



**HAL**  
open science

# Etat initial et suivi après restauration des affluents de la Clauge forestière apicale entre 2006 et 2008 puis 2015 et 2019

François Degiorgi

## ► To cite this version:

François Degiorgi. Etat initial et suivi après restauration des affluents de la Clauge forestière apicale entre 2006 et 2008 puis 2015 et 2019. 2019, pp.87. hal-04764192

**HAL Id: hal-04764192**

**<https://hal.science/hal-04764192v1>**

Submitted on 3 Nov 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



*Programme de restauration des écoulements hydriques et de la réserve en eau des sols du BV de la Clauge à l'amont de la Vieille Loye (forêt de Chaux, 39)*

## Etat initial et suivi des affluents de la Clauge forestière apicale entre 2006 et 2008 puis 2015 et 2019



François DEGIORGI (Laboratoire Chrono-environnement et BE Teleos)

Eric LUCOT (Laboratoire Chrono-environnement)

Audrey BOLARD (Laboratoire de Chrono-environnement)

Michael GOGUILLY (BE Sialis)

Hervé Décourcière (BE Teleos)

Jonathan Paris (BE Teleos)



## Sommaire

<b>1. INTRODUCTION : CONTEXTE, PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS.....</b>	<b>5</b>
1-1. LE TARISSEMENT DE LA CLAUGE FORESTIERE APICALE .....	5
1-2. RESTAURATION DES AFFLUENTS TEMPORAIRES DE LA CLAUGE APICALE .....	6
1-3. EVALUATION DE L'EFFICACITE DE LA RESTAURATION.....	7
<b>2. CONTENU ET ARTICULATION DE L'ETUDE.....</b>	<b>8</b>
2-1. RAPPEL DE LA DEMARCHE DE RESTAURATION.....	8
<i>Etat actuel de la Clauge.....</i>	8
<i>Etat physique des affluents .....</i>	9
<i>Stratégie et modalités de restauration.....</i>	9
2-2. DISPOSITIF D'EVALUATION ET DE SUIVI DE L'EFFET DES RESTAURATIONS .....	12
<i>Principe et articulation des investigations .....</i>	12
<i>Mailles spatio-temporelles d'étude.....</i>	12
<i>Protocoles de prélèvement ou de mesures et méthode d'études.....</i>	15
<b>3. IMPACTS HYDROLOGIQUES ET MORPHOLOGIQUES .....</b>	<b>18</b>
3-1. IMPACTS HYDROLOGIQUES .....	18
<i>Climatologie.....</i>	18
<i>Hydrométrie et limnigraphie de la Clauge non restaurée.....</i>	20
<i>Hydrométrie et piézométrie des affluents.....</i>	21
3-2. AMELIORATION DE LA QUALITE PHYSIQUE.....	22
<i>Principe de l'analyse de la qualité physiques et tendances globales .....</i>	22
<i>Adaptation de l'IAM aux ruisseaux temporaires forestiers .....</i>	24
<i>Bilan de l'impact des travaux sur la qualité physique potentielle.....</i>	25
<i>Mécanismes d'amélioration de l'habitat aquatique .....</i>	26
<b>4. IMPACTS DES RESTAURATION SUR LES PEUPELEMENTS BENTHIQUES .....</b>	<b>29</b>
4-1. PRINCIPES DES COMPARAISONS AVANT ET APRES TRAVAUX.....	29
4-2. ANALYSES DU BENTHOS DU RUISSEAU TEMOIN (N°23).....	30
<i>Benthos de la station amont du ruisseau témoin.....</i>	30
<i>Benthos de la station aval du ruisseau témoin.....</i>	31
4-3. ANALYSE DU BENTHOS DES RUISSEAUX RESTAURES EN 2007/2008 .....	31
<i>Structures spatio-temporelle du benthos de la Sommière du Moulin.....</i>	32
<i>Structures spatio-temporelle du benthos de la Verne Fendue.....</i>	33
<i>Bilan sur l'évolution du benthos des ruisseaux restaurés en 2007 et2008 .....</i>	34

4-4. ANALYSES DU BENTHOS DU RUISSEAU DU COULON.....	34
<i>Structures spatio-temporelles du benthos du Coulon amont.....</i>	34
<i>Structures spatio-temporelles du benthos du Coulon aval.....</i>	35
<i>Bilan sur l'évolution spatio-temporelle du benthos du ruisseau du Coulon.....</i>	37
4-5. EVOLUTION DU BENTHOS DU RUISSEAU DU SAUGET.....	37
<i>Structures spatio-temporelles du benthos du Sauget amont.....</i>	37
<i>Structures spatio-temporelles du benthos du Sauget aval.....</i>	38
<i>Bilan sur l'évolution spatio-temporelle du benthos du ruisseau du Sauget.....</i>	39
4-6. ANALYSES DU BENTHOS DE LA CLAUGE APICALE.....	40
<i>Structures spatio-temporelles du benthos de la station « Clauge amont ».....</i>	40
<i>Structures spatio-temporelles du benthos de la station « Clauge médiane».....</i>	41
<i>Bilan sur l'évolution spatio-temporelle du benthos de la Clauge apicale.....</i>	44
<i>Bilan partiel du suivi des effets sur le benthos de la restauration des affluents.....</i>	46
<b>5. INVENTAIRES SPECIFIQUES EPT.....</b>	<b>47</b>
5-1. APPORT DES CHASSES IMAGINALES.....	47
<i>Richesse spécifique potentielle et biodiversité des EPT.....</i>	47
<i>Différences entre inventaires par chasses d'images et prélèvements benthiques.....</i>	48
<i>Intérêt des inventaires spécifiques par deux approches combinées.....</i>	48
5-2. EVOLUTION STATIONNELLE DE LA RICHESSE SPECIFIQUE EPT.....	49
<i>Richesse spécifique en EPT des ruisseaux restaurés entre 2006 et 2008.....</i>	49
<i>Richesse spécifique en EPT du ruisseau du Coulon et du Sauget.....</i>	49
<i>Richesse spécifique en EPT de la Clauge apicale (en aval du CD31).....</i>	50
<i>Bilan sur l'apport des chasses imaginaires.....</i>	51
5-3. ECOLOGIE DES ESPECES D'EPT DES RUISSEAUX TEMPORAIRES.....	52
<i>Adaptations à l'intermittence des écoulements.....</i>	52
<i>Statut de protection et intérêt patrimonial.....</i>	55
<i>Bioindications et typologie des espèces EPT capturées.....</i>	57
<b>6. SUIVI DES POTENTIELS BATRACLES EN 2018 ET 2019.....</b>	<b>59</b>
6-1. BIODIVERSITE DES AMPHIBIENS DE LA FORET DE CHAUX.....	59
<i>Composition qualitative des peuplements batracles.....</i>	59
<i>Facteurs de mortalités d'origine anthropiques.....</i>	59
<i>Répartition et limitations des potentiels batracles avant restauration.....</i>	60
6-2. SUIVI DES POTENTIELS BATRACLES APRES RESTAURATION.....	60
<i>Protocole de comptage et d'observation.....</i>	60
<i>Comparaison des potentiels batracles des ruisseaux restaurés et témoin en 2018.....</i>	61
<i>Comparaison des potentiels batracles des ruisseaux restaurés et témoin en 2018.....</i>	62
6-3. BILAN DES EFFETS DES RESTAURATION SUR LES POTENTIELS BATRACLES.....	63
<i>Impacts quantitatifs sur les grenouilles rousses et salamandres.....</i>	63
<i>Impacts qualitatifs sur les autres amphibiens de la forêt de Chaux.....</i>	64

<b>7. BILAN ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>65</b>
7-1. BILAN SUR L'IMPACT DES TRAVAUX DE RESTAURATION DES AFFLUENTS.....	65
<i>Effets de la restaurations des affluents sur leurs capacités biogènes.....</i>	<i>65</i>
<i>Effets de la restaurations des affluents sur la Clauge apicale.....</i>	<i>66</i>
7-2. BILAN SUR LA METHODOLOGIE DU SUIVI.....	67
<i>Choix du domaine d'étude et des bioindicateurs.....</i>	<i>67</i>
<i>Modalités temporelles adaptées aux cours d'eau temporaires.....</i>	<i>67</i>
<i>Modalités spatiales adaptées aux cours d'eau temporaires.....</i>	<i>67</i>
<i>Suivi batracologique.....</i>	<i>68</i>
7-3. PERSPECTIVES SUR LA RESTAURATION DES ECOULEMENT ET SON SUIVI.....	69
 <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	 <b>70</b>
 <b>ANNEXES .....</b>	 <b>75</b>
ANNEXE 1. PHOTOS DES RUISSEAUX RECTIFIES ET RESTAURES. ....	75
A1-1. <i>Photo d'un affluent rectifié et incisé (n° 23, témoin).....</i>	<i>75</i>
A1-2. <i>Photo d'un affluent restauré par comblement total du chenal rectiligne.....</i>	<i>76</i>
A1-3. <i>Photo d'un affluent restauré par oblitérations partielle à l'aide de bouchons.....</i>	<i>76</i>
A1-4. <i>Photo du rehaussement de la lame d'eau à l'aide d'embacles artificiels ancrés.....</i>	<i>77</i>
A1-5. <i>Photo du rehaussement de la lame d'eau à l'aide de triplet de bancs de graviers galets .....</i>	<i>77</i>
ANNEXE 2. CARTES IAM DES RUISSEAUX AVANT RESTAURATION ET TEMOIN .....	78
ANNEXE 3. CARTES IAM DES RUISSEAUX RESTAURES .....	82
ANNEXE 4 : CARTES IAM DE LA CLAUGE APICALE AVANT RESTAURATION.....	85
ANNEXE 5 : CAPTURE DES IMAGOS.....	87

# Etat initial et suivi des affluents de la Clauge forestière apicale de 2005 à 2020

## 1. Introduction : contexte, problématique et objectifs

### 1-1. Le tarissement de la Clauge forestière apicale

La Clauge prend sa source à 274 mètres d'altitude en plein cœur de la forêt de Chaux (fig. 1). Elle s'écoule sur un linéaire de 23 kilomètres, en grande partie sur des alluvions siliceuses d'origine alpine et vosgienne, avant de confluer avec le Doubs. Ces caractéristiques lui confèrent des potentiels écologiques contrastés et un fort intérêt comme réserve d'eau potable.

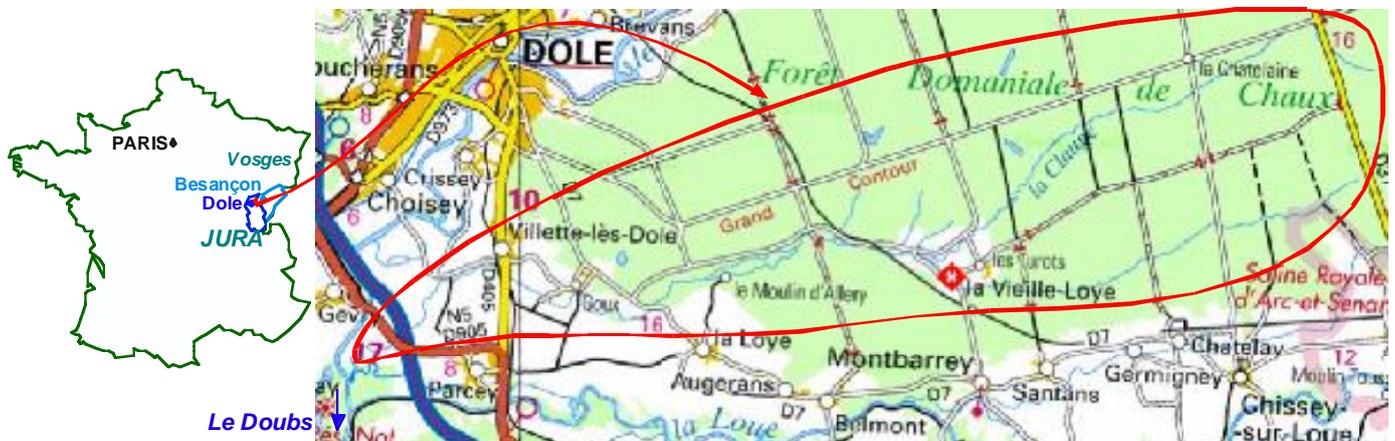


Figure 1. Localisation du bassin versant de la Clauge apicale

Cependant, sur sa partie aval, cette rivière a été rectifiée, recalibrée et curée à plusieurs reprises. En outre, **les parties apicale et médiane de la Clauge**, malgré leurs tracés encore méandriques et leurs versants uniquement forestiers, **s'assèchent désormais 6 mois par an. Or ce linéaire de plus de 11 km était encore hydrologiquement pérenne dans les années 1970'** (fig. 2, d'après Verneaux 1973 et Teleos 2001).

En première approche, ce processus d'assèchement a pu être relié à la diminution de la réserve en eau des sols, elle-même induite par les travaux « d'assainissement » hydraulique dont a été victime la forêt de Chaux dans les années 1950' à 1970' (Lucot et al. 2009). **Ainsi, la rectification ou / et le curage systématiques de tous les affluents temporaires**, combinés au creusement d'un réseau de fossés de drainage très dense se sont traduits par la réduction drastique de la durée de leur hydropériode. La forte diminution du pouvoir de rétention en eau dans les vallons a encore été amplifiée par l'érosion induite ou amorcée par ces travaux d'aménagement hydraulique.

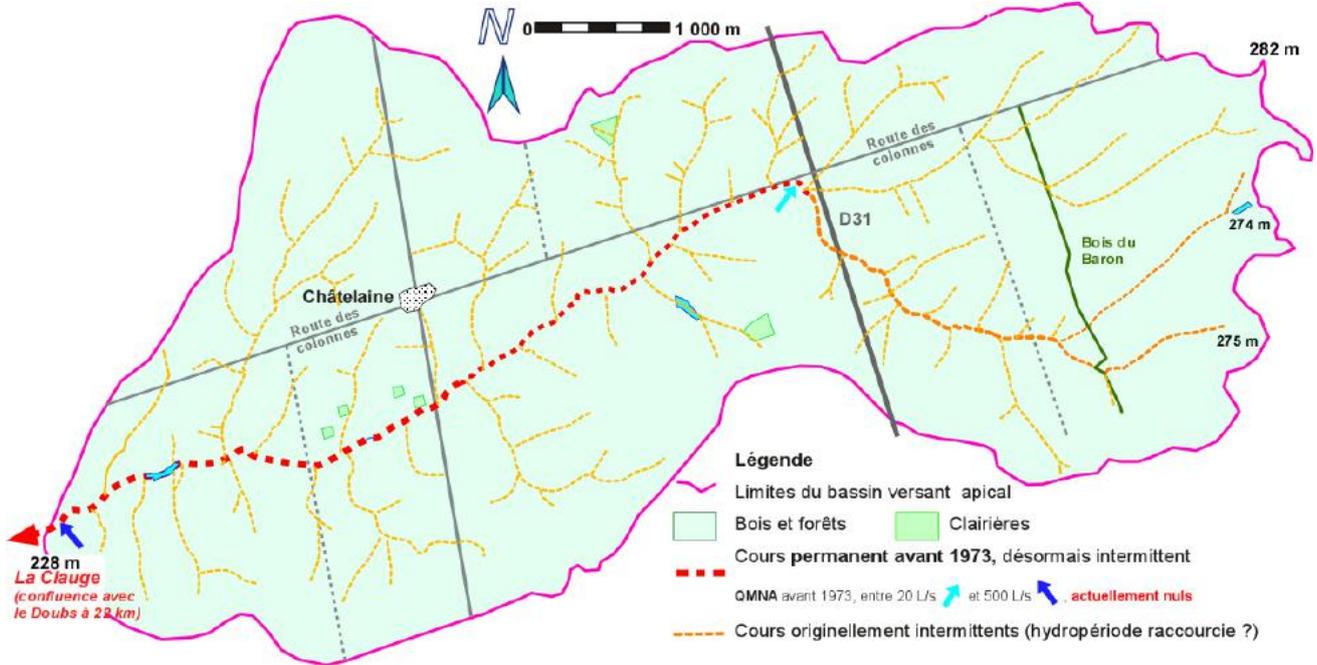


Figure 2. Chevelu hydrographique de la Clauge apicale forestière montrant la portion du cours d'eau jadis pérenne mais asséché depuis les années 1970

## 1-2. Restauration des affluents temporaires de la Clauge Apicale

Aussi, pour reconstituer une partie des réserves en eau de ce bassin versant, un programme de restauration des affluents temporaires de ce cours d'eau a été initié entre 2005 et 2008 dans le cadre du LIFE « Têtes de bassin ». Il a été continué et amplifié entre 2014 et 2019 grâce à la collaboration étroite entre l'ONF, l'Agence de l'Eau RMC et l'Université de Franche-Comté. Ces opérations ont permis de restaurer une soixantaine d'affluents et de contre-affluents de la Clauge entre 2007 et 2018 (fig. 3).

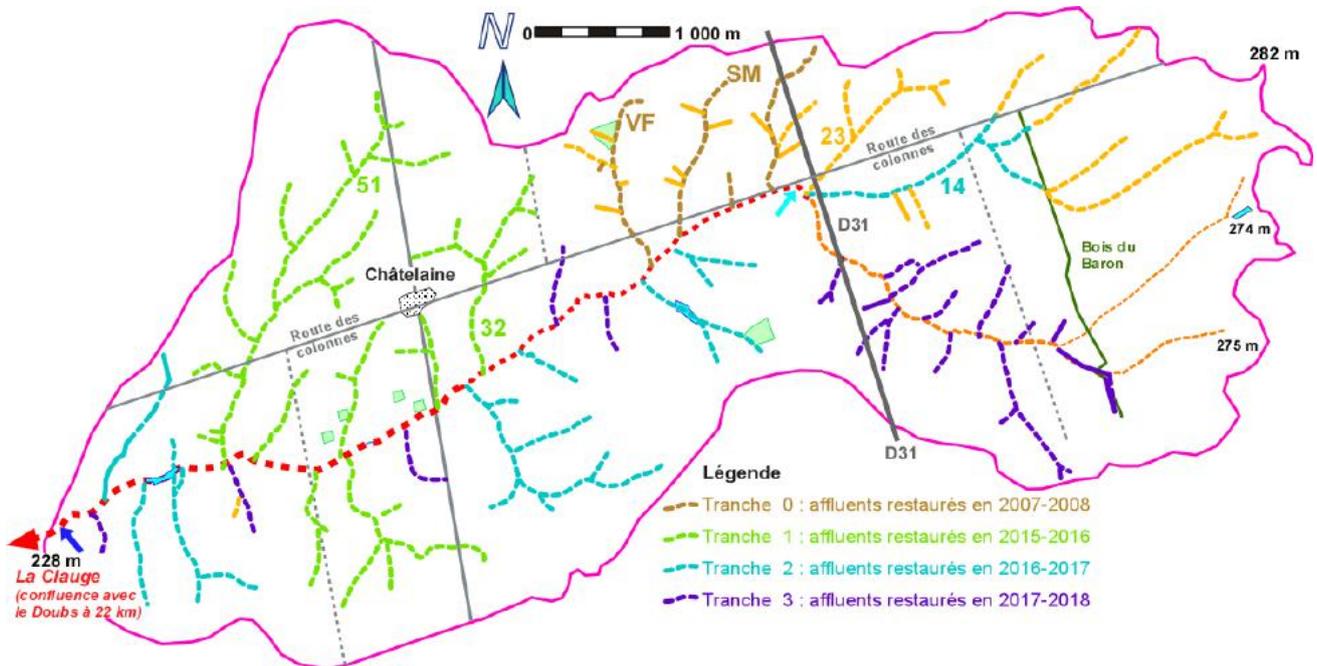


Figure 3. Affluents restaurés au cours des 4 tranches de travaux mis en œuvre dans la forêt de Chauv ; les affluents suivis sont signalés par des chiffres (14, 23, 32, 51) ou par des lettres (SM, VF).

