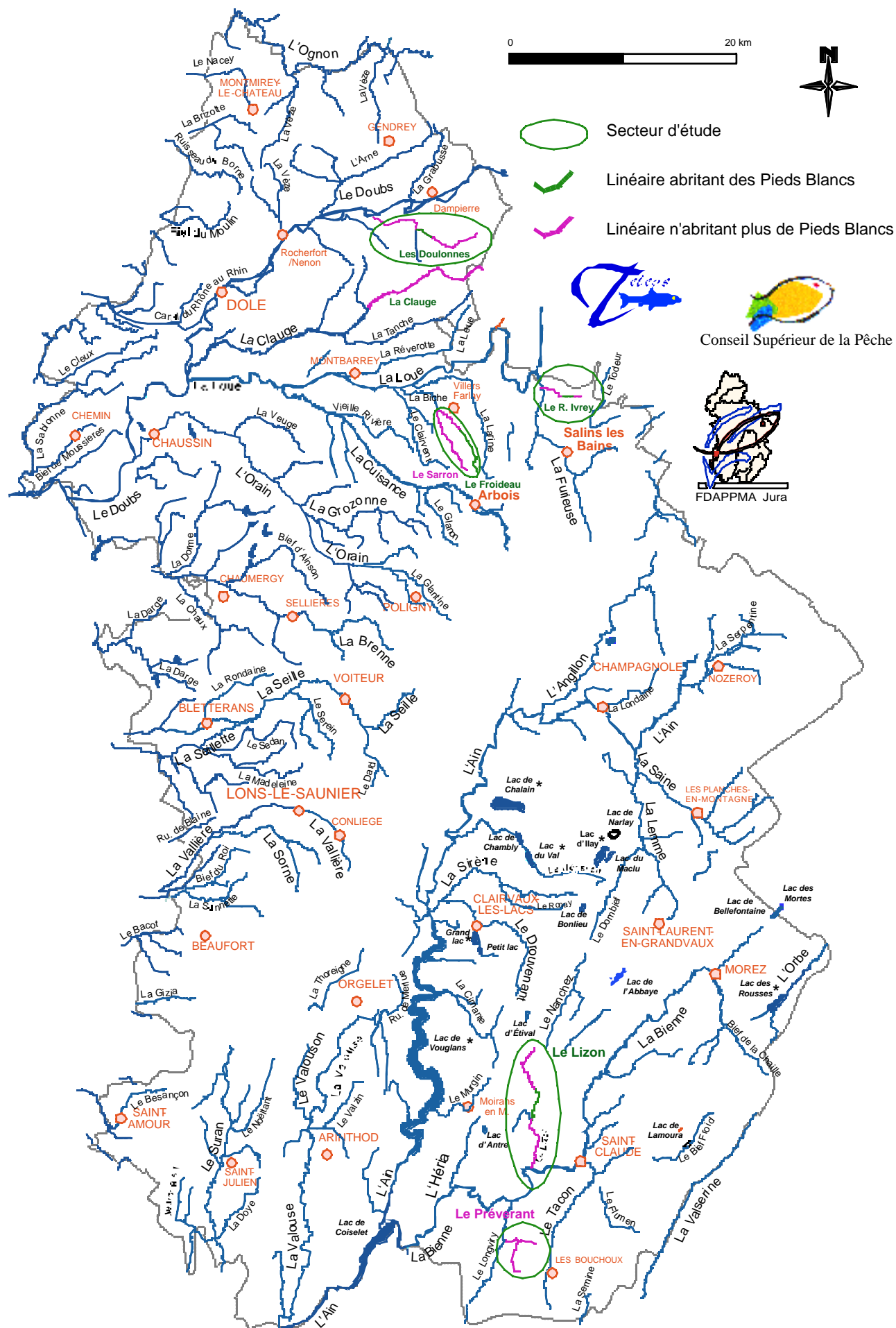


Figure 3 : localisation des trois sites-ateliers dans le département du Jura.

**En 2002**, les investigations ont porté sur deux dernier ensembles de sites.

- D'une part, 3 stations ont été étudiées sur **les Doulonnes**. Ce petit affluent de la plaine alluviale du Doubs sort du massif forestier de Chaux en amont de Rans. La première station est située sur un des petits bras qui composent le ruisseau près des sources et ne contient pas de Pied Blanc. Plus à l'aval, une station est implantée au sein d'un tronçon de 200 mètres qui abrite des écrevisses. La troisième station a été installée, juste après la limite d'extension aval de cette population de Pieds Blancs.
- D'autre part, une station a été prospectée et étudiée sur **la Clauge** en amont de la Vieille Loye. Ce petit cours d'eau arrose le même massif forestier. Il contenait jadis des Pieds Blancs sur plusieurs secteurs et n'en abrite plus du tout depuis plus d'une vingtaine d'année.

Des investigations complémentaires ont également été effectuées de 2000 à 2002 sur un ruisseau proche du Froideau mais situé dans un autre bassin versant. En effet, **le ru d'Ivrey**, à 3 kilomètres de sa confluence avec la Furieuse, abritait jusqu'en 1999, une population d'écrevisses très dense que des travaux hydrauliques « connexes » ont mise en danger. Les fluctuations de cette population ont été analysées sur une station.

### **Méthodes globales (à l'échelle du BV)**

Sur chaque bassin versant ateliers, un ensemble d'investigations a été mené à l'échelle la plus large (tab. V). Cette approche permet de choisir judicieusement la localisation des stations d'étude rapprochées et de circonscrire puis de hiérarchiser les causes premières impliquées dans la régression ou la disparition des Pieds Blancs.

#### *Délimitation exacte de l'extension des populations de Pieds Blancs.*

Cette phase préalable détermine la pertinence et la qualité des investigations ultérieures. Elle consiste à vérifier, à l'aide de nasses appâtées, la limite d'extension déterminée suite à plusieurs prospections nocturnes et diurnes. Les nasses appâtées par du poisson frais sont disposées au moins durant deux nuits, en encadrant le secteur colonisé. Un des pièges est disposé à l'amont de la limite aval de l'extension présumée de la population et 3 autres sont placés à l'aval.

#### *Détermination de la qualité physique du linéaire du cours d'eau.*

Un diagnostic de la qualité physique globale des 7 cours d'eau a été réalisé en suivant **l'approche standard** mise au point par la Direction Régionale n°5 du CSP (1993) puis finalisé par nos soins (TELEOS 1999-2001).

<b>Ruisseaux ateliers conventionnés</b>	<b>Statut</b>	Extension		Pêche	Benthos	Sonde	Occupati
	<b>Pied Bl.</b>	lampe	nasse	électrique	MAG20	thermique	Carto BV
Froideau apical	avec	00	00	01	-	02	01
Froideau amont affluent	avec	00	00	01	-	02	01
Froideau aval affluent	sans	00	00-01	01	-	02	01
Saron médian	sans	00	00-01	01	-	02	01
Lizon amont	sans	01	01	01	-	02	02
Lizon médian	avec	01	01	01	-	02	02
Lizon aval	sans	01	01	01	-	02	02
Préverant	sans	01	01	01	-	-	02
Doulonnes amont	sans	02	02	02	-	02	03
Doulonnes médiane	avec	02	02	02	-	02	03
Doulonnes aval	sans	02	02	02	-	02	03
Clauge	sans	02	02	02	-	02	03
<b>Hors convention</b>							
Ru d'Ivrey*	avec	01-02	01-02	01-02	-	02	01
Corne du Poirier amont	avec	03	03	03	03	03	03
Corne du Poirier médian	avec	03	03	03	03	03	03
Corne du Poirier aval	sans	03	03	03	03	03	03
R. de Brisse amont	avec	03	03	03	03	03	03
R. de Brisse aval	sans	03	03	03	03	03	03

**Tableau V : investigations effectuées sur les 12 stations des 3 bassins ateliers conventionnés ainsi que sur 6 stations de 3 sites hors convention**



Contrairement aux approches physico-chimiques ou biologiques suffisamment pratiquées pour qu'aient pu être définis des protocoles normalisés et des référentiels interprétatifs, la détermination de la qualité physique des cours d'eau n'en est qu'à ses balbutiements. Sur la dizaine de méthodes expérimentales recensées, celle que nous avons choisie présente des avantages majeurs.

- 1 Elle privilégie **plusieurs échelles d'actions emboîtées** : le tronçon, la station, le faciès et le méso-habitat. Leur **prise en compte simultanée** permet de sanctionner la variation 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 de l'impact des actions restauratoires.

Suivant ces principes, la structure physique des 7 cours d'eau a été analysée à 2 échelles jugées discriminantes. En effet, les facteurs physiques limitant la production des écrevisses seront mesurés et caractérisés à l'échelle stationnelle (cf. ci-dessous). Cependant, pour vérifier l'étendue des altérations, et pour mieux en comprendre les causes, une analyse plus globale mais moins précise a été également menée à l'échelle tronçon fonctionnel, sur l'ensemble du linéaire des deux cours d'eau.

La mise en œuvre de cette méthode commence par la **sectorisation** des cours d'eau découpés en tronçons. Puis la capacité biogène de chacune des 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. Enfin, les éléments favorables et défavorables recensés sont quantifiés et des **scores synthétiques** peuvent être calculés.

### **Sectorisation**

La sectorisation du cours d'eau consiste à découper la rivière en tronçons mesurant de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres de long. Des unités homogènes sont délimitées suivant des critères géomorphologiques (pente, forme du lit, nature du substratum,...) et habitationnel (qualité des substrats, diversité des vitesses du courant et des profondeurs), ainsi qu'en termes d'état dynamique (érosion / sédimentation du lit et des berges) et de degré d'artificialisation (aménagements structurants ...).

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, changement de substratum ...). La sectorisation est généralement affinée par une première reconnaissance de terrain. Les critères de découpage déterminent fortement l'image de la diversité mesurée à l'intérieur de chaque tronçon. Certains tronçons originellement homogènes sur le plan de la pente, du débit ou de leur morphologie sont différenciés par leur degré d'artificialisation ou par l'occupation de sols ou la gestion de la ripisylve. Les unités identifiées sont donc des outils d'étude et de gestion présentant un caractère arbitraire qu'il convient de rappeler.

Chaque tronçon fait l'objet d'une description standard fondée sur des mesures de terrain opérées à l'aide d'une grille normalisée. Dans ce cadre, l'hétérogénéité et l'attractivité biogène sont appréhendées à partir de descripteurs pertinents comme le linéaire des faciès d'écoulement, la quantité des différents abris et caches rencontrés, la largeur du lit mineur et de la lame d'eau, le contraste des profondeurs, la présence d'affluents, ...

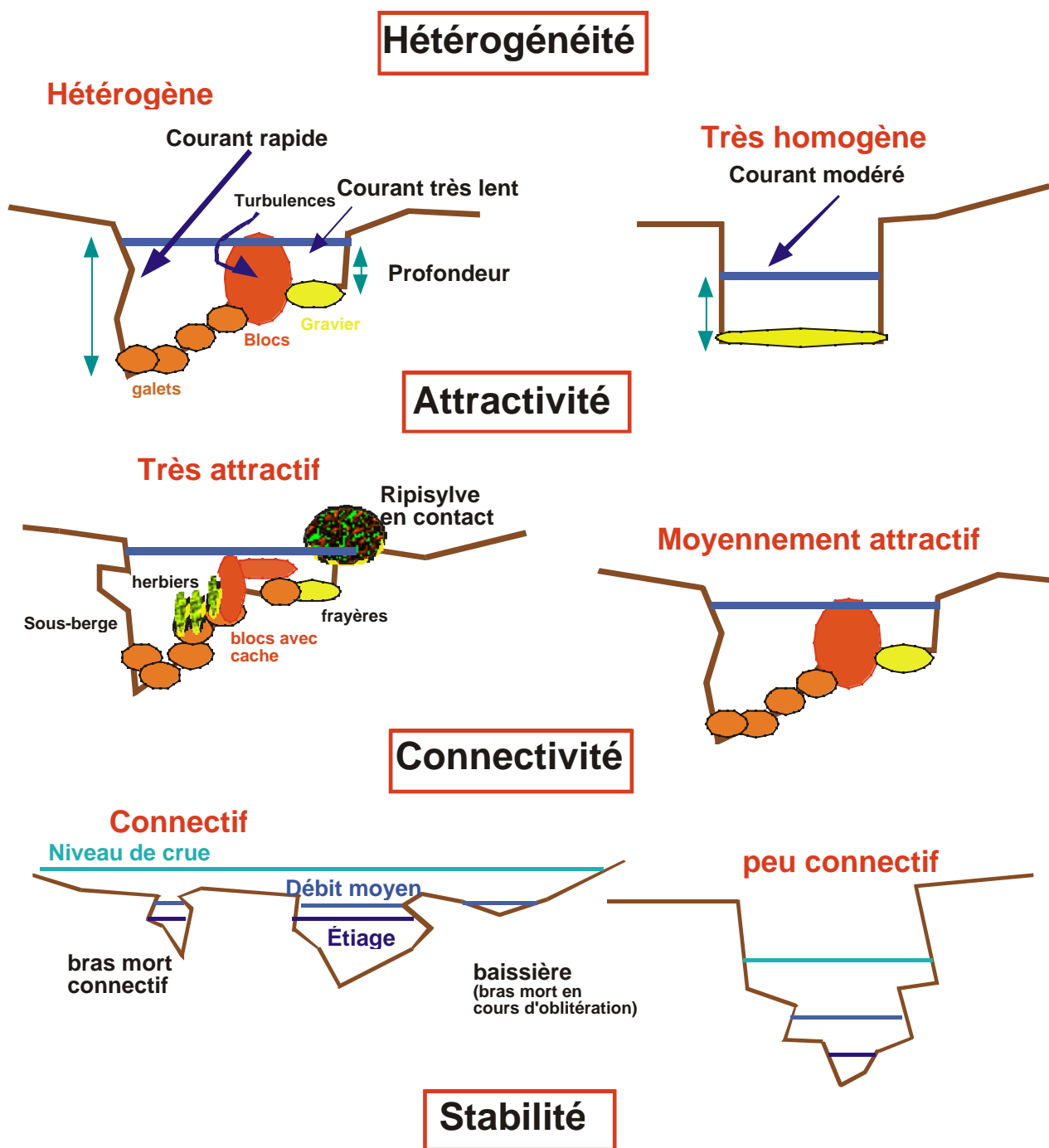
#### ***Définition des composantes de la qualité physique***

Parallèlement, l'appréciation de l'état dynamique est réalisée par la même approche à l'aide de plusieurs descripteurs, dont le nombre de seuils d'érosion régressive, le linéaire de berges stables et instables, la hauteur d'incision, le type de substratum, ... Les relevés de terrain doivent, autant que possible, être réalisés en étiage estival, période durant laquelle la visibilité du fond et des substrats est la meilleure, où la végétation aquatique est bien développée et où les conditions limitantes apparaissent clairement.

Les données récoltées sur le terrain sont intégrées dans le calcul de scores et de notes destinées à faciliter leur interprétation. Pour chaque tronçon, les 4 composantes fondamentales de qualité physique sont appréciées à l'aide de scores différents (fig. 4) :

- 1 **Le score d'hétérogénéité** sanctionne le degré de variété des formes, des substrats/supports, des vitesses de courant et des hauteurs d'eau du lit d'étiage ; plus ce score est élevé, plus les ressources physiques sont diversifiées.
- 2 **Le score d'attractivité** intègre la qualité des substrats (= intérêt global des substrats/supports pour les poissons), la qualité et la quantité des caches et des abris ainsi que l'existence et la variété des frayères.
- 3 **Le score de connectivité** caractérise la fonctionnalité de la zone inondable ainsi que la fréquence des contacts entre la rivière et les interfaces emboîtées que constituent la ripisylve et le lit "moyen" ; il apprécie également le degré de compartimentage longitudinal par les barrages et les seuils, ainsi que les possibilités de circulation des poissons migrateurs ou "sédentaires".

4 **Le score de stabilité** des berges et du lit traduit l'importance des érosions régressives (fréquence des seuils), progressive et latérale (proportion de méandres instables), de l'état des berges (degré d'érosion), de l'incision, ...



Figures d'érosion >> dépôts

Figures d'érosion# dépôts

Figures d'érosion << dépôts

**INSTABILITÉ**

**ÉQUILIBRE**

**COLMATAGE**

Figure 4 : présentation des 4 composantes fondamentales de la qualité physique d'un cours d'eau

### Règles d'interprétations

Évidemment, les 4 composantes ne sont pas indépendantes : elles **interfèrent** largement les unes sur les autres, sans être redondantes. En outre, les 3 premiers scores doivent être comparés avec ceux qui sont obtenus sur l'ensemble des tronçons.

L'interprétation peut être fondée sur les notes obtenues sur un **secteur "référentiel" ou "sub-référentiel"** présentant une qualité physique intacte dont témoignent des peuplements et des populations piscicoles de bonne qualité (en relation avec le niveau typologique auquel le secteur de référence peut être rattaché). Toutefois, **la démarche idéale** consiste, lorsque les données existent, à pouvoir **évaluer le degré d'altération** de chaque tronçon d'après **l'évolution historique de sa qualité physique**.

Dans cet esprit, chaque composante est définie par 5 classes de A à E. La classe supérieure – **A** – répond en fait à une situation conforme pour le paramètre étudié et ne correspond pas nécessairement à une condition optimale. La qualité des tronçons des 2 cours d'eau a été évaluée suivant cette quintuple classification (tab. VI).

	<b>Hétérogénéité</b> sur 111	<b>Attractivité</b> sur 90	<b>Connectivité</b> sur 130	<b>Stabilité</b> entre -60 et 40	<b>Qualité Physique</b> sur 30 600
<b>A</b>	>50	>45	>65	<b>Sédimentation</b> >10	> 6 500
<b>B</b>	40-50	34-45	49-65	<b>Équilibre</b> -10/10	3 500-6 500
<b>C</b>	28-40	23-34	33-49	<b>Érosion</b> -25/-10	1500-3500
<b>D</b>	14-28	11-23	16-33	<b>Forte érosion</b> -60/-25	400-1500
<b>E</b>	<14	<11	<16		<400

Avec  $QP = (H+A) \times C \times \text{Coef. Stab.}$  Où :  
**QP = qualité physique**      **H = hétérogénéité**  
**A = attractivité**              **C = connectivité**  
**Coef stab = coefficient de stabilité**

Tableau VI : cotation des 4 composantes de la qualité physique globale

### Étude de l'occupation des sols et de son évolution récente

L'occupation des sols des bassins versants a été étudiée au moyen de photos aériennes, d'une analyse des cartes IGN au 1/25 000<sup>e</sup> de type SIG. Les informations obtenues ont été vérifiées et précisées par plusieurs allers et retours sur le terrain. L'évolution récente de la représentation relative des activités et l'existence de point noir de type décharge ont été renseignées à l'aide d'enquête auprès des services départementaux de l'administration (RGA, statistiques ONF, études des Conseils Généraux, ADEME ...).

## Méthodes stationnelles

Sur chaque station, 4 ensembles d'investigations ont été effectués systématiquement. D'une part un inventaire quantitatif des populations astacicoles et piscicoles a été mis en œuvre pour préciser les potentiels biologiques. D'autre par une analyse standard des mosaïques d'habitat, une caractérisation du régime thermique et une recherche de toxique dans les sédiments fins organiques ont été réalisées pour mieux approcher l'état fonctionnel des stations.

### *Inventaires stationnels par pêches électriques*

Pour déterminer la densité de la population d'écrevisses des stations témoins, des pêches électriques exhaustives par enlèvements successifs à 3 ou 4 passages ont été effectuées sur toutes les stations d'étude. Comme la largeur du lit ne dépassait 4 mètres sur aucun des sites, les prospections ont été réalisées à l'aide d'une seule anode flanquée de 2 épousettes, conformément au protocole standard proposé par DEGIORGI et RAYMOND (2003). Les 3 ou 4 passages effectués sur chaque site ont permis d'obtenir des estimations associées à des précisions de moins de 20 %.

Dans le cas du Ru d'Ivrey, une opération de marquage-recapture a été mise en œuvre à l'aide de nasse en complément afin de vérifier la variation de densité qui a été observée. L'estimation a alors été calculée suivant la méthode Petersen Schnabel (FDAPPMA 39 2000).

### *Principes, objectifs et modalités de l'analyse des mosaïques stationnelles*

L'**analyse cartographique standard** des mosaïques de substrats/supports, de profondeurs et de vitesses de courant a été effectuée selon le protocole mis au point par le CSP-DR 5 (1993–1997), puis finalisé par TÉLÉOS (1999-2001). Cette méthode fournit des images comparables de l'hétérogénéité et de l'attractivité biogène à l'échelle stationnelle.

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 utilisée consiste donc à réaliser une cartographie codifiée de chacune de ces composantes de la qualité physique, puis de considérer leur combinaison. Les formules respectives des mosaïques élémentaires, 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 structure physique 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 qui est obtenue par la mise en œuvre de la méthode des "micro-habitats" ou de ses dérivés (SOUCHON *et al.* 1989, POUILLY *et al.* 1995).

Sur le terrain, les vitesses et les profondeurs sont mesurées et repérées sur des transects à l'aide d'une jauge graduée, d'un courantomètre et de plusieurs décamètres tandis que les placettes associées aux différents substrats/supports dont l'attractivité est hiérarchisée sont métrées à l'aide d'un topofil. Des lignes d'isovitesses et d'isoprofondeurs sont alors tracées par intrapolation entre les transects ; les limites de zones obtenues sont vérifiées par des mesures ponctuelles complémentaires. Les cartographies sont réalisées dans les conditions limitantes de l'étiage.

Les cartes obtenues permettent de visualiser l'attractivité ou l'uniformité des mosaïques d'habitats (ann. 2-5-7-9). Plus synthétiquement, des indices replacent les résultats obtenus pour chaque station sur des échelles d'hétérogénéité et d'attractivité biogène.

\* **Var** = variété : nombre de catégories (de substrats/supports) ou de classes (de vitesses et de profondeurs) pour chacune des composantes de la qualité des mosaïques d'habitats.

\* **Div** = Diversité : mesure de la complexité et de l'hétérogénéité quantitative de la répartition des surfaces entre les catégories de chaque composante de la qualité de l'habitat.

$-\sum_n^1 S_i * [\log_{10}(S_i)]$  où : n est le nombre de catégorie (n=var)  
 $S_i$  est la surface cumulée des placettes de la  $i^{\text{ème}}$  catégorie

\* **Reg** = Régularité : rapport entre la diversité observée et la diversité optimale pour une même variété correspondant à l'équirépartition.

\* **IAM** = Indice d'Attractivité Morphodynamique  
 sanctionnant la variété des classes de profondeur, de vitesses et de substrats/supports ainsi que leur attractivité vis-à-vis de l'ichtyofaune.

**IAM** =  $[\sum (S_i * \text{Attract.}(\text{subst}))] * \text{Var}(\text{subst}) * \text{Var}(\text{h.e.}) * \text{Var}(\text{v.})$

où : v. vitesses h.e : hauteurs d'eau subs. substrats/supports Attract. attractivité (cf. tab. VII).

La hiérarchisation et la cotation de l'attractivité globale des substrats/supports a été déterminée statistiquement sur plusieurs dizaines de rivières (tab. VI). Ces scores prennent en compte les exigences de l'ensemble des pisciaires et intègrent donc l'ensemble des ressorts physiques nécessaires aux transferts trophiques.

<b>Substrat</b>	<b>Attractivité GLOBALE</b>
-----------------	-----------------------------

branchages, grosses racines	100
sous-berges	90
hydrophytes immergés	80
sources, résurgences, affluents	70
blocs avec caches	60
galets	50
hélophytes	40
chevelus racinaires, végétations rases	40
blocs sans anfractuosités	30
galets et graviers mélangés	25
graviers	20
galets pavés	10
litières organiques	10
sables	8
éléments fins, limons, vases	4
dalles, surfaces indurées (sans cache)	1

**Tableau VII : cotation hiérarchisée de l'attractivité globale des substrats supports selon l'IAM**

Dans le cas des écrevisses, la hiérarchie d'attractivité des substrats supports est différente (tab. VIII). L'analyse cartographique d'une vingtaine de stations favorables à la Pied Blanc permet de proposer des cotations d'attractivité propres à cette espèce et qui sont donc utilisées pour calculer un indice spécifique de capacités astacicoles (ISCA).

<b>Substrat</b>	<b>Attractivité APP</b>
Branchages, grosses racines immergés	100
Sous-berges	100
<b><i>Chevelus racinaires, bryophytes</i></b>	<b>90</b>
<b><i>Galets plats</i></b>	<b>90</b>
<b><i>Galets</i></b>	<b>80</b>
Sources, résurgences, affluents	80
Blocs avec caches	70
Hydrophytes immergés	70
<b><i>Litières organiques</i></b>	<b>60</b>
<b><i>Galets et graviers mélangés</i></b>	<b>60</b>
<b><i>Dalle marneuse ou argileuse fouissable</i></b>	<b>50</b>
<b><i>Hélophytes</i></b>	<b>40</b>
<b><i>Sables</i></b>	<b>30</b>
Graviers	20
Éléments fins, limons, vases	10
Galets pavés [gls]	5
Blocs sans anfractuosités	2
Dalles indurées (sans cache)	1

**Tableau VIII: cotation de l'attractivité globale des substrats supports pour les Pieds Blancs**

Ces deux indices expérimentaux constituent des **approches simplifiées** car ils ne tiennent pas compte de l'attractivité quantitative des pôles ni de la variation de la valeur

piscicole ou astacicoles des substrats/supports selon les profondeurs et les vitesses. Toutefois, la démarche suivie permet d'apprécier et de comparer **l'homogénéité et l'attractivité des habitats aquatiques**, d'une station à l'autre et au cours du temps. Pour cela, les 2 indices doivent être déterminés en étiage car les bas débits déterminent les conditions habitationnelles les plus limitantes pour les organismes aquatiques. Dans le cas des 7 ruisseaux étudiés, les cartes ont été dressées en condition d'étiage estival.

#### ***Caractérisation du métabolisme thermique***

La température est un paramètre physique important qui explique **plus de 50 % des variations de la répartition quantitative des espèces aquatiques** (VERNEAUX 1973). En outre, l'étude des variations thermiques d'un site d'eau courante fournit des indications précieuses sur l'état des ressources en eau. Enfin, ce facteur déterminant est aussi utilisé pour calculer un niveau typologique théorique (VERNEAUX 1976).

Dans le cadre de notre étude, il a donc été décidé d'approcher le métabolisme thermique des cours d'eau à l'aide de sondes enregistreuses installées sur chaque station durant les 4 mois de l'été 2002 qui correspond à une année moyenne. Pour chaque site, les variations saisonnières et même journalières ont été observées afin de déceler l'influence d'arrivées phréatiques, voire de rejets d'origine anthropique.

Plus globalement, métabolisme thermique de chaque station a été décrit en utilisant la température estivale maximale moyenne. En effet, selon (VERNEAUX 1973-1975), c'est ce descripteur qui est le plus limitantes pour la faune. Toutefois, il faut rappeler que dans notre cas, nous ne disposons que des données d'une seule année.

#### ***Recherche de toxiques dans les sédiments fins***

Enfin, dans les stations contenant peu ou pas d'écrevisse une recherche de contaminations toxiques a été effectuée dans les sédiments fins car ils constituent un substrats à mémoire chimique rémanente. Les échantillons ont été analysés par le laboratoire de Valence suivant la **méthode semi-quantitative dite des "multirésidus"** choisie pour effectuer un **large balayage analytique** à moindre coût.

Il n'existe pas encore, en France, de normes officielles permettant de classer les valeurs de contaminations toxiques dans les sédiments de cours d'eau. Néanmoins les normes « guides » proposées par l'étude Inter Agence 53 (1997), indiquent des concentrations « **présentant un risque d'effets chroniques ou létaux** » et qui sont donc « **susceptibles de provoquer la disparition des espèces sensibles** ».

## B-2 Atelier « Froideau / Saron »

Le système expert décrit au § B1 a été appliqué à 4 stations réparties sur un premier atelier constituée par le Froideau et le Saron (fig. 5). Ces 2 cours d'eau arrosent la forêt de Mouchard, à des altitudes relativement faibles comprises entre 310 et 240 mètres. L'étude a commencé par la délimitation de l'extension de la population de Pied Blanc sur le Froideau de façon à placer judicieusement les sites des mesures rapprochées.