En tout, plus de 42 kilomètres de linéaire ont été réaménagés (tab. 1). Ces travaux ont été mis en œuvre suivant des techniques originales, déclinées en fonction de la morphologie du secteur considéré, des pressions chenalisatrices qu'il a subies, ainsi que de la nature des pratiques sylvicoles (cf. § 2-1.2).

Tableau 1. Bilan du nombre et du linéaire de ruisseaux restaurés au cours des 4 tranches de travaux

Tranches	2006-2008	20015-2016	2016-2017	2018	Total
Nombre d'affluents	4	7	9	17	37
Nombre de contre-affluents	0	21	8	2	31
Nombre de ruisseaux	4	28	17	19	<b>68</b>
Linéaire d'affluents (m)	4018	9928	9282	8305	31533
Linéaire de contre-affluents (m)	0	7649	3059	517	11225
Linéaire total	4018	17577	12341	8822	<b>42758</b>

### 1-3. Evaluation de l'efficacité de la restauration

Pour évaluer les gains en matière de réserves en eau et de reconquête de la biodiversité, un dispositif d'évaluation de l'efficacité des travaux a été mis en œuvre. Il a d'abord été appliqué de 2006 à 2008 aux parties apicales et basales des affluents restaurés à cette époque et à 2 stations sur la Clauge apicale encadrant leur confluence ainsi qu'à un ruisseau « témoin » non restauré. Il a ensuite été repris entre 2015 et 2019 après avoir été étendu aux parties apicales et basales de 2 autres affluents restaurés ainsi qu'à une 3<sup>ème</sup> station sur la Clauge, à l'aval du confluent le plus aval.

Sur ces 10 sites d'études, des mesures biologiques et des mesures physiques ont été appliquées d'abord à l'état avant travaux puis au cours d'un suivi annuel :

- analyse de la composition, de l'abondance et de la richesse du benthos ;
- inventaire de la faune imaginaire de 3 ordres d'insectes à larve aquatique ;
- mesures de la qualité des mosaïques d'habitats aquatiques pendant l'hydropériode ;
- mesures piézométrique et pédologiques conjointes (cf. Lucot 2021)

Les objectifs de ce présent rapport sont donc les suivants :

- + décrire les principes de la démarche de restauration, ainsi que la méthodologie et le crible méthodologique appliqués ;
- + caractériser l'état des potentiels écologique de la Clauge apicale et de ses affluents avant puis après travaux ;
- + en déduire l'efficacité à court et moyen termes de la restauration ;
- + proposer une méthode de diagnose et de suivi au cours d'eau temporaire.

## 2. Contenu et articulation de l'étude

### 2-1. Rappel de la démarche de restauration

#### Etat actuel de la Clauge

L'état de santé écologique de la Clauge apicale, que se soit sur le plan de ses ressources en eau comme sur celui de ses potentiels biogènes est étroitement lié à celui de ses multiples affluents temporaires. Réciproquement, la Clauge jadis permanente devait jouer un rôle de réservoir biologique en abritant un stock de poissons et de macroinvertébrés aptes à recoloniser les ruisseaux temporaires après les périodes d'assec même les plus prolongées.

Or, la composition des peuplements piscicoles et entomologiques de la Clauge apicale observée entre 1969 et 1972 (Verneaux 1973) puis entre 2003 et 2006 (Degiorgi et al. 2008) sur le même triplet de station s'est fortement dégradée. Cette comparaison montre un effondrement drastique de la biodiversité entomologique (tab 1).

Tableau 2. Comparaison des compositions des peuplements d'éphéméroptères, plécoptères et trichoptères (EPT) échantillonnés sur 3 stations de la Haute-Clauge, respectivement avant 1973 (Verneaux 1973) et au début des années 2000 (Degiorgi et al. 2008)

Ordre	Espèce	1973	2006	Ordre	Espèce	1973	2006
E	<i>Baetis rhodani</i>			T	<i>Polycentropus flavomaculatus</i>		
	<i>Habrophlebia fusca</i>				<i>Oligostomis reticulata</i>		
	<i>Seratella ignita</i>				<i>Oligotricha striata</i>		
P	<i>Brachyptera risi</i>				<i>Phryganea grandis</i>		
	<i>Amphinemura sulcicollis</i>				<i>Ironoquia dubia</i>		
	<i>Nemoura avicularis</i>				<i>Limnephilus rhombicus</i>		
	<i>Nemoura cinerea</i>				<i>Glyphotaelius pellucidus</i>		
	<i>Nemurella picteti</i>				<i>Anabolia nervosa</i>		
					<i>Grammotaulius nigropunctatus</i>		
					<i>Hydatophylax infumatus</i>		
					<i>Notidobia ciliaris</i>		
					<i>Limnephilus centralis</i>		
					<i>Limnephilus auricula</i>		
					<i>Stenophylax permistus</i>		

**19 espèces EPT en 1973**

**=> 1 + 3 en 2006**

En effet, la richesse spécifique des éphéméroptères trichoptères et plécoptères passe de **19 avant 1973** à **4 au début des années 2000**. La quasi totalité des espèces électives des zones à truite forestières pérennes ont disparu. Les 4 espèces relictuelles ont un cycle de vie adapté aux cours d'eau temporaires, voire éphémères, de même que les 3 espèces de trichoptères qui sont « apparues » récemment.

Corrélativement, le chabot (*Cottus gobio*), la truite (*Salmo trutta fario*), et la lamproie de Planer (*Lampetra planeri*), qui étaient présents et abondants à la fin des années 1960 à l'amont de la Vieille Loye et jusqu'à l'aval proche de la route D31 (Verneaux 1973), ont disparu. Seules quelques loches et des vairons erratiques peuvent être capturés dans la Clauge apicale, mais seulement à l'aval de l'étang du Sauguet, et uniquement durant les période très humides, en dehors desquelles le chenal est à sec jusqu'à la Vieille Loye.

De la même façon, l'écrevisse Pied Blanc (*Austropotamobius pallipes*) présente jusque dans les années 1960, a complètement disparu de la Clauge. La forte dégradation des capacités biogène qui est observées est due à la diminution des débits d'étiage, réduits à néant en amont de la Vieille Loye, et fortement amoindris plus en aval.

### Etat physique des affluents

Or, l'assèchement des débits d'étiage de la Clauge apicale est lié non seulement à l'artificialisation de son cours (Degiorgi et al. 2020), mais aussi au drainage intensif des parcelles forestières (Lucot et al., 2007, Degiorgi et al. 2008). Entre les années 1950 et les années 1980 un réseau de fossé a en effet été creusé, tandis que la presque totalité des affluents et contre-affluents de la Clauge apicale était rectifiée ou curée, parfois à plusieurs reprises (fig. 4 ; annexe 1).

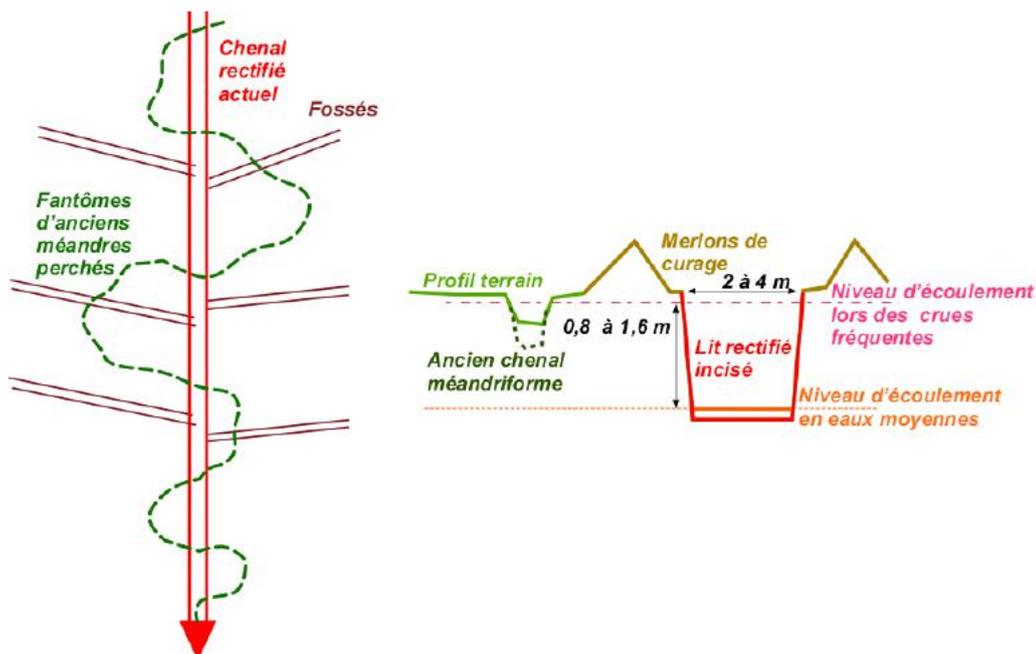


Figure 4. Vue schématique en plan (à gauche) et en profi (à droite) des affluents rectifiés

Ces travaux ont provoqué pour l'ensemble du chevelu hydrographique l'abaissement des niveaux des nappes d'accompagnement et l'accentuation de la vitesse et de la durée du tarissement des ruisseaux temporaires (Lucot et al. 2007). L'érosion induite par l'accroissement des débits de crue dans les chenaux a encore aggravé ce processus qui continue de cette façon de s'accroître.

### Stratégie et modalités de restauration

Pour reconstituer les réserves en eau du sol, allonger l'hydropériode des ruisseaux temporaire et finalement rendre à nouveau pérenne la Clauge en amont de la Vieille Loye, il a été décidé de réaménager d'abord le réseau d'affluents. Dans cette optique, une stratégie de restauration intégrée a été conçue de façon à rehausser l'altitude et à resserrer la largeur des écoulements de surface, en s'adaptant à la morphologie des lits artificialisés et de leur berge, aux types d'altérations subies, à l'intensité de l'érosion induite ainsi qu'aux contraintes de la gestion forestière.

Dans cette optique, trois modalités ont été mises en œuvre, tronçon par tronçon, en les choisissant et en les articulant en fonction des configurations suivantes.

1. Le chenal a été rectifié, les merlons de curage sont encore présents sans être colonisés par de gros arbres, les anciens méandres sont ou non encore visibles.

=> **Comblement du lit rectiligne et réactivation des méandres sans recreusement ou creusement ménagé d'un lit guide méandrique sous-dimensionné (fig. 5)**

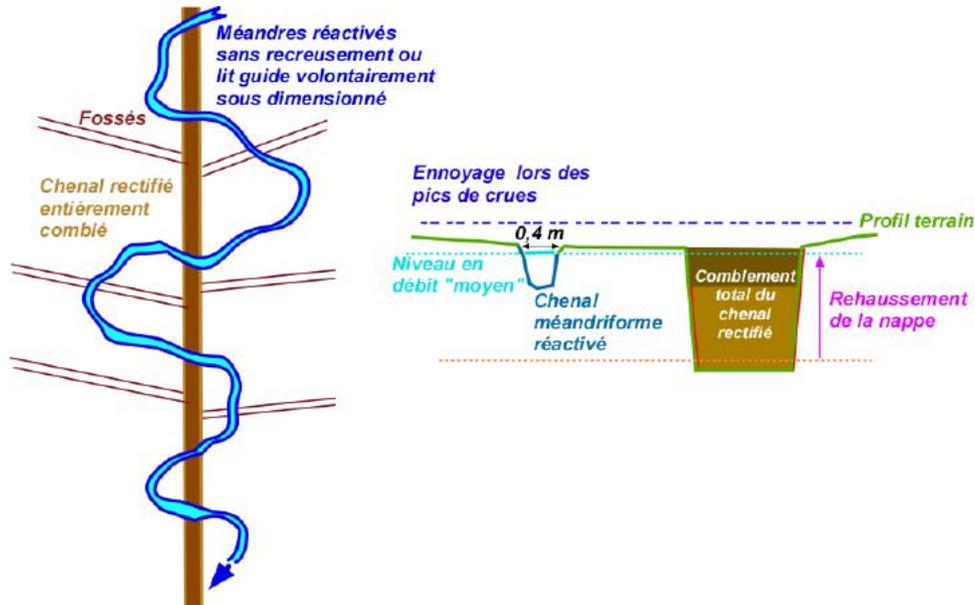


Figure 5. Vue schématique en plan (à gauche) et en profil (à droite) des ruisseaux restaurés par comblement total du lit rectiligne

2. Le chenal a été rectifié, les anciens méandres sont ou non encore visibles mais les merlons ont été exportés ou érodés ou et colonisés par des arbres importants.

=> **Oblitération partielle du lit rectiligne à l'aide de bouchons en escalier et réactivation des méandres comme ci-dessus (fig. 6 - 7).**

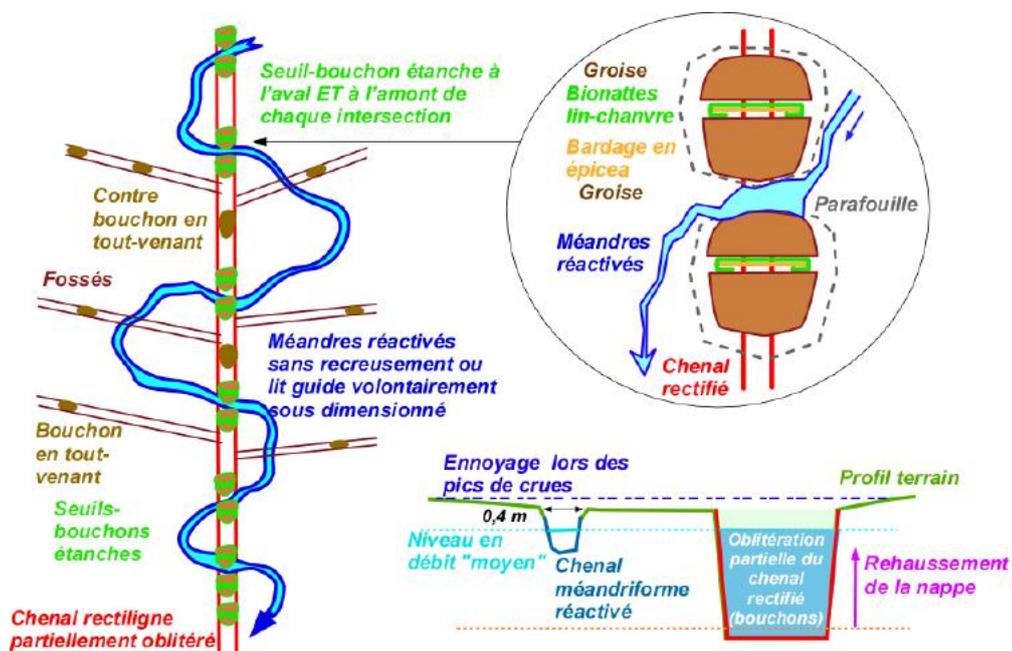


Figure 6. Vue schématique en plan (à gauche et en haut) et en profil (en bas à droite) des ruisseaux temporaires restaurés par oblitération du lit rectifié à l'aide d'une série de bouchons étanches

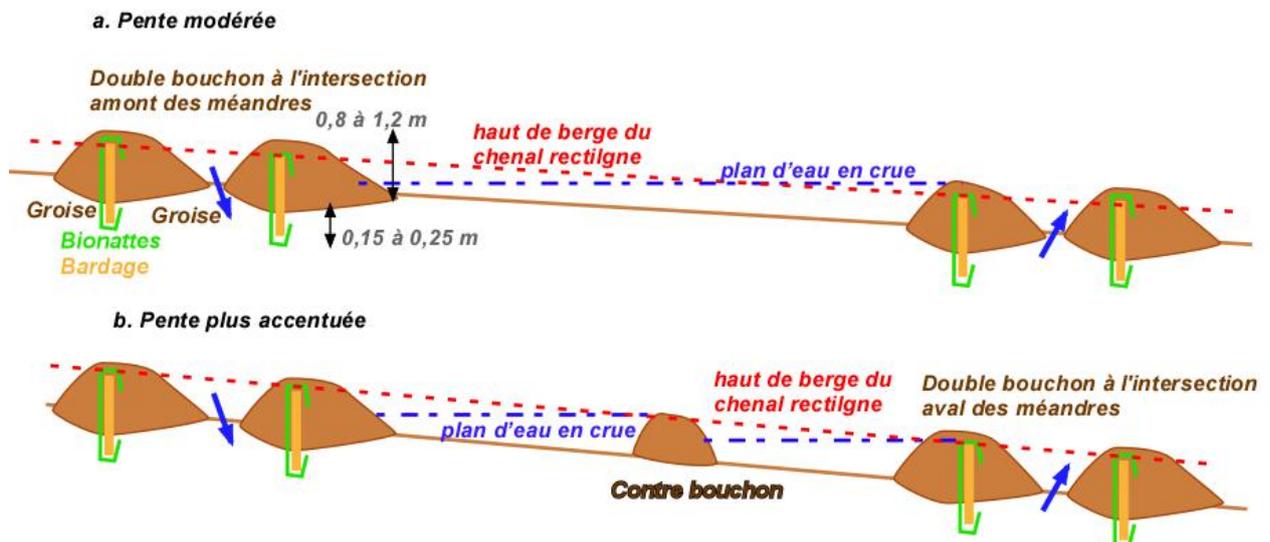


Figure 7. Profil en long d'une succession de double bouchons en escalier oblitérant partiellement le chenal rectiligne quand il n'est pas possible de le combler complètement

3. Le chenal a été seulement curé et enfoncé mais pas rectifié, les merlons de curage ont été exportés ou érodés ou et colonisés par des arbres exploitables.
- => Rehaussement et resserrement de la lame d'eau et diversification des mosaïques d'habitats aquatiques à l'aide de recharges en gravier ou galet ainsi que d'embâcles fixés et semi-enterrés (fig. 8).

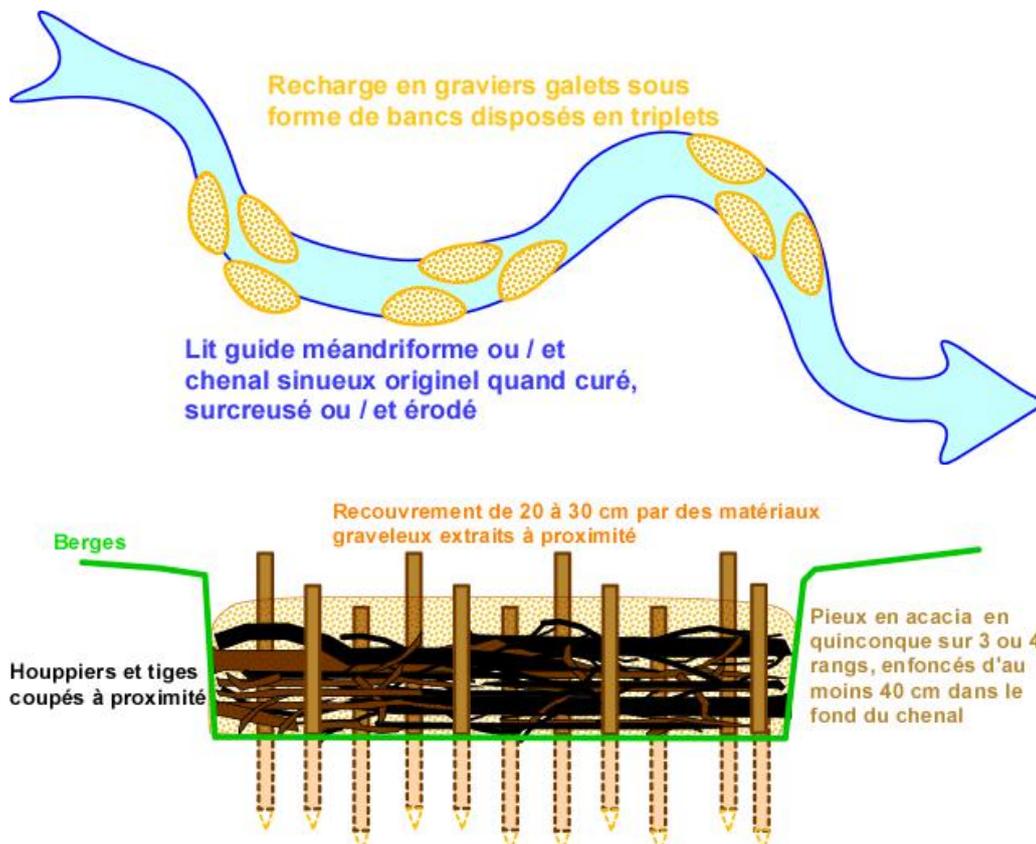


Figure 8. Schéma de principe du rehaussement et du resserrement de la lame d'eau des ruisseaux temporaire curés et incisés mais non rectifiés ; en haut recharge en galets ou et graviers sous forme de triplets de bancs ; en bas embâcle artificiel ancré et semi enfoui.

## 2-2. Dispositif d'évaluation et de suivi de l'effet des restaurations

### Principe et articulation des investigations

Les effets des travaux de restauration ont été évalués et suivi dans le temps à l'aide de 5 séries d'investigations appliquées **avant et après restauration** sur les ruisseaux aménagés, ainsi que sur 2 ruisseaux **témoins** et sur la **Clauge** elle-même.

1. Les capacités biogènes globales des ruisseaux ont été mesurées à l'aide **d'analyses quantitatives de la communauté de macroinvertébrés benthiques** échantillonnées au moment où les ruisseaux sont en eau depuis plusieurs mois.
2. En complément, les **adultes aériens de 3 ordres d'insectes à larve aquatique, les éphéméroptère, les plécoptères et les trichoptères**, ont également été inventoriés à l'espèce, à l'aide de chasse effectuées tout au long de l'année dans les vallons.
3. L'évolution des **potentiels batracoles** des affluents a aussi été étudiée à l'aide de comptages standardisés effectués durant la période de reproduction des espèces d'amphibiens majoritaires, entre février et mai.
4. En parallèle, la **morphologie et la dynamique des ruisseaux** ont été caractérisées à l'aide de cartographies standard permettant de calculer puis de comparer dans le temps et dans l'espace un Indice d'Attractivité Morphodynamiques (IAM)
5. Enfin, des mesures piézométriques ont permis de suivre l'augmentation des **durées d'inondation des vallons et d'hydropériodes** des cours d'eau ainsi que des durées de **présence et de profondeurs des nappes** (Lucot *et al.* 2009, 2011, 2020).

### Mailles spatio-temporelles d'étude

Les investigations ont été appliquées sur 1 à 3 stations par ruisseaux étudiés. La maille spatiale a été conçue de façon à balayer les deux grandes catégories de sous-sol traversée par les cours d'eau. En effet les parties amont des affluents s'écoulent sur des platis limoneux (sols relativement étanches) tandis que la partie aval des vallons entament le cailloutis proprement dit (sols plus hétérogène et souvent plus poreux).

Ruisseaux	Code	Surf. BV (ha)	Années des travaux
Témoins (affluent Clauge)	T-23 amont	43,2	néant
	T-23 aval	68,5	
Sommière du Moulin	SM	29,3	2006 (2007)
Verne Fendue	VF	51,7	2007-(2008)
Coulon	32 amont	44,9	2015 (2016)
	32 aval	92,3	
Sauget	51 amont	284,9	(2015) 2016
	51 aval	357,5	

Tableau 3. Surface des bassins versant des affluents de la Clauge étudiés dans le cadre du suivi de l'efficacité des travaux de restauration des écoulements hydriques

En outre, l'importance et la durée de l'alimentation des ruisseaux dépendent de la taille de leurs bassins versants (tab. 3). Par conséquent, 2 stations d'étude du benthos et de la piézométrie ont été suivies sur chacun des affluents : une sur la partie amont et une sur la partie aval (fig. 9). Parallèlement, 2 puis 3 stations de suivi ont été implantées sur la Clauge apicale non encore restaurée et elle aussi intermittente, pour évaluer les éventuels effets de la restauration des affluents sur le cours principal.

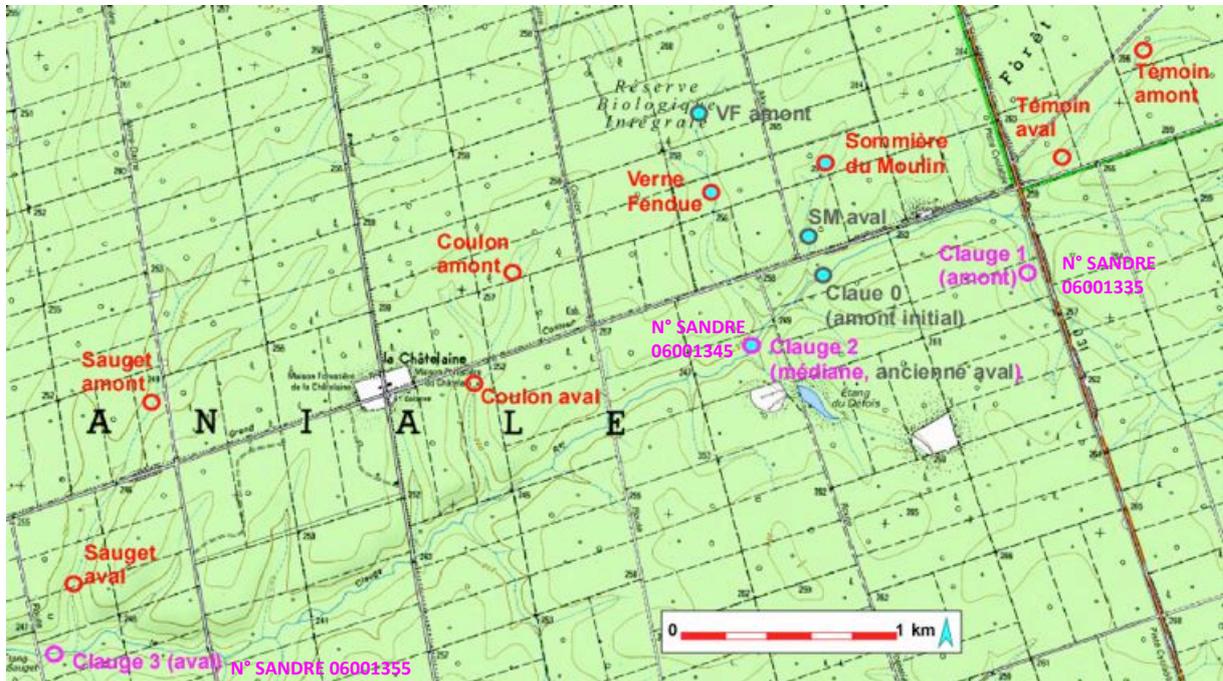


Figure 9. Localisation des stations de suivi de l'effet des travaux de restauration des affluents temporaires de la Clauge : **en rouge ; stations reprises ou ajoutées sur les affluents entre 2015 et 2019**  
**centrée couleur cyan stations étudiées entre 2006 et 2009**  
**en gris stations de 2006/2009 abandonnées ou déplacées en 2015**  
**en magenta les stations de suivi reprise ou ajoutée sur la Clauge apicale**

Le suivi a été effectué durant deux périodes disjointes :

1. Entre 2006 et 2009, 4 affluents ayant été restaurés, le suivi a été appliqué à la Sommière du Moulin (restaurée en 2007) et à la Verne Fendue (restaurée en 2008), ainsi qu'à la Clauge en amont et en aval des confluences de ces 2 ruisseaux.
2. Entre 2015 et 2019, presque tous les autres affluents du chevelu apical de la Clauge ont été restaurés, sauf le ruisseau n° 23, considérés comme témoin dès 2009. Aussi, dès 2015, 2 ruisseaux supplémentaires (n° 32 et 51) en plus du n°23 sont suivis sur 2 sites par cours d'eau, tandis qu'une 3ème station d'étude est rajoutée dans la Clauge.

Par conséquent, la maille spatiale installée en 2006 et suivie jusqu'en 2009 a été partiellement reprise et étoffée à partir de 2015, date de la relance du programme de restauration étendue à plusieurs dizaines de ruisseaux. En revanche, le dispositif de suivi des 2 ruisseaux restaurés en 2007 et 2008, la Sommière du Moulin et la Verne Fendue, a été réduit à une seule station par ruisseau.

Parallèlement, entre les 2 périodes de suivi, la station « Clauge amont » a été déplacée à l'amont de la confluence avec le ruisseau 14, dont le bassin versant s'étend sur 3600 ha et qui a été restauré dès 2016. En complément, une station de suivi a été ajoutée sur la Clauge à l'aval du ruisseau du Sauguet, qui constitue pour l'instant un des ruisseaux restaurés le plus en aval du chevelu hydrographique considéré (cf. fig. 3 et 9).

A partir de 2018, deux stations témoins supplémentaires ont été rajoutées sur un affluent de la Tanche apicale (fig. 10). Toutefois, comme ce ruisseau été complètement sec en avril 2019 et qu'il n'a pu être échantillonné qu'en 2020, il ne pourra être utilisé avant le suivi qui devrait être prolongé de 2021 et 2022.

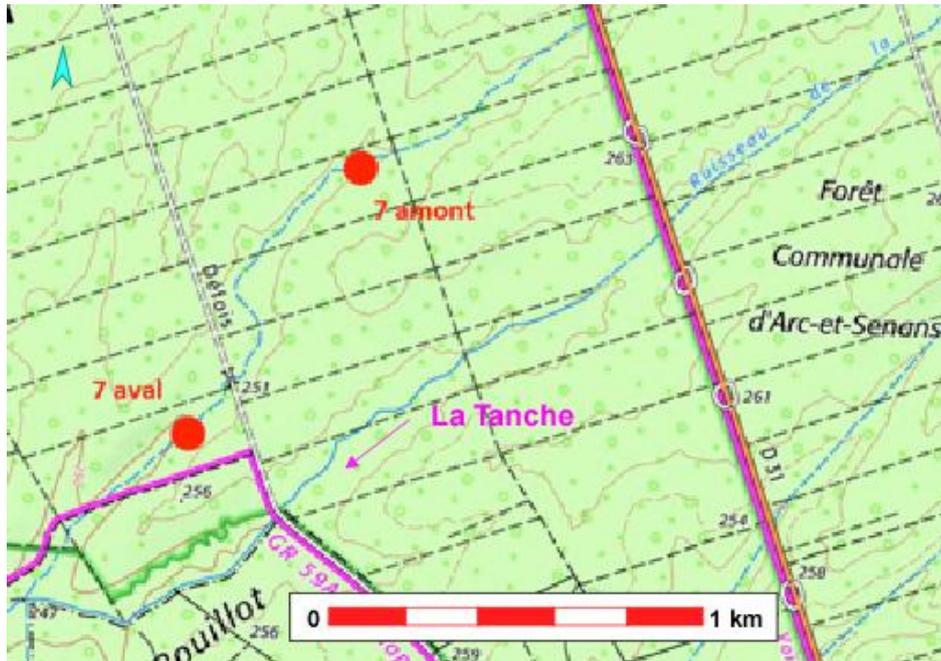


Figure 10. Vue Localisation de l'affluent n°7 de la Tanche et des deux station choisies comme témoins

Enfin, le suivi des potentiels batracologiques a été effectué de 2018 à 2020 inclus, sur l'ensemble du linéaire de 6 à 8 ruisseaux, selon les années (Dans tous les cas, l'abondance des pontes puis des larves de Grenouilles brunes (*Rana temporaria*) ainsi que des larves de salamandre ont été évaluée à 4 reprises, entre février et mai.

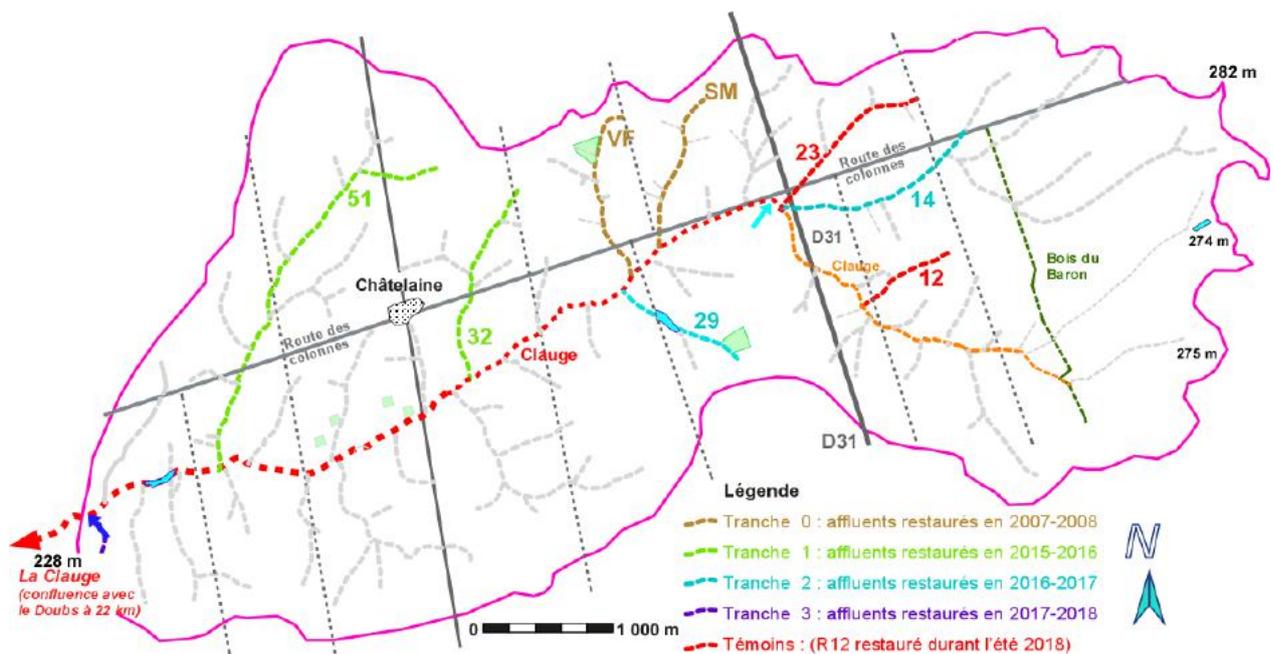


Figure 11. Localisation des 8 ruisseaux dont les potentiels batracologiques a été évalués durant les printemps 2018 et 2019 ; en 2019, un affluent non restauré de la Tanche apicale a été utilisé comme 2<sup>ème</sup> témoin car le ruisseau 12 avait été restauré durant l'été précédent les comptages

### Protocoles de prélèvement ou de mesures et méthode d'études

Les investigations ont été menées en appliquant **5 protocoles d'études standardisés** fournissant des données comparables. Ils ont permis d'évaluer les impacts des travaux de restauration à la fois sur la qualité physique (morphologie et hydrologie) et sur les capacités biogènes (peuplements benthiques, dont en particulier insecte à larves aquatique et batraciens).

#### *Pluviométrie, piézométrie et limnigraphie (LUCOT et al. 2009-2021)*

Les variations de la **pluviométrie et de la température** à long et à court termes sont suivies grâce aux données récoltées par Météo France sur sa station de Fraisans. En complément, des données de précipitations récentes ont été enregistrées par la station météorologique de l'UMR Chrono-Environnement située dans la réserve biologique intégrale de la forêt de Chaux à moins de 5 km des ruisseaux étudiés

En outre, durant la première phase de suivi, entre 2006 et 2008, **la durée des hypopériodes et le rythme d'assèchement** des 2 premiers ruisseaux restaurés a été évalué juste avant et juste après restauration. à l'aide d'échelles limnimétriques « rustiques » été implantées sur l'amont et l'aval (fig. 3). Parallèlement, le même dispositif a été installé à l'amont immédiat de confluence avec le Ru de la Sommière et à l'aval immédiat de la confluence avec le Ru de la Verne de façon à tenter d'apprécier la contribution des 2 affluents au débit de la Clauge.