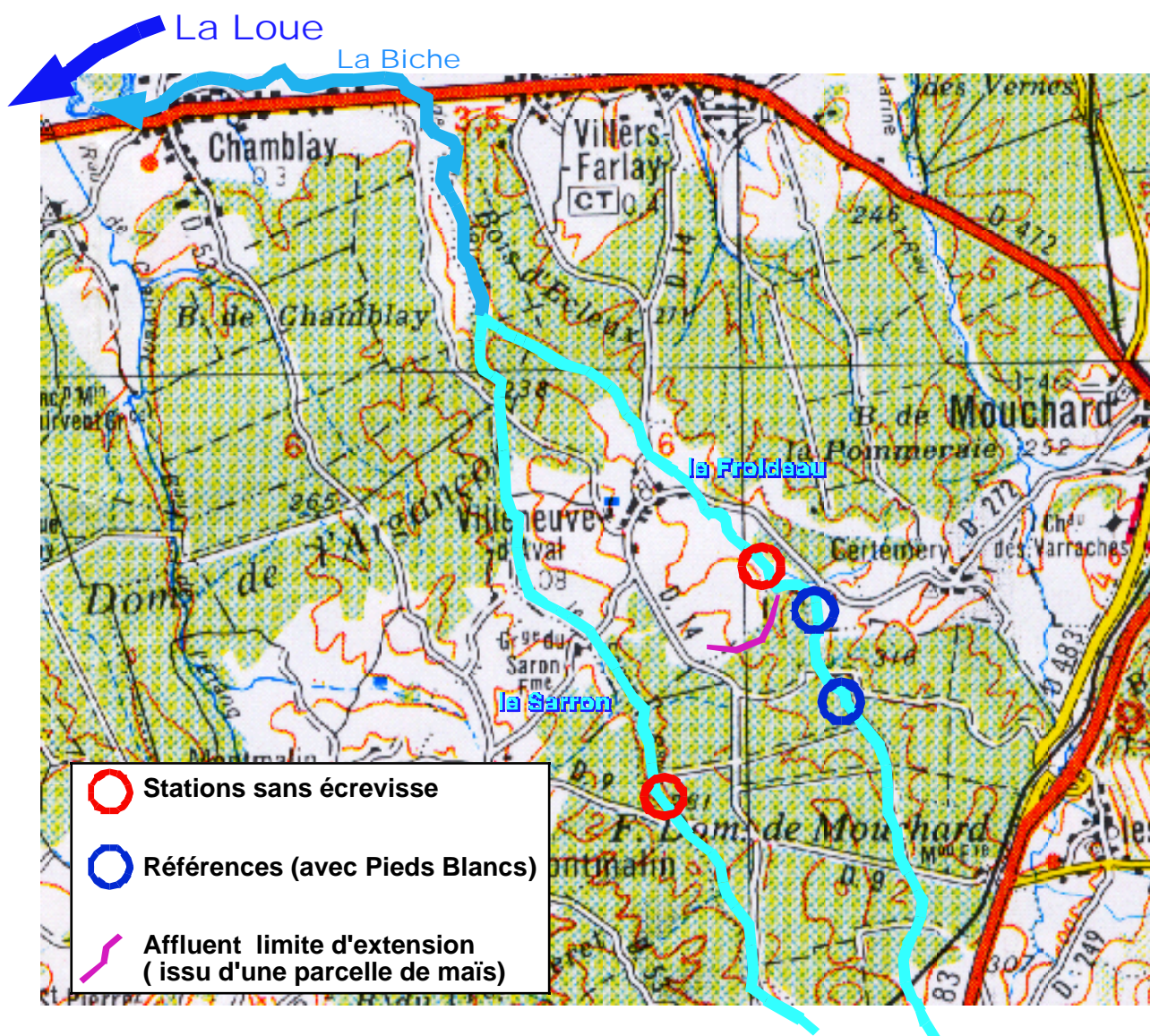
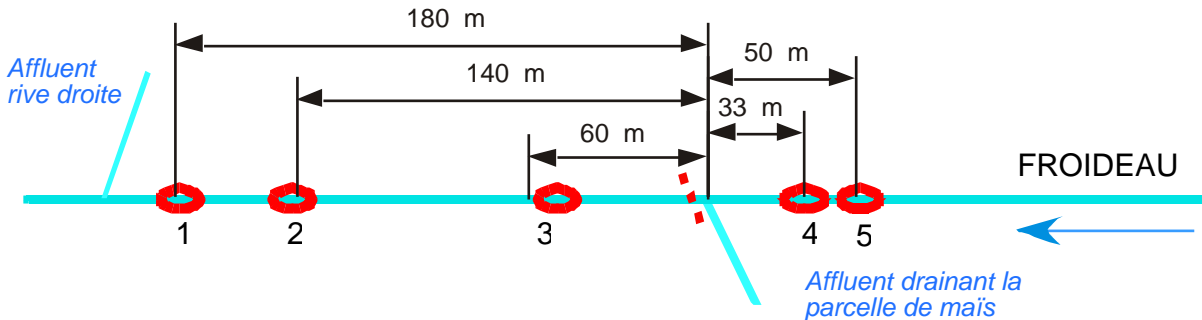


Figure 5 : localisation des stations de mesures sur le Froideau et le Saron

## Localisation de la limite d'extension des *A. pallipes* sur le Froideau.

La prospection de nuit effectuée à la lampe durant la nuit du 26/10/00 a permis de localiser la limite aval du peuplement de *Pieds Blancs* au niveau de la confluence du ruisseau avec un affluent situé en rive gauche. Pour vérifier cette répartition, des nasses ont été disposées à deux reprises (fig. 6 et 7).



**Figure 6 : localisation des nasses disposées durant la première tendue**

Résultats de la 1<sup>ère</sup> tendue : du 27 au 29 octobre 2000

Nasse "témoin" au milieu du secteur à écrevisses : 6 écrevisses mâles de 6,5 à 9,5 cm

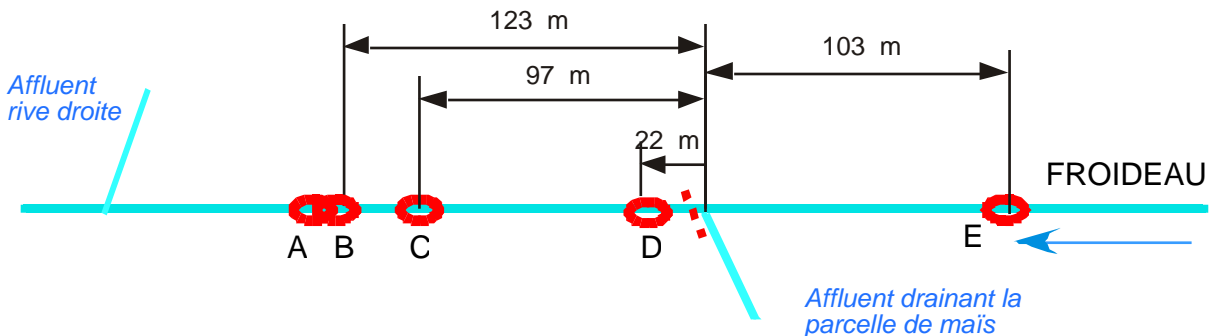
Nasse 1 : 1 truitelle

Nasse 2 : néant

Nasse 3 : néant

Nasse 4 : 3 écrevisses de 6,8 à 9,1 cm

Nasse 5 : néant



**Figure 7: localisation des nasses disposées durant la seconde tendue**

Résultats de la 2<sup>ème</sup> tendue : du 29 au 30 octobre

Nasse "témoin" : pas d'écrevisse (entrée unique colmatée par des feuilles)

Nasse A : 1 un mâle (6,9 cm)

Nasse B : néant

Nasse C : néant

Nasse D : pas d'écrevisse

Nasse E : 5 mâles

(6,2/6,9/8,2/9,0/9,0 cm).

**Remarque** : La vasque A dans laquelle ont été placées deux nasses a des qualités habitationnelles comparables aux vasques 4 et E qui ont pêché respectivement 3 et 5 écrevisses. Les vasques 2 et D pour l'aval de la limite et la vasque 5 pour l'amont semblaient a priori moins attractives.

Malgré l'écrevisse erratique capturée dans la nasse A lors de la 2<sup>e</sup> nuit, les captures par nasses confirment que la limite aval de l'extension de la population de *Pieds Blancs* coïncide bien avec la confluence de l'affluent rive gauche. Cette limite coïncide aussi avec l'orée de la forêt qui pourrait avoir constitué une limite physique à des opérations de curage et de rectification du ruisseau du Froideau (cf. ci-dessous).

## Densités astacicoles et piscicoles

Les pêches électriques effectuées en Juillet 2001 ont montré que si l'extension de la population d'écrevisses du Froideau était bien pluri-kilométrique, les densités mesurées sur 2 stations sont moyennes à faibles (tab. IX). En outre, le nombre d'individus dépassant 8 cm est très réduit (fig. 8). Les densités piscicoles sont également peu soutenues et l'absence du chabot est préoccupante. Parallèlement, ces mesures ont permis de vérifier une fois de plus que la population du Saron avait disparu.

Station	Espèce	Effectif capturé			Densité brute		Densité estimée		Cote sur 5		Préc. %
		1er p	2e p	3e p	nb/10a	g/ha	nb/10a	g/ha	num	pond	
<b>LE FROIDEAU</b>	<b>APP</b>	16	15	0	477	16 615	862	30 317	<b>4</b>	<b>2</b>	75
1500 m am confl.	<b>TRF</b>	8	2	0	154	60 154	154	60 154	<b>3</b>	<b>3</b>	0
(référence)	<b>LOF</b>	18	3	0	323	10 308	323	10 308	<b>2</b>	<b>3</b>	0
18 m am confl.	<b>APP</b>	4	3	7	174	8447	348	14 534	<b>3</b>	<b>1</b>	89
	<b>TRF</b>	12	2	0	174	98 261	174	98 261	<b>3</b>	<b>3</b>	0
	<b>LOF</b>	21	2	4	335	10 311	335	10 311	<b>2</b>	<b>3</b>	0
26 m aval confl.	<b>TRF</b>	6	0	0	174	52 464	174	52 464	<b>3</b>	<b>3</b>	0
	<b>LOF</b>	19	4	0	667	15 652	667	15 652	<b>3</b>	<b>3</b>	0
<b>LE SARON</b>	<b>VAI</b>	1	0	0	17	333	17	333	<b>0,1</b>	<b>1</b>	0
Aval route	<b>TRF</b>	34	5	0	650	109 833	650	109 833	<b>5</b>	<b>4</b>	0
	<b>LOF</b>	2	2	0	67	1 833	67	1 833	<b>1</b>	<b>1</b>	0
	<b>CHA</b>	56	20	0	1267	58 667	1417	66 452	<b>5</b>	<b>5</b>	14

Tableau IX : résultats des pêches électriques à 3 passages effectuées en Juillet 2001

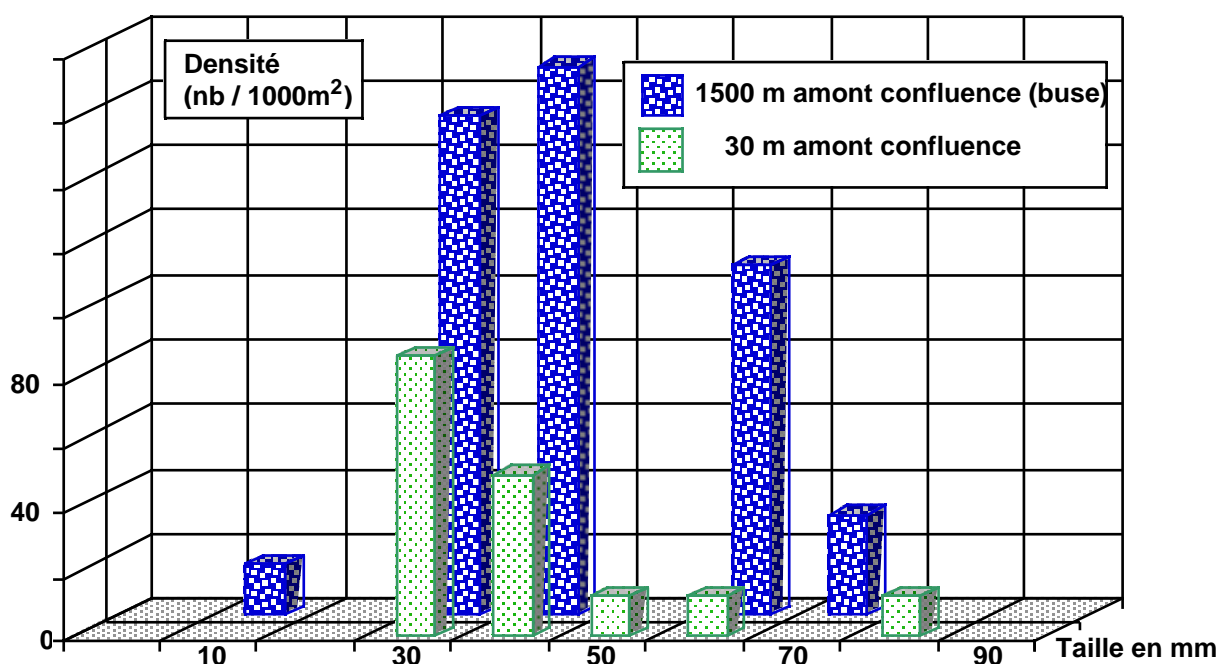


Figure 8 : structure des échantillons de Pieds Blancs capturés en pêches électriques à trois passages sur deux stations du Froideau en juillet 2001.

À première vue, la limitation des biomasses piscicoles et astacicoles pourrait être liée à la simplification de l'habitat aquatique qui sera mesuré ci-après. Toutefois, l'interprétation de la signification de ces déficits biologiques nécessite la détermination préalable des potentiels optimaux.

### Métabolisme thermique et typologie.

La comparaison des relevés thermiques effectuée dans le Froideau à l'amont et à l'aval de la confluence avec le petit affluent qui délimite l'aval de l'extension des Pieds Blancs montre que cet apport réchauffe fortement le ruisseau (fig. 9). En effet, à l'aval de cette source qui arrose une parcelle de maïs et collecte un réseau de drainage la température estivale du ruisseau dépasse fréquemment 20°C alors que ses valeurs maximales oscillent entre 14 et 18° C sur le linéaire astacicole.

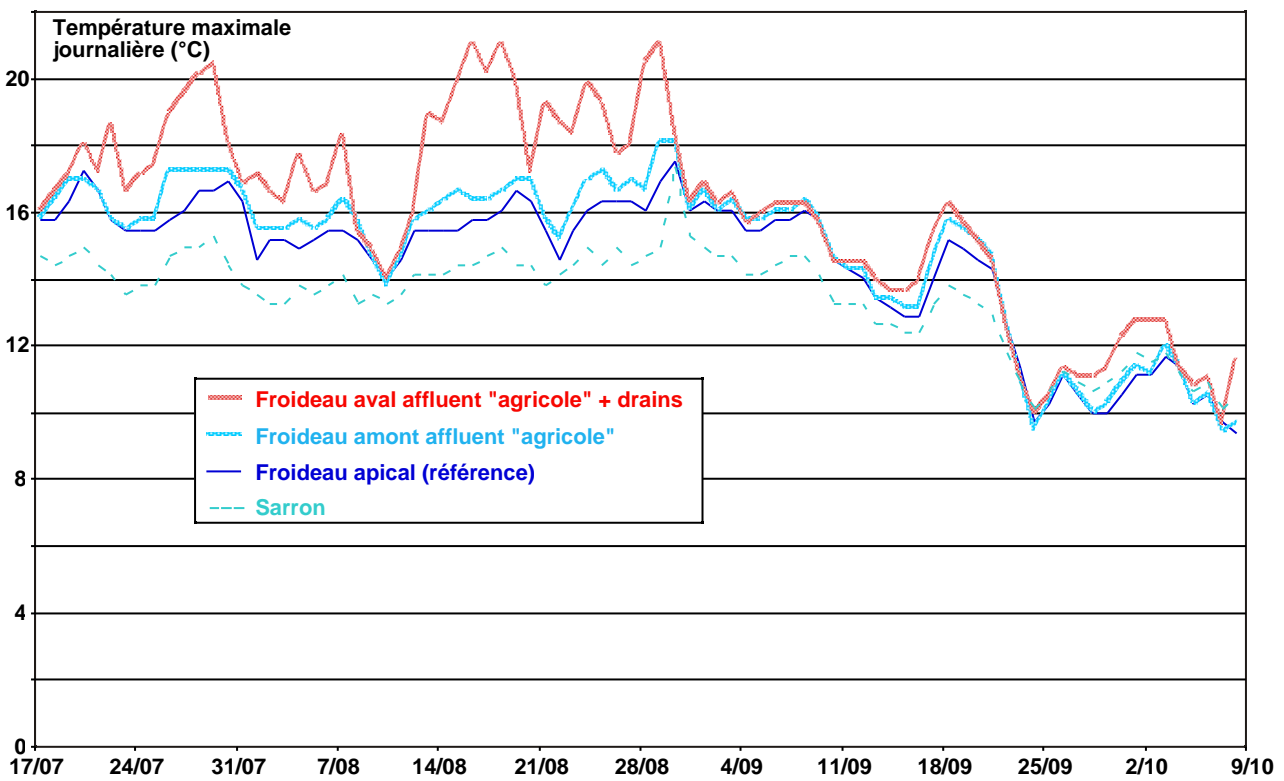


Figure 9 : température maximale estivale enregistrée en 2002 dans le Froideau et le Saron

Cet échauffement de l'eau contribue sans doute à rendre le Froideau aval moins favorable au développement harmonieux des Pieds Blancs, mais il n'atteint pas des valeurs rédhibitoires. En effet, plusieurs populations de Pieds Blancs sont observées dans des cours d'eau dont la température dépasse 22° (comm. pers. Laurent PARIS).



## Analyse standard de l'habitat aquatique du Saron et du Froideau.

Les analyses cartographiques standard effectuées sur trois stations du Froideau et sur une station représentative du Saron montrent que les mosaïques d'habitat de ces sites d'eau courante sont du même registre de qualité (tab. XI, fig. 10-11, ann. 2). Dans l'ensemble, l'attractivité et l'hétérogénéité des fonds de ces deux cours d'eau sont moyennes à faibles, mais sont tout de même suffisantes pour permettre le bon développement d'une population de Pieds Blancs.

Cours d'eau station		Froideau		Saron	
		Réf.	Amont aff.	Aval aff.	Pont RD
<b>Substrats supports</b>	<b>Code</b>				
Sous-berges	SBR		0,4%	1,0%	
Branchage immergés	BRA	20,2%	5,3%	15,9%	13,8%
Blocs ménageant des caches	BLO				0,7%
Blocs sans caches	BLS			0,4%	
Chevelus (racines, bryophytes ...)	CHV	0,2%	0,2%		1,9%
Litières	LIT	5,4%	6,3%	6,8%	11,0%
Surfaces lisses fouissables (marnes)	DAL***	20,9%	32,5%	10,4%	11,1%
Mélange galets et graviers	GGR				8,3%
Graviers	GRA	49,9%	38,3%	49,8%	50,3%
Sable	SAB	3,0%	10,1%	8,2%	
Limons, vases, argiles ...	FIN	0,5%	7,0%	7,5%	2,8%
<b>Classe de profondeurs</b>	< 5 cm	33,5%	31,4%	51,4%	37,6%
	6 à 20 cm	47,2%	40,1%	44,0%	42,6%
	21 à 70 cm	19,3%	28,5%	4,6%	19,9%
	71 à 150cm				
	>150 cm				
<b>Classes de vitesses</b>	< 10 cm/s	98,4%	92,5%	95,0%	90,9%
	11 à 40 cm/s	1,6%	7,2%	5,0%	9,1%
	41 à 80 cm/s		0,4%		
	81 à 150 cm/s				
	>150 cm/s				
<b>Variétés</b>	substrats	7	8	8	8
	profondeurs	3	3	3	3
	vitesses	2	3	2	2
	pôles	19	30	23	27
<b>Diversité physique</b>		1,01	1,17	1,07	1,19
<b>Régularité</b>		0,79	0,79	0,79	0,83
<b>Attractivité globale</b>	sur 100	31,3	15,4	28,6	28,5
<b>Attractivité astacicole</b>	sur 100	45,4	29,1	39,3	43,6
Indice d'Attractivité Morphodynamique	<b>IAM sur 3600*</b>	<b>1314</b>	<b>1110</b>	<b>1373</b>	<b>1368</b>
Indice spécifique de Capacité Astacicole	<b>ISCA sur 3600*</b>	<b>1970</b>	<b>2095</b>	<b>1889</b>	<b>2095</b>

Tableau XI : compositions et qualités des mosaïques d'habitats des stations étudiées sur le Froideau et le Saron (\* : la valeur de référence dépend de la largeur du cours d'eau).

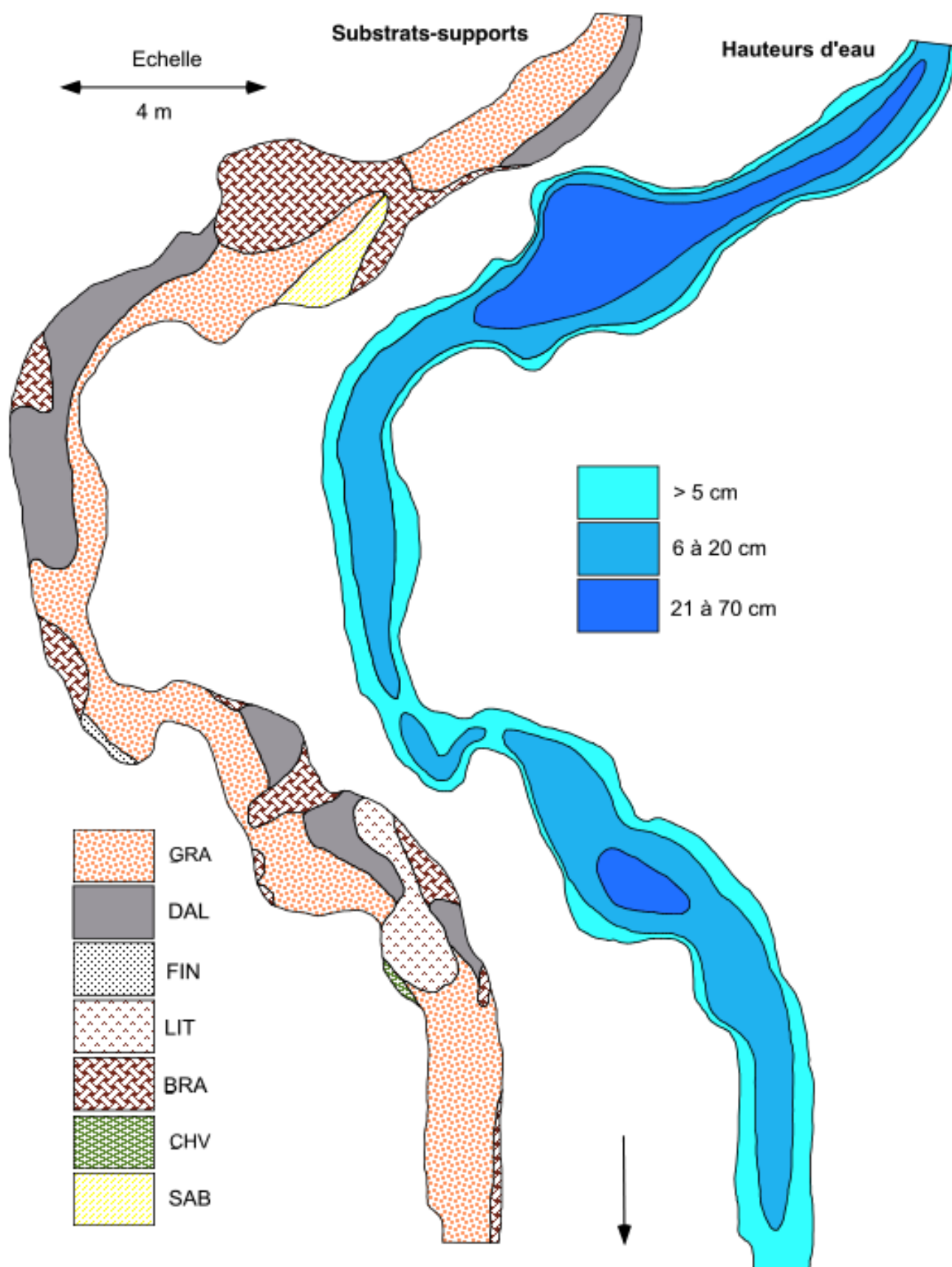


Figure 10 : mosaïques d'habitat de la station apicale du Froideau (référence à écrevisse) : cartes des substrats / supports et des hauteurs d'eau dressées le 26/07/01.

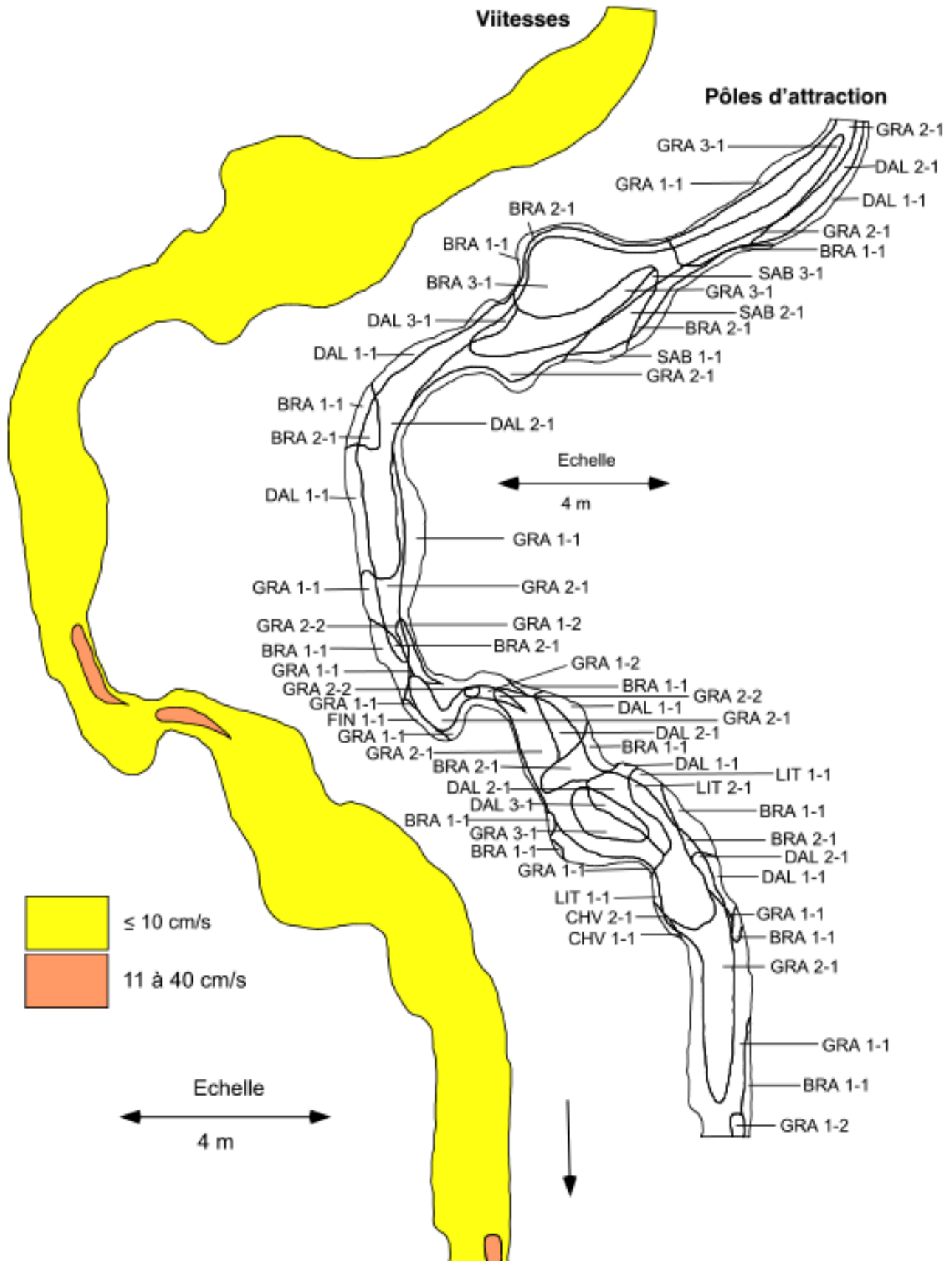


Figure 11 : mosaïques d'habitat de la station apicale du Froideau (référence à écrevisses) : cartes des vitesses de courant et des pôles d'attraction dressées le 26/07/01.

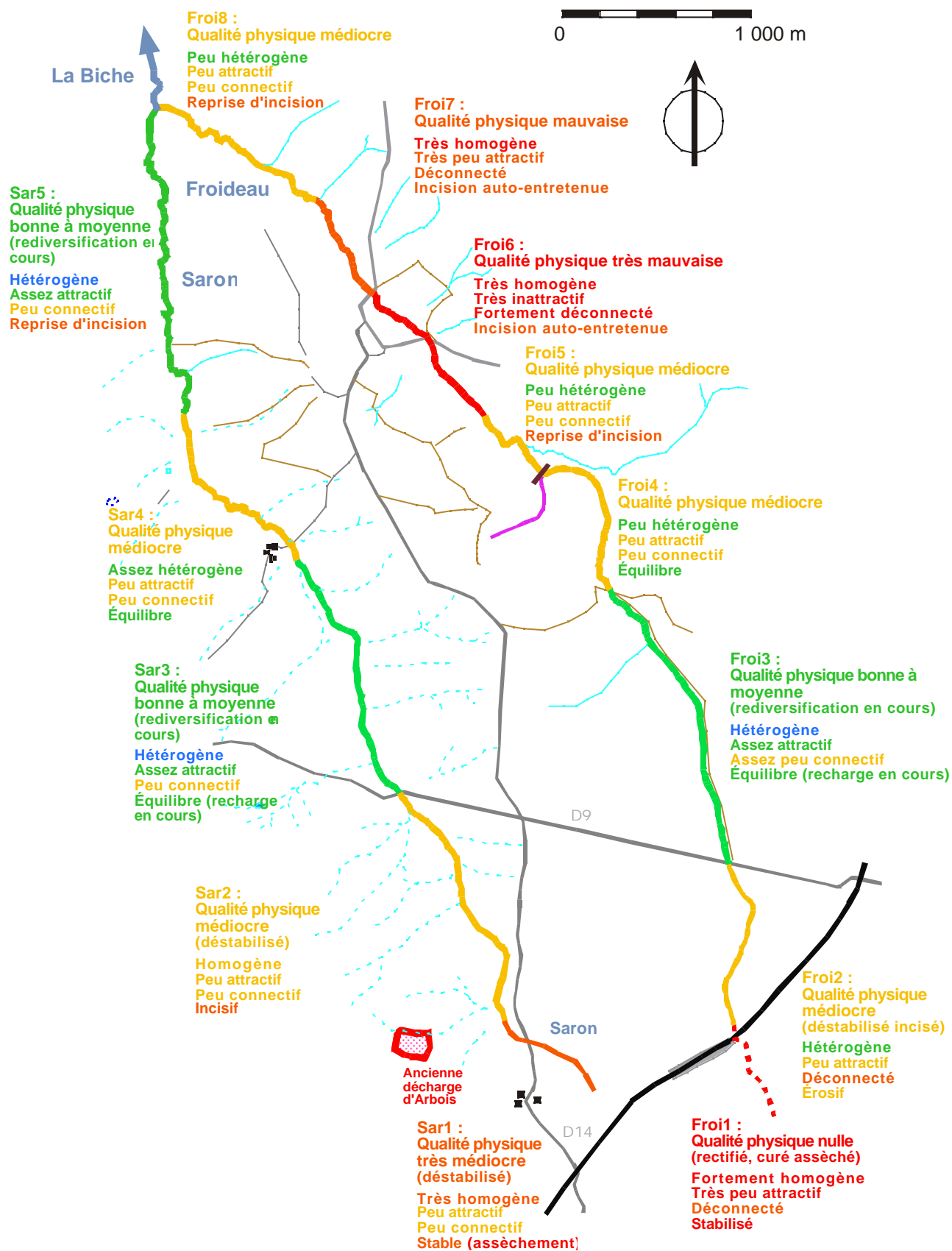


Figure 12 : qualité physique globale du Froideau et du Saron.

Les deux cours d'eau montrent, sur tout leur linéaire, des signes d'incision résultant d'anciens travaux de curages et de rectification (fig. 12). Cependant, les éléments ligneux immergés (branchages, racines, litières) fournissent des substrats et des supports particulièrement favorables pour les Pieds Blancs tout en re-diversifient les écoulements. En outre, les marnes mises à nu sont fouissables et constituent donc des supports pour des terriers. Cependant, dès que les ruisseaux sortent de la forêt et que la ripisylve est contrôlée, ces processus de réajustement morphologiques sont bridés.

Malgré cette nuance, les indices d'habitabilité des 2 stations sans écrevisses sont du même ordre que ceux qui ont été mesurés pour les 2 sites qui en abritent. On en déduit que l'altération modérée de la qualité physique n'explique ni la limitation de la population de Pieds Blancs dans le cas du Froideau ni leur disparition dans le cas du Saron. Par conséquent, les causes directes de régression doivent être recherchées d'avantage en direction d'éventuelles sources de contaminations chimiques.