Parallèlement, sur l'ensemble de la période d'étude, les variations de la **durée de la présence des nappes d'accompagnement et de leur profondeur** ont été enregistrées grâce à des **piézomètres** (LUCOT et al. 2021). Ces dispositifs sont constitués d'un tube PVC crépiné sur toute sa longueur et recouvert d'un géotextile perméable, placé dans le sol jusqu'à une profondeur comprise entre 90 à 120 cm en fonction des caractéristiques des sols et de la profondeur d'apparition du substrat imperméable.

Une sonde à enregistrements automatiques, soit de la marque Schlumberger (modèle Mini-Diver), soit de la marque Rugged Troll (modèle 100 In-Situ), est suspendue au fond du tube pour enregistrer toutes les 12 heures la hauteur de la colonne d'eau qui la recouvre. La précision des mesures de profondeur de nappe est de l'ordre de  $\pm 3$  cm.

Cette partie des résultats est présentée en détail par **LUCOT et al. 2021**. Un simple rappel de la nature et de l'intensité de l'impact des travaux sur les niveaux piézométriques sera effectué dans le présent rapport.

#### *Caractérisation de la qualité de l'habitat aquatique stationnelle : IAM*

La **qualité physique** des ruisseaux restaurés a été analysée à l'échelle stationnelle, avant et après travaux à l'aide de la **méthode IAM** (Indice d'Attractivité Morphodynamique). Cette approche standard élaborée au CSP (1995) puis finalisée par Teleos (2000) consiste à cartographier les composantes des mosaïques d'habitats aquatiques puis à évaluer leurs combinaisons (annexe 1).

Elle fournit pour chaque situation des indices d'hétérogénéité et d'attractivité habitationnelles qui permettent d'évaluer la part des potentiels biologiques déterminée par la qualité physique. Les images obtenues sont comparables dans le temps et dans l'espace ce qui permet d'évaluer l'amélioration de l'hospitalité des fonds induites durant l'hydropériode par les travaux de restauration des affluents.

### *Méthode d'étude des macroinvertébrés benthiques*

Sur chacune des stations d'étude, la **structure quantitative des peuplements de macroinvertébrés aquatiques** a été caractérisée en prélevant le benthos sur de 8 à 12 placettes à l'aide d'un filet sūrber de 1/20<sup>ème</sup> de mètre carré. Cet échantillonnage est effectué chaque année à la fin de l'hydropériode, peu avant que les ruisseaux ne s'assèchent, c'est à dire selon les années fin février à tout début avril.

Les couples substrats-support / vitesses dominants ont été prélevés dans l'ordre d'hospitalité des substrats et de représentativité des vitesses décroissant, selon la logique de l'IBGN (AFNOR 1992). Afin de disposer de données quantitatives, 10 placettes furent d'abord échantillonnées, entre 2006 et 2009, dans chacune des stations implantées dans les affluents, contre 12 placettes dans les stations de la Clauge.

En effet, dans tous ces ruisseaux, les substrats-supports et les écoulements sont homogènes. Les fonds sont composés essentiellement de galets mélangés de graviers, d'une part, et de litières organiques mélangées de dépôts limoneux, d'autre part et baignés par des écoulements majoritairement lents sous des hauteurs d'eau moyennes à faibles. Aussi, chacun de ces habitats dominant a pu être échantillonné, à chaque fois, à 3 ou 4 reprises. Les substrats minoritaires constitués soit de bryophytes soit d'hydrophytes ou d'hélophytes, ont été eux prospectés dans 2 à 3 placettes par station.

Cependant, dans presque tous les cas, il est apparu que les 8 premiers prélèvements abritaient plus de 95 % de l'information en termes de variété et d'abondance. Quand ils n'étaient pas redondants à ce point de vue, les 9<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> prélèvements ne permettaient, au plus, que de capturer un genre de coléoptère ou de diptères supplémentaires, ou, plus rarement encore, un genre de trichoptère *Limnephilidae* de plus (dans ce cas, *Trichostegia*), à raison de 1 ou 2 individus seulement.

Aussi, à partir de 2015, le protocole a été adapté : le nombre de placettes prélevées dans les affluents a été réduit à 8. *A contrario*, l'effort d'échantillonnage est resté fixé à 12 placettes pour la Clauge en prévision d'une restauration plus poussée et plus complète, à venir, et d'un possible retour à la pérennité des écoulements.

Ce protocole d'échantillonnage des communautés benthiques permet d'obtenir, des images semi-quantitatives comparables de la **variété taxonomique**, de la **composition** et de l'**abondance** des peuplements de macroinvertébrés benthiques. Il fournit également un aperçu de leur **répartition spatiale** au moment des prélèvements.

En revanche, comme tous ces ruisseaux, y compris la Clauge apicale non restaurée, sont des cours d'eau temporaires, et que les prélèvements sont réalisés en période froide, les **données obtenues ne peuvent être utilisées pour calculer des indices normalisés** tels que l'IBGN ou l'I2M2. En effet le domaine d'application de ces méthodes est centré sur les cours d'eau permanents échantillonnés en étiage estival.

### *Inventaire spécifique des Ephemeroptères Plécoptères et Trichoptères (EPT)*

L'inventaire des Ephemeroptères, Plécoptères et Trichoptères des ruisseaux étudiés a été complété à l'aide de 6 à 8 campagnes de « chasse » d'adultes, réparties entre avril et octobre (fig. 12). Les imagos sont capturés dans la végétation rivulaire à l'aide d'un filet d'entomologiste de type fauchoir. Lors de chaque campagne, l'effort d'échantillonnage est identique sur chacune des stations et dure 1 heure par station.

Cette approche permet de compléter l'échantillonnage des stades aquatiques réalisé au cours de l'hydropériode et détaillé ci-dessus. La capture d'adultes permet soit de confirmer ou de préciser l'espèce des larves échantillonnées quand les genres correspondent, soit de montrer l'existence d'un potentiel de recolonisation.



Figure 12. Schéma de principe du dispositif d'inventaire annuel des espèces d'insectes à larves aquatiques mais dont les adultes sont aériens appartenant aux ordres des Ephemeroptères, Plécoptères et Trichoptères (EPT).

### 3. Impacts hydrologiques et morphologiques

#### 3-1. Impacts hydrologiques

##### Climatologie

Le climat, de type semi-continental humide, est caractérisé par un fort contraste thermique entre l'été et l'hiver associé à d'importantes précipitations, régulièrement répartie sur l'année. Les stations météorologiques de Dole-Tavaux et de Fraisans, enregistrent un cumul annuel moyen de précipitations respectif de 888 et 1100 mm.

Les mesures réalisées à Fraisans, à 5 km au nord des sources de la Clauge, sont probablement plus représentatives du microclimat régnant dans la forêt de Chaux. En effet, les températures y sont plus fraîches et la pluviométrie plus élevée.

En outre, les données historiques n'y révèlent aucune baisse pour le cumul des précipitations annuelles moyen depuis les années 1960, contrairement à ce qui est observé sur la station de Dole-Tavaux. Cependant, les données de cette dernière station sont plus complètes et plus fiables (fig. 13, données Météo France).

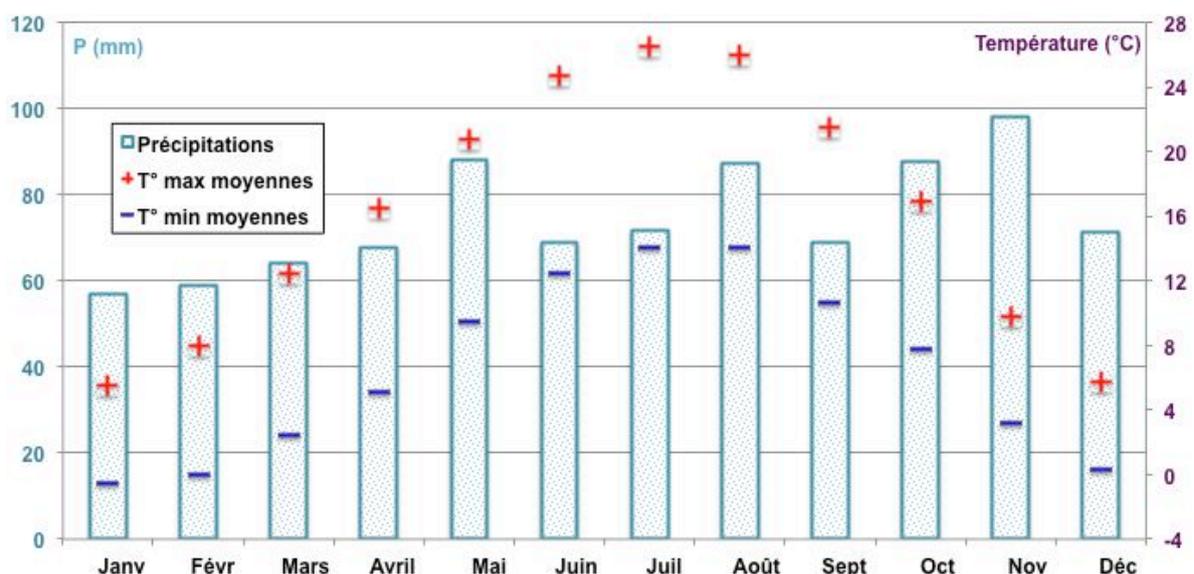


Figure 13. Températures maximales et minimales mensuelles moyennes et cumuls mensuels moyens des précipitations à Dole-Tavaux (données Météo France sur la période 1995-2020)

Sur les 2 stations, la fréquence des pluies est de 140 à 150 jours par an. La période allant de janvier à avril apparaît comme la plus sèche. Le déficit des précipitations efficaces, nul jusqu'en mai puis à partir d'aout, atteint 15 mm en juin et 35 mm en juillet.

La variabilité interannuelle des conditions climatiques printanières et estivales est importante. Ainsi, par rapport aux tendances moyennes, les années 2018 et 2019 se sont avérées chaudes et sèches (tab. 4). L'année 2018 a été plus régulièrement chaude, mais la température maximale observée à Fraisans, 40,0°C, y a été atteinte en 2019. La même année, que le déficit du cumul des précipitations par rapport à la valeur normale atteignait -17% contre - 5% en 2018.

Descripteurs	Fraisans Normales	Dôle		
		Normales	2018 / normales	2019 / normales
Moyenne des températures maximales (°C)	15,9	16,2	+1,7	+1,4
Température moyenne (°C)	10,3	11,4	+1,7	+1,0
Moyenne des températures minimales (°C)	4,6	6,6	+1,7	+0,7
Température maximale instantanée	40,0	40,1		
Date du pic de température	25/07/2019	08/08/2003		
Pluviométrie (mm)	1100	888	-48	-149

Tableau 4. Particularités climatologiques des années 2018 et 2019

Que ce soit en considérant les 3 saisons antérieures aux prélèvements printaniers de faune benthique, ou même le cycle de 12 mois les précédant, **la campagne d'échantillonnage du benthos de 2019** fait suite à la période **la plus sèche depuis 1960** (tab. 5). Corrélativement, si l'on prend en compte le nombre de crue de la Clauge dans l'année hydrologique précédant les prélèvements, on observe que le printemps 2019 fait suite à une période de très faible hydraulité lors de l'automne et de l'hiver précédents, hors période de gel (tab. 6).

Saison précédent les prélèvements /année	2005	2006	2007	2008	2009	...	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Hiver	192	327	307	269	271		273	243	393	218	408	173
Printemps	344	268	277	300	249		204	257	552	208	331	247
Eté	166	329	367	362	140		393	241	218	283	103	159
Automne	254	251	242	346	341		339	132	196	286	221	434
Print_Eté_Aut_Hiver précédents	1018	1092	1154	1155	1279		1318	1178	1023	1184	1184	828
Eté_Aut_Hiver précédents	825	748	887	878	979		908	974	766	632	977	497
Eté_Aut_Hiver_Print précédent	1169	1015	1164	1177	1228		1112	1231	1318	839	1307	744

Tableau 5. Cumul des précipitations saisonnières (en mm) durant les années de suivi

an-1_année	Sept. an-1	Oct. an-1	Nov. an-1	...	Fév. an	Mars an	Avr. an	Somme
2005-06	0	0	0		0	1	2	3
2006-07	0	0	1		1	1	0	3
2007-08	1	0	2		0	1	1	5
2014-15	0	1	2		0,5	0,5	1	5
2015-16	0	0	0		1	1	2	4
2016-17	0	0	0,5		1	1	1	3,5
2017-18	0	0	0,5		1	1	0	2,5
2018-19	0	0	0		0	1	0,5	1,5

Tableau 6. Caractérisation de l'hydraulité de la Clauge lors de l'automne, la fin de l'hiver et le début du printemps précédant les prélèvements de faune benthique en affectant, à partir des données hydrométriques de la station de la Loye un point par crue dépassant 10 fois le module (crue nettement débordante) et un demi point par montée d'eau inférieure à 10 fois le module

## Hydrométrie et limnigraphie de la Clauge non restaurée

Les enregistrements piézométriques et limnigraphiques effectués depuis 2016 en 4 points, entre la RD 31 et la Vieille-Loye, confirment que les parties apicale et médiane de la Clauge sont à sec durant plusieurs mois par an (fig. 14). Corrélativement, le débit de la Clauge, très versatile, passe du débordement à l'assec total en quelques jours.

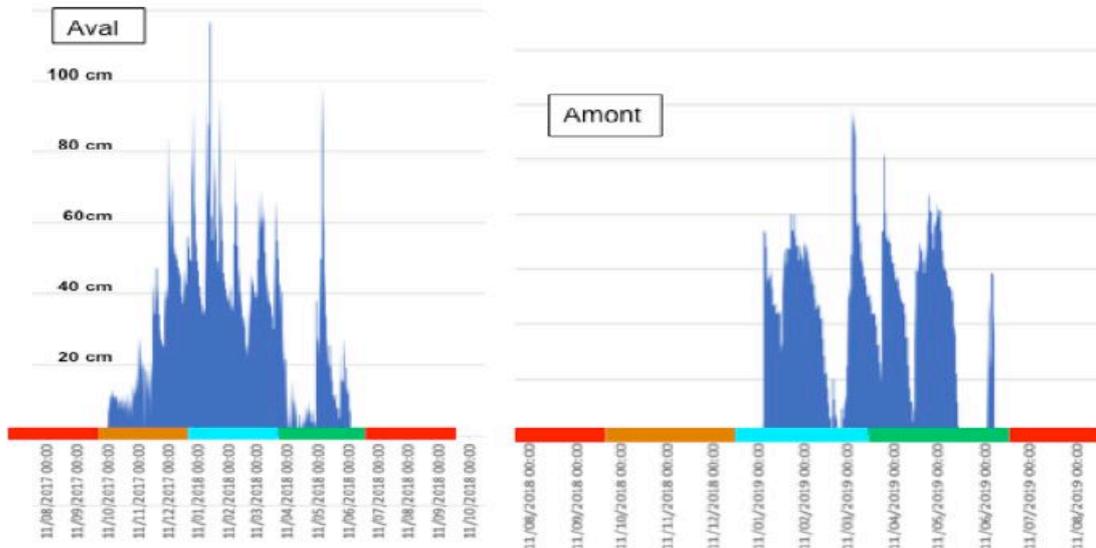


Figure 14. Hauteurs d'eau mesurées dans le lit de la Clauge toutes les 4 heures à l'aval du gué Gilardoni (station aval) et à l'aval du croisement entre la route des colonnes et la RD31 (station amont)

En période sèche, les écoulements hyporhéiques se tarissent eux aussi rapidement ce qui indique que la nappe d'accompagnement est faible voire inexistante. Au bilan, 7 des 12 km de linéaire étudiés, permanents en 1973, sont aujourd'hui temporaires. Selon les secteurs et les années la durée de l'hydropériode varie de 34 à 59 % du temps (fig. 15).

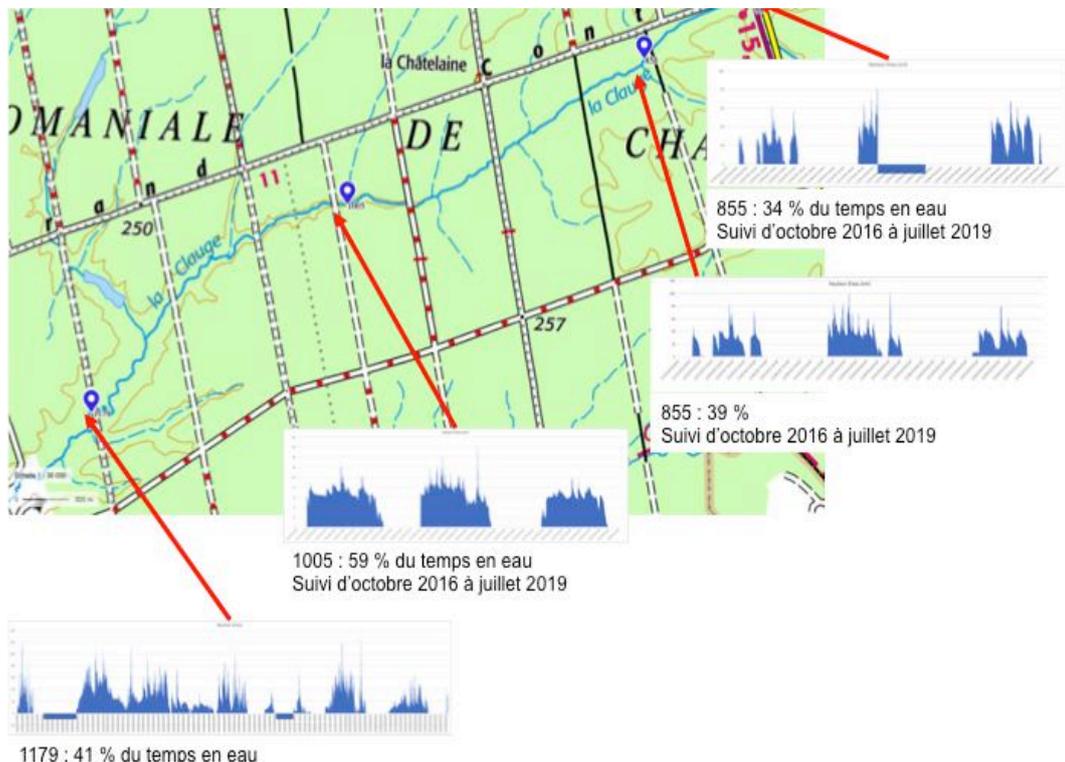


Figure 15. Hauteurs d'eau mesurées dans le lit de la Clauge en 4 point jalonnant la Clauge (Lucot 2020)

## Hydrométrie et piézométrie des affluents

Sur le plan hydrologique, les ruisseaux temporaires restaurés voient leur hydropériode allongé de plusieurs semaines (fig. 16). Parallèlement, les suivis piézométriques prouvent que la durée de la présence de la nappe à des profondeurs profitables aux arbres est encore plus nettement augmentée et atteint plusieurs mois. Ils montrent aussi que les vallons des ruisseaux restaurés sont désormais régulièrement ennoyés (fig. 17).



Figure 16. Chronique photographique montrant, en 2018, la plus grande durée de l'hydropériode d'un ruisseau restauré en 2007, la Verne Fendue, par rapport à celle du témoin non restauré

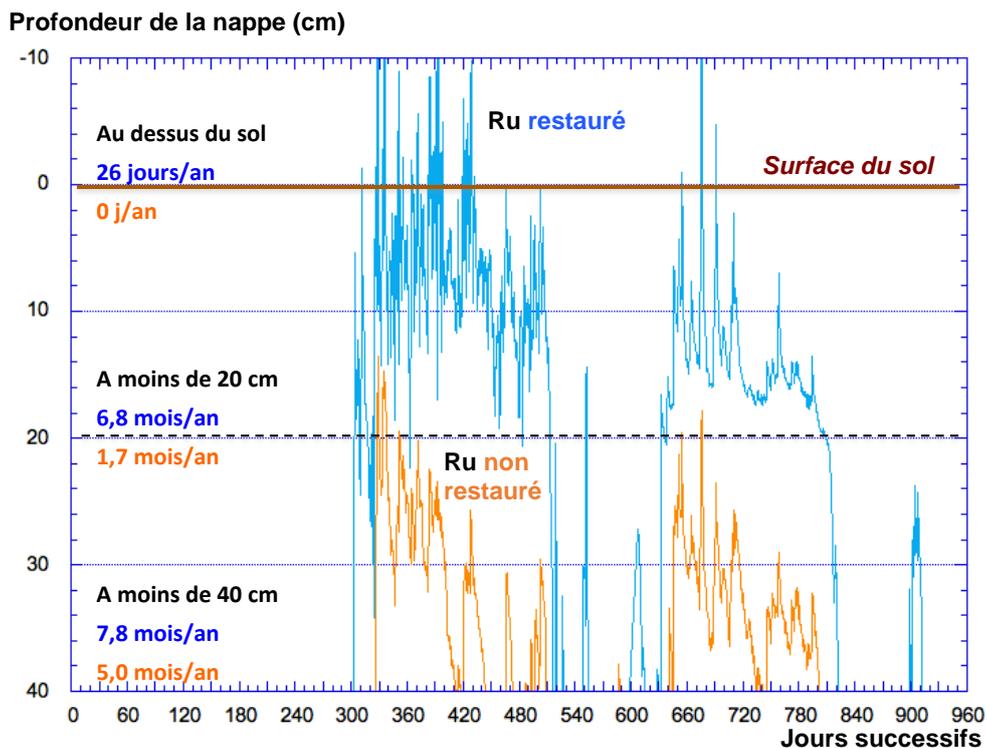


Figure 17. Comparaison synchrone des variations de profondeur de la nappe d'accompagnement d'un ruisseau restauré (en bleu) et d'un ruisseau non restauré (en orange) : les deux piézomètres sont implantés à quelques mètres des lits des ruisseaux considérés (d'après LUCOT 2020).

L'allongement de la durée de présence de la nappe est très net sur l'ensemble des portions restaurées par rapport aux témoins et aux portions non restaurées (fig. 18). L'ampleur des différences entre les deux groupes de cours d'eau varie en fonction de la taille de leurs bassin versant, et des caractéristiques hydroclimatiques des différentes années.

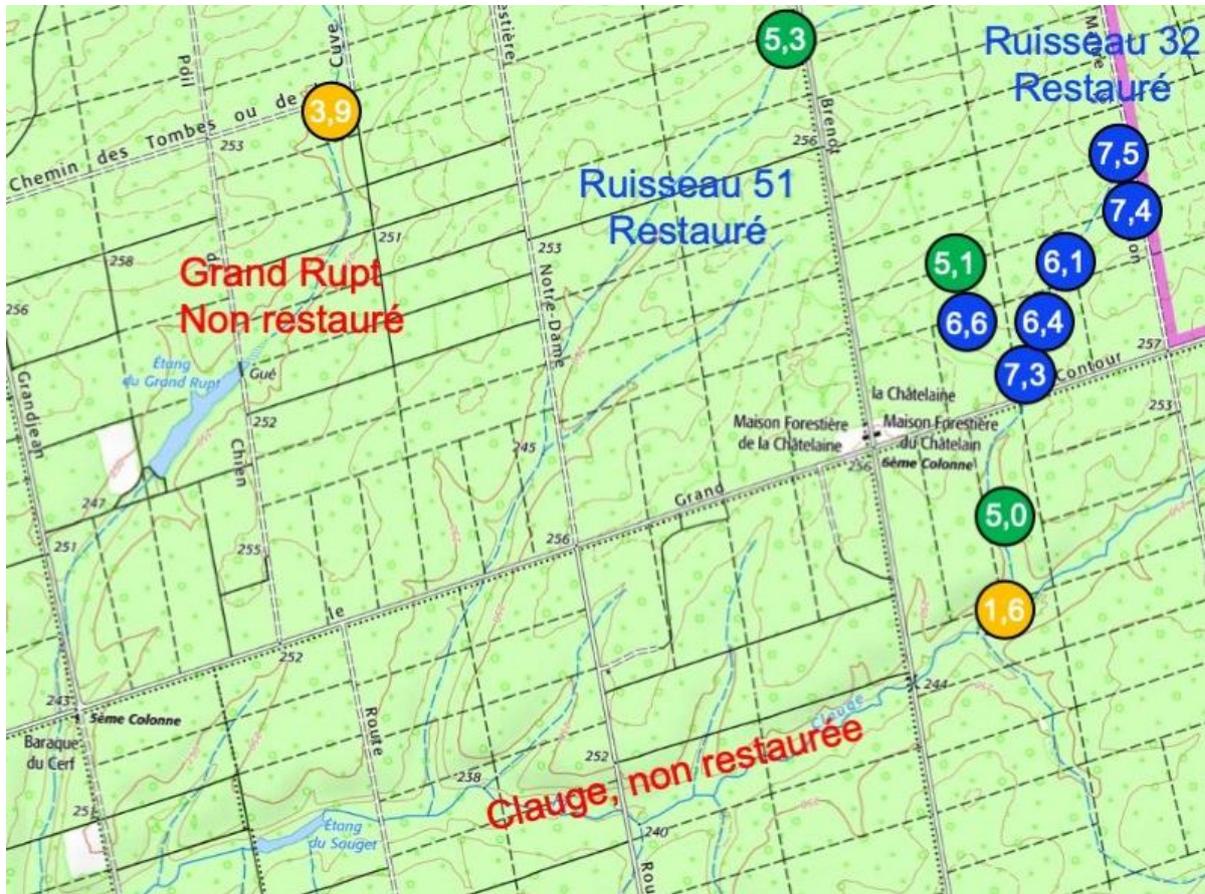


Figure 18. Comparaison synchrone des durée de profondeur de la nappe d'accompagnement des ruisseaux restaurés (en bleu) et non restaurés (en orange) en 2018 : (LUCOT 2020).

### 3-2. Amélioration de la qualité physique

#### Principe de l'analyse de la qualité physiques et tendances globales

La cartographie comparative, selon le protocole IAM, de portions représentatives des affluents temporaires de la Clauge avant et après restauration montre que les ruisseaux restaurés bénéficient d'une amélioration considérable de leur qualité physique (cf. exemple fig. 19 et 20 et cartes exhaustives en annexe 2 et 3).

Les substrats et supports de leur fonds ainsi que les profondeurs et les vitesses de courant qui les baignent sont nettement diversifiés après travaux. Leurs mosaïques d'habitats aquatiques en résultent plus variés et beaucoup plus attractives pour la faune benthique et batracoles.

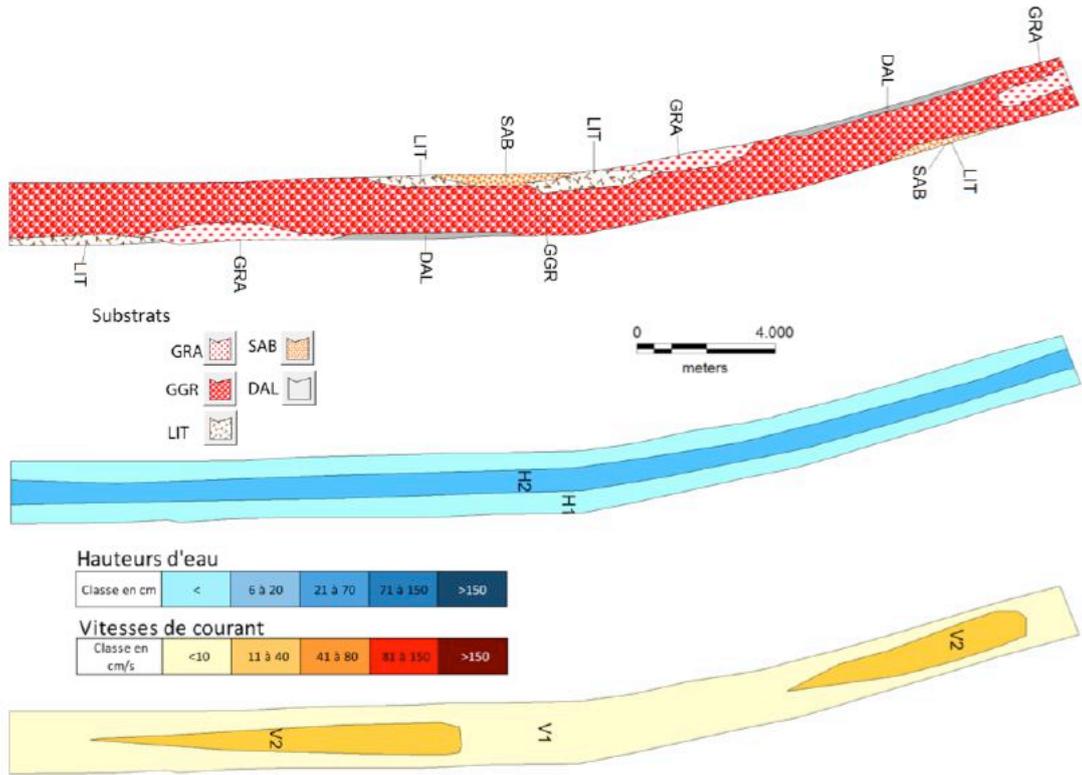


Figure 19. Cartographie des mosaïques d'habitats aquatiques d'une station représentative du ruisseau du Coulon (n°32) avant travaux de restauration (codes des substrats : cf. tab. 7, page suivante)

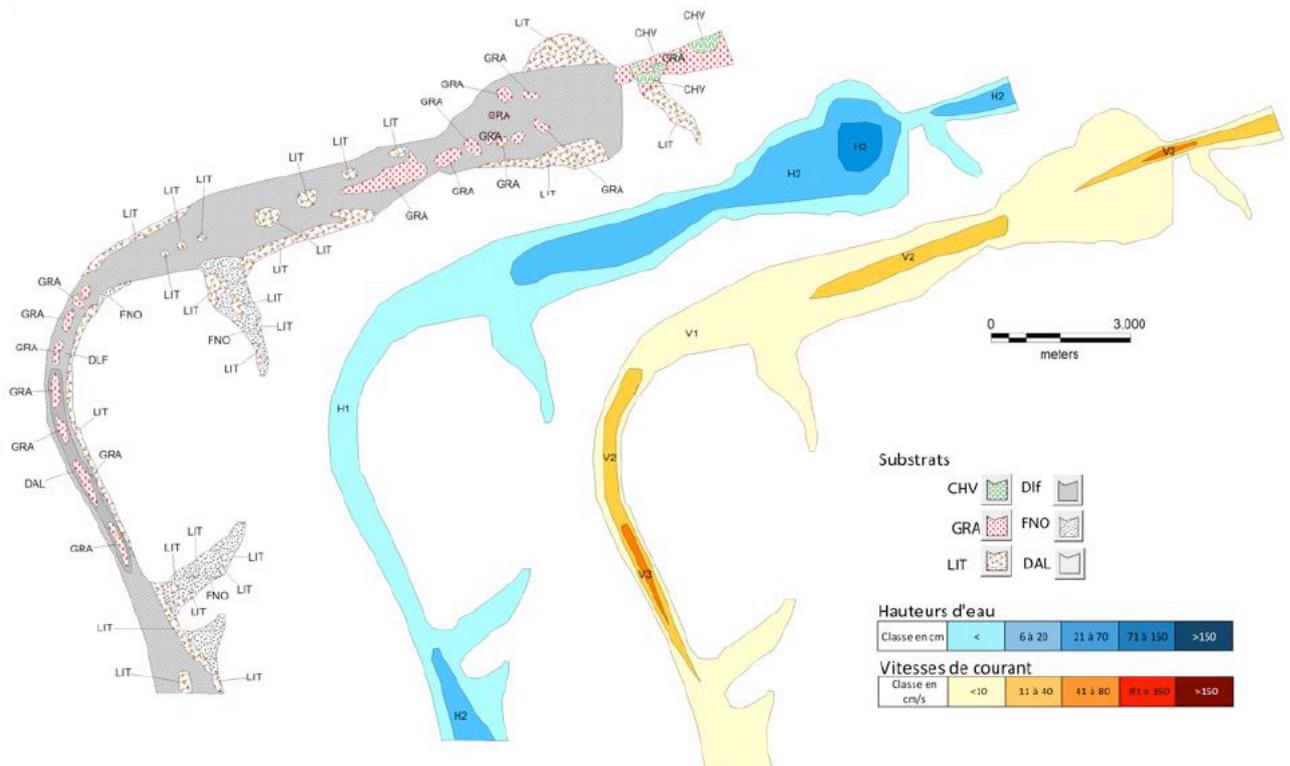


Figure 20. Cartographie des mosaïques d'habitats aquatiques d'une station représentative du ruisseau du Coulon (n°32) après travaux de restauration (codes des substrats : cf. tab. 7, page suivante)

## Adaptation de l'IAM aux ruisseaux temporaires forestiers

Pour quantifier cette amélioration, le mode de calcul de l'indice IAM ne convient pas. En effet, cette méthode d'évaluation de la qualité des mosaïques d'habitats aquatiques a été conçue pour des cours d'eau pérenne, en utilisant les exigences des poissons pour caler la valence des substrats-supports qui déterminent l'attractivité des mosaïques d'habitats. Or, d'une part, les ruisseaux étudiés sont temporaires, et, d'autre part, de part leurs positions apicales ils sont a-piscicoles, même durant leur hypodémie.

Par conséquent, l'indice de détermination de la qualité physique à l'échelle stationnelle a été adapté pour prendre en compte les préférences habitationnelles et les exigences écologiques des macroinvertébrés benthiques typiques des cours d'eau intermittents de tête de bassin. Ainsi, la hiérarchisation et la cotation de l'attractivité associée aux différents substrats-supports a été modifiée pour pouvoir calculer un « Indice d'Attractivité Morphodynamique « Potentiel » pour le benthos (IAMPb, tab. 7)

Code	Classe de substrats supports	Cotation IAMPb	Cotation IAM
CHV	Chevelus racinaire ou bryophytes	100	40
HYI	Hydrophytes immergés	90	80
BRA	Branchages et racines immergés	80	100
GLP	Galets plats non colmatés	80	50
GAL	Galets ménageant des anfractuosités	70	50
HYD ou HYIc	Hydrophytes immergés très dense ou colmatés	60	40
HEL	Hélophytes	60	40
HYF	hydrophytes à feuilles flottantes	50	40
LIT	Litière organique grossière	50	10
BRG	Sous-berge noyée	40	90
DLF	Litière organique fine, débris organique fin	40	10
GLS ou GALc	Galets sans anfractuosités (pavage) ou colmatés	35	25
GGR	Mélange de galets et de graviers	35	25
HLD ou HLE	Hélophytes très denses ou au contraire épars	30	20
GRA	Graviers non damés ni colmatés	20	20
SAB	Sables	20	8
BLO	Blocs non jointifs, avec caches pluri centimétriques	15	60
GGRc	Mélange de galets et de graviers colmatés	15	12
GRS ou GRAc	Graviers (colmatés ou damés)	10	10
FNO	Fonds nus organiques, vases, limons	10	3
BLS	Blocs sans anfractuosités	5	30
FIN	Éléments fins non organiques, limons	5	4
DAL	Dalle, marne ou autres surfaces lisses	1	1

Tableau 7. Adaptation des cotes d'attractivité associées aux substrats supports pour le calcul de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique Potentiel

## Bilan de l'impact des travaux sur la qualité physique potentielle

Selon cette approche, la **qualité physique potentielle, durant l'hydropériode, des ruisseaux restaurés a été améliorée d'un facteur variant de 3 à 4** peu après les travaux (tab. 8). L'amélioration est d'autant plus sensible que le bassin versant du secteur considéré est grand.

Dans le cas des 2 stations témoins, on observe également une amélioration, mais à plus long terme (entre 2009 et 2017) et surtout de moindre mesure. Cette tendance semble lié aux changements de gestion des bois morts qui ne sont plus systématiquement éliminés dans les ruisseaux temporaires. En particulier, une partie des « rémanents » des coupes récentes n'ont été abandonnés dans le cours d'eau.

En outre, l'augmentation de capacité biogène est surtout sensible dans la partie supérieure du cours d'eau, dans la zone de platière en contexte très peu perméable, Sa pente et son gabarit y sont très faible, et l'enfoncement induit par la rectification tend à s'y estomper. En revanche, l'apport de bois morts dans la partie aval ne suffit pas à y accroître significativement sa qualité physique qui reste médiocre.