### **Occupation des BV du Saron et du Froideau : démarche comparative**

Dans le cas de pollution insidieuse ou inconnue, le budget des études diagnostiques ne permet généralement pas de réaliser des recherches objectives et rigoureuses de polluants. En effet, cette stratégie nécessiterait la répétition de nombreuses analyses en plusieurs points et à plusieurs reprises. Il paraît plus judicieux de dresser le bilan des activités anthropiques exercées sur les bassins versants. Dans notre cas, cette démarche heuristique s'appuie sur un principe de comparaison entre les versants des linéaires peuplés d'écrevisse et ceux des secteurs où elles ont disparu (fig. 13).

Dans le cas présent, les deux bassins versant sont très similaires et comportent plus de 70 % de forêts : 70,1 % pour le Froideau et 78,9 % pour le Saron (fig. 13). *L'impluvium* du Froideau comporte plus de surfaces agricoles cultivées essentiellement en maïs sur sa partie aval, et en particulier des tandis que celui du Saron comporte un peu plus de vignes sur l'amont. Enfin, pour le Saron, plusieurs dizaines d'hectares de forêt ont été défrichés entre les années 80 et les années 90 (ann. 3).

*A contrario*, le Froideau est dépeuplé d'écrevisse dès qu'il collecte les ruisseaux et les drains issus des terrains dévolus à la maïsiculture. Ainsi, l'affluent qui marque la limite de l'extension de la population de Pieds Blancs prend-il sa source au sein même d'une parcelle de maïs de 7 ha ; située sous quelques vignes. Plus à l'aval, cette transition entre forêts et cultures intensives se traduit aussi par un enfoncement irréversible du lit du Froideau induit par une rectification drastique de la partie basale du ruisseau.

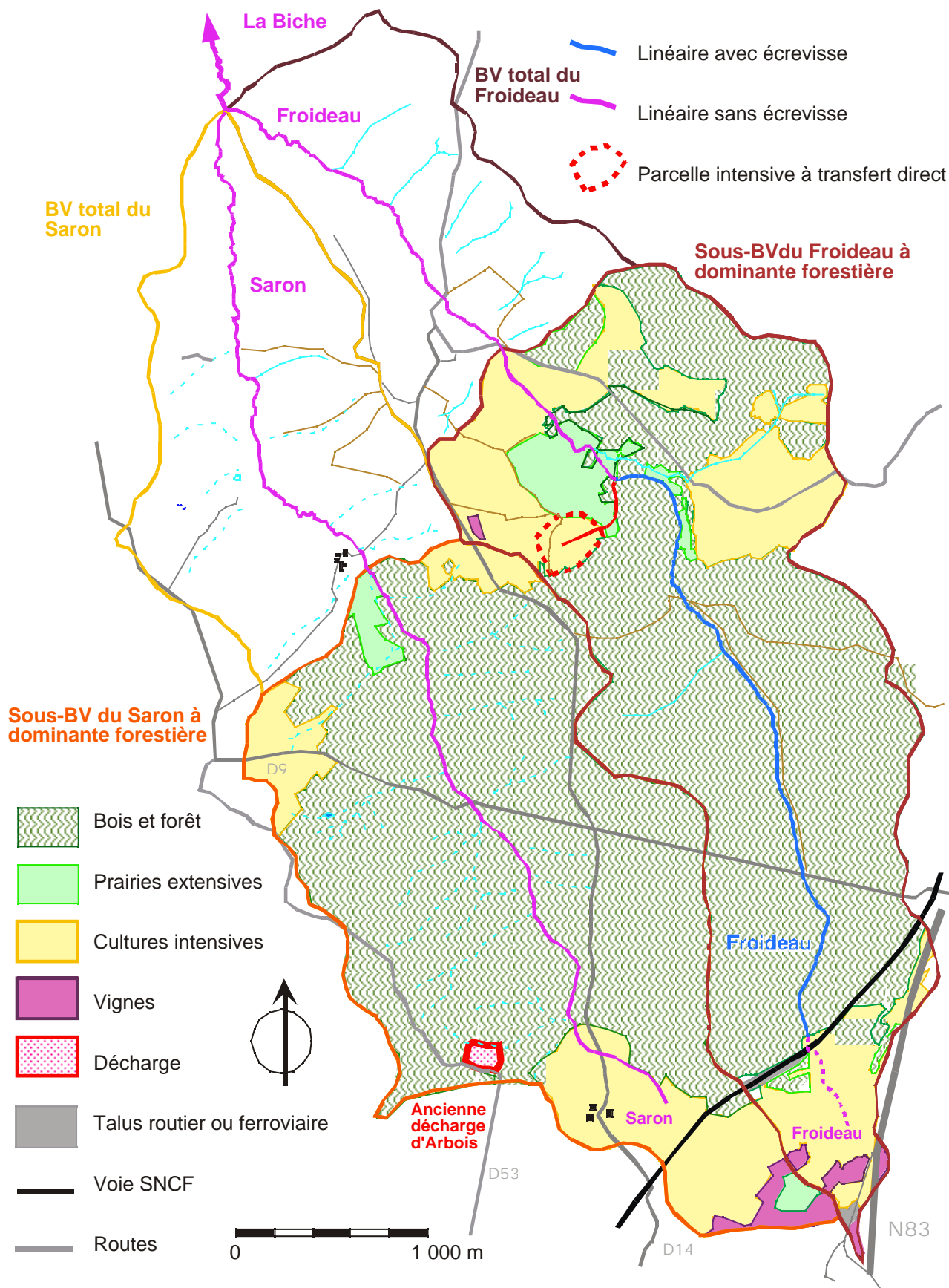


Figure 13 : occupation de sols des bassins versant du Saron et du Froideau.

Dans le cas du Saron, quelques parcelles de vignes, de prairie et de cultures sont exploitées de façon intensive en tête de bassins, mais les risques de pollution émanent surtout de l'ancienne décharge d'Arbois. En effet, pendant des décennies, les déchets de cette ville de plus de 7 000 habitants ont été stockés puis enfouis sur une des sources alimentant le Saron apical (fig. 13).

Pour tenter de préciser le rôle de ces deux causes de perturbations potentielles, 3 prélèvements de sédiments fins ont été effectués respectivement sur le Saron à l'aval du Pont de la CD 9, sur le Froideau à l'aval de l'affluent « agricole » et sur cet affluent lui-même. Sur ces 3 échantillons, une recherche de micropolluants a été réalisée par le laboratoire départemental de la Drôme (LDA 26).

### Recherche des toxiques par la méthode des multirésidus.

En effet, le caractère forestier des 2 têtes de bassin étudiées, élimine le risque de pollutions par excès de matières organiques ou nutritives. En revanche, les analyses multirésidus effectuées sur le Froideau aval et sur son affluent « agricole » ainsi que sur le Saron révèlent des traces de contaminations toxiques insidieuses. En particulier des teneurs importantes en Arsenic ont été mesurées (ann. 4, tab. XII).

	Affluent RG	Froideau aval	Saron	Seuils indicatifs	
				Poll. légère	Poll. nette
<b>As</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	11	0,7	<b>7</b>
Cd	2<	2<	2<	0,7	<b>4,2</b>
Cr	<b>48</b>	38	15	5,2	<b>52</b>
Cu	17	10	9	1,9	<b>19</b>
Hg !	<i>Non recherché !</i>			0,1	<b>0,7</b>
<b>Ni</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	11	1,6	<b>16</b>
Pb	25	16	13	4,1	<b>41</b>
Sb	0	0	0	?	<b>?</b>
Sn	7	4	3	?	<b>?</b>
Zn	57	42	11	124	<b>271</b>
Benzo (a) anthracène			trace (<0,1)		
Benzo (a) pyrène			trace (<0,1)		
Benzo (b) fluoranthène			trace (<0,1)		
Benzène (k) fluoranthène			trace (<0,1)		
Fluoranthène			trace (<0,1)		
Indéno (1,2,3-cd) pyrène			trace (<0,1)		
Phénanthrène			trace (<0,1)		
Pyrène			trace (<0,1)		

**Tableau XII: contaminations toxiques décelées dans les sédiments des stations sans écrevisse du Saron et du Froideau. Le mercure n'a pas été recherché.**

D'après les résultats d'une enquête informelle auprès des agriculteurs locaux et dans les coopératives agricoles, des produits contenant de l'arsenic ont été utilisés dans un passé récent sur les 2 bassins versant comme traitements de la vigne et du maïs. À l'heure actuelle, ces produits ne seraient plus utilisés.

Les Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques trouvés à l'état de trace dans les sédiments fins du Saron proviennent de la combustion des produits pétroliers ou/et de sous-produit de l'industrie du plastique (PVC, peintures au vynil, colorants ...). Leur présence sanctionne l'influence de la pollution grise issue du lessivage des routes ou/et de l'ancienne décharge située sur une des sources du Saron (fig. 13).

Cependant l'effort d'échantillonnage des sédiments fins des cours d'eau est insuffisant. En effet, la plupart des substances toxiques, peu solubles, sont transférées par adsorption sur des fines suivant des processus complexes. La recherche des micro-polluants nécessite donc d'effectuer des répliquats à différentes saisons. Ainsi, pour vérifier l'absence dans les sédiments d'herbicides utilisés en maïsiculture, il conviendrait de répéter et de multiplier les prélèvements au printemps, en période d'épandage.

Parallèlement, la forte pente de la partie apicale du Saron confère aux versants de ce cours d'eau des capacités de transferts rapides. Les éventuels suintements de l'ancienne décharge d'Arbois sont alors susceptibles de se répandre dans les milieux aquatiques suivant des rythmes saccadés liés à la pluviométrie. Cette configuration requiert elle aussi la multiplication des points et des périodes de prélèvement.

### **Bilan et recommandations pour la restauration du Froideau et du Saron**

Malgré l'insuffisance de la maille spatio-temporelle de recherche des contaminations par les micropolluants, 2 causes majeures de régression des écrevisses ont été décelées dans la forêt de Mouchard.

- 1° Sur la partie médiane du Froideau, une pollution d'origine agricole d'intensité pourtant limitée est transférée par un affluent qui prend sa source dans une parcelle de maïs. La coïncidence entre la confluence de ce système et la limite aval d'extension des Pieds Blancs incrimine fortement cette perturbation.
- 2° Parallèlement, la présence de l'ancienne décharge d'Arbois sur une des sources du Saron constitue un risque important de pollution intermittente en cas de suintement ou de corrosion des produits stockés et enfouis sur ce site. Une contamination toxique insidieuse par des substances phyto-sanitaires épandues sur les quelques parcelles agricoles intensives du bassin versant ne peut être totalement écartées.

Les sédiments fins des deux cours d'eau contiennent des teneurs notables en Arsenic. Cette contamination due probablement à des épandages à but phytosanitaires, constitue un facteur limitant les possibilités de recolonisation par les écrevisses Pieds Blancs. Toutefois, si la principale cause ayant entraîné la disparition des Pieds Blancs du Saron pourrait être bien une pollution aiguë résultant de suintements de la décharge, on peut se demander si cette perturbation a cessé ou non.

Sur le plan morphologique, les 2 ruisseaux ont été plusieurs fois rectifiés et curés (travaux répertoriés dans les archives départementales). Cependant, les parties forestières montrent une bonne capacité à la reconstitution spontanée de mosaïques biogènes et à la re-diversification des écoulements, grâce à la vitalité de la ripisylve dont le développement est laissé libre. En particulier, les racines et les branchages immergés favorisent le maintien et le développement des écrevisses Pieds Blancs.

En revanche, les parties prairiales et en particulier le linéaire basal du Froideau apparaissent irréversiblement enfoncés et uniformisés par des travaux hydrauliques lourds. Enfin, le secteur intermédiaire de sous bois a été moins touché, mais il subit une érosion régressive qui aggrave l'incision du chenal.

Dans ce contexte, la reconquête des milieux astacicoles de la Forêt de Mouchard nécessite une stratégie d'ensemble (fig. 14). Ainsi, pour protéger la population de Pieds Blancs du Froideau et pour favoriser la recolonisation des zones aval, il convient de :

- Retransformer en prairies extensives les parcelles de maïs du sous-bassin versant de l'affluent qui limite l'extension des écrevisses.
- Enrayer l'incision du lit dans le secteur de sous bois en implantant des seuils de fonds (rampe en enrochements noyés).
- Reconstituer des franges humides (aulnaies) de 10 mètres de part et d'autre du ruisseau et de ses affluents lorsque le ruisseau est bordé de cultures intensives.
- Reméandrer et rehausser la partie basale du Froideau en s'appuyant sur une étude hydraulique car les bâtiments d'une ferme jouxtent le tracé.

Parallèlement, les opérations suivantes devraient être engagées sur le Saron.

1. Analyser la qualité des peuplements benthiques par une étude semi-quantitative au genre (méthode MAG20, TELEOS 2001-2002).
- Si les biocénoses benthiques sont réduites (abondance faible ou absence des taxons sensibles typiques de ruisseaux forestiers (*Capnidae*, *Glossomatidae*, *Chlorplerlidae* ...)), effectuer un diagnostic de la décharge.

- 2a. Si des suintements toxiques sont décelés, envisager : soit le confinement total soit le retraitement ou/et l'exportation des déchets.
- 2b. Parallèlement, reconvertir les parcelles agricoles de têtes de bassins en prairies extensives et reconstituer des franges tampon sur la partie apicale du Saron.
3. Si les macroinvertébrés électifs des ruisseaux forestiers sont en abondances optimales, envisager la réintroduction à partir de juvéniles capturés sur le Froideau.

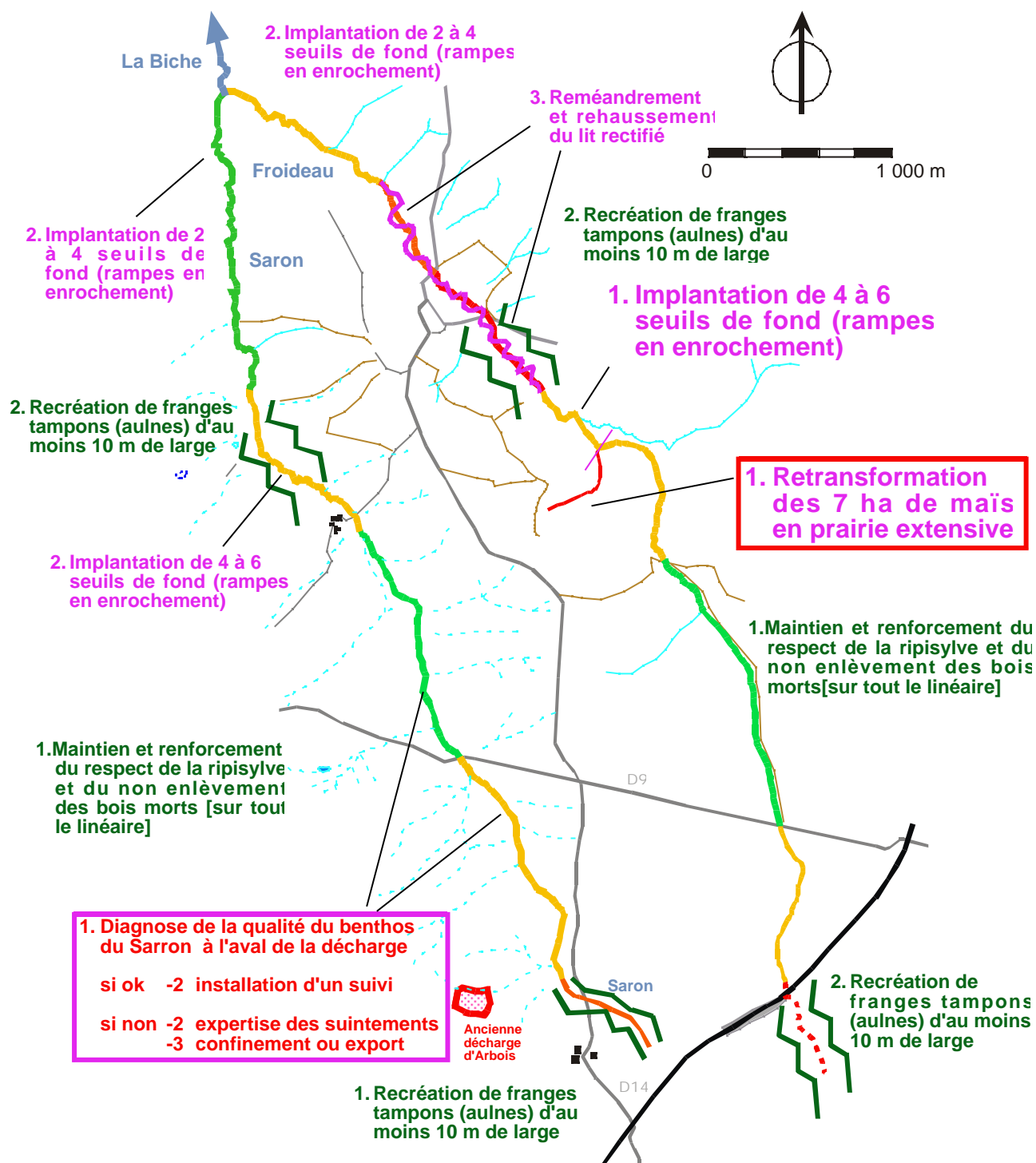


Figure 14 : stratégies de restauration des populations d'écrevisses Pieds Blancs de la Forêt de Mouchard (action articulées par ordre chronologique (numéro) et prioritaire (encadré))

### B3 Ateliers Lizon / Préverant

Le système expert décrit au § B1 a été appliqué à 5 stations réparties sur l'atelier constitué du Lizon et du Préverant en 2001 et 2002. Ces deux cours d'eau sont des affluents de la Bienne situés au cœur du massif Jurassien à des altitudes variant de 950 à 600 m d'altitude pour le premier ruisseau et de 840 à 640 pour le second. Puisque la population du Préverant est réputée éteinte depuis les années 93-94, l'étude a commencé par la délimitation exacte de l'extension de la population de Pied Blanc sur le Lizon de façon à placer judicieusement les sites des mesures rapprochées (fig. 15).

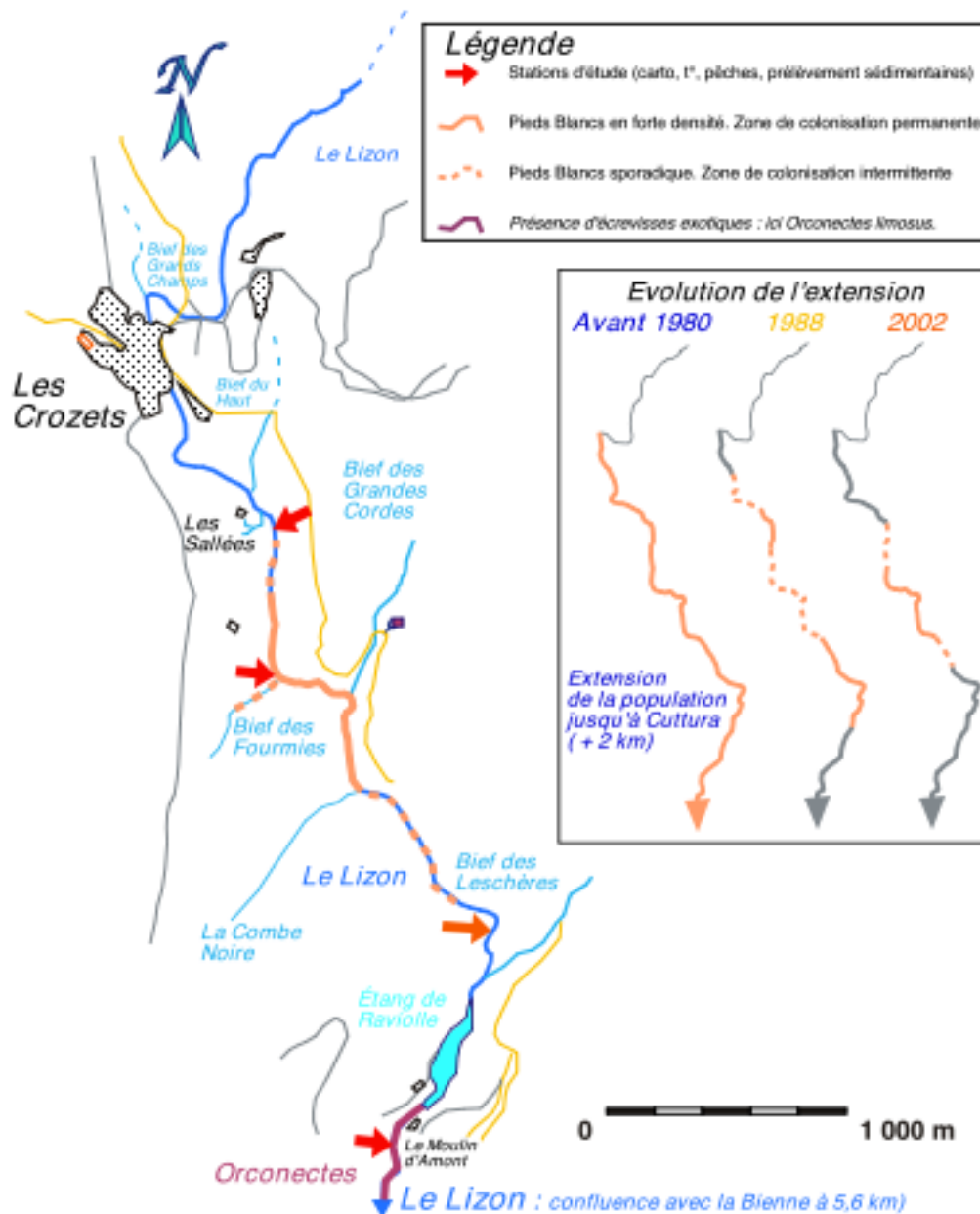


Figure 15 : délimitation de l'extension des écrevisses Pieds Blancs du Lizon en 2002 : reconstitution de l'évolution depuis les années 1980.

### Localisation de la limite d'extension des Pieds Blancs du LIZON.

L'extension de la population astacicole signalée sur le Lizon a été déterminée par prospection de nuit effectuée à la lampe en juillet 2001 (trois sorties). Les limites ont été vérifiées par la pose de nasses en août 2001 et par pêches électriques en octobre 2002. Les mêmes investigations ont été effectuées sur le Bief de Préverant mais n'ont permis de ne capturer ni de n'observer aucune écrevisse, ce qui confirme la disparition signalée depuis 1994 sur ce ruisseau.

Sur le Lizon, les informations fournies sur l'extension de la population de Pieds Blancs par les trois techniques de captures sont convergentes (fig. 15). D'amont en aval, on observe les configurations suivantes :

1° À l'amont et à l'aval immédiat du village : pas d'écrevisse Pieds Blancs.

2° À partir de 900 m en aval du village jusqu'à 300 mètres en amont de l'étang de Raviolle : présence d'écrevisses ; la zone de forte densité est limitée entre le chemin du Coupet (500 mètres à l'aval des Sallées) et la confluence avec la Combe Noire.

3° À l'aval de l'étang : absence d'écrevisse Pieds Blancs.

La comparaison de cette image avec les données antérieures obtenues par enquêtes auprès des riverains et avec les données récoltées par MARTIN (1998) montre une **nette tendance à la régression** de l'extension de ces écrevisses sur le Lizon. Les données de 1988 faisaient état d'une densité soutenue à l'aval immédiat du lieu dit des Sallées, à 500 mètres à l'aval des Crozets et d'une présence plus sporadique à l'aval de ce secteur. Nos observations montrent que la limite amont de l'extension est descendue d'une centaine de mètres. En revanche, le secteur plus aval des gorges semble désormais plus densément peuplé mais il n'avait pas été échantillonné en 1986-1988.

### Densité et structure de population des Pieds Blancs du Lizon

Les pêches à 3 passages effectuées sur les 2 cours d'eau ont permis de préciser la densité des écrevisses sur le secteur du Lizon qui en abrite encore. Parallèlement, ces inventaires fournissent une estimation des potentiels piscicoles associés aux 4 sites étudiés (tab. XIII).

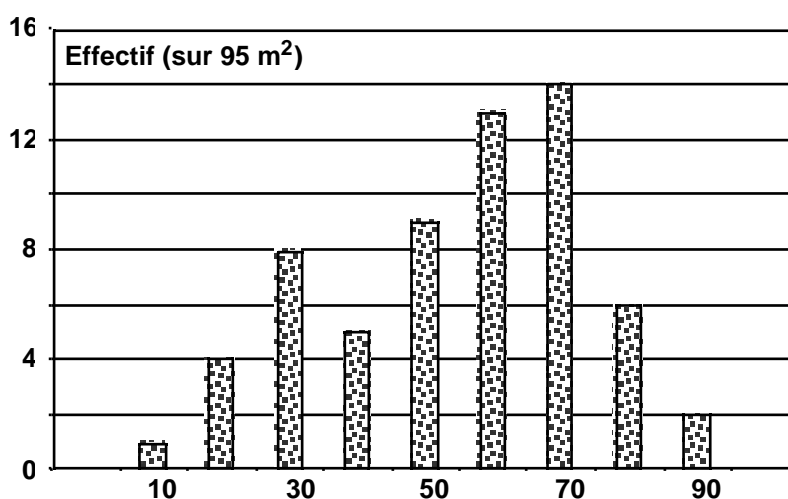
Sur le site des Salées à l'aval des Crozets, aucune écrevisse Blancs n'a pu être observée mais une forte densité de truitelles a été mesurée. En revanche, une forte densité numérique d'écrevisses a été échantillonnées au début du secteur de gorges, au niveau de la confluence du Lizon avec le Bief des Fourmies.

	Espèce	Effectif capturé			Densité brute		Densité estimée		Cote sur 5		Préc ± %
		1er p	2e p	3e p	nb/10a	g/ha	nb/10a	g/ha	num.	pond.	
<b>LIZON</b>											
Les Salées	TRF	52	3	0	580	143 896	580	143 896	5	4	0
Conf. B. Fourmies	APP	21	17	24	419	50 743	1304	139 965	5	4	99
milieu gorges	VAI	1	0	0	7	338	7	338	0,1	1	0
	TRF	14	1	1	108	55 203	108	55 203	3	3	0
Moulin., aval étang de R.	VAI	1	0	0	7	348	7	348	0,1	1	0
	TRF	93	13	0	737	310 971	744	312 778	5	5	2
	LOF	3	4	0	49	4 171	63	5117	1	2	56
	ORC		2		14	600	14	600	0,1	0,1	0
<b>BIEF DE PRÉVERAN</b>											
Route de Choux à Viry	TRF	21	5	0	139	60 784	144	62 028	3	3	10

**Tableau XIII : résultats des pêches électriques effectuées en octobre 2001 sur le Lizon et le Bief de Prévenant.**

L'abondance calculée en 2001 est similaire à celle qui a été déterminée en 1986 (MARTIN 1988). En effet, l'opération de marquage / recapture effectuée par cet auteur indique une densité estimée de 1,1 écrevisse au mètre carré contre 1,3 lors de la dernière pêche électrique. Statistiquement, ces valeurs correspondent à des abondances fortes pour les cours d'eau à écrevisse de l'Est de la France.

En outre, comme en 1986, l'échantillon comporte une proportion non anecdotique d'individu de plus de 8 cm (fig. 16). Des individus de plusieurs classes d'âge et en particuliers des juvéniles de l'année ont pu être capturés ou observés au cours des deux études.



**Figure 16 : histogramme taille fréquence de l'échantillon de Pieds Blancs capturés sur le Lizon en octobre 2001.**

Enfin, sur le Lizon, la pêche électrique effectuée à l'aval du plan d'eau a permis de capturer 2 *Orconectes limosus*. Cette espèce américaine n'avait pas été échantillonnée par les deux autres approches. Sa présence pourrait expliquer la disparition récente des Pieds Blancs de la partie aval du Lizon. Toutefois, le secteur à l'amont immédiat de l'étang ne semble plus colonisé que très sporadiquement par l'espèce française alors que les écrevisses américaines n'y ont pas été du tout observées. Par conséquent

### Métabolisme thermique et typologie

La sonde thermique implantée sur le Bief de Préverant a été arrachée et nous ne disposons donc pas de données thermiques sur ce plan d'eau. Les températures estivales maximales du Lizon amont oscille autour de 16 °C (fig. 17). À l'aval des gorges, ce ruisseau a subi au plus chaud de l'été 2002 une phase de réchauffement de quelques jours durant laquelle l'eau dépassa 20 degrés. Cependant, le reste du temps la partie aval du ruisseau est plutôt rafraîchie par les affluents.

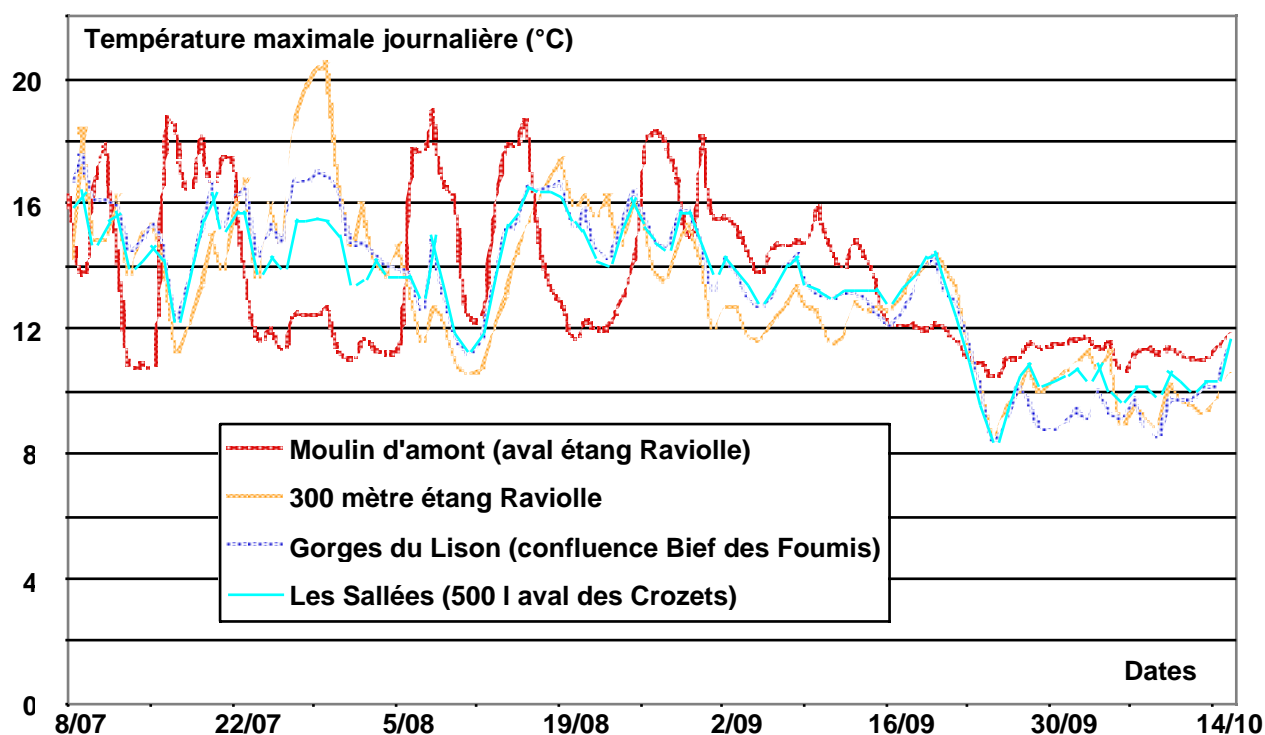


Figure 17 : températures maximales journalières enregistrées sur le Lizon durant l'été 2002.