Ruisseau	Tronçon	Etat / Trvx	Subs.	He	Vit	Poles	Attract.	IAMPb	% réf.
<b>Coulon 32</b>	amont	Avant Trvx	5	2	2	21	33,3	<b>665</b>	<b>19</b>
	amont	Après Trvx	5	3	3	100	36,9	<b>1990</b>	<b>55</b>
	aval	Avant Trvx	3	2	2	10	34,7	<b>416</b>	<b>8</b>
	aval	Après Trvx	6	2	3	109	39,5	<b>1420</b>	<b>71</b>
<b>Sauget 51</b>	amont	Avant Trvx	4	3	2	20	36,8	<b>1105</b>	<b>22</b>
	amont	Après Trvx	11	3	3	77	36,7	<b>3967</b>	<b>77</b>
	aval	Avant Trvx	7	3	2	33	31,6	<b>1328</b>	<b>24</b>
	aval	Après Trvx	11	3	4	114	38,5	<b>5075</b>	<b>94</b>
<b>Témoin 23</b>	amont	T- 2009	7	2	2	35	33,6	<b>834</b>	<b>37</b>
	amont	T- 2017	8	2	2	43	33,6	<b>1208</b>	<b>47</b>
	aval	2009	4	2	2	35	21,0	<b>336</b>	<b>13</b>
	aval	2017	5	2	2	42	25,5	<b>612</b>	<b>23</b>
<b>Sommière M.</b>	aval	Après Trvx	5	3	2	69	44,5	<b>1334</b>	<b>81</b>
<b>Verne Fendue</b>	amont	Après Trvx	5	3	2	93	37,2	<b>1340</b>	<b>52</b>
<b>Clauge</b>	amont	Avant Trvx	10	3	4	131	21,8	<b>3399</b>	<b>66</b>
	médiane	Avant Trvx	8	3	4	93	31,7	<b>3042</b>	<b>48</b>
	aval	Avant Trvx	9	3	3	108	43,5	<b>3520</b>	<b>46</b>

Tableau 8 Adaptation des cotes d'attractivité associées aux substrats supports aux exigences des macroinvertébrés benthiques électif des têtes de bassin temporaires, pour le calcul de l'Indice d'Attractivité Morphodynamique Potentiel (pour le) benthos (IAMPb) ;

Abréviations : **Trvx** = travaux de restauration ; **Subs, He, Vit, Poles** = nombre de classes de substrats supports, hauteurs d'eau, vitesse de courant, pôles d'attraction ; **Attract.** = score d'attractivité  
**% réf.** = rapport entre l'IAMPb mesuré et l'optimum compte tenu du gabarit du cours d'eau

Dans le cas des 2 ruisseaux restaurés en 2006 et 2007, l'état initial n'a pas été dressé, mais l'état actuel des parties médiane et basale se rapproche de l'optimum. Enfin les mosaïques d'habitat aquatiques de la Clauge, quoique non dénuées d'attractivité, restent homogènes en termes d'écoulement. Leur qualité physique est déficitaire, même durant l'hydropériode, beaucoup trop courte étant donné la taille de leur bassin versant.

### Mécanismes d'amélioration de l'habitat aquatique

La comparaison des compositions des mosaïques d'habitat des ruisseaux du Coulon et du Sauget avant et après travaux montre que la restauration a permis de diversifier les écoulements en ajoutant une classe de profondeur ou / et de vitesse de courant (tab. 9). La mosaïque des substrats /supports s'enrichit quant à elle de litières organiques grossières et fines, ainsi que de chevelus racinaires ou / et de bryophyte. Ces tendances sont moins nettes pour le ruisseau du Sauget, restauré plus récemment.

Ruisseau Tronçon Etat	Coulon (n°32)				Sauget (n°51)			
	amont AvTrvx	amont ApTrvx	aval AvTrvx	aval ApTrvx	amont AvTrvx	amont ApTrvx	aval AvTrvx	aval ApTrvx
<b>Substrats-supports</b>								
Chevelus racinaires, bryophytes		1,3		4,6		0,4	0,1	0,6
Hydrophytes immergés						0,1	1,1	2,7
Branchages, racines immergés						1,5		2,2
Galets avec anfractuosités					6,9	8,9		
Hélophytes				0,4		0,1		6,2
Litière organique grossière	6,7	19,2	3,2	3,6	2,7	9,5	1,5	5,1
Sous-berge noyée						1,6		0,9
Litière organique fine		57,3		72,5				
Galets + graviers	78,9		91,4		83,9	59,9	81,9	73,3
Hélophytes épars								
Graviers non colmatés	8,6	10,5	5,3	18,5	5,9	6,9	3,8	5,6
Sables	2,8			0,4	0,6	4,3	0,8	0,7
Galets + graviers colmatés								
Fonds nus organiques, vases		9,1						
Fines non organiques, limons						2,0		1,8
Dalle, marne, surface lisse	3,0	2,7				4,8	10,7	0,8
<b>Hauteurs</b>								
H1	64,3	65,8	59,6	85,0	35,5	42,2	24,8	27,2
H2	35,7	31,3	4,4	15,7	51,5	41,7	52,4	3,8
H3		2,9			13,2	16,2	23,2	42,7
<b>Vitesses</b>								
V1	78,4	84,6	85,3	6,2	85,4	92,8	94,4	93,2
V2	21,6	14,2	14,7	39,4	14,6	5,4	5,7	4,7
V3		1,3		0,4		1,8		1,4
V4								0,7

Tableau 9. Composition des mosaïques d'habitats aquatiques des parties apicales et basales des ruisseaux du Coulomb et du Sauget avant (AvTrvx) et après (ApTrvx) restauration

Les fonds du ruisseau témoin comportent aussi une proportion notoire de chevelus racinaires immergés et de bryophyte, mais essentiellement sur sa partie apicale dont l'enfoncement et l'élargissement sont en cours d'amortissement (tab. 10). Sur les deux stations étudiées pour ce cours d'eau, les substrats déposés et en particulier les litières organiques sont ultraminoritaires

Ruisseau Tronçon Etat	Témoin (n°23)		SM aval ApTrvx	VF amont ApTrvx	Clauge		
	amont T -	aval T -			amont AvTrvx	médiane AvTrvx	aval AvTrvx
<b>Substrats / supports</b>							
Chevelus racinaires, bryophytes	4,2	0,3	1,5	0,6	1,2	0,9	15,0
Hydrophytes immergés	0,2				2,1	0,4	0,1
Branchages, racines immergés					0,4		2,8
Galets avec anfractuosités					2,1		
Hélophytes	0,7				2,5		
Litière organique grossière	0,5	0,9	47,3	14,0	1,9	3,2	7,0
Sous-berge noyée							
Litière organique fine	1,8	2,3	46,9	59,3			
Galets + graviers	64,1	31,6		11,1		76,3	57,8
Hélophytes épars					12,1		
Graviers non colmatés	22,9	63,7	1,1	9,8	1,1	4,7	10,7
Sables	3,8				0,5	0,7	0,5
Galets + graviers colmatés					68,9		
Fonds nus organiques, vases			3,1		0,5	9,9	0,5
Fines non organiques, limons					1,8		
Dalle, marne, surface lisse	1,8	1,1		5,2	4,9	4,0	5,5
<b>Hauteurs</b>							
H1	84,7	80,0	48,4	51,9	26,8	25,7	19,9
H2	15,3	2,8	43,2	44,7	62,7	42,1	54,9
H3			8,4	4,9	1,6	32,2	25,3
<b>Vitesses</b>							
V1	56,0	63,6	85,5	72,7	43,8	86,7	4,1
V2	44,1	36,4	14,5	27,4	52,0	6,7	56,3
V3					3,6	6,9	3,8
V4					0,6	0,4	

Tableau 10. Composition des mosaïques d'habitats aquatiques des parties apicales et basales du ruisseau témoin (n°23), de la Sommière du Moulin (SM, restaurée en 2006), de la Verne Fendue (VF, restaurée en 2007) et de la Clauge apicale non restaurée

Ces substrats très biogènes pour la faune benthique des ruisseaux temporaires sont aussi devenus dominants dans les 2 ruisseaux restaurés depuis 2006 et 2007. En revanche, ils ne sont que très faiblement représentés dans la Clauge apicale, dont le chenal surélargi, uniforme et sans aucune rugosité est littéralement lessivé par les crues puis asséché trop longuement. La station la plus aval étudiée dans ce cours d'eau a cependant l'avantage de comporter une proportion notoire de bryophyte qui signale sans doute une hypopériode plus longue et une « ambiance » plus humide.

Le cas de la Clauge doit toutefois être considéré à part, car même sur cette portion apicale, son débit était originellement pérenne ou subpérenne. En tout état de cause, ce cours d'eau doit être considéré comme piscicole, et sa qualité physique doit donc être évaluée à l'aide de l'IAM standard, appliqué en étiage estivale.

En effet cet indice sanctionne l'efficacité des transferts de matière et d'énergie tout au long de la chaîne alimentaire jusqu'au poissons pour la part qui est déterminée par la qualité physique. Or cet indice est pour l'instant nul puisque le ruisseau est à sec au moment où l'IAM doit être déterminé (fig. 2). Cette évaluation péremptoire justifie à elle seule la restauration de la Clauge qui a débuté en 2021.



*Figure 21. Photos des fonds de la Clauge apicale en juin 2015*

## 4. Impacts des restaurations sur les peuplements benthiques

### 4-1. Principes des comparaisons avant et après travaux

Grace aux prélèvements standard réalisés tous les ans en fin d'hydropériode printanière, l'évolution du benthos des 4 affluents restaurés a pu être caractérisée, en comparant les structures quantitatives des peuplements avant et après les travaux. Sur chaque cours d'eau, les macroinvertébrés benthiques ont été prélevés sur une station amont et une station aval afin de prendre en compte les différences de rétention en eau entre sols limoneux des platières (zones apicales) et pentes caillouteuses (zones basales).

L'état initial a été étudié durant une ou deux années (2015, pour le ruisseau du Coulon, 2015 et 2016 pour le ruisseau du Sauget). L'état restauré a été ensuite analysé respectivement durant 2 ou 3 années après les travaux. Cependant, les prélèvements de l'année suivant immédiatement les travaux sont distingués des suivants car ils correspondent à une période de recolonisation des fonds par les macroinvertébrés.

En outre, les résultats obtenus à partir des échantillons d'avril 2019 ont été considérés à part car ils ont été prélevés à l'issue du cycle annuel le plus sec depuis le début du suivi pluviométrique réalisé à Fraisans (soit depuis plus de 60 ans, cf. page). Par conséquent, de l'été 2018 au printemps 2019, les sols bordant les ruisseaux, restaurés ou non, n'ont guère pu réaliser de rétention en eau tant que cette ressource était fortement déficitaire.

Parallèlement, le dispositif de suivi a également été appliqué sur les parties amont et aval d'un ruisseau témoin non restauré (n°23). En dehors des cycles annuels exceptionnellement secs comme celui précédant le printemps 2019, les observations effectuées sur ce témoin permettent de prendre au moins partiellement en compte les variations hydroclimatiques interannuelles aux comparaisons avant / après restaurations.

Pour effectuer les comparaisons avant et après travaux, 3 indicateurs sont considérés :

- la variété taxonomique totale ;
- la variété taxonomique et l'abondance des 3 ordres d'insectes aquatiques réputés les plus sensibles tant à la qualité de l'eau qu'à celle de l'habitat, les Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères désignés sous le sigle EPT ;
- la variété et la fréquence de taxons considérés comme « indicateurs d'humidité soutenue » car leur développement nécessitent soit une hydropériode, soit une durée d'écoulement hyporhéiques soit une humidité des sols de plusieurs mois après leur éclosion ; ils s'agit, d'après la bibliographie, des taxons suivants (cf. § 5-3) :
  - + les plécoptères appartenant aux genres *Amphinemura* et *Capnidae* ;
  - + tous les Ephéméroptères ;
  - + les trichoptères appartenant à la tribu des *Limnephilini* (*Limnephilidae*) ou à la famille des *Phryganeidae* ;
  - + les diptères appartenant aux familles des *Tipulidae* ou des *Athéricidae* ;
  - + les crustacés de la famille des *Gammaridae*.

## 4-2. Analyses du benthos du ruisseau témoin (n°23)

### Benthos de la station amont du ruisseau témoin

Dans les échantillons de benthos de la partie amont du ruisseau témoin la variété taxonomique est comprise entre 9 et 13 selon les années (tab. 11). La variété générique en Ephéméroptère, Plécoptère et Trichoptères (EPT) est ne dépasse pas 4, sauf en 2015 où elle atteint exceptionnellement 6. Le nombre de taxons indicateurs d'humidité soutenue varie entre 1 et 2 sauf en 2015 où il atteint 3.

Groupes taxonomiques		mars-15	mars-16	mars-17	avr.-18	avr.-19
Perlodidae	<i>Isoperla</i>	15				
Nemouridae	<i>Nemoura</i>	490	593	1385	150	203
Limnephilidae	<i>Glyphotaelius</i>		3			
	<i>Limnephilus</i>				3	
	<i>Micropterna</i>	10		5		
	<i>Stenophylax</i>	5	38	8	15	23
Phrygaenidae	<i>Hagenella</i>	3		3		3
	<i>Trichostegia</i>	5				
Dryopidae	<i>Dryops</i>				5	
Dytiscidae	Colymbetinae	8	5	5	18	5
	Hydroporinae			8		
Helophoridae	<i>Helophorus</i>					3
Ceratopogonidae		3				
Chironomidae		413	488	378	135	333
Limoniidae		3	28	33	20	5
Simuliidae		28	355	123	183	15
Tipulidae		10	3	3		
HYDRACARIENS					5	
NEMATODES					3	
OLIGOCHETES		10	265	128	208	10
<b>Abondance totale</b>		<b>1000</b>	<b>1775</b>	<b>2075</b>	<b>743</b>	<b>598</b>
<b>Variété totale</b>		<b>13</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>9</b>
<b>Indicateurs d'humidité soutenue</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tableau 11. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), des peuplements benthiques échantillonnés sur la **station amont du ruisseau témoin (n°23)**. Les données obtenues sur ce ruisseau non restauré entre 2015 et 2018 sont **en rouge**, sauf pour les taxons indicateurs d'humidité soutenue qui sont toujours **en turquoise** ; les données obtenues en 2019 sont **en violet**.

Les valeurs de 2015 sont relativement élevées pour un petit système rectifié. Cependant, comme indiqué lors de l'analyse de la qualité physique, ce ruisseau à faible pente s'écoulant sur une platière aux sols étanches s'est partiellement réajusté. En outre, le mois de mars 2015 faisait suite à 3 saisons successives très humides (cf. tab. 5 p. 17).

## Benthos de la station aval du ruisseau témoin

Dans la station aval, les prélèvements effectués en mars 2015 sont aussi ceux qui sont les plus riches la variété totale atteignant 12 dont 5 genres d'EPT (tab. 12). Les autres années, ces valeurs sont comprises entre 9 et 10 pour l'ensemble des taxons et entre 3 et 4 pour les autres années. La variété des indicateurs d'humidité varie entre 0 et 2.

<b>Groupes taxonomiques</b>		<b>nov.-11</b>	<b>mars-15</b>	<b>mars-16</b>	<b>mars-17</b>	<b>avr.-18</b>	<b>avr.-19</b>
<i>Perlodidae</i>	<i>Isoperla</i>		5				
<i>Nemouridae</i>	<i>Nemoura</i>	882	790	840	603	148	65
<i>Limnephilidae</i>	<i>Limnephilus</i>					8	
	<i>Micropterna</i>	72	33		23	20	
	<i>Stenophylax</i>		8	43	35	13	45
<i>Phrygaenidae</i>	<i>Hagenella</i>		3				
	<i>Oligostomis</i>			5			
<i>Dryopidae</i>	<i>Dryops</i>						3
<i>Dytiscidae</i>	<i>Colymbetinae</i>	5		5	3	3	3
<i>Ceratopogonidae</i>			3				
<i>Chironomidae</i>		213	400	418	263	23	48
<i>Culicidae</i>			3				
<i>Limoniidae</i>		8	3		5	8	8
<i>Simuliidae</i>				345	218	30	40
<i>Tipulidae</i>				8			3
<i>Niphargidae</i>		3	5	10		8	5
NEMATODES			5		3		
OLIGOCHETES		850	115	633	233	10	318
<b>Abondance totale</b>		<b>2033</b>	<b>1370</b>	<b>2305</b>	<b>1383</b>	<b>268</b>	<b>535</b>
<b>Variété totale</b>		<b>7</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>Indicateurs d'humidité soutenue</b>		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tableau 12. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), des peuplements benthiques échantillonnés sur la **station aval du ruisseau témoin** (n°23). Les données obtenues sur ce ruisseau non restauré entre 2015 et 2018 sont **en rouge**, sauf pour les taxons indicateurs d'humidité soutenue qui sont **en turquoise**; les données obtenues en 2019 sont **en violet**; les données en vert correspondent à des prélèvements réalisés en 2011, hors saison standard

## 4-3. Analyse du benthos des ruisseaux restaurés en 2007/2008

Sur les ruisseaux de la Sommière du Moulin et de la Verne Fendue, qui ont été restaurés entre 2006 et 2008, les prélèvements ont été réalisés pour l'état initial en 2006, puis pour un premier suivi en 2008. Le suivi proprement dit de la faune benthique de ces cours d'eau a repris en 2015 mais uniquement sur la station amont de la Sommière du Moulin et sur l'aval de la Verne Fendue (tab. 13 et 14).

## Structures spatio-temporelle du benthos de la Sommière du Moulin

Dans la Sommière du Moulin amont, la variété totale mesurée en 2006 avant travaux était de 10 unités taxonomiques, dont 1 trichoptère et 1 plécoptère, sans aucun indicateur d'humidité soutenue (tab. 13). Entre 2015 et 2018, la variété taxonomique est comprise entre 11 et 16 dont de 3 à 6 EPT et de 2 à 5 indicateurs d'humidité soutenue.

Groupes taxonomiques		avr.- 06	avr.- 08	mars- 15	mars- 16	févr.- 17	mars- 17	avr.- 18	avr.- 19
Nemouridae	Nemoura	752	60	373	328	17	697	133	8
Limnephilidae	<i>Glyptotaelius</i>			8	3		2	2	
	<i>Limnephilinae</i>					15			
	<i>Limnephilus</i>							7	
	<i>Stenophylax</i>	14	8	7	5			118	2
Phrygaenidae	<i>Hagenella</i>				5		2	2	3
	<i>Trichostegia</i>			20	63	67	53	45	43
Dytiscidae	Indifférencié					108			
	Colymbetinae	22		5	10		18	2	2
	Hydroporinae	2		5				5	
Helodidae	<i>Hydrocyphon</i>			3					
Helophoridae	<i>Helophorus</i>			2					
Hydrophilidae					2				
<b>Athericidae</b>					2				
Ceratopogonidae				3		3			
Chironomidae		106	330	183	2715	2218	1182	1167	290
Empididae		60	4						
Limoniidae		54	2	22	15	27	8	13	10
Rhagionidae					2				
Simuliidae		36		5	3		82	3	
Tabanidae					2				
<b>Tipulidae</b>					7	3	30	2	12
Niphargidae		4		2	2		2		2
BRANCHIOPODES						8			
HYDRACARIENS						5			
OLIGOCHETES		250	1552	42	100	1098	72	503	38
<b>Abondance totale</b>		<b>1300</b>	<b>1956</b>	<b>680</b>	<b>3263</b>	<b>3570</b>	<b>2147</b>	<b>2002</b>	<b>410</b>
<b>Variété totale</b>		<b>10</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>10</b>
<b>Indicateurs d'humidité soutenue</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

Tableau 13. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), des peuplements benthiques échantillonnés sur la station amont du ruisseau de la Sommière du Moulin (SM) ; **en turquoise** : taxons indicateurs d'humidité soutenue ; **en rouge** : avant restauration ; **en vert** après les travaux de retouche de 2007, rendus nécessaires par les crues exceptionnelles de novembre 2017 advenues peu après la fin des travaux ; **en violet** : données obtenues en 2019.

## Structures spatio-temporelle du benthos de la Verne Fendue

Dans la Verne Fendue aval, la variété totale mesurée en 2006 avant travaux était de 9 unités taxonomiques, dont deux trichoptères et un seul indicateur d'humidité soutenue (tab. 14). Entre 2015 et 2018, la variété taxonomique est comprise entre 14 et 16 dont de 5 à 6 EPT et de 4 à 6 indicateurs d'humidité soutenue

Groupes taxonomiques		avr.- 06	avr. -08	mars- 16	févr.- 17	mars- 17	avr. -18	avr. -19
Nemouridae	Nemoura	368	116	1282	348	498	182	25
Limnephilidae	<i>Glyptotaelius</i>			23	5	7		2
	Limnephilinae				7			
	<i>Limnephilus</i>	6	14	28		13	18	
	<i>Micropterna</i>			7				
	<i>Stenophylax</i>	20	2	90		18	77	
	<i>Oligostomis</i>				2		2	3
	<i>Trichostegia</i>			7	27	77	25	47
Dytiscidae	Indifférencé	12						
	Colymbetinae		4	7	33	13	5	5
	Hydroporinae			5		10	2	
Scirtidae						3		
Ceratopogonidae					2			
Chironomidae		116	192	2907	2043	518	2233	42
Culicidae						8		
Limoniidae		34	12	22	12	17	20	5
Rhagionidae					2		2	
Simuliidae		40	42	187		177	37	2
Tabanidae								
Tipulidae				5	5	3	2	
Gerridae	Gerris	2						
Gammaridae	<i>Gammarus</i>				70			
Niphargidae				12		2	22	2
BRANCHIOPODES					35			
NEMATODES			4					
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>				17	23	2	
Unionidae	<i>Unio</i>			2				
OLIGOCHETES		3644	9262	1100	697	277	1750	92
<b>Abondance totale</b>		<b>4242</b>	<b>9648</b>	<b>5682</b>	<b>3302</b>	<b>1663</b>	<b>4380</b>	<b>223</b>
<b>Variété totale</b>		<b>9</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>10</b>
<b>Indicateurs d'humidité soutenue</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

Tableau 14. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), des peuplements benthiques échantillonnés sur la station amont du ruisseau de la Verne Fendue (VF) ; en turquoise : taxons indicateurs d'humidité soutenue ; en rouge : avant restauration ; en vert observations juste après les travaux de 2007 ; en violet : données obtenues en 2019.

## Bilan sur l'évolution du benthos des ruisseaux restaurés en 2007 et 2008

Dans les 2 cours d'eau restaurés depuis une dizaine d'année, la variété totale et celle des EPT ont donc augmenté par rapport à l'état avant travaux. La significativité de cette tendance est renforcée par la comparaison avec l'évolution de la structure des peuplements échantillonnés sur les deux stations témoins, sauf en 2015 (fig. 22).

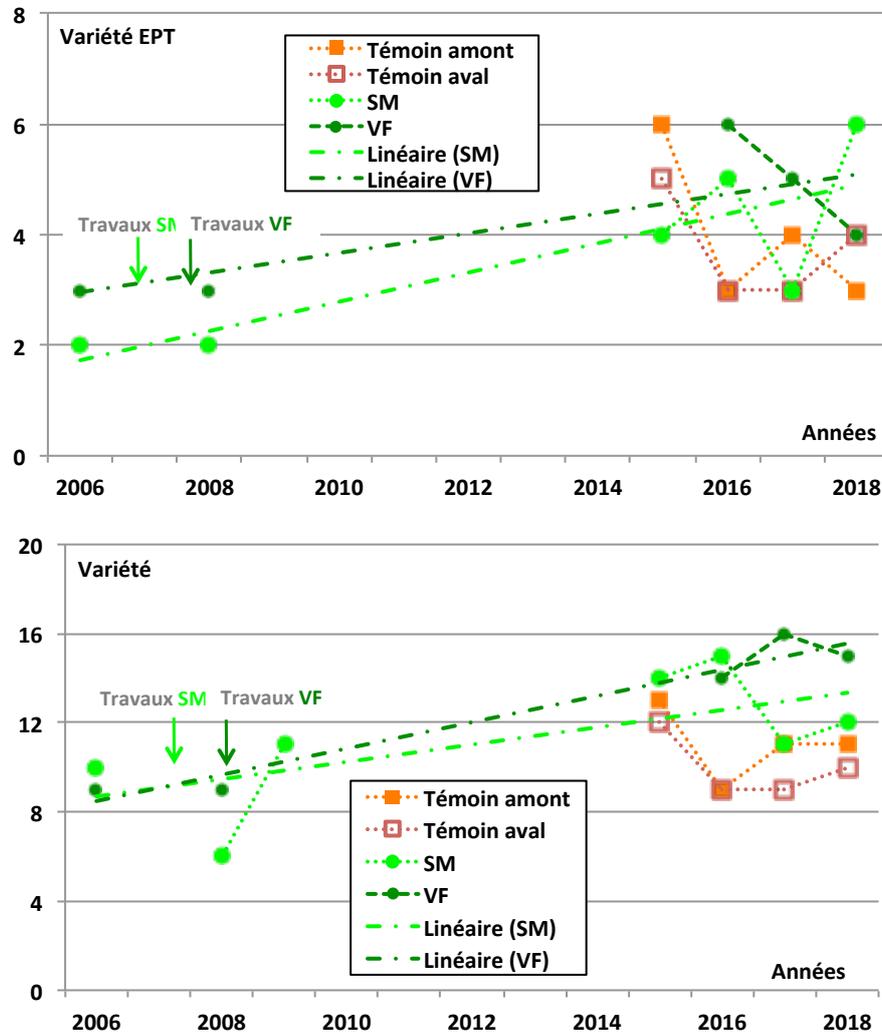


Figure 22. Evolution spatio-temporelle de la variété taxonomique totale (en haut) et pour les EPT (en bas) des peuplements de macroinvertébrés aquatiques benthiques prélevés dans les ruisseaux de la **Sommière du Moulin** (SM), de la **Verne Fendue** (VF) ainsi que dans le **ruisseau témoin**

#### 4-4. Analyses du benthos du ruisseau du Coulon

##### Structures spatio-temporelles du benthos du Coulon amont

Dans le Coulon amont, la variété totale mesurée en 2015 avant travaux était de 13 unités taxonomiques, dont 5 EPT et 2 indicateurs d'humidité soutenue (tab. 15). En 2017 et 2018, la variété taxonomique atteignait 14 dont 4 indicateurs d'humidité soutenue. Le nombre de genre d'EPT passait de 5 en 2017 à 8 en 2018. Parallèlement l'abondance des larves appartenant à un de ces 3 ordres d'insecte augmente fortement.

Groupes taxonomiques		mars-15	mars-16	mars-17	avr.-18	avr.-19
Perlodidae	<i>Isoperla</i>	3				
Nemouridae	<i>Nemoura</i>	105	325	1770	420	45
Ameletidae	<i>Metreletus</i>				3	
Siphonuridae	<i>Siphonurus</i>	3				
Limnephilidae	<i>Glyphotaenius</i>		20	10	10	5
	<i>Limnephilus</i>			8	30	
	<i>Micropterna</i>	5			3	
	<i>Stenophylax</i>		45	110	340	10
Phrygaenidae	<i>Trichostegia</i>			3	20	
Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia</i>	5				
Dytiscidae	Colymbetinae			3		
	Dytiscinae					8
Ceratopogonidae		40		5		
Chironomidae		893	190	478	365	100
Empididae			3			
Limoniidae		18		48	40	5
Simuliidae		5	108	305	78	
Tabanidae					3	
Tipulidae		3	8	3		
HYDRACARIENS		3				
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	440		13	3	
OLIGOCHETES		1405	120	880	1895	130
Erpobdellidae	<i>Erpobdella</i>					
Hirudidae	<i>Haemopsis</i>			3		
<b>Abondance totale</b>		<b>2925</b>	<b>818</b>	<b>3635</b>	<b>3210</b>	<b>303</b>
<b>Variété totale</b>		<b>13</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>7</b>
<b>Indicateurs d'humidité soutenue</b>		<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>

Tableau 15. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), des peuplements benthiques échantillonnés sur la **station amont du ruisseau du Coulon** (n°32) ; **en turquoise** : taxons indicateurs d'humidité soutenue ; **en rouge** : avant restauration ; **en vert** observations peu après les travaux de 2015 ; **en violet** : données obtenues en 2019

### Structures spatio-temporelles du benthos du Coulon amont

Dans la partie aval du Coulon, la variété mesurée dans les prélèvements passe de 16 dont 7 EPT avant travaux, en 2015, à 18 dont 7 EPT à 2017 puis à 22 dont 10 EPT en 2018 (tab. 16). Corrélativement, le nombre d'indicateurs d'humidité soutenue passe de 4 à 5 en 2017 et en 2018.

En 2017, apparaissent deux indicateurs d'humidité soutenue à forte valeur patrimoniale, le genre de plécoptère *Amphinemura* et le trichoptère *Hagenella clathrata*. En 2018, l'éphémère *Metreletus balacanicus* est capturée en compagnie des plécoptères *Amphinemura* et *Brachyptera*.

Groupes taxonomiques		mars-15	mars-16	mars-17	avr.-18	avr.-19
<i>Perlodidae</i>	<i>Isoperla</i>	23	5	5	3	
<i>Taeniopterygidae</i>	<i>Brachyptera</i>		23		23	
<b>Nemouridae</b>	<b>Amphinemura</b>			30	5	
	<i>Nemoura</i>	173	693	1195	425	225
<b>Ameletidae</b>	<b>Metreletus</b>			3	5	
<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>	20			3	8
<b>Limnephilidae</b>	<b>Glyphotaelius</b>	18	10	5		3
	<i>Limnephilus</i>		5	25	38	
	<i>Micropterna</i>	13		10	13	
	<i>Stenophylax</i>		140	265	58	53
<b>Phrygaenidae</b>	<b>Hagenella</b>			3		
	<i>Trichostegia</i>	5	3		5	
<i>Polycentropodidae</i>	<i>Plectrocnemia</i>	8				
<i>Dryopidae</i>	<i>Dryops</i>			3	5	
<i>Dytiscidae</i>	indifférenciés					5
	<i>Colymbetinae</i>			8	5	
<i>Helophoridae</i>	<i>Helophorus</i>			3		
<i>Ceratopogonidae</i>		18	3	13	3	
<i>Chironomidae</i>		1000	108	223	20	63
<i>Culicidae</i>					3	
<i>Limoniidae</i>		10	5	25	8	3
<i>Rhagionidae</i>					5	
<i>Simuliidae</i>		3	215	1268	713	93
<i>Tabanidae</i>					3	
<b>Gammaridae</b>	<b>Gammarus</b>	3				
<i>Niphargidae</i>		13	3			
<i>Sphaeriidae</i>	<i>Pisidium</i>	600			123	3
OLIGOCHETES		398	928	535	2048	203
<i>Erpobdellidae</i>	<i>Erpobdella</i>	5	3	13	25	
<b>Abondance totale</b>		<b>2310</b>	<b>2144</b>	<b>3632</b>	<b>3539</b>	<b>659</b>
<b>Variété totale</b>		<b>16</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>10</b>
<b>Indicateurs d'humidité soutenue</b>		<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>

Tableau 16. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), des peuplements benthiques échantillonnés sur la **station aval du ruisseau de Coulon** (n°32) ; **en turquoise** : taxons indicateurs d'humidité soutenue ; **en rouge** : avant restauration ; **en vert** observations peu après les travaux de 2015 ; **en violet** : données obtenues en 2019

## Bilan sur l'évolution spatio-temporelle du benthos du ruisseau du Coulon

Ces tendances à la hausse de la biodiversité et au confortement des conditions favorable aux espèces exigeant des hydropériodes ou et des durée d'humidité des fonds plus longues sont confirmées par la comparaisons avec la variété et la compositions de la faune des 2 stations témoins.

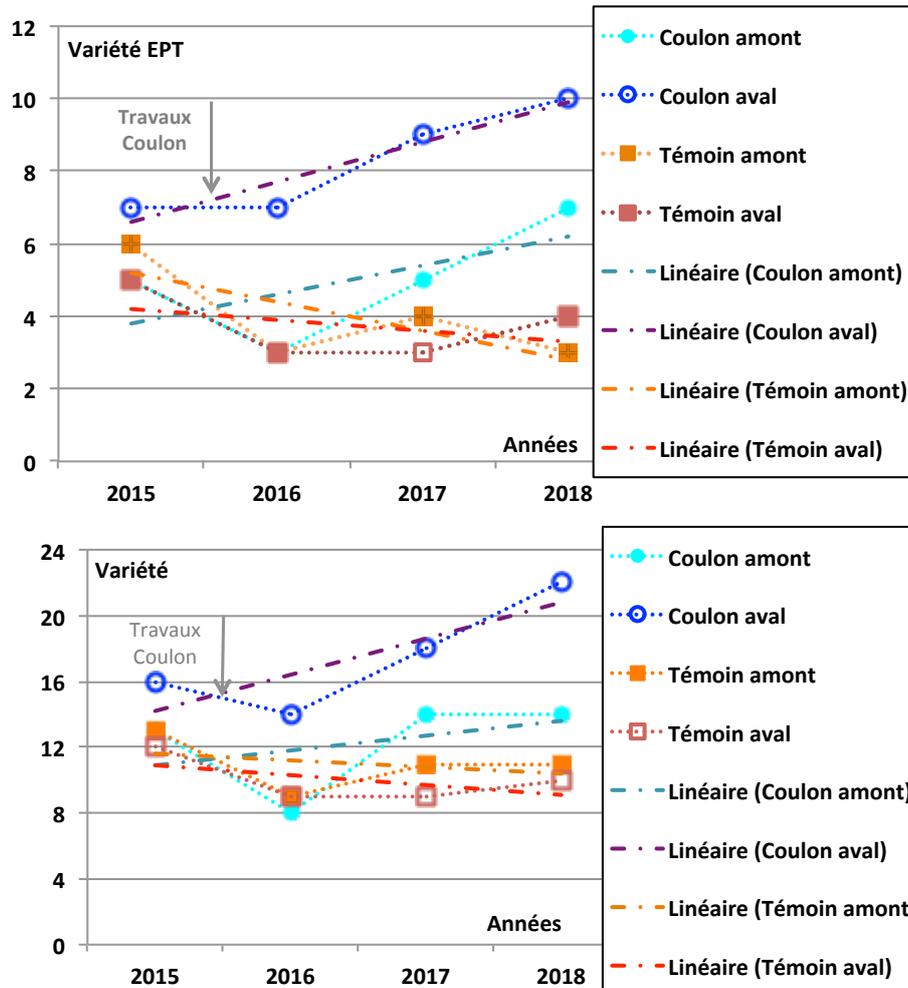


Figure 23. Evolution spatio-temporelle de la variété taxonomique totale (en haut) et pour les EPT (en bas) des peuplements de macroinvertébrés aquatiques benthiques prélevés entre 2015 et 2018 dans le **ruisseau du Coulon** (n° 32) ainsi que dans le **ruisseau témoin** (n°23)

## 4-5. Evolution du benthos du ruisseau du Sauguet

## Structures spatio-temporelles du benthos du Sauguet amont

Dans le Sauguet amont, la variété totale mesurée en 2015 avant travaux était de 14 unités taxonomiques, dont 6 EPT, y compris *Metreletus balkanicus*, et 2 indicateurs d'humidité soutenue (tab. 17). En 2017 et 2018, la variété taxonomique passe à 20 puis revient à 16 dont 8 puis 7 EPT et 6 puis 4 indicateurs d'humidité soutenue. La densité des EPT mesurée dans les différents prélèvements est beaucoup plus importante après travaux, en particulier mais pas uniquement en ce qui concerne les larves de *Nemoura*.

Groupes taxonomiques		mars-15	mars-16	mars-17	avr.-18	avr.-19
<i>Perlodidae</i>	<i>Isoperla</i>	30	28	15	10	8
<i>Taeniopterygidae</i>	<i>Brachyptera</i>		15			
<i>Nemouridae</i>	<i>Amphinemura</i>			8	3	
	<i>Nemoura</i>	60	860	1045	783	450
<i>Ameletidae</i>	<i>Metreletus</i>	3	5			
<i>Arthropleidae</i>	<i>Arthroplea</i>			5		
<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>	23	63	73	85	5
<i>Limnephilidae</i>	<i>Glyphotaelius</i>		5	3	20	3
	<i>Limnephilus</i>		18	35	23	3
	<i>Micropterna</i>	3	5			
	<i>Stenophylax</i>		120	13	15	3
<i>Polycentropodidae</i>	indifférenciés	5				
<i>Dryopidae</i>	<i>Dryops</i>			3		
<i>Dytiscidae</i>	<i>Colymbetinae</i>			3	5	
	<i>Dytiscinae</i>					3
	<i>Hydroporinae</i>			8	3	
<i>Hydrophilidae</i>					3	
<i>Scirtidae</i>					3	
<i>Ceratopogonidae</i>		13		8		
<i>Chironomidae</i>		208	75	293	1430	78
<i>Limoniidae</i>		18	5	20	45	15
<i>Simuliidae</i>		3	45	33	10	38
<i>Tabanidae</i>		3				
<i>Tipulidae</i>			10	5		
<i>Niphargidae</i>		5	3	3		3
HYDRACARIENS				3		
<i>Sphaeriidae</i>	<i>Pisidium</i>	23	18	5	120	3
OLIGOCHETES		1273	705	148	1048	178
<b>Abondance totale</b>		<b>1665</b>	<b>1978</b>	<b>1723</b>	<b>3603</b>	<b>785</b>
<b>Variété totale</b>		<b>14</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>13</b>
<b>Indicateurs d'hydropériode longue</b>		<b>2</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

Tableau 17. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), des peuplements benthiques échantillonnés sur la **station amont du ruisseau du Sauget** (n°51) ; **en turquoise** : taxons indicateurs d'humidité soutenue ; **en rouge** : avant restauration ; **en vert** observations peu après les travaux ayant débuté en 2015 mais avant ceux de 2016 ; **en violet** : données de 2019

### Structures spatio-temporelles du benthos du Sauget aval

Dans la partie aval du Sauget, la variété mesurée passe de 16 unités taxonomiques dont 7 EPT, en 2015, avant travaux, à 18 dont 8 EPT en 2017 et 2018 (tab. 18). Corrélativement, le nombre d'indicateur d'humidité soutenue qui était de 4 en 2015, passe à 5 en 2017, dont l'éphémère *Arthroplea congener*, mais revient à 4 en 2018.