En revanche, les anomalies thermiques observées à l'aval de l'étang de Raviolle indiquent plutôt une gestion hydraulique irrégulière. Il semble en effet que l'évacuation s'effectue alternativement par le fonds (phase de refroidissement) et par la surface (phase de réchauffement). Un diagnostic supplémentaire apparaît nécessaire pour rationaliser la gestion hydraulique et piscicole de ce plan d'eau.

Ces enregistrements thermiques ont aussi permis de calculer le niveau typologique théorique des sites étudiés (VERNEAUX 1973-1975). La formule utilisée indique que les stations qui jalonnent le Lizon supérieur appartiennent à une gamme typologique allant de B2 à B3 (tab. XIV). Le niveau théorique déterminé pour la station qui abrite encore des écrevisses correspond à un B2+.

Station	$\Theta_{\max}$ °C	$S_m$ m <sup>2</sup>	$p$ ‰	$l$ m	$d_o$ km	$D$ mg/l	Type théorique	Biotype estimé
<b>Lizon</b>								
Les Sallées	16,1	0,21	83,3	3,5	2,9	82	2,1	B2
Confl. B. Fourmies	17,1	0,22	40,7	4,5	3,7	85	2,5	B2+
Amont étang Raviolle	18,7	0,26	52,6	5	4,87	75	2,8	B3-
Moulin d'amont	18,5	0,28	17,7	6	5,82	70	3,2	B3
<b>B. Préverant</b>								
Pont CD	« 18 »	0,24	75,8	4,1	2,1	75	2,4	B2+

**Tableau XIV : calcul du type théorique des stations d'étude sur le Lizon et le Bief de Préverant**

**Légende**  $\Theta_{\max}$  : moyenne des températures maximales des 30 jours consécutifs les plus chauds  
 $d_o$  : distance à la source  $D$  : dureté calco-magnésienne  
 $S_m$  : section mouillée à l'étiage  $p$  : pente du lit  $l$  : largeur du lit mineur

Le niveau typologique théorique déterminé pour la station étudiée sur le Bief de Préverant en utilisant quelques données thermiques ponctuelles pour estimer la température maximale moyenne correspond lui aussi à un B2+. En effet, la configuration qui est rencontrée ici est celle d'un cours d'eau plus chaud mais véhiculant une énergie plus forte à cause d'un rapport pente / largeur / section mouillée différent.

### **Analyse comparative de l'habitat aquatique du Saron et du Froideau.**

La morphologie des 3 stations amont du Lizon et de la station médiane étudiée sur le Bief de Préverant leur confère une bonne aptitude biogène et surtout une forte capacité astacicole (tab. XV, fig. 18-19, ann. 5). Ces 4 sites présentent une combinaison de galets non jointifs sous différentes hauteurs d'eau et de chevelus racinaires de bordure très favorables au développement de plusieurs éco-stades de l'espèce Pieds Blancs.

Certes, la forte énergie des cours d'eau, liée à leur pente accentuée, limite la quantité de litières et de sables utilisés par les écrevisses durant leurs phases de nutrition. Cependant, ce bémol ne tempère que légèrement le bon potentiel habitationnel sanctionné par de bons indices de qualité synthétiques (tab. XV).

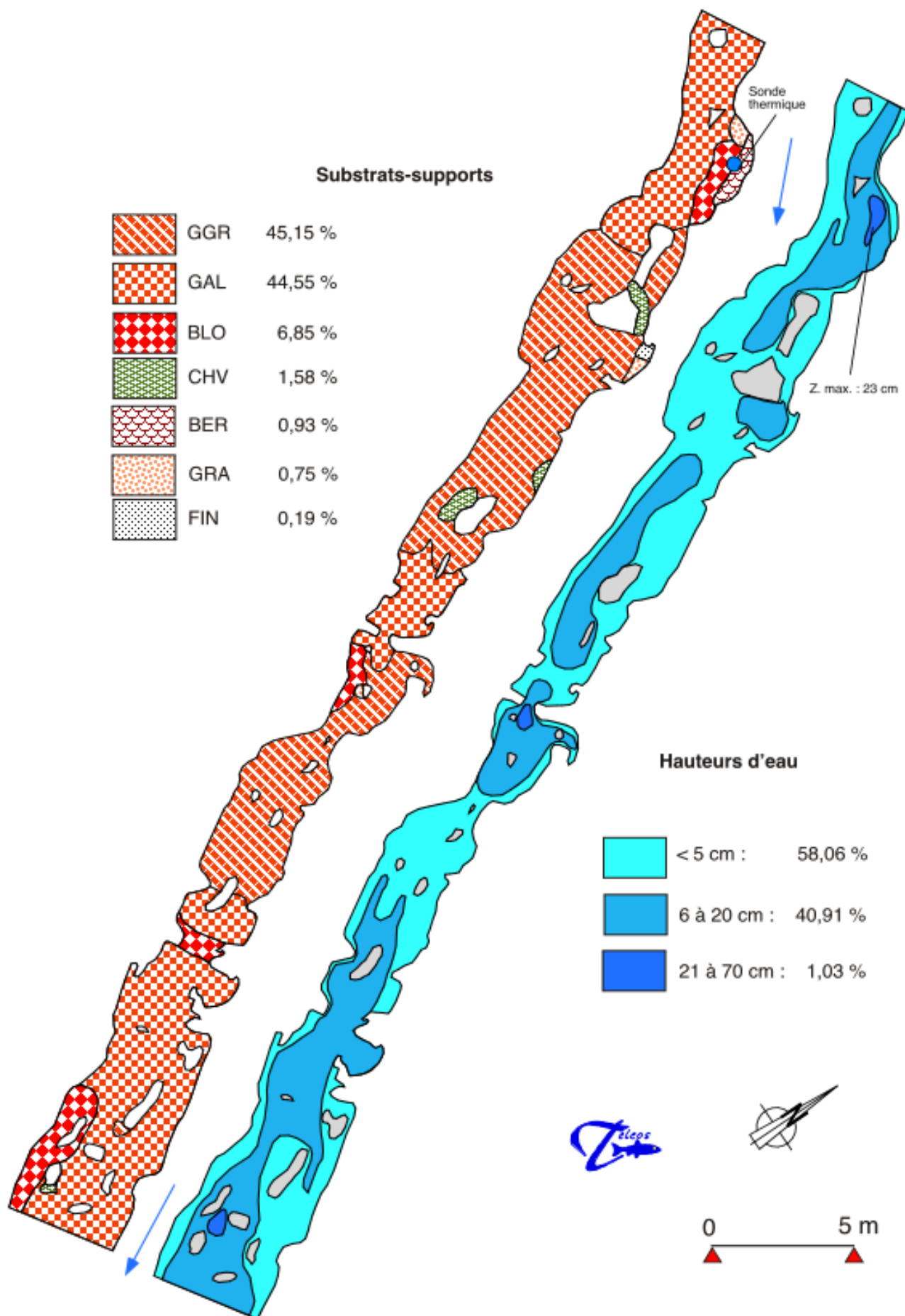


Figure 18 : cartographie des mosaïques de substrats-soutiens et de profondeurs du Lizon dans ses gorges, à l'amont immédiat de la confluence avec le Bief des Fourmis.

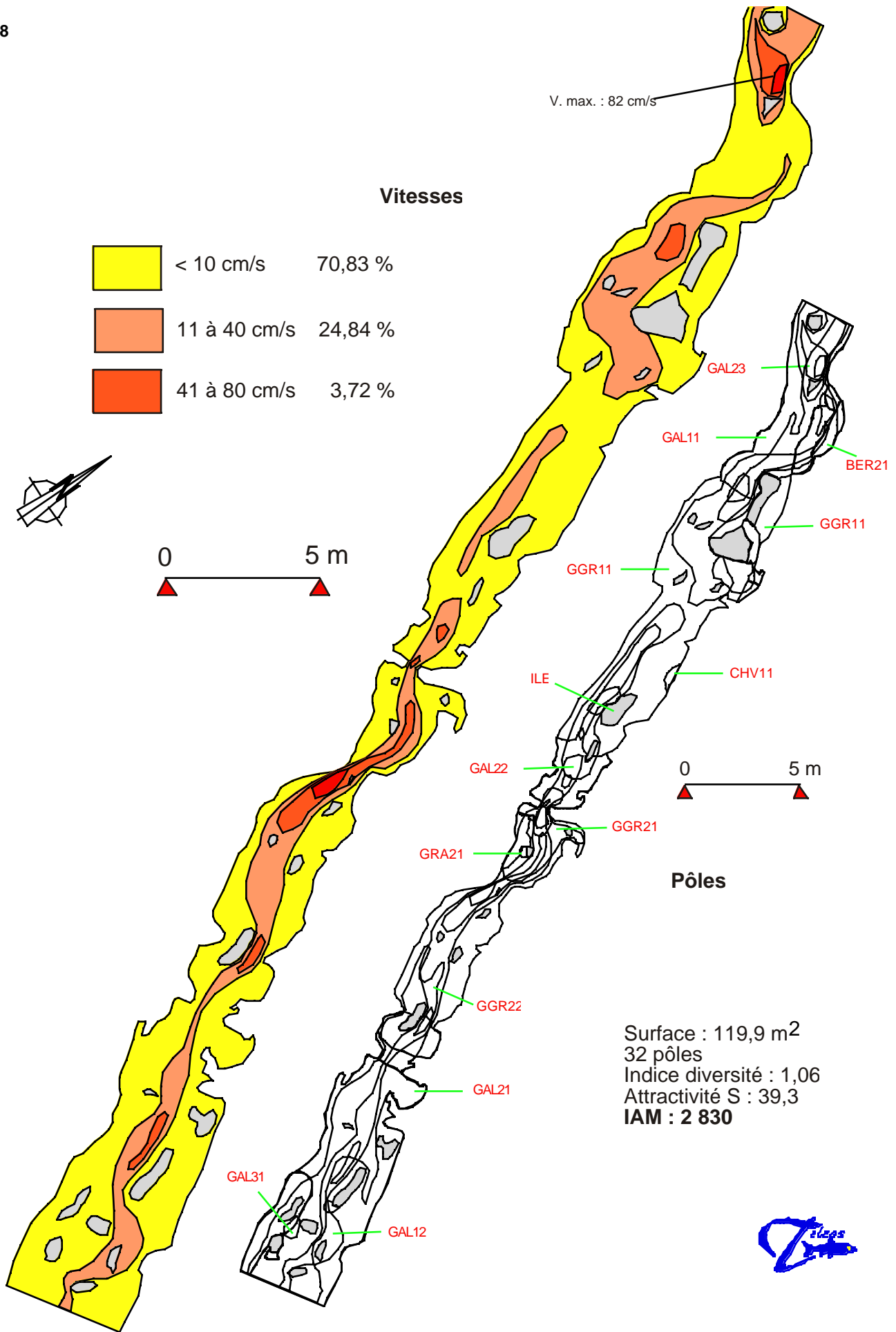


Figure19 : cartographie des mosaïques de vitesses et de pôles d'attraction du Lizon dans ses gorges, à l'amont immédiat de la confluence avec le Bief des Fourmis.

En revanche, la station située en aval de l'étang de Raviolle apparaît peu biogène et surtout très peu propice à la vie astacicole. Cette configuration défavorable découle en particulier de la chenalisation subie localement par le cours d'eau à l'aval de l'ancien moulin qui utilisait le plan d'eau comme réserve hydraulique. Cet aménagement a induit une accélération des vitesses et une simplification du lit qui ont à leur tour entraîné le pavage des blocs.

	<i>Rivière</i>	<b>Lizon</b>				<b>Préverant</b>
	<i>Station</i>	<b>Sallées</b>	<b>Fourmies</b>	<b>Am. étang</b>	<b>Av. étang</b>	<b>Pont CD</b>
<b>Substrats supports</b>	<b>code</b>					
Afférence, source ...	AFF			0,7%		0,1%
Sous-berges	SBR		0,9%		1,6%	
Blocs ménageant des caches	BLO	36,1%	6,9%	13,2%	0,2%	7,9%
Blocs sans caches	BLS				86,5%	12,0%
Chevelus (racines, bryophytes ...)	CHV	0,3%	1,6%	0,9%	0,7%	
Litières	LIT					0,1%
Galets non jointifs	GAL	20,1%	44,5%	46,5%	10,6%	17,6%
Mélange galets et graviers	GGR	39,8%	45,2%	38,4%		60,4%
Galets pavés ou colmatés	GLS					0,1%
Graviers	GRA	3,2%	0,7%	0,2%	0,1%	1,4%
Sable	SAB					0,3%
Limons, vases, argiles ...	FIN	0,5%	0,2%			
Dalles non fouissables	DAL				0,2%	
<b>Classe</b>	< 5 cm	55,2%	58,1%	50,7%	10,5%	23,2%
<b>de profondeurs</b>	6 à 20 cm	39,0%	40,9%	42,9%	51,4%	64,4%
	21 à 70 cm	5,8%	1,0%	6,4%	38,1%	12,4%
	71 à 150cm					
	>150 cm					
<b>Classes</b>	< 10 cm/s	72,9%	70,8%	78,6%	71,0%	85,8%
<b>de vitesses</b>	10-40 cm/s	25,1%	24,8%	19,0%	26,5%	13,5%
	40-80 cm/d	2,0%	3,7%	2,4%	2,5%	0,6%
	81-150 cm/s		0,6%			0,1%
	>150 cm/s					
<b>Variétés</b>	substrats	5	6	5	6	6
	profondeurs	3	3	3	3	3
	vitesses	3	4	3	3	4
	pôles	31	32	24	24	34
<b>Diversité physique</b>		1,11	1,06	1,01	0,86	1,03
<b>Régularité</b>		0,74	0,70	0,73	0,62	0,67
<b>Attractivité globale</b>	sur 100	42,5	39,3	41,7	33,2	32,7
<b>Attractivité astacicole</b>	sur 100	66,2	70,0	70,9	12,7	56,7
Indice d'Attractivité Morphodynamique	<b>IAM*</b>	1910/3600	2829/5200	1877/5200	1790/5200	2353/5200
Indice Spécifique de Capacité Astacicole	<b>ISCA*</b>	2978/3600	5044/5200	3192/5200	693/5200	4082/5200

**Tableau XV : composition et qualité des mosaïques d'habitats du Lizon et du Bief de Préverant**  
 (\* : la valeur de référence des indices dépend de la largeur du cours d'eau).

Cette simplification morphologique n'affecte pas la totalité du linéaire du Lizon médian et basal. Toutefois la présence des écrevisses américaines dès l'aval immédiat de l'étang de Raviolle hypothèque fortement la possibilité de la persistance de populations résiduelle de Pieds Blancs sur cette partie du cours d'eau.

Dans l'ensemble le Lizon apical entre l'aval des Crozet et l'étang de Raviolle présente en revanche une excellente qualité physique globale (fig. 20). Cette partie du linéaire est constituée d'une succession de vasques et de petites chutes en escalier qui diversifient les écoulements sur des fonds jamais touchés de galets et de blocs parfois couverts de bryophytes.

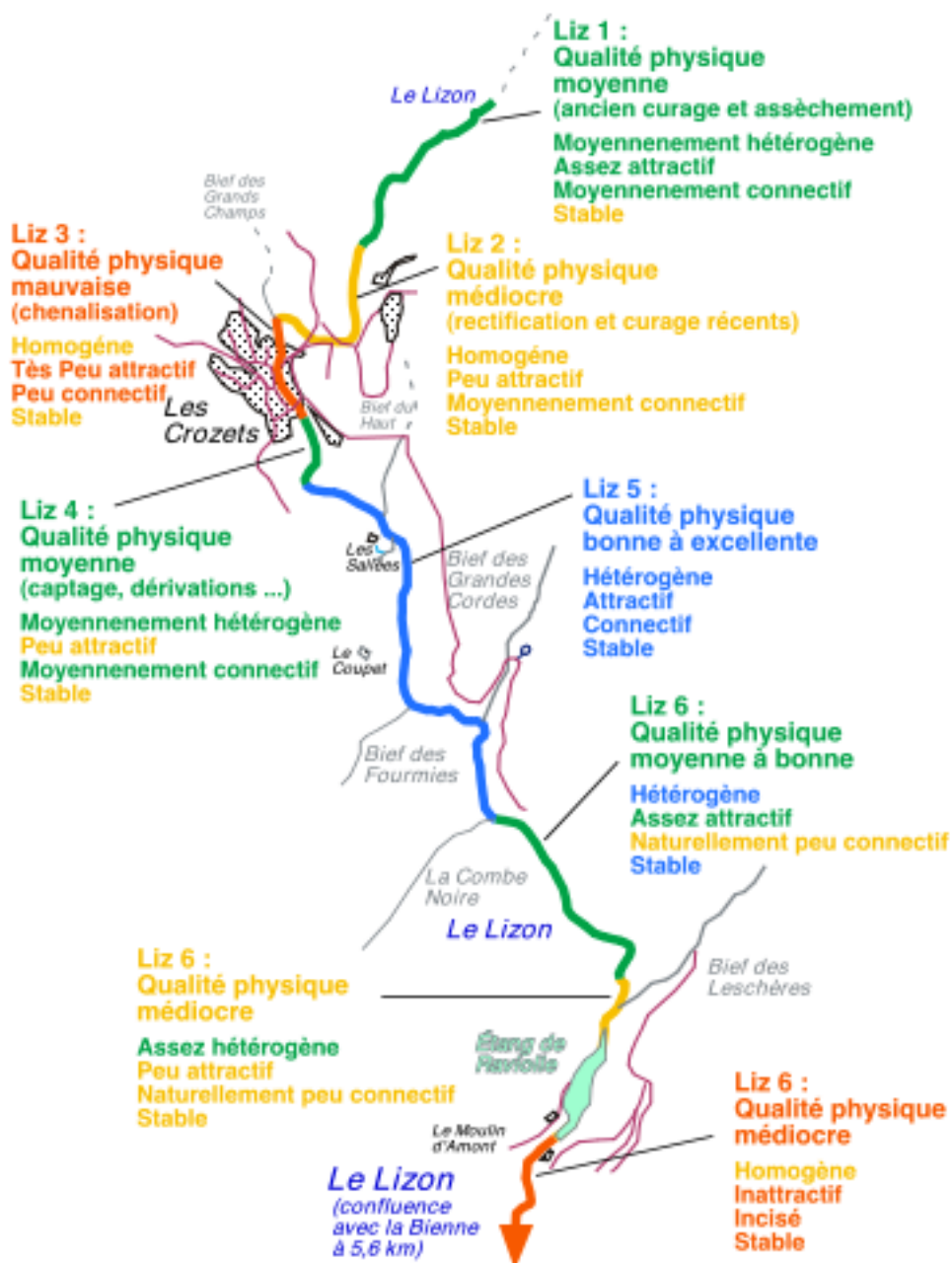


Figure 20 : qualité physique globale du Lizon à l'amont de Raviolle.

La ripisylve en relation étroite avec le chenal et plusieurs affluents de bonne qualité assure au Lizon médian une bonne connectivité latérale malgré le relief de gorges qui limite naturellement les possibilités d'échange avec la frange humide. Un petit secteur de gorges strict est toutefois nettement plus isolé de façon naturelle.

Les tronçons à l'aval des Crozets et à l'amont de l'étang de Raviolle ont pour leur part subi, il y a plusieurs décennies, une artificialisation, dans le premier cas dans un but de prélèvement d'eau pour l'irrigation et de protection de quelques parcelles en terrasses et dans le deuxième cas par des extractions probables de galets. Le lit en résulte plus homogène et moins connectif, mais conserve des mosaïques d'habitat encore biogènes.

Enfin, les portions les plus apicales du Lizon, à l'amont des Crozets ont été curées et enfoncées pour des raisons manifestement hydrauliques. Dans la traversée du village, cette chenalisation est renforcée par des protections de berge très localisées. Les capacités physiques du ruisseau sont sur ces secteurs nettement réduits.

### **Occupation des BV du Lizon et du Bief de Préverant.**

Les bassins versants du Lizon à l'amont de Raviolle et du Bief de Préverant sont essentiellement forestiers puisqu'ils sont recouverts à respectivement, 82 % et 75 % de bois essentiellement résineux (fig. 21 et 22). Leur deuxième composante non accessoire est la prairie extensive servant à la production de fromage de Comté qui représente respectivement 15 et 22 % des surfaces des deux *impluviums* topographiques.

Cependant, dans le cas du Lizon, une scierie est installée sur la partie amont du bassin versant. En outre, une ancienne décharge a également été localisée au cours de nos reconnaissances de terrain. Parallèlement, la gestion forestière a induit un enrésinement presque total. Plusieurs places de stockage ont pu être repérées et il semble que des traitements des billes en attente soient fréquemment effectués au printemps. Enfin, d'après quelques riverains, il serait possible que des parcelles privées dévolues à la culture d'épicéa puissent avoir été traitées par des produits sanitaires.

Dans le cas du Bief de Préverant, aucun point noir bien déterminé n'a pu être localisé mais les traitements associés à la sylviculture d'épicéa en particulier durant le stockage des bois coupés doivent également être invoqués. En outre, une partie du bassin versant est située sur la commune d'Oyonnax dont l'activité plasturgique est bien connue. Il serait donc important de vérifier l'absence de décharge industrielle ou d'ancien point de dépôt de déchet sur *l'impluvium* de ce ruisseau.

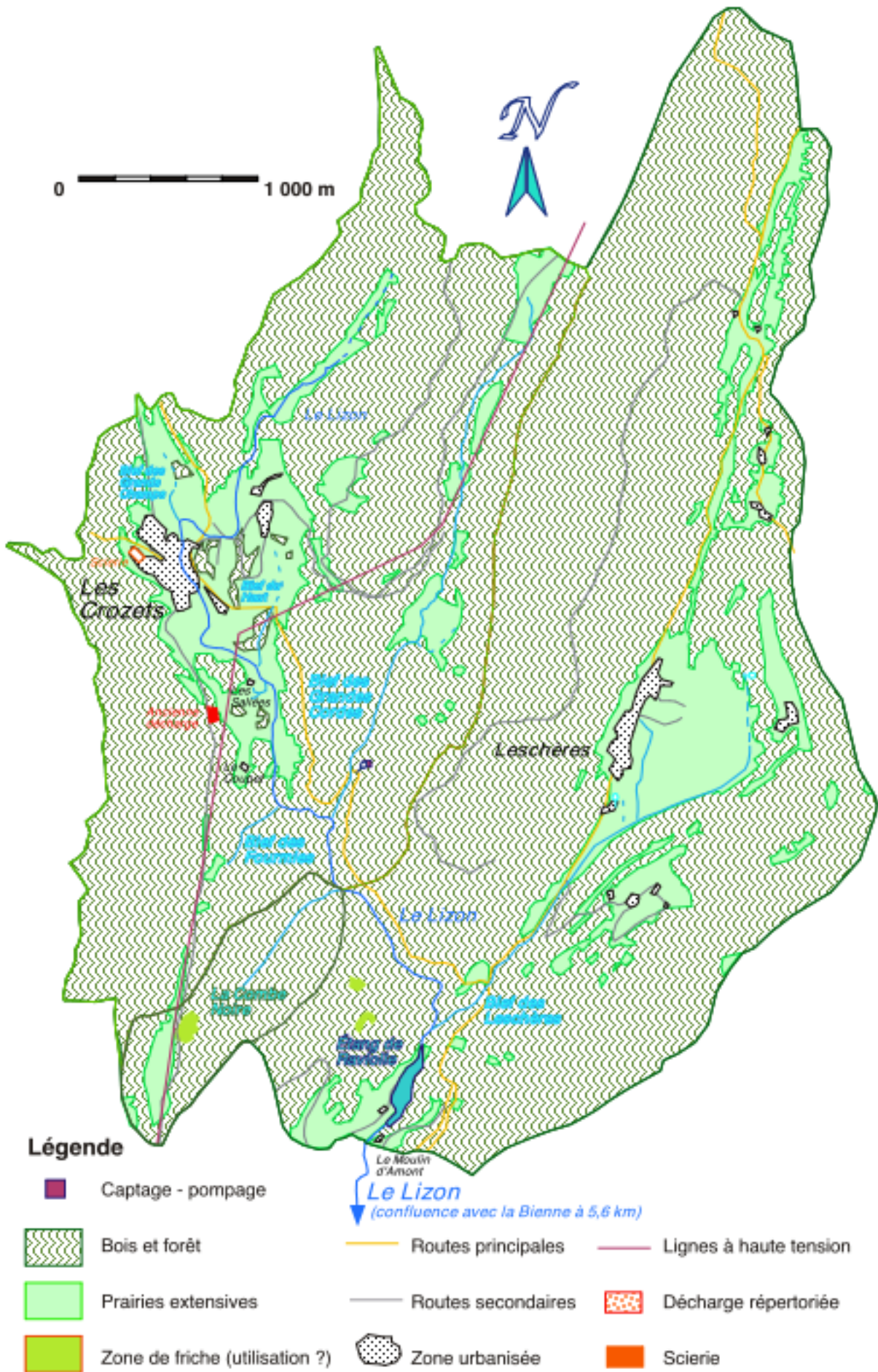


Figure 21 : occupation des sols sur le bassin versant topographique du Lizon.

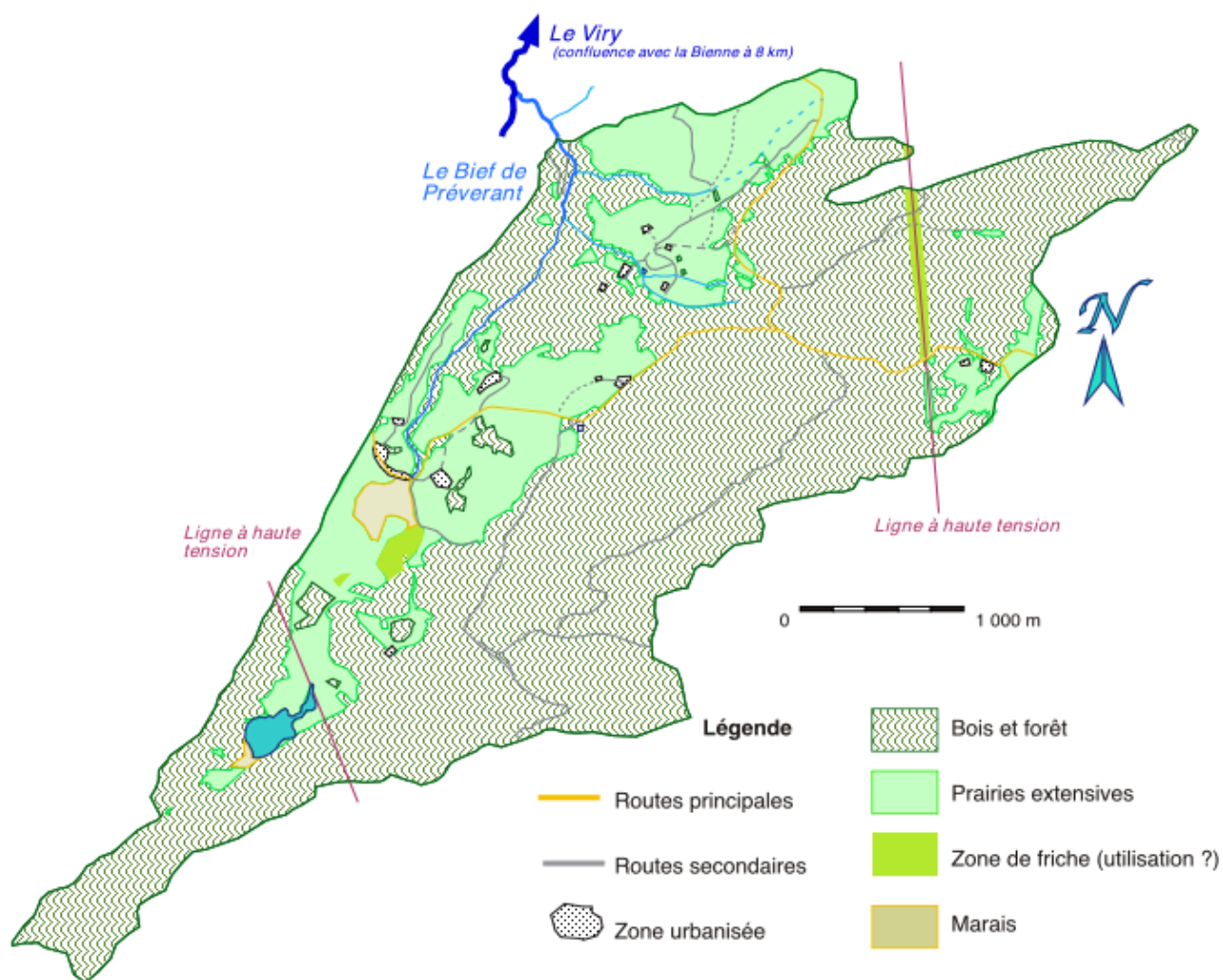


Figure 22 : occupation des sols sur le bassin versant topographique du Bief de Préverant.

Dans les deux cas, la proportion de forêt n'a guère évolué depuis 20 ans d'après les statistiques RGA. En revanche, l'analyse de photos aériennes prise à différentes époques montre que le taux d'enrésinement de la forêt a notablement augmenté depuis les années 1960 (données quantitatives ONF non disponibles).

Parallèlement, de nombreux captages AEP sont effectués en particulier sur le bassin versant du Lizon. Par conséquent, les quantités d'eau prélevées doivent comme partout être en forte augmentation puisque la démographie est restée stable depuis les années 1980 mais que les besoins en eau ont augmenté. Toutefois, les ressources en eau restent suffisantes et les débits d'étiage restent soutenus.

Enfin, les deux secteurs étudiés s'étendent au cœur du Haut-Jura, caractérisé par des circulations karstiques. Or, les limites des bassins versants hydrogéologiques des 2 cours d'eau ne sont pas connues. Dans ce contexte, la recherche de toxiques dans des substrats à mémoires rémanentes comme les sédiments est fondamentale pour faire avancer l'expertise.

### Recherche de contaminations toxiques sédimentaires.

Les analyses multirésidus effectués sur trois échantillons de sédiments prélevés ponctuellement sur le Lizon montrent que les fond de ce cours d'eau sont nettement contaminés par des HPA (ann. 6, tab. XVI). Les 2 échantillons de la partie amont de ce ruisseau contiennent également des teneurs en métaux lourds « susceptibles de faire disparaître des espèces sensibles » (Étude Inter Agence n°65-1997).

Rivière station	Lizon			Bief de Préverant Pont CD	Seuil de pollution	
	Sallées	Fourmies	Av étang		légère	nette
<i>Métaux lourds (mg/kg/MS)</i>						
<b>Arsenic</b>	<b>14,9</b>	11,9	8,6	8,6	0,7	7
Cadmium	1,6	1,5	2,4	1,0	0,7	4,2
Chrome	26,1	29,8	24,4	21,9	5,2	52
<b>Cuivre</b>	<b>21,1</b>	14,3	12,0	5,8	1,9	19
Mercure		<i>Non recherché</i>			0,13	0,7
<b>Nickel</b>	<b>16,5</b>	<b>16,6</b>	12,4	13,3	1,6	16
Plomb	22,3	19,1	12,4	12,0	4,1	41
Antimoine	5,9	0,0	0,0	4,5	?	?
<b>Étain</b>	9,6	<b>41,7</b>	2,9	0,0	?	?
Zinc	88,3	76,2	57,4	55,6	124	271
<i>HPA (mg/kg/MS)</i>						
Anthracène	0,05	0,06	<	<	0,005	0,050
Benzo (a) anthracène	0,35	0,42	0,12	<	0,050	0,500
<b>Benzo (a) pyrène</b>	<b>0,51</b>	<b>0,53</b>	<b>0,17</b>	<	0,005	0,050
Benzo (b) fluoranthène	0,3	0,43	0,16	<	0,050	0,500
Benzo (ghi) perylène	0,19	0,24	0	<	0,050	0,500
Benzène (k) fluoranthène	0,26	0,27	0,09	<	0,050	0,500
Chrysène	0,31	<b>0,54</b>	0,13	<	0,050	0,500
Dibenzo (a,h) anthracène	0,04	0,06	0,03	<	0,005	0,050
<b>Fluoranthène</b>	<b>0,77</b>	<b>1,36</b>	<b>0,37</b>	<	0,050	0,500
Indéno (1,2,3-cd) pyrène	0,14	0,16	<	<	0,050	0,500
Phénanthrène	0,3	0,45	0,1	<	0,050	0,500
Pyrène	0,76	1,08	0,25	<	0,050	0,500
<b>Somme HPA</b>	<b>3,98</b>	<b>5,6</b>	<b>1,42</b>		0,050	0,500

Tableau XVI : micropolluants décelés dans les sédiments fins du Lizon et du Bief de Préverant prélevés à une occasion (le 23/08/2002). Le mercure n'a pas été recherché.

En outre, à l'aval des Crozets, de l'Arsenic, du Cuivre et du Nickel ont été décelés en quantité anormales dans les sédiments fins. En outre, les prélèvements effectués au sein des gorges, au niveau de la partie terminale du secteur abritant une forte densité à écrevisses révèlent une teneur importante en Étain. Les causes de ces contaminations sont probablement multiples.

Ainsi, les HPA peuvent-ils provenir de la combustion des hydrocarbures sur les routes qui ceinturent la vallée, ou/et par des dérivés du pétrole utilisés comme colorants, comme produits phytosanitaire, comme éléments de l'industrie plasturgique ... D'anciennes pratiques régulières de brûlis sur le site de l'ancienne décharge pourrait avoir été jadis une source d'accumulation de ces substances alors que des pollutions accidentelles par du fioul ont été récemment signalées.

Les métaux lourds peuvent, pour leur part, provenir, soit de la décharge enterrée dans la partie supérieure de la vallée, soit d'épandage, sur les prairies, de boues provenant de grosses stations d'épuration de la région, fréquemment contaminées par les industries de traitement de surface (comme la STEP de Morez sur la Haute vallée de la Bienne). Cependant, les fortes teneurs en étain doivent être plus probablement liées à des rejets ou des suintements de substances utilisés comme antifongique (peinture, vernis, bains de trempage ...).

D'autres produits utilisés pour le traitement du bois pourraient avoir contaminé les sédiments mais ne pas avoir été décelés. En effet, la méthode des multirésidus appliquée par le laboratoire de Valence affiche pour ces substances des seuils de détection de 20 à 100 µg/l alors que leur toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques est notoire à partir de teneurs dépassant à peine 0,1 µg/l.

À ce sujet, une reconnaissance à pied du sous-bassin de la Combe Noire, qui conflue avec le Lizon juste à l'aval du secteur de colonisation permanente des Pieds Blancs, a permis d'inventorier plusieurs places de stockage des billes de résineux débardées lors de coupes récentes. Parallèlement, durant l'été 2003, aucun gammare n'a pu être observé dans ce petit ruisseau pérenne alors que le Bief des Fourmis tout proche en abritait sur toute sa longueur. Or, ces crustacés, comme les écrevisses sont particulièrement sensibles aux molécules utilisées contre la piqûre des résineux (Cyperméthrine, Permethrine, Deltaméthrine ...).

## Bilan et recommandations pour la restauration du Lizon et du Préverant

### *Causes de la régression des Pieds Blancs du Lizon et stratégie de restauration.*

Sur le Lizon, les causes de régression de la population de Pied Blancs ne peuvent être attribuées directement à des altérations de la qualité physique. En revanche, les forts taux de contaminations des sédiments amont par des HPA et des métaux lourds indiquent l'existence de pollutions toxiques en provenance de l'amont du bassin versant.

Ces substances actives sont susceptibles d'être transférées rapidement par la forte pente. Cette configuration expliquerait la régression simultanée des écrevisses :

- à l'aval immédiat des Crozets, à proximité des sources de contamination ;
- à l'aval des gorges, dans des zones de ralentissement et d'accumulation.

Ces deux secteurs vulnérables à l'action des toxiques sont aussi ceux dont les capacités habitationnelles ont été altérées. Une synergie des 2 catégories de perturbations pourrait donc aussi être suspectée. Cependant, la protection et la restauration des potentiels astacicoles du Lizon, requiert de commencer par juguler toutes les sources de pollutions possibles en appliquant la stratégie suivante.

#### **1° Etudes complémentaires sur les contaminations toxiques.**

- 1a Evaluer les risques liés aux suintements de l'ancienne décharge ainsi qu'aux procédés de traitement actuels et anciens utilisés par la scierie des Crozets (GOGUILLY et ELOI 2001).
- 1b Vérifier l'existence et le cas échéant déterminer la nature et la provenance d'épandage de boues de STEP sur les prairies et les friches.
- 1c Vérifier par enquêtes et par des analyses de sols et de sédiments supplémentaires l'absence d'emploi de produits de traitement des résineux (culture, stockage de billes, scierie ou autres ...).
- 1c Supprimer tous les rejets ou suintement de produits toxiques par confinement ou exportation des sols pollués ; puis informer et inciter à la modification des rejets toxiques domestiques et agricoles.

#### **2° Épuration des rejets et cycle de l'eau dans les Crozets.**

- 2a Réalisation d'un diagnostic de réseaux dans la commune et d'un bilan des captages sur le BV.
- 2b Mise en place de dispositifs d'épuration individuelle adaptés aux zones karstiques.
- 2c Information des habitants par plaquette et conférence pour éviter les pratiques à risques : suppression de l'utilisation domestique ou agricole de produits toxiques, précaution lors des remplissages de cuves à fioul, proscription de tout lavage à proximité du ruisseau ...

Parallèlement, une restauration du Lizon à l'amont du Crozet par rehaussement et reméandrement du lit doit être envisagée. Cette action permettrait d'envisager de repeupler la partie amont par essaimage afin de constituer un stock astacicole de réserve en cas de pollution accidentelle ultérieure.

***Causes de la disparition des Pieds Blancs du Préverant et stratégie de restauration.***

Les populations d'écrevisses Pieds Blancs du Bief de Préverant et de ses affluents ont disparu brutalement dans la première moitié des années 1990 (fig. 2 et tab III). Cette observation, combinée avec la bonne qualité physique mesurée sur le ruisseau ainsi qu'avec la faiblesse des rejets organiques liés à une pression anthropique très limitée, incline à suspecter que la disparition des écrevisses pourrait **être ou avoir été liée à une ou à des contaminations toxiques.**

Or, aucun micro-polluant n'a pu être décelé les sédiments fins. Parallèlement aucun rejet et ni aucune source de contamination potentielle n'ont pu être identifiés sur le bassin versant. Ces observations militent en faveur d'une pollution accidentelle ayant fait disparaître brutalement les écrevisses mais dont les effets auraient cessé.

Cependant, la méconnaissance du bassin versant hydrogéologique, le seuil de sensibilité trop élevé des analyses multirésidus et l'insuffisance du nombre de mesures conduit à considérer cette hypothèse avec prudence. Pour la vérifier de façon simple, une analyse générique des communautés benthiques du Bief de Préverant doit être menée sur au moins trois stations jalonnant son cours.

- Si les prélèvements comportent à la fois des taxons sensibles électifs des cours d'eau apicaux et des *Gammaridae* ainsi que des coléoptères *Elmidae* en abondance normale ou subnormale, l'hypothèse de la contamination accidentelle sans suite actuelle serait corroborée. Dans ce cas, on pourrait alors envisager une réimplantation des Pieds Blancs par essaimage de la population du Lizon.
- Si au contraire les taxons sensibles normalement associés aux zones à truite supérieures à moyenne font défaut ou encore que les taxons peu oxyphile mais vulnérables aux toxiques apparaissent déficitaires ou absents, on en déduira que des contaminations toxiques sont toujours actives.

Dans ce cas, il conviendra d'une part de rechercher sur le bassin versant d'éventuels dépôts enterrés de déchets issus de l'industrie plasturgique intense développée autour d'Oyonnax, à quelques kilomètres à vol d'oiseau de ce site. D'autre part, un bilan des produits de traitements du bois utilisés à proximité du bief, que ce soit sur les plantations de résineux ou sur les places de stockages des billes débardées.

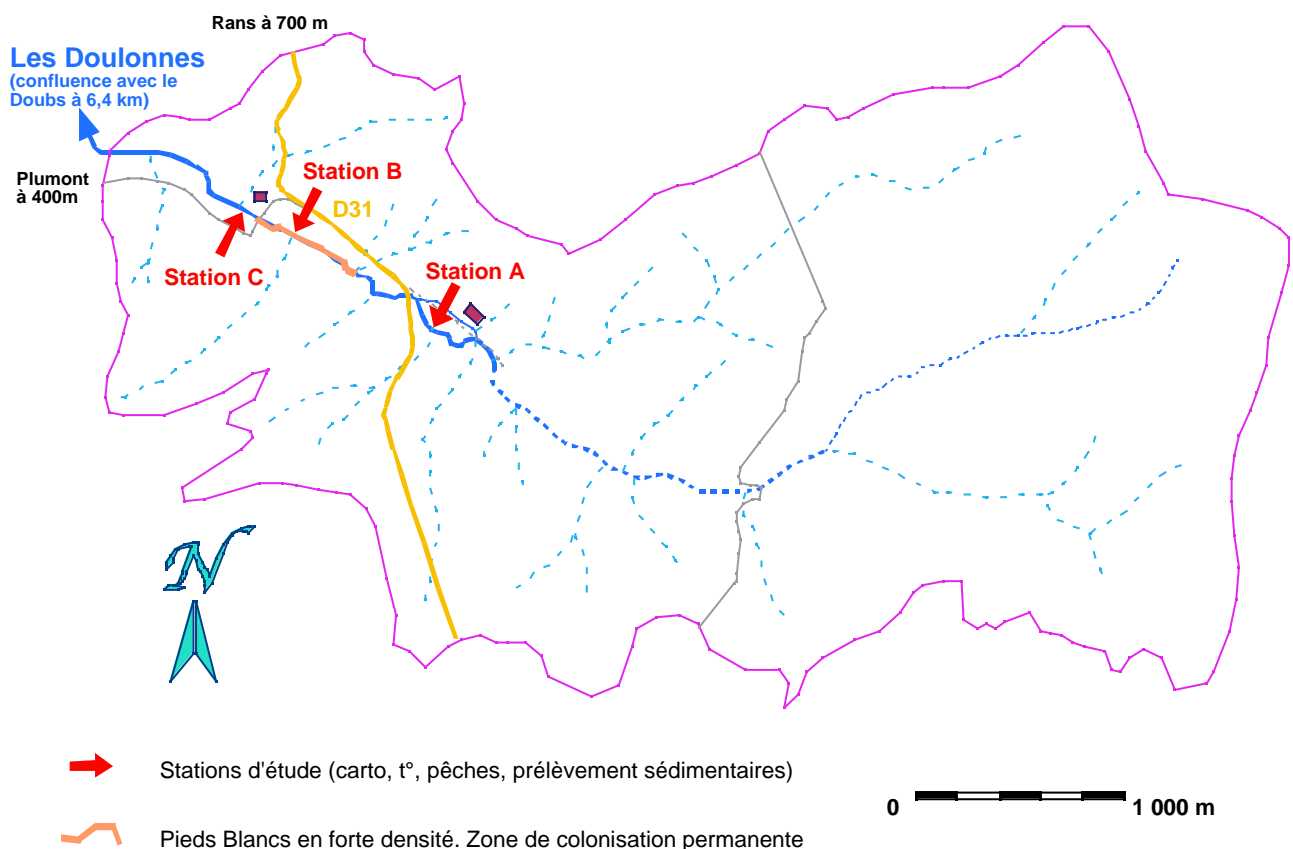
Enfin, il conviendra de renouveler et de multiplier les analyses de sédiments fins. Les substances recherchées devront être ciblées en direction des 2 activités anthropiques citées ci-dessus de façon à diminuer le seuil de sensibilité.

### **B4. Atelier « Doulonnes / Clauge »**

Le système expert décrit au § B1 a été appliqué à 3 stations réparties sur 3<sup>e</sup> atelier constituée par les Doulonnes et la Clauge (fig. 3). Ces 2 cours d'eau arrosent la forêt de Chaux, à des altitudes comprises entre 280 et 220 mètres. L'étude a commencé par la délimitation de l'extension de la population de Pieds Blancs sur les Doulonnes, de façon à placer les sites des mesures rapprochées de façon pertinente.

#### **Localisation de la limite d'extension des Pieds Blancs des Doulonnes.**

De nombreuses prospections nocturnes à la lampe, de jours en retournant les galets et plusieurs poses de nasses ont permis de confirmer que la population d'écrevisses Pied Blancs de ce ruisseau forestier était cantonnée sur moins de 400 mètres, à l'amont de la route de Plumont à Rans (fig. 23). En revanche aucune des nombreuses vérifications effectuées sur la Clauge n'a permis d'observer une seule Pied Blancs. Il faut dire que le linéaire citer pour être jadis astacicole, à l'amont du village de La Vieille Loye, était à sec sur presque tout son cours en 2002 et sur la totalité en 2003 alors que la partie aval subit depuis de longues années une pollution organique manifeste.



**Figure 23 : extension de la population d'écrevisse pied Blancs des Doulonnes.**

## Densité et structure de la population de Pieds Blancs des Doulonnes.

Sur ce secteur peu étendu, la densité de Pieds Blancs mesurée par pêches électriques en octobre 2002 est moyenne par rapport à celle qui est mesurée sur les meilleures cours d'eau à écrevisse de la région (tab. XVII). Ce rang d'abondance a été confirmé par la capture de 1 à 3 écrevisse par nasse et par nuit en moyenne sur 6 nasses disposées à 2 reprises en octobre 2002 et à 2 autres reprises en octobre 2003. Durant cette dernière opération, un marquage / recapture a permis de calculer une densité de 0,31 écrevisse par mètres carrés proche de celle qui a été estimée lors de la pêche électrique.

Station	Esp	Effectif par passage			Densité brute		Densité estimée		Précis ±%	Cote sur 5	
		1er	2e	3e	nb/10a	g/ha	nb/10a	g/ha		num	pond
<b>A</b> bras gauche "9 fontaines"	<b>TRF</b>	43	7		388	179270	396	182 822	5	<b>4</b>	<b>4</b>
	<b>LPP</b>	2	1		23	1475	23	1 475	0	<b>3</b>	<b>5</b>
	<b>CHA</b>	70	33		800	35714	994	42 964	21	<b>5</b>	<b>5</b>
	<b>total</b>							227 261			
<b>B</b> Amont Rte de Plumont	<b>APP</b>	22	1	4	247	32784	247	32 784	0	<b>2</b>	<b>2</b>
	<b>TRF</b>	38	6	2	421	91300	421	91 300	0	<b>5</b>	<b>3</b>
	<b>LPP</b>	93	19	29	1291	45513	1429	49 771	9	<b>5</b>	<b>5</b>
	<b>CHA</b>	32	6	4	385	30128	385	30128	0	<b>4</b>	<b>4</b>
	<b>total</b>							203 983			

Tableau XVII : résultats des pêches électriques réalisées sur des Doulonnes le 04/10/2002.

En revanche, la proportion d'adultes de plus de 8 cm est notable (fig. 24). Des individus de plus de 10 cm ont même pu être observés à plusieurs reprises. Parallèlement, cette station astacicole abrite une abondance record de lamproie de Planer (tab. XVII).

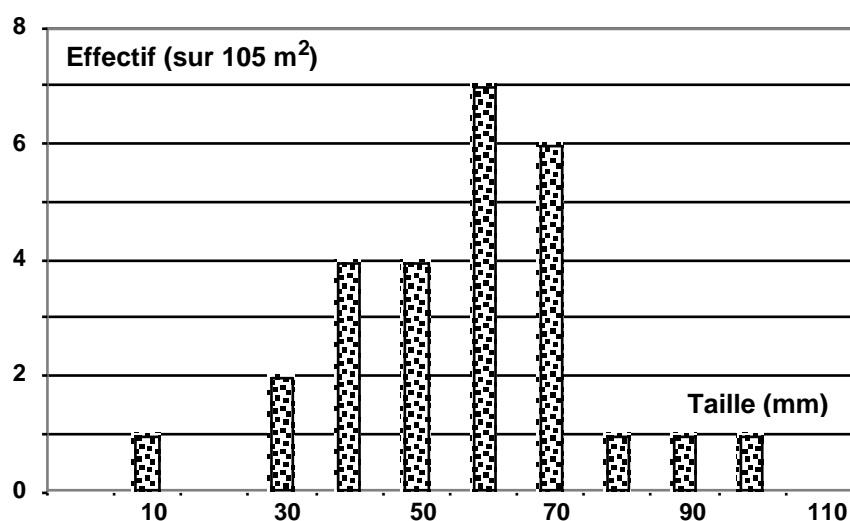


Figure 24 : structure taille fréquence de l'échantillon de Pieds Blancs capturé par pêche électrique le 04/10/2002 sur les Doulonnes.

## Débit d'étiage, métabolisme thermique et typologie

Sur les Doulonnes, nous ne disposons que de relevés hebdomadaires de thermomètres mini-maxi. Ces enregistrements montrent que les Doulonnes alimentées par une nappe de très bonne qualité constituent un cours d'eau froid (fig. 25). En 2002, les températures maximales estivales des 2 stations amont oscillaient autour de 12 degrés, pour atteindre des valeurs moyennes similaires à celles qui ont été déterminées au début des années 70 (VERNEAUX 1973) sur 2 sites jalonnant le secteur d'étude (respectivement 11,4° à 200 m l'aval de A et 14,7 ° à 1500 m à l'aval de B).

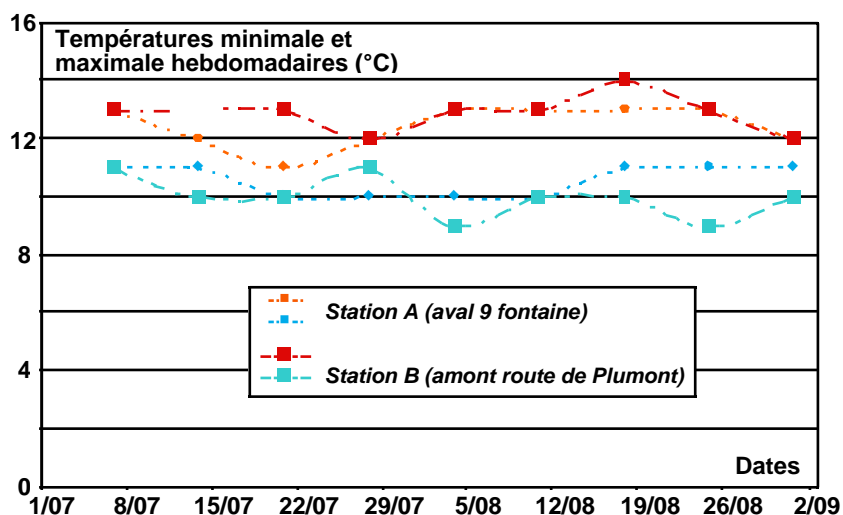


Figure 25 : évolution des températures maximales et minimales hebdomadaires sur deux stations des Doulonnes durant l'été 2002.

En ce qui concerne la Clauge, la longueur du cours toujours en eau a nettement diminué depuis les années 1970. En effet, VERNEAUX (1973) signalait un débit permanent de valeur mensuelle minimale de 50l/s à partir de l'altitude 240 m. Ce secteur est désormais à sec tous les étés y compris durant les années humides. Le linéaire pérenne transformé en cours intermittent est de plus de 7 km.

Sur les Doulonnes, la thermie, la morphologie et la minéralisation des trois stations d'étude permettent de calculer leur type théorique (VERNEAUX 1973-1976). La formule utilisée range les 3 sites étudiés entre les types B2+ et B3- (tab. XVIII). Ces valeurs correspondent bien à la gamme qui a été déterminée en 1973.

Station	$\Theta_{max}$ °C	Sm m2	p ‰	l m	do km	D mg/l	Type théorique	Biotype estimé
A (aval 9 fontaines)	13	0,31	7	3	1,7	32	2,2	B2+
B (amont route Plumont)	13,2	0,58	5	4,2	2,9	35	2,6	B2+
B (aval route Plumont)	13,3	0,77	4	4,5	3,2	37	2,8	B3-

Tableau XVIII : typologie des Doulonnes médianes

Cette approche montre que les peuplements piscicoles échantillonnés sur les deux stations amont sont globalement conformes aux potentiels optimaux. Seule la lamproie de Planer, dont le *preferendum* est plutôt la zone à ombre (B5) (VERNEAUX 1981) apparaît nettement sur-densitaire pour une rivière à truite supérieure.

Cette surabondance, dans un système apical, d'un organisme à la fois oxyphile et présentant des affinités pour la matière organique est difficile à interpréter. Comme les effectifs capturés étaient surtout constitués de larves de 2 et de 3 ans, cette «prolifération » pourrait résulter de la combinaison d'exigences et de comportements insuffisamment connu pour cet éco-stade et d'un habitat de ruisseau forestier particulièrement favorable à l'espèce.

En ce qui concerne les écrevisses, la population est une fois de plus cantonnée dans un type plus apical que le centre de son *preferendum* estimé à B4/B5. Néanmoins, le type calculé pour les deux stations sans Pieds Blancs et très proche de celui du site qui en abrite. Il paraît donc judicieux de vérifier si des différences d'habitat pourraient expliquer la limitation de l'extension des Pieds Blancs.

### Analyse comparative des mosaïques d'habitat de 3 stations des Doulonnes

La morphologie des 3 stations étudiées sur les Doulonnes leur confère une aptitude biogène élevée et une bonne capacité astacicole (tab. XIX, fig. 26-27, ann. 7). En particulier, le site amont apparaît très fortement favorable au développement des Pieds Blancs. En effet, à cet endroit, le lit des Doulonnes, émaillées de petites mouilles de 30 à 40 cm de profondeur, comporte à la fois de nombreux branchages immergés, des chevelus racinaires de bordure très denses et une proportion notable de galets.

Substrats supports	Code	Station A	Station B	Station C
Affluent, source ...	AFF			0,1%
Sous-berges	BER	0,9%	0,5%	0,8%
Banchages et racines immergées	BRA	9,9%	9,9%	3,9%
Chevelus racinaires, Bryophytes	CHV	10,8%	1,8%	0,3%
Galets offrant des anfractuosités	GAL	17,1%		9,5%
Mélange de gravier et de galet	GGR	49,0%	2,1%	71,9%
Litière organique	LIT	2,4%	13,0%	1,3%
Graviers	GRA	7,6%	59,2%	1,7%
Sables	SAB	2,0%	5,3%	
Limons, vases	FIN	0,3%	8,1%	8,7%
Blocs pavés ou sans anfractuosités	BLS			1,7%
<b>Classe de profondeurs</b>	< 5 cm	27,7%	18,7%	22,8%
	6 à 20 cm	47,4%	57,9%	38,4%
	21 à 70 cm	24,9%	23,4%	38,8%
	71 à 150 cm			
	>150 cm			
<b>Classes de vitesses</b>	< 10 cm/s	58,0%	61,8%	70,1%
	10-40 cm/s	39,9%	36,7%	24,5%
	40-80 cm/d	2,1%	1,5%	5,5%
	81-150 cm/s			
	>150 cm/s			
<b>Variétés</b>	substrats	8	8	9
	profondeurs	3	3	3
	vitesses	3	3	3
	pôles	39	37	42
<b>Diversité physique</b>		1,23	1,21	1,12
<b>Régularité</b>		0,77	0,77	0,69
<b>Attractivité globale</b>	sur 100	37,8	25,6	28,9
<b>Attractivité astacicole</b>	sur 100	67,2	38	57,9
Indice d'Attractivité Morphodynamique	<b>IAM*</b>	2718/4800	1840/5200	2339/5600
Indice Spécifique de Capacité Astacicole	<b>ISCA*</b>	4838/4800	2736/5200	4689/5600

**Tableau XIX : composition et qualité des mosaïques d'habitats des Doulonnes**

(\* : la valeur de référence des indices dépend de la largeur du cours d'eau).

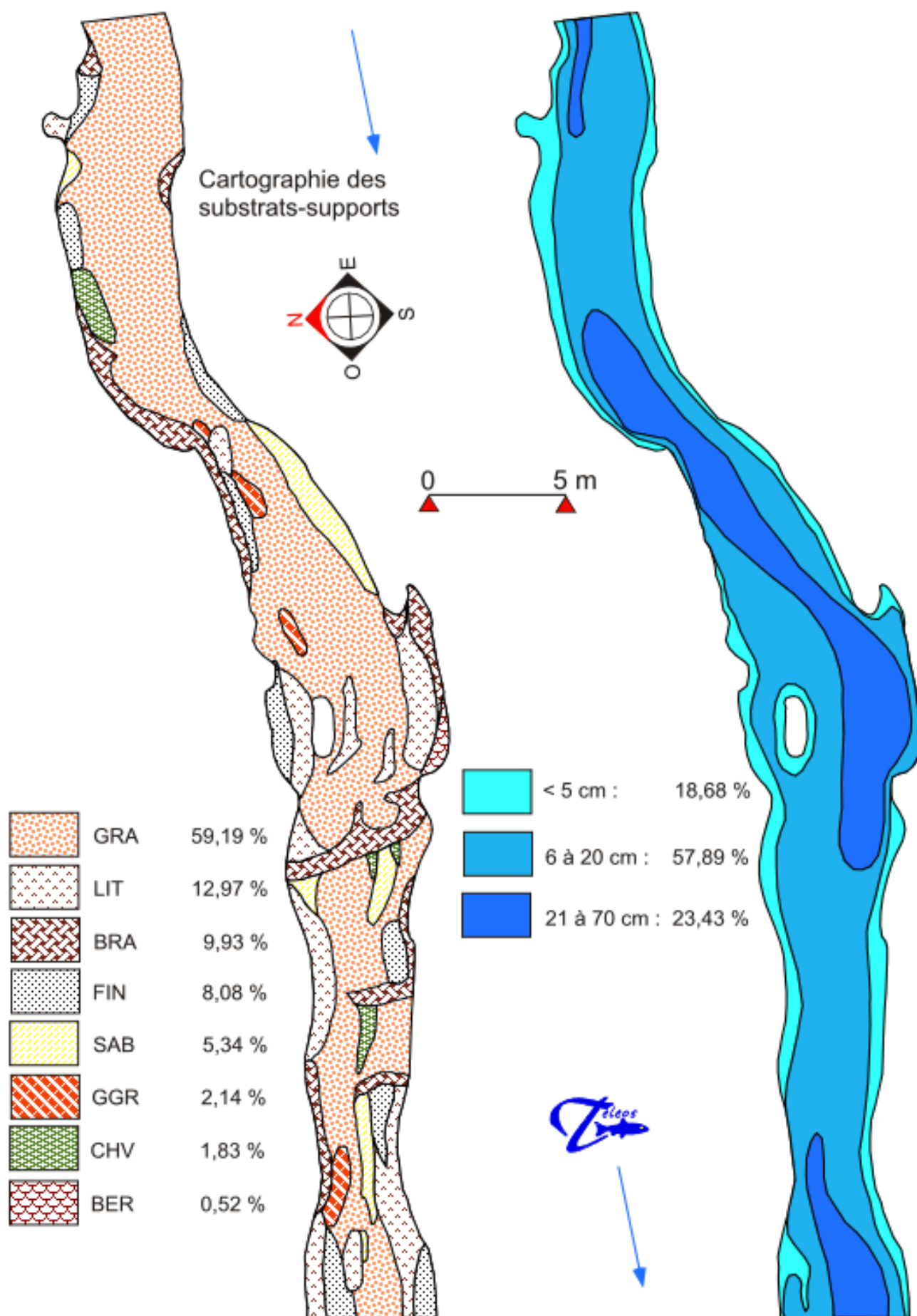
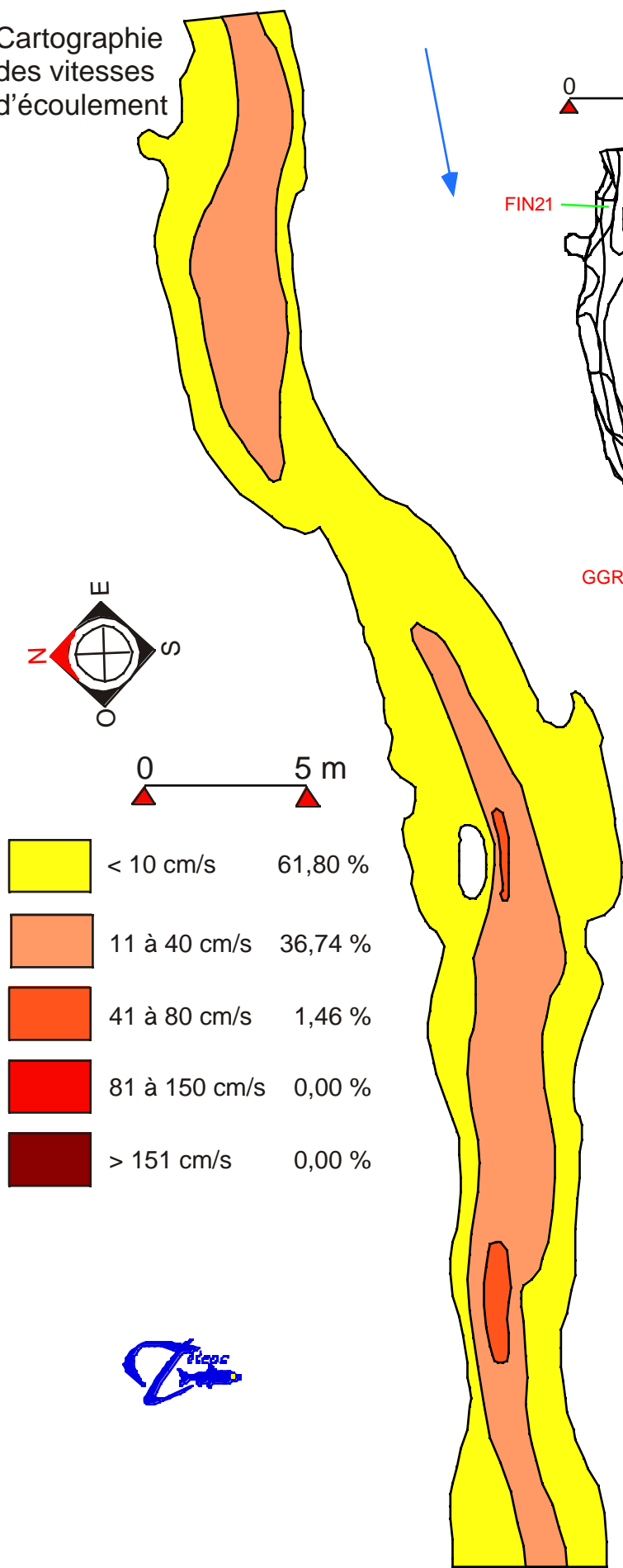


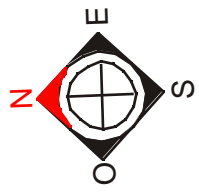
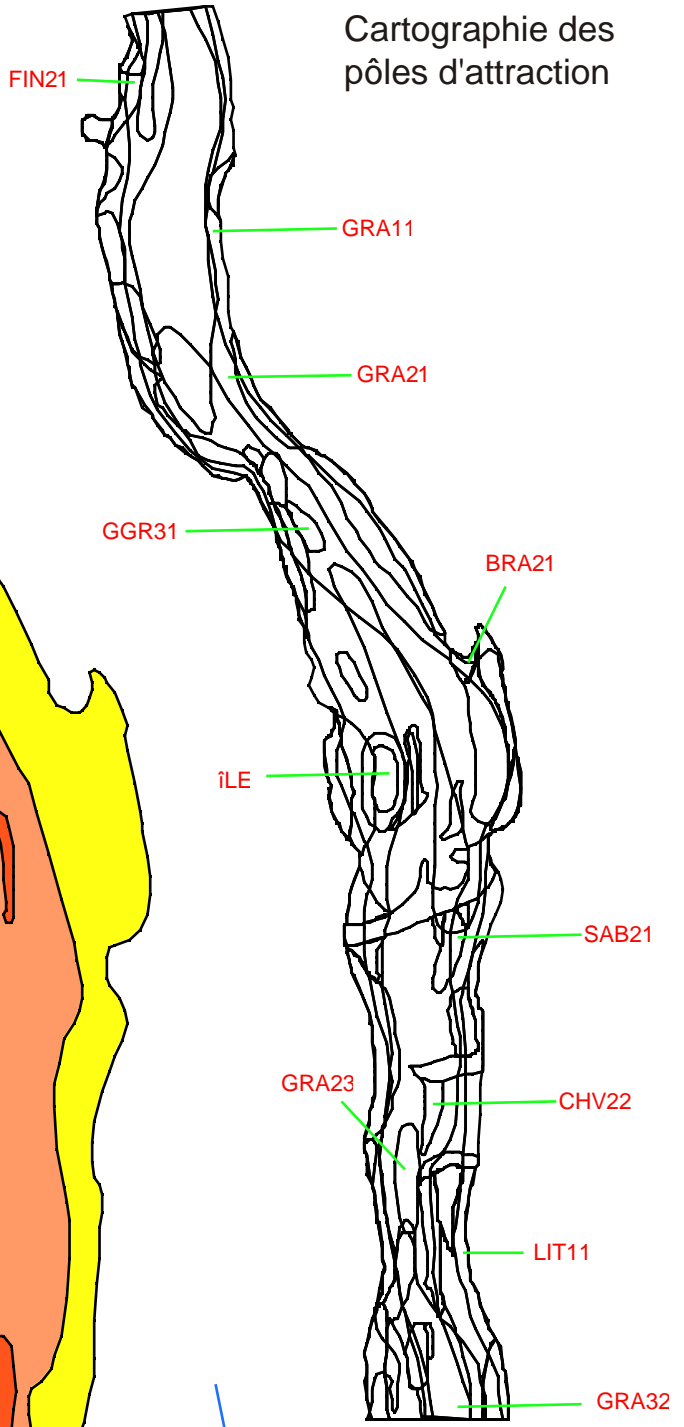
Figure 26 : mosaïque des substrats et des profondeurs des Doulonnes médianes (station B).

Cartographie des vitesses d'écoulement



0 5 m

Cartographie des pôles d'attraction



0 5 m



Surface : 195 m<sup>2</sup>  
 37 pôles  
 Indice diversité : 1,21  
 Attractivité S : 25,55  
 IAM : 1 840

Figure 27 : mosaïque des vitesses et des pôles d'attraction des Doulonnes médianes (station B).

La station C comporte moins de branchages immergés, mais elle contient en revanche plus de galets. Parallèlement la mosaïque des écoulements apparaît plus variée et comprend d'avantage de mouilles. Le site aval est donc lui aussi très propice au développement des écrevisses Pieds Blancs.

La station B présente la configuration la moins attractive, même si les fonds restent très favorables à la Pied Blanc. Or ce site est au cœur de la zone peuplée d'écrevisses. On en déduit que le confinement de la population astacicole n'est pas dû directement à une altération ni à une limitation naturelle de la qualité des mosaïques d'habitat.

Cependant, la qualité physique des Doulonnes a tout de même été affectée à l'échelle globale depuis une trentaine d'année (fig. 28). D'une part, les sources amont s'assèchent progressivement ce qui a transformé le cours apical jadis pérenne (FOURNIER 1924, VERNEAU 1968-1973) en chenal temporaire. D'autre part, des signes d'incision du lit sont observés à l'aval de D31. Cet enfoncement grève l'attractivité du ruisseau en perchonnant les sous-berges et en déconnectant la ripisylve.

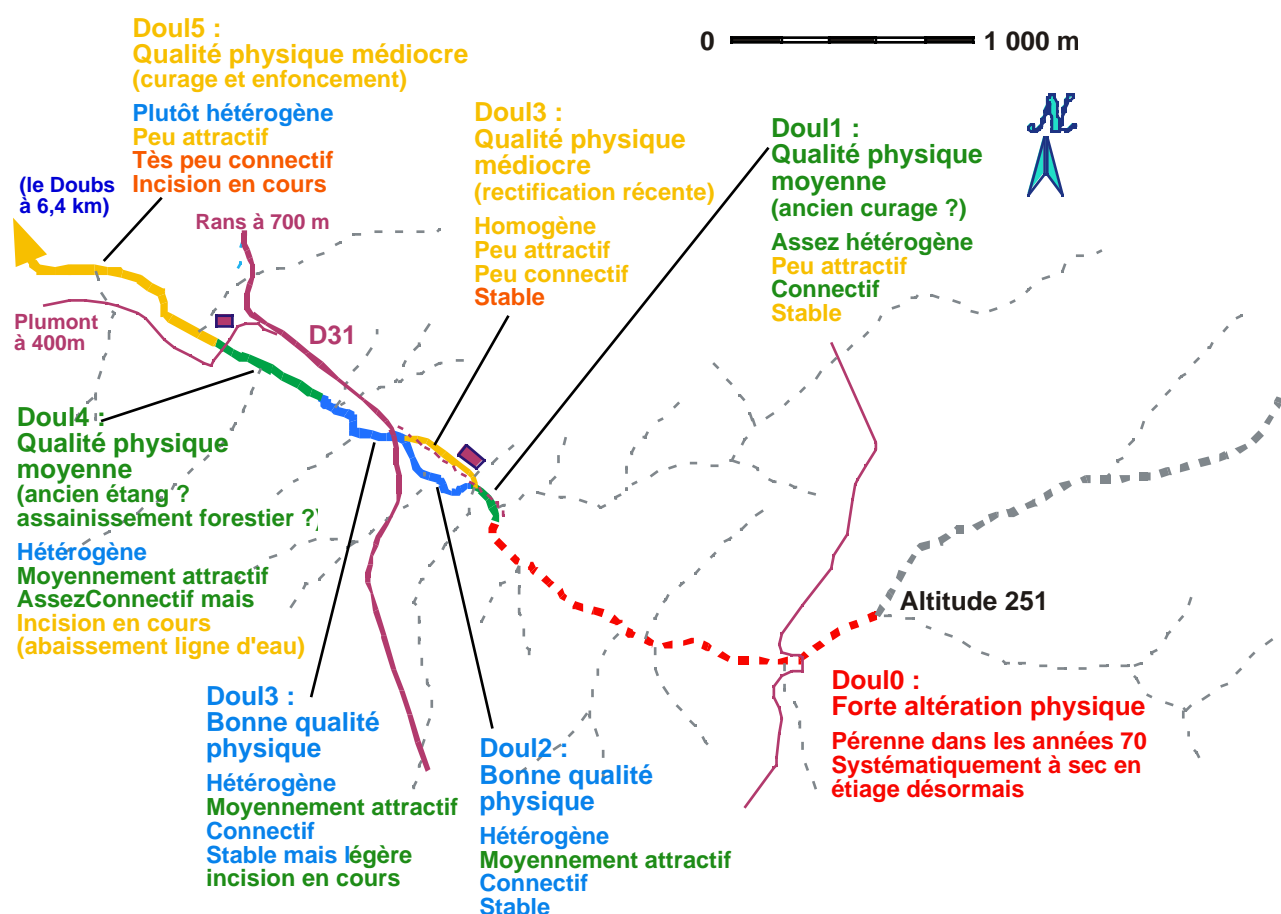


Figure 28 : qualité physique globale des Doulonnes amont

Ce processus a été amorcé par d'anciens travaux de curage et rectification réalisés pour la première fois sur les Basses-Doulonnes en 1856 puis sur la partie forestière en 1868 (Archives départementale 39, série S). Dans un 2<sup>e</sup> temps, l'abaissement de la ligne d'eau d'étiage a été aggravé le drainage de nombreuses parcelles forestières. Cet assainissement hydraulique augmente l'intensité des crues tout en réduisant les réserves hydriques des sols en étiage. La multiplication et l'augmentation des pompages AEP renforcent encore l'abaissement des nappes en périodes chaudes.

Ces altérations affectent les capacités biogènes sur les parties les plus apicales désormais à sec en été. Sur la portion la plus aval, la chenalisation des Doulonnes jusqu'à la confluence s'est traduit par une incision encore plus nette. L'implantation de 2 étangs sur le ruisseau lui-même achève d'en grever les potentiels biologiques.

Toutefois, ces perturbations n'expliquent pas l'absence d'écrevisse sur le secteur à l'amont de la D31 et en particulier sur le site A. En effet, les Doulonnes y bénéficient de fortes arrivées phréatiques tandis que l'habitat y est particulièrement favorable à l'espèce Pied Blancs. En outre, aucun obstacle n'est susceptible d'empêcher la colonisation des pieds blancs de l'aval vers l'amont. L'occupation des sols du BV a donc été analysée pour inventorier les usages susceptibles d'affecter la qualité de l'eau.

### **Occupation des BV du Lizon et du Bief de Préverant.**

Les bassins versants de la partie apicale de ces 2 cours d'eau sont totalement forestiers (fig. 29-30). Les pollutions oxydables par rejets de matières organiques ou par excès de nutriments peuvent donc être écartées.

En revanche, dans le cas des Doulonnes on observe plusieurs places de stockages de bois régulièrement utilisées à proximité du ruisseau. Or, dans la région, des insecticides comme la Deltaméthrine sont couramment pulvérisés sur les billes de bois stockées au printemps, y compris pour les feuillus qui constituent la quasi-totalité de la production sylvicole de la forêt de Chaux.

Ce risque de pollution toxique existe aussi pour la Clauge, mais le tarissement des débits estivaux des sources forestières constitue une cause encore plus flagrante pour la disparition des écrevisses de cette rivière. En fait, l'assèchement de l'amont vers l'aval des linéaires apicaux affecte les deux cours d'eau. Cette tendance, plus marquée pour la Clauge est le résultat d'une gestion sylvicole ayant eu pour but de favoriser des essences et des écotypes d'arbres peu adaptés aux zones humides (REZA 2003).

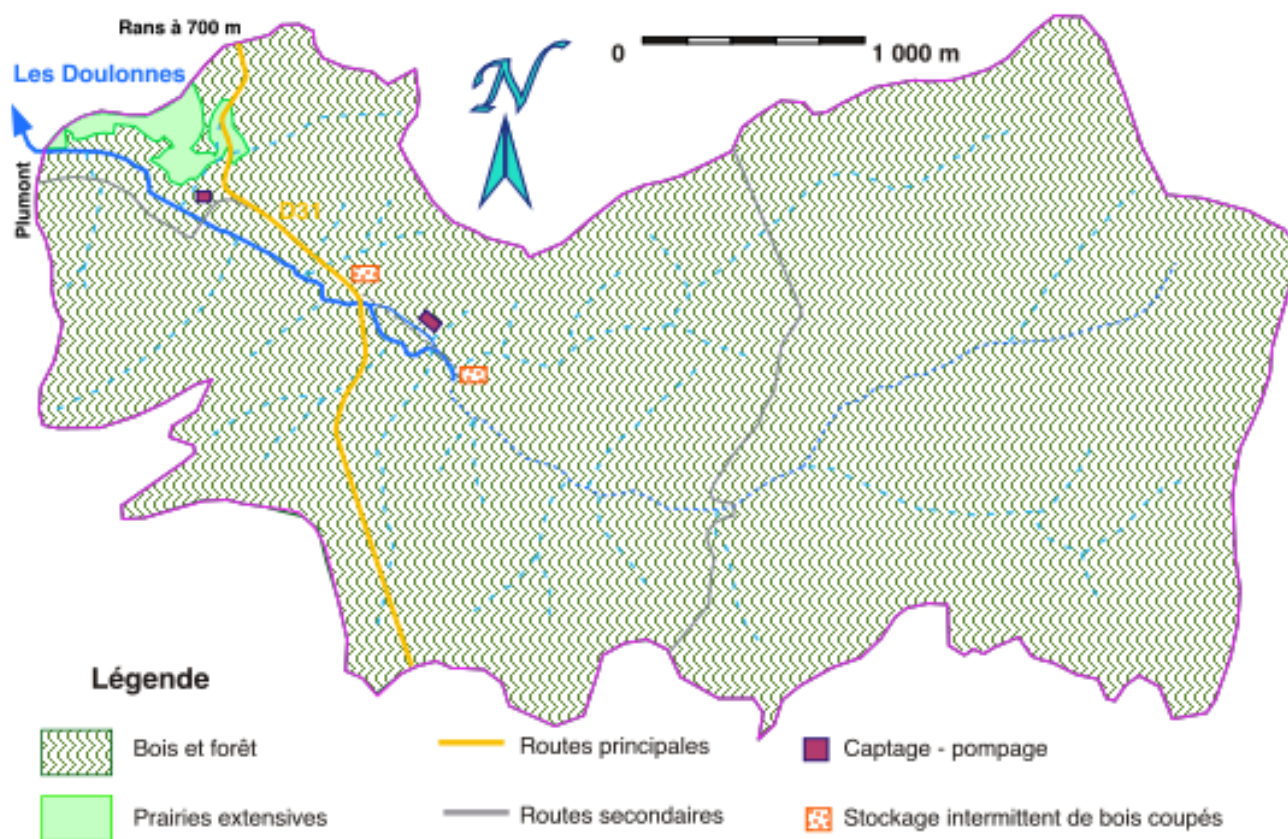


Figure 29 : occupation des sols sur le bassin versant topographique des Doulonnes amont.

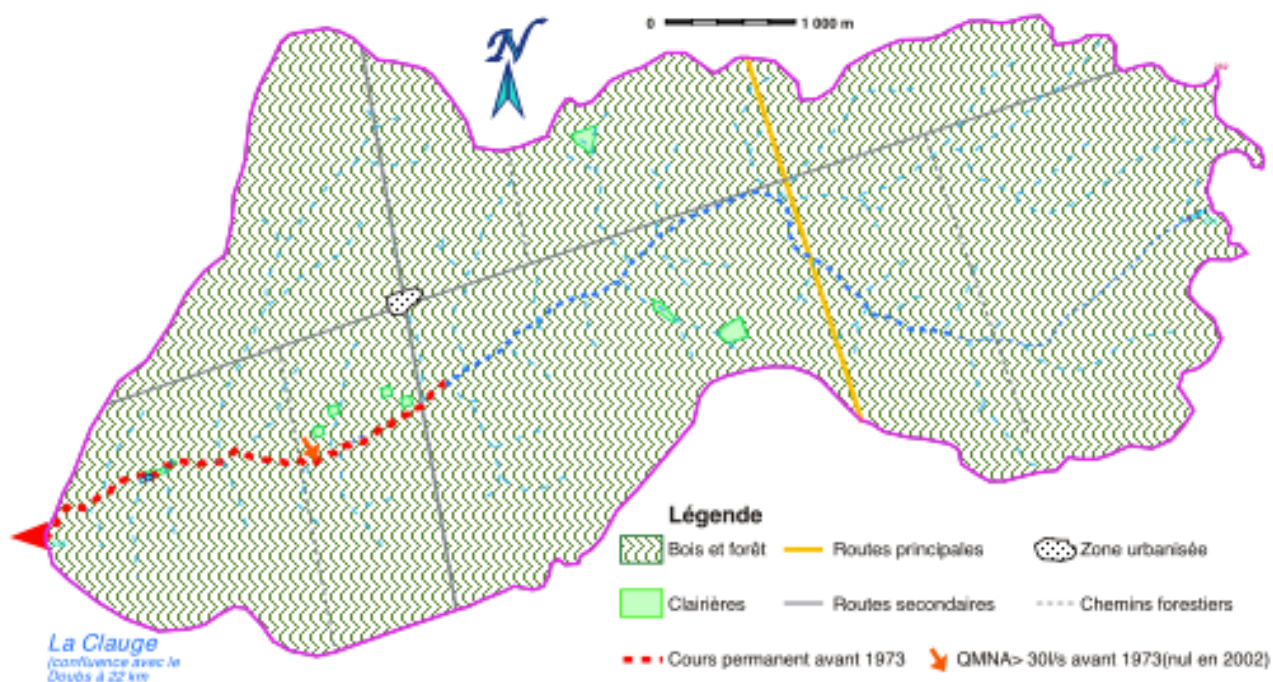


Figure 30 : occupation des sols sur le bassin versant topographique de la Haute Clauge.

Dans ce dessein, l'assèchement des parcelles forestières a été provoqué en réalisant un drainage partiel dans le cas des versants des Doulonnes mais systématique dans le cas de la Clauge. Parallèlement, plusieurs affluents temporaires ont été curés à plusieurs reprises et assurent désormais une évacuation rapide des hautes eaux.

Dans le cas des Doulonnes, les nappes sont également ponctionnées par des pompages AEP dont les débits augmentent régulièrement. Cet usage nécessite aussi la désinfection des canalisations. Durant l'étude, la désinfection du captage de Plumont à l'eau de javel a été suivie du rejet des eaux traitées dans le ruisseau (station C).

Enfin, l'impluvium des Doulonnes apicales est également traversé par une route à forte circulation qui constitue, comme les places de stockage de bois, une source potentielle de contamination toxique. Par conséquent les sédiments fins ont été prélevés sur les 3 stations pour tenter de déceler la présence éventuelle de micropolluants.

### Recherche de toxiques dans les sédiments fins

Les analyses multirésidus effectués sur les sédiments fins des Doulonnes révèlent pour les 2 stations aval de légères contaminations en HAP et en plusieurs métaux lourds dont en particulier le Nickel (ann. 8, tab. XX). En revanche, aucun HAP n'a été décelé dans les sédiments du site A qui comportent aussi moins de métaux lourds.

Métaux lourds	Station A	Station B	Station C	Seuil de pollution	
				<i>légère</i>	<i>nette</i>
<b>Arsenic</b>	9,9	<b>13,0</b>	6,5	0,7	<b>7</b>
Cadmium	0,0	1,2	1,4	0,7	<b>4,2</b>
Chrome	29,7	39,6	30,5	5,2	<b>52</b>
Cuivre	8,7	11,8	9,2	1,9	<b>19</b>
Mercuré		<i>Non recherché</i>		0,13	<b>0,7</b>
<b>Nickel</b>	<b>19,8</b>	<b>30,3</b>	<b>22,2</b>	1,6	<b>16</b>
Plomb	27,8	29,7	25,4	4,1	<b>41</b>
Antimoine	0,0	0,0	0,0	?	<b>?</b>
Étain	0,0	0,0	4,3	?	<b>?</b>
Zinc	85,4	100,8	82,8	124	<b>271</b>
<b>HAP</b>					
Anthracène	<0,04	<0,04	<0,04	0,005	0,050
Benzo (a) anthracène	<0,01	0,01-0,1	<b>0,01-0,1</b>	0,050	0,500
<b>Benzo (a) pyrène</b>	<0,01	0,01-0,1	<b>0,1-1</b>	0,005	0,050
Benzo (b) fluoranthène	<0,01	0,01-0,1	<b>0,1-1</b>	0,050	0,500
Benzo (ghi) perylène	<0,01	0,01-0,1	0,01-0,1	0,050	0,500
Benzène (k) fluoranthène	<0,01	0,01-0,1	0,01-0,1	0,050	0,500
Chrysène	<0,05	<0,05	0,05-0,5	0,050	0,500
Dibenzo (a,h) anthracène	<0,02	<0,02	<b>0,02-0,2</b>	0,005	0,050
Fluoranthène	<0,04	0,04-0,4	0,04-0,4	0,050	0,500
Indéno (1,2,3-cd) pyrène	<0,01	0,01-0,1	0,01-0,1	0,050	0,500
Phénanthrène	<0,05	0,05-0,5	0,05-0,5	0,050	0,500
Pyrène	<0,04	0,04-0,4	0,04-0,4	0,050	0,500

**Tableau XX :** micropolluants toxiques décelés dans les sédiments fins des Doulonnes apicales. Le mercure n'a pas été recherché

Les métaux lourds pourraient provenir soit d'une ancienne décharge enterrée et non répertoriée soit d'aérosols. Les HPA sont probablement liés aux lessivages des réseaux routiers mais ils pourraient eux aussi être issus de déchets enfouis, ou être produits lors de l'incinération sur place des houppiers par les forestiers qui utilise parfois du gas-oil, de l'huile ou des vieux pneus pour démarrer les feux.

Par ailleurs, il faut rappeler que, dans le protocole d'analyses multirésidus qui a été appliqué, les seuils de détection des produits de traitement du bois sont de l'ordre de 50µg/l. Or la toxicité de ces produits sur les organismes aquatiques et en particulier sur les crustacés est avérée à partir de concentrations inférieures à 1µg/l. Ce type de contamination a donc pu passer inaperçu.

De la même façon, les pollutions aiguës par les produits de désinfection des captages AEP ne sont pas décelables dans les sédiments. En revanche **un fort taux de Bore** a été décelé dans les sédiments des **Doulonnes aval**. Ce produit est rarissime dans les eaux naturelles mais c'est un marqueur des eaux usées car il est utilisé dans certain détergent. On en déduit le passage probable d'un égout le long de la route de Plumont au travers de canalisation poreuse ou de regard non étanches.

## **Bilan et recommandations pour la restauration des rus de la Forêt de Chaux**

### ***Bilan***

L'assainissement hydraulique des parcelles forestières, fondée sur le drainage systématique et sur le curage des ruisseaux temporaires, a entraîné l'assèchement de la Haute-Clauge. La transformation de la partie forestière de cette rivière, jadis pérenne sur plus 7 km en amont de toute pollution, en un fossé temporaire réduit à néant son potentiel astacicole.

Ce mode de gestion sylvicole contribue également à la diminution des ressources en eau des Doulonnes qui sont en plus grevées par les prélèvements AEP. Cependant ce ruisseau conserve une excellente capacité habitacionnelle dans des secteurs pourtant dépourvus d'écrevisses.

Par conséquent, pour les Doulonnes, la limitation amont de l'extension des Pieds Blancs doit plutôt être rapprochée de l'existence probable d'une ancienne décharge ou/ et du traitement des bois régulièrement stockés à proximité du ruisseau. A l'aval, la désinfection régulière du captage AEP et le passage d'une canalisation d'eau usée poreuse pourrait aussi se traduire par des pollutions aiguës récurrentes.

***Recommandations pour chacun des deux cours d'eau***

Pour la Clauge, on en déduit la stratégie de restauration suivante :

- 1° Rebouchage des drains forestiers
- 2° Rehaussement du fond de lit des affluents temporaires
- 3° Orientation des pratiques sylvicoles vers des essences adaptées aux zones humides (type : chênes pédonculés d'écotype hygrophile au lieu des chênes sessiles d'écotype sec plantés à l'heure actuelle).

Suite au résultat de cette étude et à la thèse d'Ali REZA (2003), une opération-pilote articulée sur ces principes devrait être menée sur un sous-bassin de la Haute-Clauge dans le cadre du Life Tête de Bassin. Cette opération est mise en place en collaboration par la DR9 du CSP, la Diren Franche-Comté et le PNR du MORVAN.

Pour les Doulonnes, la restauration des capacités astacicoles nécessite le même ensemble d'actions sur les parcelles forestières du bassin amont. En outre, elle requiert une modification des pratiques et des usages en relation avec le stockage du bois et les captages d'eau potable.

- 1° Interdiction de toute pulvérisation sur les billes de bois sur le bassin versant des Doulonnes en amont de la route de Plumont à Etrépigney.
- 2° Interdiction de l'écobuage sur le bassin versant.
- 3° Récupération pour exportation et dépollution des eaux de traitements et de rinçage des captages et des réseaux d'adduction.
- 4° Diagnostic sur les pertes et fuites du réseau de distribution puis rénovation éventuelle pour diminuer la quantité d'eau.
- 5° Campagne d'information et d'incitation à la diminution de la consommation d'eau.
- 6° Etude et suivi de la pollution grise résultant du lessivage des routes.

## **C. Étude de l'évolution rapide du Ru d'Ivrey**

Le ru d'Ivray prend sa source à 440 m d'altitude et conflue avec la Furieuse en parcourant un dénivelé de 200m sur un linéaire. Dans sa partie apicale et médiane, il abritait avant 1999 une population dont la densité et la structure étaient référentielles.

Cependant en 2000 des travaux de curage « légers » ont été effectués sur 3 des affluents (ruisseaux des Chevannes, des Feuilles Renardes, et des Corvées) dans le cadre de travaux connexes au remembrement agricole. Parallèlement, des prairies ont été remises en culture alors que des haies étaient supprimées sur les versants proches.

Un état initial de la population d'écrevisses du Ru d'Ivrey a donc été dressé en octobre 1999. Puis, en 2001, après travaux, un nouvel inventaire a été effectué pour mesurer les impacts de ces modifications physiques à l'échelle du bassin versant et du chevelus hydrographiques sur la population d'écrevisses du Ru d'Ivrey. Parallèlement une étude de la qualité physique du ruisseau a été menée pour relier l'éventuelle évolution de la population à des mécanismes d'altération de l'habitat.

### ***Evolution de la population de Pieds Blancs du Ru d'Ivrey***

Le suivi de la population s'est d'abord attaché à déterminer, avant et après travaux, l'extension de la population d'écrevisses par observations nocturnes exhaustives et répétées à la lampe. Corrélativement, l'éventuelle variation de densité de cette population a été mesurée dans un secteur témoin choisi comme le plus favorable en réalisant avant et après travaux des opérations de marquage recapture. Une pêche électrique a également été effectuée à titre de vérification.

#### **État initial de la population en octobre 1999**

En automne 1999, les écrevisses Pieds Blancs du ru d'Ivrey ont été repérées sur un linéaire de 420 m, et sur le ruisseau des Feuilles Renardes sur une longueur de 150 m à partir de la confluence (fig. 31). Le ruisseau des Feuilles Renardes présente vers sa confluence une pente très forte et plusieurs cascades abruptes qui ne limitent cependant pas la colonisation par les écrevisses (des individus ont été observés en train d'escalader des pentes verticales).

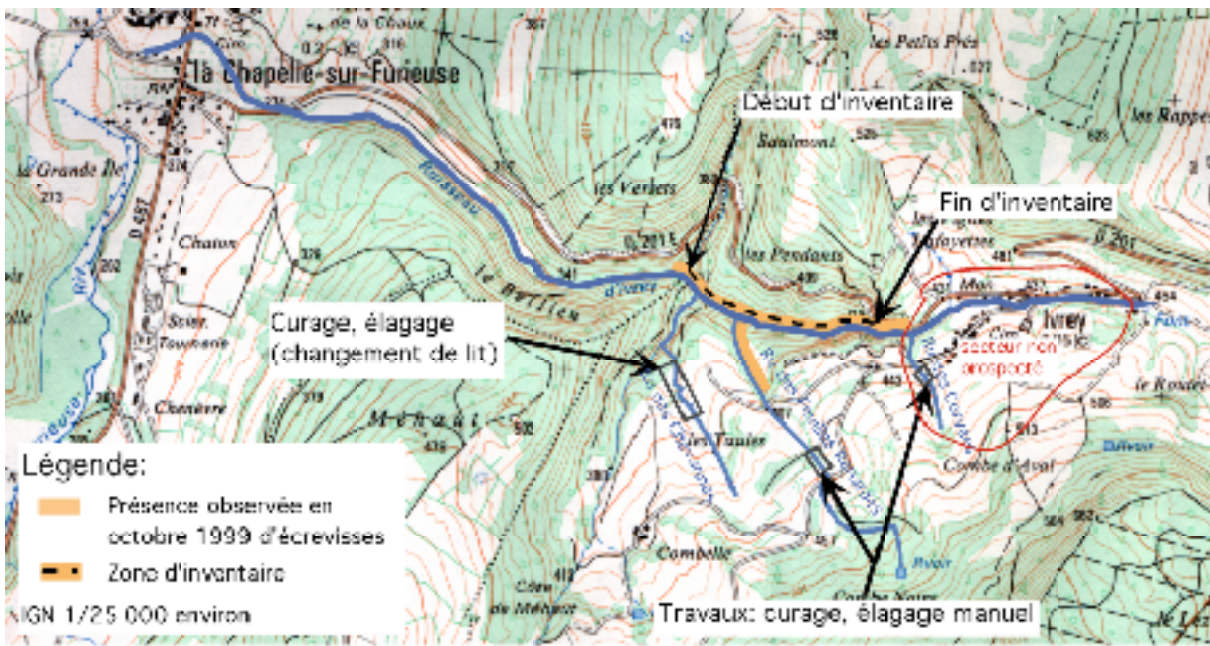


Figure 31 : étendue spatiale de la population et localisation de la station d'inventaire.

Sur le site des Tuileries qui paraissait le plus densément peuplé, la méthode de Petersen-Schnabel a été mise en œuvre en s'appuyant sur 3 pêches successives (Ricker 1980). À chaque fois la totalité des écrevisses capturées est marquée puis remise à l'eau immédiatement. La proportion d'individus déjà marqués est relevée à partir de la seconde pêche.

L'inventaire a été effectué sur le Ru d'Ivrey sur un linéaire de 340 mètres présentant une largeur mouillée moyenne de 2 à 2,5 mètres (765 m<sup>2</sup>). Le triple effort de prospection a permis de capturer en tout 171 individus (tab. XXI). Sur ce nombre, 122 écrevisses en tout ont été marquées dont 14 ont pu être re-capturées en deux nuit successives.

Métriques	Pêche n°1	Pêche n°2	Pêche n°3
<b>Effectif total capturé (dont mâles/femelles)</b>	60 (22/37)	63 (38/23)	48 (23/24)
Nombre de marquages avant remise à l'eau	59	63	48
<b>Marquées re-capturées (dont mâles / femelles)</b>	-	6 (1/ 5)	8 (4/4)
Écrevisses touchées par la thélohaniose	3	4	0

Tableau XXI : résultat de l'opération de marquage recapture menée en octobre 1999.

La 3<sup>e</sup> pêche a permis de récupérer 8 écrevisses marquées sur 48 alors que 122 individus avait été marqués préalablement lors des 2 autres pêches. La formule de PETERSEN fournie par RICKER (1980) indique donc que le stock d'écrevisse capturable à la main s'élève à  $732 \pm 100$ . On en déduit une densité estimée de 956 écrevisses pour 10 ares qui correspond à une cote d'abondance de 4/5.

En fait cette cotation est probablement sous-estimée car la grille de classe d'abondance utilisée a été bâtie par la DR 5 du CSP à partir de pêches électriques, en excluant les juvéniles de très petites tailles (inférieure à 20 mm). Cependant, la pêche électrique sélectionne des tailles moyennes plus petites que la pêche à la main. Or structure de l'échantillon capturé comprend une faible proportion des écrevisses de moins de 20 mm mais montre surtout une forte proportion d'individu de plus de 8 cm (fig. 32).

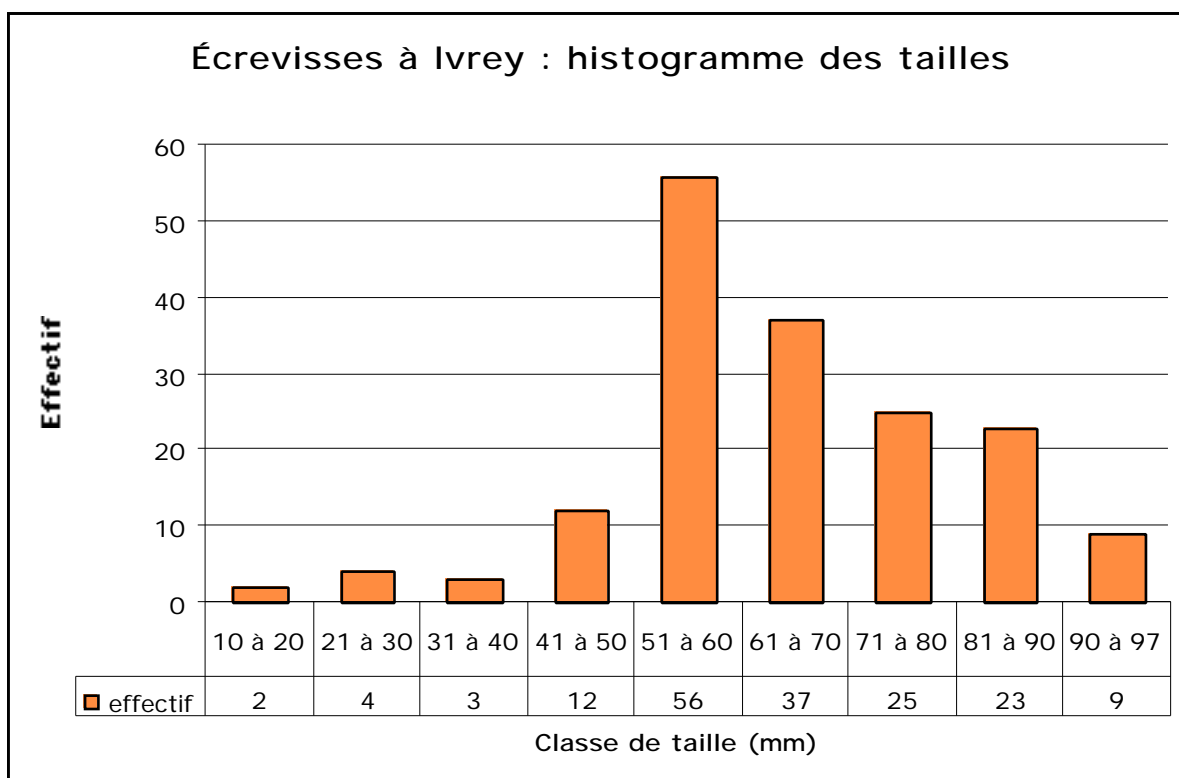


Figure 32 : histogramme des tailles sur l'échantillon d'écrevisses capturées à Ivrey en 1999 :

#### Remarque : qualité sanitaire de la population

Lors des inventaires, certains sujets étaient porteurs de la thélohaniose ou « maladie de la porcelaine ». Cette pathologie se traduisant par une coloration blanchâtre des muscles est assez souvent observée sur les populations de « pieds blancs ». Elle est liée à un protozoaire (*Thélohania contejeani*) et se transmet par ingestion de muscles d'autres écrevisses infectées.

Le diagnostic a été confirmé sur quelques individus par le Laboratoire Vétérinaire Départemental du Jura. Cette maladie est couramment observée sur les populations d'écrevisses et apparaîtrait plus souvent sur les populations denses où elle jouerait un rôle régulateur. Le taux d'individus touchés par cette maladie au sein d'une population varie entre 1-2 % et 30 %.

Elle ne provoque pas d'épizooties brutales et ne peut pas à elle seule entraîner la disparition d'une population (PNR 1998). Dans l'échantillon, la proportion d'écrevisses atteintes par la thélohaniose dans l'échantillon à Ivrey est moyen (5,7 %).

La première phase de cette étude a permis de réaliser un état initial fiable de la population d'écrevisses présentes sur le Ru d'Ivrey en octobre 1999. Cette population présente à cette époque un intérêt remarquable en raison d'une localisation spatiale étendue, d'une densité de population élevée et d'une forte proportion de gros individus.

Plusieurs signes montrent donc que cette population était en 1999 référentielle malgré le caractère apical et surtout la forte pente du ru d'Ivrey. Cependant, l'exploration nocturne n'a pas alors été poussée vers l'aval et on ne connaît donc pas les limites exactes de la répartition des Pieds Blancs à cette époque. D'après le garde du secteur, elle ne s'étendait pas en deçà du secteur prospecté. Dans cette hypothèse, on peut alors se demander ce qui limitait la dissémination des écrevisses vers l'aval (cf. ci-dessous).

### **État de la population après travaux (inventaires de 2000 et 2001).**

Nous avons effectué en 2000 le même inventaire par captures / recaptures qu'en 1999. Les résultats montrent une chute brutale de la densité (tab. XXII). Les rendements de capture sont divisés par 10 et la faiblesse de l'abondance ne permet pas d'effectuer une estimation de type Petersen.

Métriques	Pêche n°1	Pêche n°2	Pêche n°3
<b>Effectif total capturé (dont mâles/femelles)</b>	9 (4/5)	4 (3/1)	2(1/1)
Nombre de marquages avant remise à l'eau	8	4	-
<b>Marquées re-capturées (dont mâles / femelles)</b>	-	0	0
Écrevisses apathiques non remises à l'eau	1	0	0

**Tableaux XXII : résultats des pêches à la lampe réalisées du 24 au 26 octobre 2000**

Par conséquent, en juillet 2001, un inventaire à 4 passages a été effectué sur une longueur de 33 mètres sur le site des Tuileries qui abritait jadis la densité maximale. Cette opération ne permettait de capturer que 6 écrevisses. La densité estimée est donc passée de 956 individus à 80 individus pour 1000 m<sup>2</sup>.

Par conséquent, la population s'est effondrée. La pêche électrique effectuée en Juillet 2001 confirme que l'abondance de cette population a chuté d'un facteur 10 en passant d'une cote d'abondance de 4/5 (forte densité) à la cote 1/5 (faible densité).

### **Recherche des causes de l'effondrement de la population**

Sur les têtes de bassin, qui ne contenait pas d'écrevisse, l'habitat aquatique s'est modifié de manière importante. Des érosions spectaculaires ont laminé le cours d'eau, en particulier sur la partie en amont du village d'Ivrey.

Les travaux effectués en 1999 sur les affluents ne semblent pas seuls en cause. Le remembrement et le drainage agricole remembrement ont également eu de forts effets hydrauliques puisqu'une crue printanière s'est traduite l'épanchement dans l'église d'une montée de boue charriée par le chevelus rectifiés du ru d'Ivrey.

Toutefois, sur la portion du ru d'Ivrey qui abritait les écrevisses, les modifications de l'habitat ne sont pas si flagrantes (ann. 9). Des signes d'érosion et d'incision sont toutefois visibles mais pas de façon aussi spectaculaire. En définitive, si l'habitat aquatique du site de la Tuilerie ne présente plus qu'une attractivité globale moyenne, il conserve une forte capacité astacicole théorique (tab. XXIII).

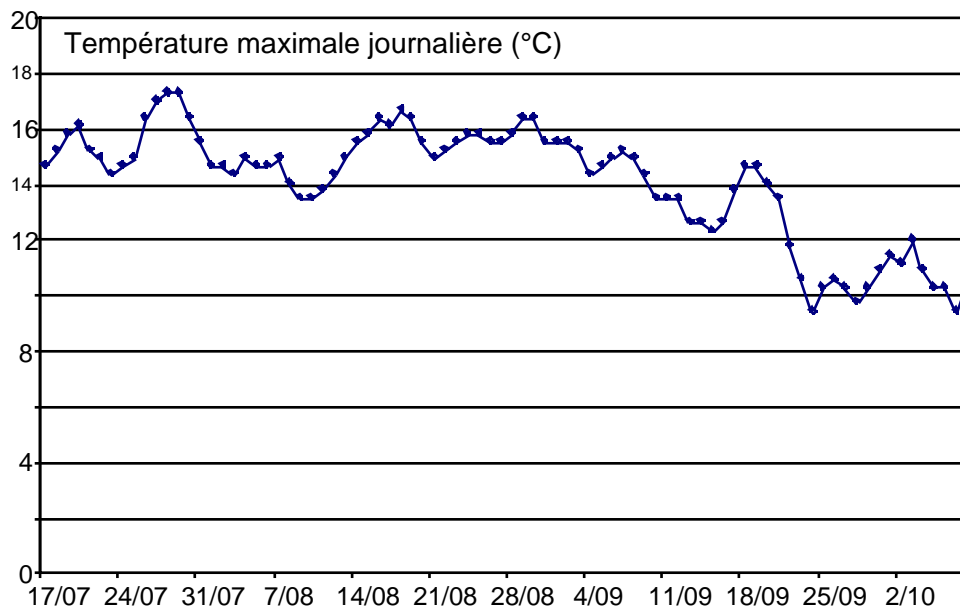
<b>Substrats supports</b>	<b>Code</b>	<b>La Tuillère</b>
Sous-berges	BER	0,3%
Banchages et racines immergées	BRA	0,1%
Bloc ménageant des caches	CHV	6,3%
Galets offrant des anfractuosités	GAL	8,1%
Mélange de gravier et de galet	GGR	59,5%
Graviers	GRA	5,1%
Limons, vases	FIN	2,7%
Blocs pavés ou sans anfractuosités	BLS	1,1%
Dalle indurée non fouissable	DAL	16,8%
<b>Classe</b>	< 5 cm	42,8%
<b>de profondeurs</b>	6 à 20 cm	51,0%
	21 à 70 cm	6,2%
	71 à 150 cm	
	>150 cm	
<b>Classes</b>	< 10 cm/s	75,1%
<b>de vitesses</b>	10-40 cm/s	23,4%
	40-80 cm/d	1,5%
	81-150 cm/s	
	>150 cm/s	
<b>Variétés</b>	substrats	7
	profondeurs	3
	vitesses	3
	pôles	37
<b>Diversité physique</b>		1,13
<b>Régularité</b>		0,73
<b>Attractivité globale</b>	sur 100	24,7
<b>Attractivité astacicole</b>	sur 100	49,3
Indice d'Attractivité Morphodynamique	<b>IAM*</b>	1557/3200
Indice Spécifique de Capacité Astacicole	<b>ISCA*</b>	3106/3200

**Tableau XXIII : composition et qualité des mosaïques d'habitats des Doulonnes**

(\* : la valeur de référence des indices dépend de la largeur du cours d'eau).

En effet l'instabilité des fonds empêche l'installation du tapis de bryophytes qui couvre normalement les fonds des cours d'eau ombragés et frais. L'érosion du lit sape et détruit aussi les sous-berges ménagées par la ripisylve jadis connective. Cependant, les fonds sont en grande partie constitués d'un mélange de galets plats et de graviers sous des combinaisons de hauteurs d'eau et de vitesses très favorable aux Pieds Blancs.

Parallèlement, la température enregistrée en été 2002 reste très favorable à ces écrevisses. En effet, les valeurs maximales fluctuent autour de 16° qui constitue le *preferendum* de l'espèce (fig. 33).



**Figure 33 : enregistrement des températures journalières maximales durant l'été 2002.**

Il faut noter toutefois que la température n'a malheureusement pas été enregistrée avant les travaux. Suivant la même optique, il conviendrait de vérifier que l'effet à long terme des modifications physiques subies par le chevelu amont ne finira pas par provoquer un réchauffement lié à la baisse des ressources phréatiques estivales.

En outre, la mesure de la qualité physique du ru d'Ivrey à l'échelle des tronçons montre que ce cours d'eau a subi des altérations importantes à l'amont et à l'aval de la zone astacicole. Or, les perturbations qui l'encadrent ont agi indirectement sur la qualité du secteur favorable (fig. 34).

D'une part à l'aval du linéaire astacicole, des travaux de rescindement de méandre ont été effectués récemment par le propriétaire riverains. Cette rectification du cours du ru d'Ivrey a entraîné une simplification drastique de l'habitat sur le tronçon directement concerné. En outre elle a provoqué à l'amont une importante reprise d'érosion.

D'autre part, à l'amont du linéaire astacicole, le secteur de cascade a été fortement déstabilisé. Or une volumineuse décharge a été poussée depuis plusieurs décennies dans les falaises et jusque dans cascades du secteur de gorges qui marque le début du secteur à écrevisses. La reprise d'érosion brutale du réseau hydrographique amont provoqués par les travaux hydrauliques connexes au remembrement a induit la déstabilisation de ce dépôt et la remise en solution probable de déchets toxique.

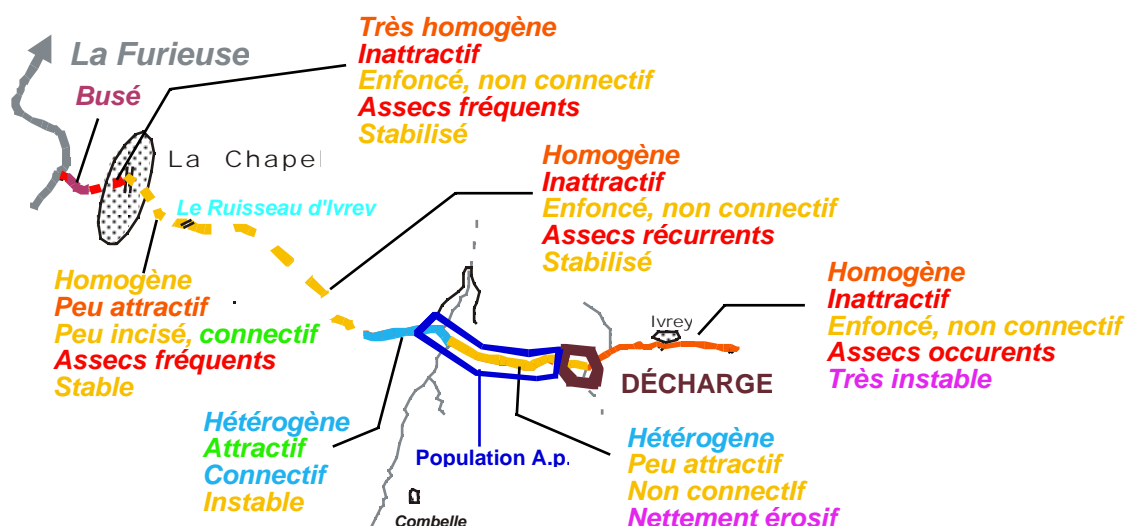


Figure 34 qualité physique globale du Ruisseau d'Ivrey

Des bidons de solvant et de vernis industriels et des boîtes de produits pharmaceutiques ont d'ailleurs été repérés au moment des reconnaissances à pieds effectuées en 2001. Au gré de la percolation des substances dangereuses ou/et de l'usure de leur conditionnement, des phases de pollutions aiguës alternent donc probablement avec des périodes sans pollutions.

Durant les périodes défavorables, la population de Pied Blancs s'effondre dans le Ru d'Ivrey. Une partie des écrevisses peut trouver refuge dans les affluents pourtant très pentus qui rejoignent le ruisseau de part et d'autre du secteur astacicole. En 1999 et en 2000, quelques individus ont ainsi été observés en train d'escalader des surfaces hypométriques verticales.

Ce phénomène expliquerait pourquoi en 2002, un comptage par observation nocturne à la lampe indiquait un rétablissement relatif des densités d'écrevisse sur ce site de la Tuilière. Toutefois, si les causes de perturbations ne sont pas circonscrites et traitées dans les plus brefs délais, cette population est appelée à disparaître. En effet, les affluents refuges ont été eux-mêmes déstabilisés tandis que la partie aval subit une érosion régressive depuis le rescindement de plusieurs méandres.

## Recommandations pour la restauration du Ru d'Ivrey

La population fluctuante du Ru d'Ivrey doit être surveillée. Cependant, pour restaurer protéger les dernières écrevisses, 2 actions prioritaires de réhabilitation des capacités biogènes du ruisseau doivent être entreprises sans tarder (fig. 35).

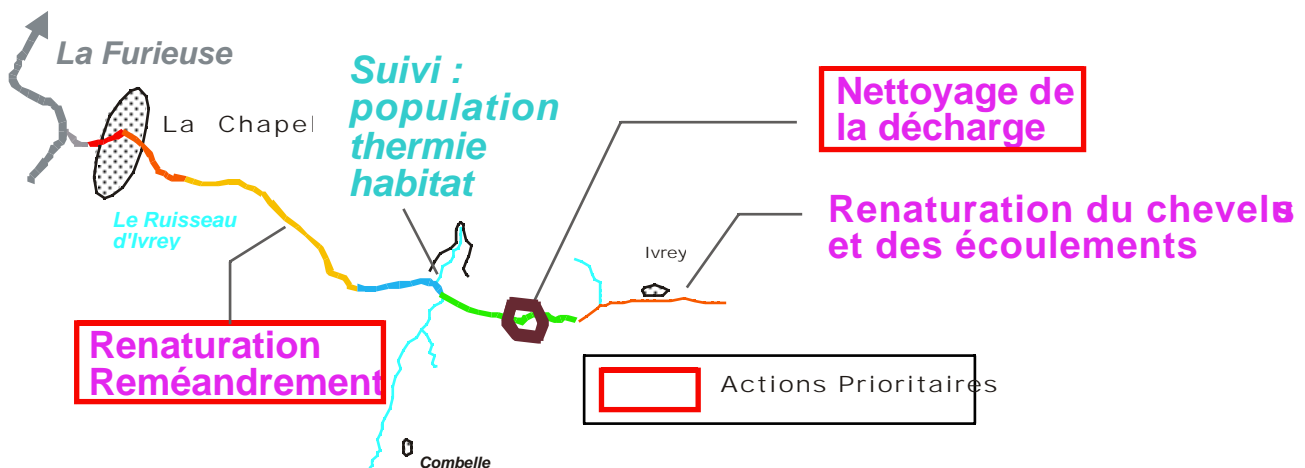


Figure 35 : stratégie de protection et de restauration des secteurs astacicoles du ru d'Ivrey.

D'une part, les déchets labiles et dangereux déchargés dans la rupture de pente doivent être enlevés. D'autre part le cours d'eau doit être reméandré sur le tronçon à l'aval du secteur à écrevisses : pour cela une étude spécifique doit être conduite afin de reconstituer au mieux le tracé sinueux naturel, à fleur de terrain. La reconstitution des capacités biogènes de la partie aval, pour l'instant soumise à de fréquents assècs, pourra être envisagée dans un deuxième temps.

Enfin, des mesures réglementaires de protection doivent être mises en place sur le tronçon peuplé d'écrevisses et sur les affluents tufeux qui servent de refuges à ces crustacés lorsque la qualité du cours d'eau se détériore par l'amont. Dans cette optique, un arrêté de protection de biotopes permettrait d'empêcher tout travaux « d'aménagement » intempestif. Le suivi régulier de l'état de la population de Pieds Blancs permettra de vérifier l'efficacité des mesures de protection et de restauration entreprises.

## **D Synthèses diagnostiques et méthodologiques.**

Les différentes investigations réalisées a permis d'atteindre un triple objectif. D'une part, elles ont contribué à mieux comprendre ce qui déterminait la répartition des Pieds Blancs. D'autre part, elle a permis de circonvier une partie de la causalité de la disparition ou de la régression des écrevisses dans le massif jurassien. Enfin ce jeu de données a permis de tester et d'améliorer le système expert utilisé pour diagnostiquer les causes de limitation de la production astacicole et remédier à la régression des populations d'écrevisses autochtones.

### ***D1. Déterminisme de la présence des Pieds Blancs***

Le jeu de données utilisé n'est pas assez fournis pour établir réellement le déterminisme du développement de la Pieds Blancs. En effet, seuls 5 sites contenant des écrevisses ont été analysés dans le cadre de la présente étude alors que cette approche avait été conçue pour s'appuyer sur une trentaine de sites au moins. En outre les données ont été récoltées sur des sites relictuels servant de refuge et ne correspondant pas forcément le preferendum de l'espèce.

Cependant, la même démarche a été appliquée à 2 autres site du massif vosgien. En outre les protocoles étant tous conçus pour fournir des informations comparables, la confrontation des sept jeux de données fournit tout de même des perspectives pour mieux cerner le déterminisme des milieux électifs des écrevisses Pieds Blancs. En particulier, des informations convergentes ont été obtenues sur le régime thermique, la typologie et les capacités habitationnelles des sites relictuels à Pieds Blancs.

### **Thermographie**

Les enregistrements thermiques réalisés pendant l'été 2002 montre que les températures estivales maximales de la plupart des sites oscillent autour de 16°C, avec une amplitude limitée à 1 ou 2° (tab. XXIV). Seul le site des Doulonnes bénéficie d'une température encore plus fraîche fluctue entre 11° et 14°C. Les sites astacicoles relictuels sont donc frais et tamponnés thermiquement. Cette observation doit être pondéré par plusieurs remarques et observations.

Massif montagneux		Température max. moy.	Type théorique	Bio-type estimé
Jura	Froideau amont	16,7	2,6	B2+
	Froideau médian	17,4	3,2	B3
	Lizon	17,1	2,5	B2+
	Doulonnes	13,2	2,6	B2+
	Ru d'Ivrey	16,6	2,3	B2+
Vosges	Corne amont	16	2,9	B3
	Corne médiane	18	3,7	B4-
Moyenne		16,4	2,8	B2-B3
écart-type		1,6	0,5	

**Tableau XXIV : confrontations de la thermie estivale et du type théorique de 7 sites à Pieds Blancs**

D'une part, des températures plus fraîches que l'optimal peuvent être recherchées, ou bénéficier à des populations relictuelles, lorsque le milieu subit des altérations. En effet, les zones plus froides contiennent une quantité d'oxygène dissous plus importante tandis que le métabolisme des écrevisses y est ralenti.

D'autre part, sans parler de perturbation, la présence de la Pieds Blancs est probablement déterminée par des complexes paramétriques équivalents dont la température n'est qu'une composante. En particulier la trophie et l'hydrodynamique du système doivent jouer un grand rôle également. Cette hypothèse permettrait d'expliquer que des pieds Blancs puissent coloniser des ruisseaux beaucoup plus chauds dans des massifs siliceux dont les eaux sont beaucoup moins minéralisées.

La valeur maximale moyenne estivale de 16° peut donc être proposée, à titre provisoire, comme valeur préférentielle dans le cas de ruisseaux calcaires non référentiels.

## Typologie

Parallèlement, les sites à écrevisse étudiés appartiennent tous à des B2+ ou à des B3, soit à des zones à truite supérieure (tab. XXIV). Il faut toutefois rappeler que la gamme de types peuplés de Pieds Blancs avant les années 1960 était manifestement beaucoup plus large et s'étendait au moins de B2 à B7.

Le *preferendum* se situait alors entre B4 et B5, soit à la transition entre la zone à truite et la zone à ombre (cf. partie A). Ce niveau typologique correspond à celui des derniers sites connus en France pour abriter des populations à forte biomasse (exemple de la Drome amont ou de la partie médiane de la Lucelle dans le Haut-Rhin). Les gammes typologiques utilisées actuellement constituent des « **pseudo-preferendum refuges** ».

## Habitat

Les analyses cartographiques standard montre que des configurations morphologiques très différentes peuvent convenir au développement des écrevisses Pieds Blancs. Les adultes présentent des affinités fortes et équivalentes pour 3 catégories de substrats : les pierres plates, les branchages immergés, les sous-berges. Pour les juvéniles, les chevelus racinaires ou bryophytiques constituent des refuges préférentiels tandis que les litières ou les sables servent à l'alimentation. Les mosaïques d'écoulement optimales, très contrastées sont constituées d'alternance de mouilles lénitiques, de radiers à courant moyens et de micro-fosses turbulentes.

Plusieurs combinaisons de ces modalités habitationnelles peuvent donc fournir des capacités astacicoles élevées. On observe ainsi indifféremment des fortes densités de Pieds Blancs dans des ruisseaux à pierres plates, à embâcles et racines immergés, à sous-berge ménagée par des aulnes ...

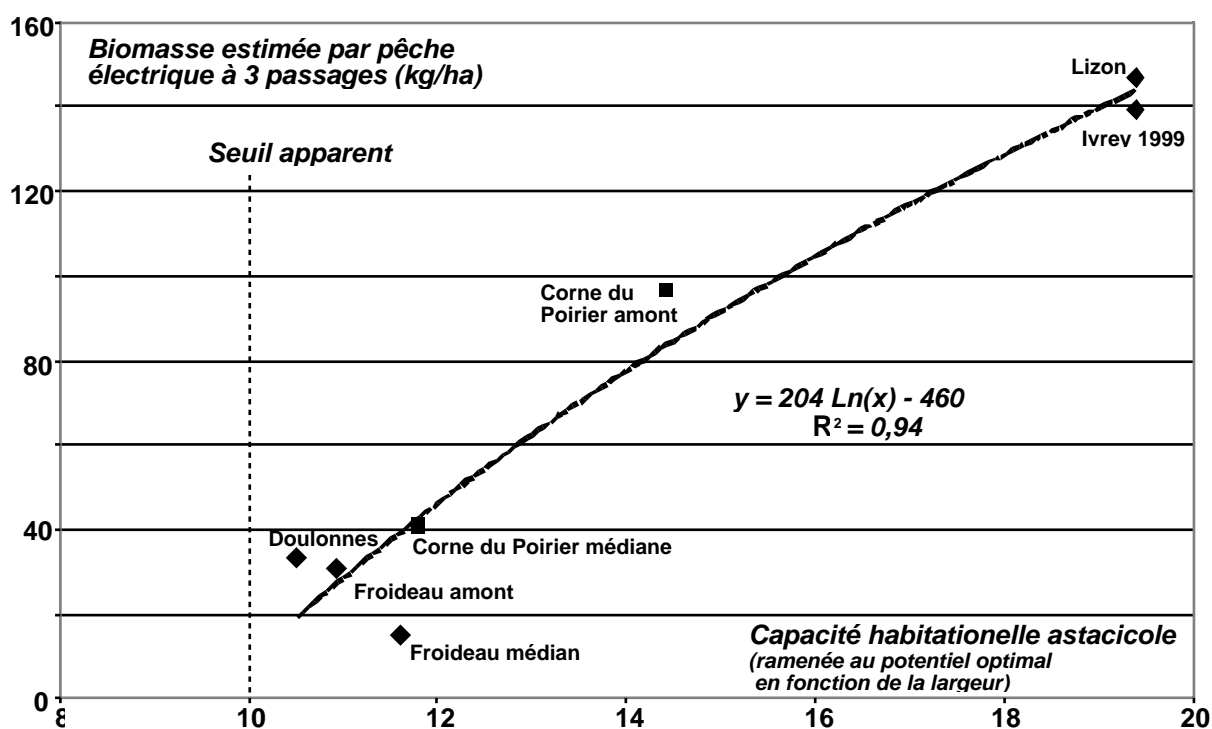


Figure 36 : relation entre la biomasse astacicole et la qualité de la mosaïque habitationnelle

Toutefois, il semble qu'une qualité physique minimale soit exigée par les Pieds Blancs. En effet, les Indices Spécifiques de Capacités Astacicoles mesurés sur les sites d'étude abritant des écrevisses ont été rapportés à la qualité physique optimale des stations, qui dépend du rang hydraulique, lui-même apprécié par la largeur à l'étiage du cours d'eau (fig. 36). La confrontation de ses valeurs avec celles qui ont été mesurées sur deux sites vosgiens dessine deux tendances (TELEOS 2004).

D'une part, les sites abritant des Pieds Blanc ont tous une note de qualité supérieure à 10/20. D'autre par la biomasse en place est proportionnelle à la note de qualité physique astacicole. Par conséquent, il semble **que la présence de l'espèce Pieds Blancs ainsi que son abondance soient déterminées par un seuil minimal d'hétérogénéité et d'attractivité minimale** des mosaïques d'habitats aquatiques.

Cette hypothèse doit être nuancée par plusieurs bémols. En particulier, la productivité d'un cours d'eau dépend aussi de son type et en particulier de son pouvoir trophique, lié à sa minéralisation. Sur ce plan, notre échantillon paraît tout de même cohérent car il comporte des stations comprises entre deux niveaux typologique seulement (B2 et B3). L'évaluation du poids relatif de la minéralisation, du type et de la qualité de l'habitat pourra être effectué à l'aide du calcul de régressions logistiques lorsque nous disposerons d'un nombre suffisant de stations référentielles.

Corrélativement, cette approche pourra ensuite être utilisée pour déceler des altérations insidieuses de la qualité chimique de l'eau ou des sédiments. En effet, si un site d'eau courante abrite une densité astacicole inférieur à celle qui est prédite à partir du calcul de son potentiel habitationnel, on pourra en déduire la présence probable de contaminations toxiques ou de pollutions intermittentes.

### **Remarque : importance éventuelle d'oligo-éléments**

La présence de certains éléments traces pourrait favoriser l'implantation ou renforcer la résilience des populations d'écrevisses Pieds Blancs. Pour vérifier cette hypothèse, les analyses multirésidus effectuées sur des échantillons sédimentaires pourraient être utilisées car elles indiquent les teneurs des métaux au sens large, avec une sensibilité inférieur au mg/l (ann. 3-5-7).

Cependant, un volant de données plus important est indispensable pour déceler des tendances statistiques ainsi que pour découvrir et démontrer le rôle d'un ou de plusieurs éléments. En outre, il paraît également nécessaire de réaliser plusieurs prélèvements de sédiment pour apprécier la variabilité intra-stationnelle.

## ***D2 Causes premières, principales et conjointes de disparition***

L'étude d'une gamme de situations restreinte mais contrastée montrant des cas de disparition, de régression ou de limitations de population d'écrevisse Pieds Blancs a permis d'esquisser un premier tableau des tendances épidémiologiques affectant cette espèce dans le massif jurassien. La confrontation avec une étude menée en parallèle sur le massif vosgien (TELEOS 2004) a permis de préciser les observations réalisées.

En fait les stations d'étude avaient été choisies pour étudier des causes de régression non flagrantes. Nous avons sélectionné pour cela des têtes de bassin forestières *a priori* référentielles et nous attendions donc à trouver une seule perturbation par cas. Or, pour la plupart des cours d'eau étudiés, de multiples altérations ont été mises en évidence (tab. XXV). A travers la gamme 9 situations considérées, on retrouve trois source de pollution majeures qui peuvent jouer en interférences entre elles ainsi qu'avec des perturbations physiques conjointes.

### **Anciennes décharges et épandages de boues de STEP : métaux lourds**

Des anciennes décharges susceptibles de contaminer les ruisseaux forestiers ont été découvertes dans 4 sites dépourvus d'écrevisses sur les dix étudiés. Leur présence est également suspectée dans 4 autres cas. On peut donc estimer que cette catégorie de perturbation concernerait entre 40 et 80 % des têtes de bassins sur lesquelles les écrevisses Pieds Blancs ont disparu ou ont régressé.

Généralement, le dépôt de déchets, enfouis depuis plusieurs années, a été oublié par les gestionnaires et par les élus locaux. En outre, les effets sont souvent différés jusqu'à la corrosion du conditionnement des substances toxiques enterrées (rouille des bidons contenant peintures et pesticides, démantèlement des piles et batteries ...). Cette cause de pollution potentielle risque donc d'affecter de façon de plus en plus récurrente la qualité des ruisseaux forestiers. Le traitement en sera coûteux et difficile.

Une autre cause fréquente de contamination métallique est constituée par l'épandage, en tête de bassin, de boues de station d'épuration des villes de moyennes montagnes qui abritent souvent des petites entreprises métallurgiques. La dépollution des rejets de ces établissements artisanaux est très difficile : une grande partie des métaux se retrouve dans les réseaux d'eau usée puis dans les boues de STEP. Depuis une décennie, ces boues, de plus en plus difficilement valorisables, sont exportées de plus en plus loin.



Sites (sans Pieds Blancs)	Comparaison avec site à écrevisse proche			Diagnostic	
	qualité physique	charge trophique	toxiques	Cause première	Cause cor
<b>Froideaux aval</b>	équivalente	nettement plus forte (maïs)	+++	Transfert direct pollution agricole (maïs)	ancienne rec
<b>Saron</b>	équivalente	un peu plus forte (prairies)	+++	Transfert direct des jus d'une grande décharge	ancienne rec
<b>Ru d'Ivray</b>	Légère incision	équivalente (faible)	+++	Transfert direct des jus d'une grande décharge	rectificatio drainage et trav
<b>Lizon aval</b>	équivalente jusqu'à l'étang	moindre	++	Traitement du bois (stockage)	Sp. américaine, décharg
<b>Préverant</b>	équivalente	moindre ?	- (?)	Décharge ? (non localisée) Traitement du bois ?	Rectificatic
<b>Doulonnes amont</b>	Nettement meilleure	équivalente (faible)	- (?)	Traitements du bois ? Désinfection captage ? Décharge ? (non localisée)	Drainage forestier source
<b>Doulonnes aval</b>	Incision nette	équivalente (faible)	++	Désinfection du captage AEP Egout non étanche. Décharge ? (non localisée)	Traitement du t curage, drainag pollution g
<b>Clauge</b>	assèchement	équivalente (faible)	?	Assainissement hydraulique forestier	Curages a (traitement d
<b>Corne du Poirier aval</b>	nettement altérée (assèchement)	un peu plus forte (cultures sur BV)	++	Impacts de 5 étangs : assèchement	Curages ancien
<b>Moulin de Brisse</b>	meilleure	équivalente (faible)	+	Exploitation forestière (coupe à blanc)	Décharge ? (no Traitement c

**Tableau XXV : synoptique sur la détermination des causes de régression ou de disparition de l'écrevisse Pieds Blancs sur 9 sites diversement altérés.**

### **Traitement du bois : pesticides organo-azotés, fongicides ...**

Des places de dépôt de bois susceptibles d'être le siège de pulvérisation d'insecticides contre la piqûre des scolytes lors du stockage de billes défruitées au printemps ont été repérées à proximités des chevelus hydrographique ou des cours d'eau principaux pour 6 des 10 sites ayant subi une régression des populations astacicoles. Certes les produits de traitement du bois n'ont pas été retrouvés dans les sédiments (à l'exception peut-être de l'étain décelé dans les sédiments du Lizon qui pourrait provenir de composés utilisés comme fongicide).

Cependant, le seuil de détection du protocole d'analyse multirésidus utilisé ne permet que de déceler des doses 20 à 50 fois supérieures au seuil de toxicité connu pour ces produits (EIA N°65 1991). En outre, il aurait fallu multiplier les prélèvements pour être sûr de l'absence de ce type de contaminant dans les systèmes altérés (cf. ci-dessous la critique méthodologique). En tout état de cause il paraît pertinent d'interdire ces pratiques sur les derniers bassins versant à écrevisse étant donné la forte toxicité des substances utilisées vis-à-vis des crustacés et des insectes à larves aquatiques.

### **Drainage, dérivation, captage : réduction des débits, échauffement ...**

Dans les zones de plaines, la pratique sylvicole qui affecte le plus les têtes de bassins forestières est liée à l'assèchement des zones humides. En effet, le choix d'essence et d'écotype non adaptés conduit le gestionnaire à mettre en œuvre des opérations d'hydrauliques forestières provoquant la baisse des nappes phréatiques : drainage des parcelles, curages des ruisseaux temporaires, voire des cours d'eau pérennes ...

Ces aménagements lourds s'accompagnent parfois d'un contrôle excessif de la ripisylve et d'enlèvement systématiques des embâcles dans les cours d'eau principaux afin de faciliter encore l'écoulement des crues. Ces actions affectent directement les capacités habitacionnelles des ruisseaux et favorisent aussi l'incision de leur lit (cf. ci-dessous).

Ces pratiques sont évidemment très dommageables pour les ruisseaux à écrevisses puisqu'elle réduisent les réserves en eau et diminuent les débits d'étiage. Elles ont provoqué une perte du linéaire potentiellement astacicole de plusieurs kilomètres dans le cas des Doulonnes et de la Clauge (2 cas flagrants sur 10).

Les débits estivaux peuvent aussi être grevés par des pompages AEP excessifs. Dans de nombreux cas, un diagnostic du réseau de distribution révèle des canalisations désuètes provoquant jusqu'à 80 % de pertes. Le rejet, dans les ruisseaux, des produits de désinfection de ces installations peut aussi constituer une perturbation grave.

Enfin le syndrome d'assèchement des cours d'eau à écrevisse peut aussi être dû à la multiplication d'étangs sur le bassin versant. Ces cas de figure ont surtout été observés dans les Vosges mais ils existent aussi dans le massif jurassien. Les prélèvements effectués pour les plans d'eau ne respectent généralement aucun débit réservé. En outre ils provoquent un réchauffement direct important et une forte évapotranspiration.

**Remarque : autres perturbations liées à la filière-bois mais non rencontrées durant l'étude.**

D'autres pratiques liées à la sylviculture peuvent aussi être incriminées pour expliquer la dégradation des capacités biogènes observées. En particulier, les coupes à blancs sont susceptibles de réactiver très brutalement l'érosion des pentes et de se traduire par un colmatage des fonds du cours d'eau (cas du ruisseau de Brisse dans les années 1980, TELEOS 2004).

Ces perturbations affectent toutefois davantage les bassins versants sableux ou/et dont les sols sont friables et pentus ce qui est plus fréquent dans le massif vosgien que dans le Jura. En outre, même dans les cas défavorables, la régression astacicole induite n'est que très rarement irréversible, à condition que le cours d'eau ne soit pas victime d'autres pressions durant la phase de reconstitution des fonds et de recolonisation par les écrevisses.

Il faut toutefois relativiser la responsabilité de la filière bois dans la régression des écrevisses autochtones. En effet, la quasi-totalité des dernières populations de Pieds Blancs est justement cantonnée dans des ruisseaux forestiers. Par conséquent, les usages sylvicoles sont désormais les seuls à pouvoir être parfois suspectés alors que la plupart des autres catégories d'occupation des sols font presque systématiquement disparaître les écrevisses ! En fait, la forêt fournit des refuges aux espèces sensibles ; avec les pâtures extensives et les tourbières, c'est un des seuls milieux où l'on puisse encore trouver des cours d'eau référentiels.

**Curages et incision : réduction des capacités d'auto-épuration**

Dans la totalité des cas étudiés, les parties aval des ruisseaux qui ont vu leur population d'écrevisses régresser ou disparaître ont subi une rectification. En outre, les deux tiers des sites qui contenaient récemment ou qui abritent encore des écrevisses ont été curés dans le passé.

Pour les linéaires astacicoles, la date ces travaux remonte à plusieurs décennies et la morphologie du lit s'est généralement réajustée et re-diversifiée. Cependant, ces deux catégories d'altérations physiques ont généralement amorcé une tendance à l'incision qui appauvrit la mosaïque d'habitat, abaisse la lame d'eau et déconnecte la ripisylve du niveau d'étiage. Par conséquent, les capacités d'auto-épuration des cours d'eau ont diminué : l'écosystème est devenu vulnérable.

Enfin, dans plusieurs cas, les bassins versant ont subi depuis les années 70 des modifications drastiques de l'occupation des sols. En particulier, en petite montagne, les forêts ont été enrésinée tandis qu'en plaine, les milieux humides sont drainés, les haies sont supprimées et les prairies extensives sont intensifiées ou transformées en champs de céréales. Ces évolutions entraînent toutes la réduction des ressources en eau estivales, ainsi qu'une diminution des capacités tampons et auto-épuratoires des sols.

### **Bilan sur les causes de régression de disparition des Pieds Blancs.**

Les causes de modifications identifiées sont souvent multiples et généralement synergiques. Contrairement à une idée reçue les têtes de bassins même forestières sont donc rarement référentielles.

Il est parfois possible d'établir une hiérarchie des perturbations pour les classer en fonction de leur responsabilité décroissante dans la régression des populations astacicoles. Ainsi, de grandes catégories de perturbations se retrouvent-elles dans de plusieurs cas de disparitions.

Pour le massif du Jura on peut citer :

- les suintements toxiques à partir d'anciennes décharges enterrées ;
- les pulvérisations d'insecticides sur des billes de bois stockés ;
- le drainage des zones humides souvent liés à des épandages ou des pulvérisations de toxique dont le transfert est alors facilité.

Dans le cas des Vosges, il faut ajouter

- la multiplication d'étang mal conçu ou/et cumulant trop de surface ;
- les coupes à blancs sur des sols pentus et friables

Cependant, dans de nombreux cas, ce sont des modifications insidieuses qui interviennent de manière progressive, et qui en entraînent peu à peu la fragilisation des écosystèmes apicaux. Si elles s'avèrent synergiques, ces pressions finiront par entraîner la disparition des espèces les plus sensibles. Dans d'autres cas, des perturbations mineures pourront jouer le rôle de facteur déclenchant. De toutes façons, il faudra traiter toutes les altérations pour reconstituer les stocks astacicoles.

### **D3. Critique et amélioration du système d'expertise.**

La démarche appliquée à permis de découvrir une cause rédhibitoire de régression des écrevisses au moins dans 7 cas sur 10 (tab. XXV). En revanche, dans les 3 cas restant, des investigations supplémentaires s'avèrent nécessaires (Lizon, Préverant, Doulonnes amont) pour déceler à coup sûr le facteur limitant.

Rappelons qu' il n'a pas été possible de réaliser toutes les investigations prévues car la région de Franche comté qui était au départ demandeuse s'est retirée du programme. En particulier, l'analyse générique semi-quantitative des biocénoses benthiques a dû être abandonnée. Pour la même raison, la thermographie a été réalisée gracieusement par TELEOS. Cependant, lors de la mise en œuvre des mesures conservées, des lacunes méthodologiques sont apparues.

Par conséquent, le système expert proposé doit être complété et approfondi. Ce renforcement concerne essentiellement les recherches et analyses de toxiques qui apparaissent insuffisantes ainsi que l'étude de l'évolution des usages anthropiques du bassin versant, qui doit être approfondie. Parallèlement, il convient de réintégrer la prise en compte des macro-invertébrés dans la démarche diagnostic.

#### **Renforcement de la recherche des toxiques**

Les têtes de bassin, même quand elles sont réputées référentielles, sont fréquemment contaminées par des toxiques et en particulier par des métaux et des HPA. L'unique analyse multirésidus de sédiments fins effectuée par site dans le cadre du système expert que nous avons testés permet de déceler une partie de ces pollutions. L'application de cette recherche par balayage large ne doit donc pas être abandonnée. Cependant, l'intensité de ces contaminations est mal circonscrite tandis que des doutes demeurent quant à la véritable inexistence d'autres type de pollutions toxiques.

En effet d'une part, les mécanismes de transfert et d'accumulation des substances incriminées sont *a priori* complexes et irréguliers. Par conséquent, il paraît indispensable d'augmenter la maille d'échantillonnage. Le prélèvement d'au moins 3 placettes par site à au moins 2 reprises permettrait de diminuer les risques de louper un composé toxique déposé de façon irrégulière ou transporté durant une seule saison. Par exemple, les herbicides sont épanchés en début de printemps et partiellement solubles alors que les pesticides, dispersés en milieu de saison chaude, sont surtout adsorbés sur des fines.

D'autre part, les limites de détection de plusieurs substances comme les produits de traitement du bois sont, dans le protocole utilisé, trop élevées. En effet, elles atteignent plusieurs dizaines de  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de matière sèche. Or, les seuils de toxicités sur les crustacés des pyréthrinoïdes de synthèses utilisés pour protéger les résineux contre les scolytes ne dépassent guère 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de matière sèche (ADAM et al. 2004).

Comme la pulvérisation de ces produits est hautement suspectée d'être la cause de la limitation de l'extension des écrevisses Pieds Blancs dans plusieurs ruisseaux forestiers, il paraît important d'adapter la stratégie de prélèvement et d'analyse à leur recherche. Nous proposons d'appliquer, dans un premier temps et dans le cadre du balayage large des analyses multirésidus, des méthodes analytiques dont les limites de détection descendent en dessous de 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de matière sèche. Dans un deuxième temps, il serait judicieux de réaliser des analyses spécifiques ciblées sur un ou deux produits, mais dont la limite de détection descendrait au dixième de  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de matière sèche. En effet, les recherches larges préalables et l'étude des activités anthropiques sur le bassin versant auront permis de choisir la nature des composés les plus suspect, ainsi que les meilleurs sites et la meilleure période pour les prélèvements.

Enfin, il paraît important de réintégrer le mercure dans la liste des éléments recherchés. En effet ce métal lourd est véhiculé par des aérosols mais il contamine aussi la plupart des décharges, même quand elles sont uniquement domestiques.

### **Renforcement de l'étude de l'évolution de l'occupation des sols**

Dans la même optique, il paraît intéressant de renforcer l'analyse de l'évolution de l'occupation des sols et des usages anthropiques sur le bassin versant. En effet, d'une part les renseignements intéressants sont très dispersés (Archives départementales, RGA, ONF, collectivités ...). Par conséquent le temps dévolu à la collecte de ces informations était largement sous-estimé.

D'autre part, certaines statistiques ne sont pas assez précises ou ne sont pas fournies dans une forme utilisable. En particulier, les informations sont collectées par commune. Or un territoire communal est fréquemment composé de plusieurs têtes de bassin. En outre, le secret statistique cèle les données agricoles dès que le nombre d'agriculteurs est inférieur à trois, ce qui arrive très souvent dans le cas de petits villages.

Parallèlement les données sur l'enrésinement sont très difficiles voire impossibles à obtenir en particulier pour la forêt privée, mais aussi auprès de l'ONF pour les forêts domaniales ou communales. Enfin le recul de ses informations ne dépasse pas trois décennies.

Par conséquent, la collecte des statistiques et des archives gagnerait à être complétée par l'analyse de photos aériennes prises à différentes époques. Cette approche permet d'avoir une vision depuis les années 50 et de quantifier plus précisément plusieurs catégories de modification de l'occupation des sols, dont l'enrésinement, par bassin versant et non par communes. L'analyse de photos aériennes Infra-Rouge permet en outre d'approcher le taux d'humidité des sols et fonctionnement des zones humides.

### **Intérêt de l'analyse du macrobenthos**

La réalisation d'analyses générique semi-quantitative des biocénoses benthique de type MAG20 (TELEOS 2002) était prévue pour déceler de façon plus large et plus fiable d'éventuelle altération de la qualité chimique de l'eau ou/et des sédiments des secteurs dépourvus d'écrevisses. En particulier, elle aurait permis de confirmer ou d'infirmer la nécessité de recherches de toxiques supplémentaires dans le cas des deux stations dépourvues d'écrevisses mais pour lesquelles l'unique analyse multirésidus sédimentaire n'a pas vraiment permis de déceler de contamination toxique (Bief de Préverant, Doulonnes amont).

Une telle démarche paraît indispensables avant toute réintroduction de Pieds Blancs dans les sites qui en ont été dépourvu à causes d'altérations qui semblent avoir cessé ou qui ne sont plus connues. Dans cette optique, la mise en œuvre d'un protocole de prospection de l'habitat aquatique assez soutenu (20 placettes) et le niveau de détermination générique est nécessaires pour repérer des taxons indicateurs qui puissent servir de sentinelles du retour d'une bonne qualité optimale.

En effet, contrairement aux insectes dont les adultes sont ailés, les écrevisses ne disposent pas d'un mode de recolonisation rapide. Par conséquent, lorsque la cause de leur disparition a cessé d'agir, il est souvent nécessaire de les réintroduire volontairement étant donné la réduction en peau de chagrin de leur répartition et sauf si une population relictuelle a subsisté dans un affluent ou dans un confluent.

### **Proposition et chiffrage d'un système expert amélioré**

Les réflexions méthodologiques menées ci-dessus nous ont conduit à proposer une nouvelle version, améliorée, du système expert. Pour déterminer les causes de régression ou de limitation d'une population d'écrevisses Pieds Blancs sur un cours d'eau nous proposons donc d'appliquer l'ensemble d'investigation suivant, dont le coût a été estimé pour information.

* <i>Analyse de l'occupation des sols et de son évolution historique</i> Terrain, carte, statistique RGA, archives départementales, Photos aériennes de 3 époques. Forfait	1 000 euros HT
* <i>Qualité physique à l'échelle globale</i> Forfait pour moins de 10 km de linéaire	1 600 euros HT
* <i>Analyse cartographique standard de la qualité de l'habitat</i> Forfait 3 stations	3 600 euros HT
* <i>Thermographie</i> Fourniture et Installation d'une sonde. Dépouillement et interprétation	600 euros HT
* <i>Recherches de contamination toxiques</i> dans support à mémoire rémanente ( <i>a priori</i> sédiments) Forfait 8 prélèvements pour analyses multirésidus dont Hg et seuil de sensibilité max 10 µg/kg pour les molécules organiques.	4 800 euros HT
Complément : 8 recherches spécifiques avec seuil de quantification au 1µg/kg	1 200 euros HT
* <i>Analyse générique semi-quantitative des biocénoses benthiques.</i> 3 prélèvements MAG20. Forfait	5 600 euros HT
* <i>Synthèse</i> Diagnostic et recommandations 5 jours ingénieurs + plan de communication (4 exemplaires papier, 1 CD ROM, 2 réunions). Forfait	3 600 euros HT
<b>Total</b>	<b>22 000 euros HT</b>

L'application de ce système expert à une trentaine de sites est nécessaire pour dégager une approche diagnostique plus compacte et moins chère dont on puisse garantir l'efficacité. Parallèlement, les diagnostics effectués à cette occasion déboucheront sur des stratégies de restauration d'un nombre de cours d'eau à écrevisse suffisant pour permettre de sauver et même de reconstituer les derniers stocks d'écrevisse Pieds Blancs de la région Franche-Comté.

## Conclusions

La présente étude avait pour but de déceler les causes de régression de l'écrevisse Pieds Blancs du massif jurassien dans les cas où elles n'étaient pas flagrantes. En effet, le nombre de population mais aussi leur extension se réduisent progressivement depuis les années 1970. Par conséquent il devient urgent d'identifier les perturbations responsables de ce processus afin de pouvoir les supprimer et d'en traiter les effets.

Dans cette optique, un ensemble coordonné de mesure standard a été appliqué à une dizaine de sites dont les populations d'écrevisses ont disparu récemment. La démarche adoptée a consisté à comparer les secteurs récemment dépeuplés de Pieds blancs avec des stations amont ou proches qui en abritent encore. Le but était de mettre en évidence de façon différentielle les facteurs responsables de la disparition ou qui entravent la recolonisation. Un cas de régression rapide et 2 sites vosgiens ont également été étudiés avec le même arsenal d'investigations.

Cette approche a permis de montrer que les causes de régression de cette espèce d'écrevisse autochtone étaient la plupart du temps multiple et interférentes. Tout d'abord, d'anciens travaux de curage ou de rectification ont fragilisé les capacités auto-épuration et diminué insidieusement la qualité physique de presque tous les ruisseaux étudiés ou de leur portion aval immédiate. Cependant, la quasi-totalité des sites étudiés bénéficient encore d'une capacité habitationnelles suffisante pour permettre le développement harmonieux de tous les stades du cycle de vie de l'espèce.

Par conséquent, on en déduit que les causes de régression ou de disparition sont surtout liées à des altérations chimiques de la qualité de l'eau ou/ et des sédiments. Par ailleurs, comme les bassins versant étudiés sont tous presque entièrement forestiers, la charge de pollution oxydable subie par les cours d'eau est quasi-nulle. Cette configuration nous a conduit à suspecter dans la plupart des cas des contaminations de type toxiques.

Or, dans une grande partie des sédiments fins de ces têtes de bassins réputées référentielles, des quantités non négligeables de métaux lourds et d'Hydrocarbures Poly-Aromatiques ont été décelées. D'anciennes décharges enfouies en tête de bassin sont suspectées comme sources principales de ces contaminations. L'hypothèse de l'existence d'épandages de boues issues de STEP collectant les rejets mal traités de petites industries métallurgiques ne peut toutefois être rejetée dans tous les cas.

En outre, l'utilisation d'autres substances toxiques est suspectée dans la majorité des bassins versants étudiés. Il s'agit en particulier d'insecticides pulvérisés sur les bois stockés à proximité immédiate des cours d'eau ou de leurs affluents, temporaires ou non. Toutefois, la présence et la concentration de ces produits dans les sédiments des ruisseaux forestiers n'a pas pu être vérifié à cause des limites de détection trop hautes de la méthode choisie ainsi qu'en raison d'une maille spatio-temporelle insuffisante.

En définitive, le système expert appliqué de façon incomplète pour des raisons de financement insuffisant a tout de même permis de découvrir les causes principales de régression astacicole et donc de proposer une stratégie de restauration dans 7 cas sur 10 étudiés. Pour les trois cas restant, une réflexion critique a permis d'identifier les lacunes de connaissances à combler et les améliorations méthodologiques à apporter.

Cette étude débouche donc sur une validation partielle de la démarche diagnostique employée ainsi que sur la proposition d'un système expert révisé et renforcé. L'effort financier et technique à porter est conséquent, mais il est nécessaire pour enrayer la déliquescence continue des stocks d'écrevisses autochtones, puis pour amorcer leur reconstitution. Parallèlement cette approche constituera une prise de conscience et un guide opérationnel pour la réhabilitation des chevelus apicaux dont la qualité subit depuis 30 ans un déclin préoccupant.

## Bibliographie sommaire

- BACCHI, (1994) : Recherches sur la macrofaune benthique de la Haute Loue. Structuration des habitats. Evolutions des peuplements macrobenthiques depuis 1973. *Mém. DESS 3<sup>e</sup> Cycle. Univ. Fr.-Comté*, 41 p.+ann.
- BRAVARD J.P. & GILVEAR D.J. 1993. Structures hydro-géomorphologiques des hydrosystèmes *in* Hydrosystèmes fluviaux. Amoros C et Petts G.E. éd. Coll. écologie n°24 - Masson Paris. p 83-103.
- BRAVARD J.P. & PETTS G.E. 1993 - Interférences avec les interventions humaines *in* Hydrosystèmes fluviaux. Amoros C et Petts G.E. éd. Colle. écologie n°24 - Masson Paris. p 233-253.
- DEGIORGI F., RAYMOND J.C . CSP DR 5 2000 : Guide technique : Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante,197p. + annexes
- EDINGTON J.M., HILDREW A.G., 1981. Caseless Caddis Larvae of the British Isles. *Scient. Publ. Freswat. Biol. Ass.*, 43 : 1-91.
- ELOY A. E., GOGUILLY M., 2000. Traitement de préservation du bois dans les scieries du Haut-Doubs et qualité des eaux superficielles. *Mem. DESS Qualité et traitement des eaux, Univ. Fr. Comté*, 61 p..
- GRANDMOTTET J.P., 1983. Principales exigences des téléostéens dulcicoles vis-à-vis de l'habitat aquatique. *Annls Univ. Fr. Comté Biol* 1983;An 4(4:3-32.
- HUET, M.(1949) : Appréciation de la valeur piscicole des eaux douces. *Station de recherches de Groenendaal, Travaux-Série D* 1949;n°10.
- ILLIES J. ET BOTOSANEANU L., 1963. Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitt. internat. Verein Limnol.*, 12 : 1-57.
- INTER-AGENCES DE L'EAU (1997) : Seuils de qualité pour les micropolluants organiques et minéraux dans les eaux superficielles. *Étude IA N°65*. 21 p.
- LEBRETON J. C., 1974. Dynamique fluviale. Eyrolles éd., Paris. 209 p.
- MACARTHUR R.C., KRONE R.B., 1989. Description of fine sediment transport processes for water resources managers. *International symposium on river sedimentation - 4*, v 2 pp 1587-1595. Beijing, 6 May 1989.
- MASSA F., 2000. Sédiments, physico-chimie du compartiment interstitiel et développement embryolaire de la truite commune (*Salmo trutta*) : Etude en milieu naturel anthropisé et en conditions contrôlées. *Thèse de l'INRA de Paris Grignon à l'Université de Rennes*, 2000: 200p + annexes
- PARMENTIER E., 1994. Étude de la biocénose benthique du Drugeon. Application d'un nouveau protocole d'échantillonnage. Bilan de qualité habitacionnelle. Analyse biocénotique générique. Bilan de qualité faunistique. *Mém. DUEHH, Lab. Hydrobiol. Univ. Fr-Comté* ; 69 p. + ann.
- PETTS G.E., BRAVARD J.P., 1993. Le réseau hydrographique dans le bassin versant *in* Hydrosystèmes fluviaux. Amoros C et Petts G.E. éd. Coll. écologie n°24 - Masson Paris. p 21-41.

- POUILLY M., VALENTIN S. CAPRA H., GINOT V., SOUCHON Y. 1995. Note technique : Méthode des microhabitats, principes et protocoles d'application. Bull. Franç. Pêche. Pisc., 336, 41-54.
- ROSGEN D., 1996. Applied River Morphology. Wildland hydrology éd. 240 p.
- SOUCHON Y., TROCHERIE F., FRAGNOUD E., LASCOMBE C., 1989. Les modèles numériques des microhabitats des poissons : application et nouveaux développements. Rev. Sc. Eaux 1989 ;2 :807-830.
- TACHET H., RICHOUX P., BOURNAUD M., USSEGLIO-POLATERA P. 2000. Invertébrés d'eau douce- Systématique, biologie et écologie. CNRS Editions. 588 p.
- TELEOS, 2000. Suivi technique et scientifique de l'impact des travaux de restauration du Dugeon sur sa qualité physique et ses capacité biogènes. Syndicat mixte de la Vallée du Dugeon et du Plateau de Frasne. 88 p. + annexes.
- TELEOS, 2001. Estimation des gains biologiques et morphodynamiques obtenus par la restauration du Dugeon. Syndicat mixte de la Vallée du Dugeon et du Plateau de Frasne. 58 p. + annexes.
- VERNEAUX J., 1973. Cours d'eaux de Franche-Comté. Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs- Essai de biotypologie. Mém. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Besançon, 260 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.A.S. 283 :1791-1793.
- VERNEAUX J., 1981. Le poisson et la qualité des cours d'eau. Annls Univ. Fr. Comté 1981;Biol An 4:33-41

## **Annexes (sur fascicule séparé)**

- Annexe 1 : évolution temporelle de la répartition des Pieds Blancs dans le département du Jura.
- Annexe 2 : cartographie des mosaïques d'habitat aquatique des 4 stations de l'atelier du Froideau et du Sarron.
- Annexe 3 : évolution de l'occupation des sols des bassins versant étudiés.
- Annexe 4 : résultats des analyses multirésidus des sédiments prélevé dans l'atelier du du Froideau et du Sarron.
- Annexe 5 : cartographie des mosaïques d'habitat aquatique des 4 stations de l'atelier du Lizon et du Bief de Préverant.
- Annexe 6 : résultats des analyses multirésidus des sédiments prélevé dans l'atelier du du Lizon et du Bief de Préverant.
- Annexe 7 : cartographie des mosaïques d'habitat aquatique des 3 stations de l'atelier des Doulonnes et de la Clauge.
- Annexe 8 : résultats des analyses multirésidus des sédiments prélevé dans l'atelier du des Doulonnes et de la Clauge.
- Annexe 9 : cartographie des mosaïques d'habitat aquatique de la station à écrevisse du ru d'Ivrey.