<b>Groupes taxonomiques</b>		<b>mars-15</b>	<b>mars-16</b>	<b>mars-17</b>	<b>avr.-18</b>	<b>avr.-19</b>
<i>Perlodidae</i>	<i>Isoperla</i>	45	10	23	10	
<i>Taeniopterygidae</i>	<i>Brachyptera</i>	5	95	5	5	
<i>Nemouridae</i>	<i>Nemoura</i>	280	645	643	250	68
<b>Arthropleidae</b>	<b>Arthroplea</b>			3		
<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>	35	20	25	180	20
<i>Limnephilidae</i>	<b>Glyphotaelius</b>	3	5	23	10	25
	<i>Limnephilus</i>			8	20	3
	<i>Micropterna</i>		3			
	<i>Stenophylax</i>		100	35	45	25
<i>Phrygaenidae</i>	<b>Oligostomis</b>	3				
	<i>Trichostegia</i>	3			3	
<i>Dryopidae</i>	<i>Dryops</i>	5		8	8	5
<i>Dytiscidae</i>	<i>Colymbetinae</i>		3	13	3	5
<i>Ceratopogonidae</i>		30			3	
<i>Chironomidae</i>		743	198	460	528	38
<i>Limoniidae</i>		5	5	23	18	8
<i>Simuliidae</i>		8	30	5	458	15
<i>Tipulidae</i>			3	3		
<i>Niphargidae</i>		3	33	38	38	8
HYDRACARIENS				3		8
NEMATODES					3	
<i>Sphaeriidae</i>	<i>Pisidium</i>	80	13		25	
OLIGOCHETES		575	225	300	485	43
<i>Erpobdellidae</i>	<i>Erpobdella</i>	3	3	3		
<b>Abondance totale</b>		<b>1823</b>	<b>1388</b>	<b>1615</b>	<b>2088</b>	<b>268</b>
<b>Variété totale</b>		<b>16</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>13</b>
<b>Indicateurs d'hydropériode longue</b>		<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

Tableau 18. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), des peuplements benthiques échantillonnés sur la **station aval du ruisseau du Sauget** (n°51) ; **en turquoise** : taxons indicateurs d'humidité soutenue ; **en rouge** : avant restauration ; **en vert** observations peu après les travaux (2015 sur la partie amont et 2016 à l'aval) ; **en violet** : données de 2019

### Bilan sur l'évolution spatio-temporelle du benthos du ruisseau du Sauget

L'accroissement de la richesse taxonomique observé sur le ruisseau du Sauget n'est pas aussi important que celui qui a été mesuré sur les autres ruisseaux restaurés étudiés, y compris par comparaison avec l'évolution des variétés observées sur les 2 stations témoins (fig. 24). En effet, les pentes des droites de tendance évolutives des variétés du Sauget, si elles sont bien croissantes ne sont pas très accentuées.

Deux facteurs expliquent la moindre ampleur de l'effet mesuré. D'une part, le Sauget apparaissait avant travaux un peu plus diversifié et un peu plus humide que les autres ruisseaux. D'autre part, sur ce cours d'eau, les travaux de restauration se sont terminés en 2016. Les mesures de 2017 et 2018 sont donc réalisées avant que la durée minimale de 3 ans nécessaire à la recolonisation optimale des milieux soit écoulées.

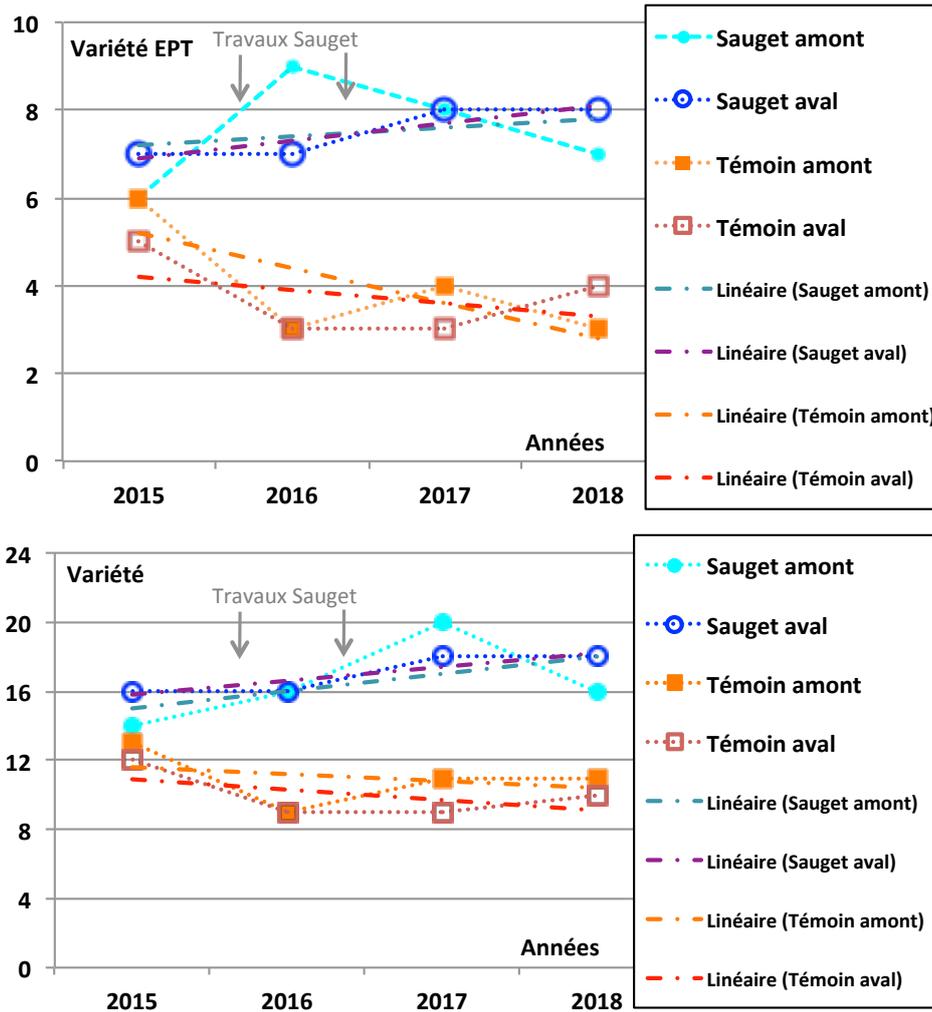


Figure 24. Evolution spatio-temporelle de la variété taxonomique totale (en haut) et pour les EPT (en bas) des peuplements de macroinvertébrés aquatiques benthiques prélevés entre 2015 et 2018 dans le ruisseau du Sauget (n° 51) ainsi que dans le ruisseau témoin (n°23)

#### 4-6. Analyses du benthos de la Clauge apicale

La partie apicale de la Clauge en aval de la D41 n'était pas restaurée en 2019 et ne le sera pas avant fin 2022. En outre, étant donné le surélargissement et l'enfoncement du lit, les surcroits de débits d'étiage apportés par les affluents restaurés peinent à allonger significativement l'hydropériode du cours principal.

##### Structures spatio-temporelles du benthos de la station « Clauge amont »

Dans le cas de la station située le plus à l'amont de la Clauge apicale, la variété taxonomique des prélèvements effectués jusqu'en 2016 est comprise entre 12 et 18 unités dont 3 à 8 EPT pour 1 à 3 taxons indicateurs d'humidité soutenue (tab. 19). Peu après la restauration des affluents amont, en 2018, la variété taxonomique mesurée sur la Clauge amont vaut 12, dont 6 EPT et 2 indicateurs d'humidité soutenue.

Groupes taxonomiques		avr.- 06	avr.- 08	févr.- 10	mars- 15	mars- 16	mars- 17	avr.- 18	avr.- 19
<i>Perlodidae</i>	<i>Isoperla</i>				5	7		2	
<i>Taeniopterygidae</i>	<i>Brachyptera</i>					13	2	2	
<i>Nemouridae</i>	<i>Nemoura</i>	1134	250	437	52	1248	913	92	313
<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>	4			5		10	3	
<i>Limnephilidae</i>	<b><i>Glyphotaelius</i></b>	16		7	5	7			
	<i>Limnephilinae</i>			13	2				
	<i>Limnephilus</i>	56	106	2	5	3	43	87	52
	<i>Micropterna</i>					2			2
	<b><i>Oligostomis</i></b>					2			
	<i>Stenophylax</i>	146	12	32	2	48	23	113	27
<i>Dryopidae</i>	indifférenciés			2					
	<i>Dryops</i>		2			8	8	10	5
<i>Dytiscidae</i>	indifférenciés			2					
	<i>Colymbetinae</i>	16	2		2	10	5		3
	<i>Dytiscinae</i>								2
<i>Ceratopogonidae</i>		4		5	2	5			
<i>Chironomidae</i>		66	62	260	103	240	722	27	120
<i>Limoniidae</i>		4	10		2	7	10	7	3
<i>Rhagionidae</i>			2						
<i>Simuliidae</i>		66	10	130	5	373	1152	15	72
<i>Tabanidae</i>			2					5	
<i>Tipulidae</i>				3		2			
<i>Niphargidae</i>		6		27		15	12		8
HYDRACARIENS			2						2
<i>Lymnaeidae</i>	<i>Radix</i>		2						
<i>Sphaeriidae</i>	<i>Pisidium</i>		20						
OLIGOCHETES		634	1734	40	135	395	433	825	85
<i>Erpobdellidae</i>	<i>Erpobdella</i>	10		2	5	5	3		2
<b>Abondance totale</b>		<b>2158</b>	<b>2220</b>	<b>955</b>	<b>332</b>	<b>2385</b>	<b>3342</b>	<b>1187</b>	<b>693</b>
<b>Variété totale</b>		<b>12</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>14</b>
<b>Indicateurs d'hydropériode longue</b>		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Tableau 19. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), des peuplements benthiques échantillonnés sur la **station amont de la Clauge apicale** ; **en turquoise** : taxons indicateurs d'humidité soutenue ; **en rouge** : avant toute restauration d'affluent amont ; **en vert** peu après la restauration des affluents confluant en amont ; **en violet** : en 2019

Comme dans le cas du Sauguet, la restauration des affluents de la partie amont du chevelu hydrographique était au moment des derniers relevés encore trop récente pour que les effets des travaux puissent se faire sentir sur cette portion de la Clauge.

#### Structures spatio-temporelles du benthos de la station « Clauge médiane »

A *contrario*, la station médiane est située à l'aval de la confluence de 4 ruisseaux restaurés entre 2007 et 2008 ainsi que de ceux restaurés en 2016. La variété taxonomique y passe de 11 dont 3 EPT et 2 indicateurs d'humidité soutenue en 2006 à de 15 à 18 dont de 5 à 9 EPT et de 2 à 6 indicateurs d'humidité soutenue (tab. 20).

Groupes taxonomiques		avr.- 06	avr.- 08	mars -15	mars -16	déc.- 16	févr.- 17	mars -17	avr.- 18	avr.- 19
Perlodidae	Isoperla			7	7				2	
Taeniopterygidae	Brachyptera				12				3	
Capniidae	Zwicknia					3				
Nemouridae	Nemoura	934	278	30	202	87	218	697	95	48
Siphonuridae	Siphonurus			20	2			3	2	
Limnephilidae	Glyphotaelius		4	3	3		10	7		3
	Limnephilinae			2		105	20			
	Limnephilus	30	100	3	10			8	103	18
	Micropterna			3	8		8			
	Stenophylax	110	4	13	107		10	142	138	32
Phrygaenidae	Oligostomis					3	12			
	Trichostegia		4		2	13	3			
Dryopidae	indifférenciés						2			
	Dryops	4						2	7	3
Dytiscidae	indifférenciés	10								
	Colymbetinae				7	53	7	5		
	Dytiscinae			2						2
	Hydroporinae			2						2
Ceratopogonidae			2	2		32	2		2	
Chironomidae		28	150	1697	1378	213	1055	550	108	178
Culicidae						8				
Limoniidae			2		2	2	3	17	2	2
Rhagionidae						2	2			
Simuliidae		138	14		43			72	2	8
Tabanidae										2
Tipulidae		10			3	2				
Gammaridae	Gammarus					18	65			
Niphargidae		16	20	3	15			40	32	18
BRANCHIOPODES						2		2		
HYDRACARIENS						7	30			
NEMATODES			2						2	
Sphaeriidae	Pisidium			2	3			3	8	
OLIGOCHETES		470	948	263	208	123	317	282	563	167
Erpobdellidae	Erpobdella	2	6		5	5	8	5	23	7
Hirudidae	Haemopis			2						
<b>Abondance totale</b>		<b>1752</b>	<b>1534</b>	<b>2053</b>	<b>2017</b>	<b>678</b>	<b>1772</b>	<b>1833</b>	<b>1092</b>	<b>490</b>
<b>Variété totale</b>		<b>11</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>14</b>
<b>Indicateurs d'humidité soutenue</b>		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

Tableau 20. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), du peuplement benthique échantillonné sur la station médiane de la Clauge apicale ; **en turquoise** : indicateurs d'humidité soutenue ; **en rouge** : avant toute restauration d'affluent ; **en vert** : peu après la restauration de 4 affluents « médians » ; **en bleu clair** : 7 à 8 ans après la restauration des 4 affluents « médians » mais avant la restauration des affluents « amont » ; **en bleu foncés** : après la restauration des affluents amont ; **en violet** : en 2019

La station « Clauge aval » bénéficie des apports de l'ensemble des ruisseaux restaurés, mais le suivi n'y a commencé qu'en 2015. Entre 2015 et 2018, la variété taxonomique totale qui y est observée varie de 21 à 23 dont de 7 à 9 EPT et de 4 à 6 indicateurs

d'humidité soutenue (tab. 21). Entre 2015 et 2019 on observe en outre une tendance à l'augmentation de l'abondance des larves des plécoptère *Amphinemura* et *Nemoura* ainsi que de l'éphémère *Metreletus balkanica*,

Groupes taxonomiques		mars-15	mars-16	avr.-17	avr.-18	avr.-19
<i>Perlodidae</i>	<i>Isoperla</i>	165	40	13	25	7
<i>Taeniopterygidae</i>	<i>Brachyptera</i>	27	55	2		7
<b>Nemouridae</b>	<b><i>Amphinemura</i></b>	<b>5</b>		<b>3</b>	<b>55</b>	<b>40</b>
	<i>Nemoura</i>	58	453	1048	305	227
<b>Ameletidae</b>	<b><i>Metreletus</i></b>	<b>10</b>	<b>27</b>	<b>38</b>	<b>27</b>	<b>43</b>
<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>	300	17	250	50	25
<i>Limnephilidae</i>	<b><i>Glyphotaelius</i></b>	<b>7</b>	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>27</b>	
	<i>Limnephilus</i>			7	13	15
	<i>Stenophylax</i>	3	138	27	87	18
<i>Polycentropodidae</i>	<i>Plectrocnemia</i>	3				
<i>Dryopidae</i>	<i>Dryops</i>	2	10	3	2	2
<i>Dytiscidae</i>	<i>Colymbetinae</i>			3	2	5
	<i>Hydroporinae</i>	5		3	2	
<i>Ceratopogonidae</i>		10	2			
<i>Chironomidae</i>		877	968	95	90	202
<i>Limoniidae</i>		10	5	17	10	3
<i>Rhagionidae</i>			2	2		
<i>Simuliidae</i>		3	593	87	7	200
<i>Tabanidae</i>		2	3	3		5
<i>Tipulidae</i>			2			2
<b><i>Gammaridae</i></b>	<b><i>Gammarus</i></b>	<b>2</b>		<b>3</b>		
<i>Niphargidae</i>			28	12	2	5
HYDRACARIENS				10	3	
NEMATODES					3	
<i>Ancylidae</i>	<i>Ancylus</i>	57	10	18	28	2
<i>Lymnaeidae</i>	<i>Radix</i>	2				
<i>Sphaeriidae</i>	<i>Pisidium</i>	172	198	248	602	53
<i>Planariidae</i>	<i>Polycelis</i>	15	17	15	2	
OLIGOCHETES		790	1383	492	1298	275
<i>Erpobdellidae</i>	<i>Erpobdella</i>	2				
<i>Hirudidae</i>	<i>Haemopsis</i>		5			
BRYOZOAIRES				3	7	
<b>Abondance totale</b>		<b>2353</b>	<b>3782</b>	<b>2170</b>	<b>2043</b>	<b>1082</b>
<b>Variété totale</b>		<b>23</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>19</b>
<b>Indicateurs d'humidité soutenue</b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

Tableau 20. Composition taxonomique, en densité (nb/m<sup>2</sup>), des peuplements benthiques échantillonnés sur la **station aval de la Clauge apicale** ; **en turquoise** : taxons indicateurs d'humidité soutenue ; **en bleu clair** : 7 ans après la restauration des 4 affluents « médians » mais avant la restauration des autres affluents ; **en vert** peu après la restauration des autres affluents ; **en bleu foncés** : après la restauration des affluents « aval » ; **en violet** : en 2019

## Bilan sur l'évolution spatio-temporelle du benthos de la Clauge apicale

Le suivi du benthos de la station « médiane » montre une tendance nette à l'accroissement de la variété des EPT (fig. 25). La comparaison de ces résultats avec la baisse de la variété EPT mesurée sur la station aval du ruisseau témoin renforce la portée de cette observation. A moyens termes, **la restauration des affluents pourrait donc avoir allongé la durée des écoulements hyporhéiques du lit du cours principal**, si ce n'est son hyporhéisme.

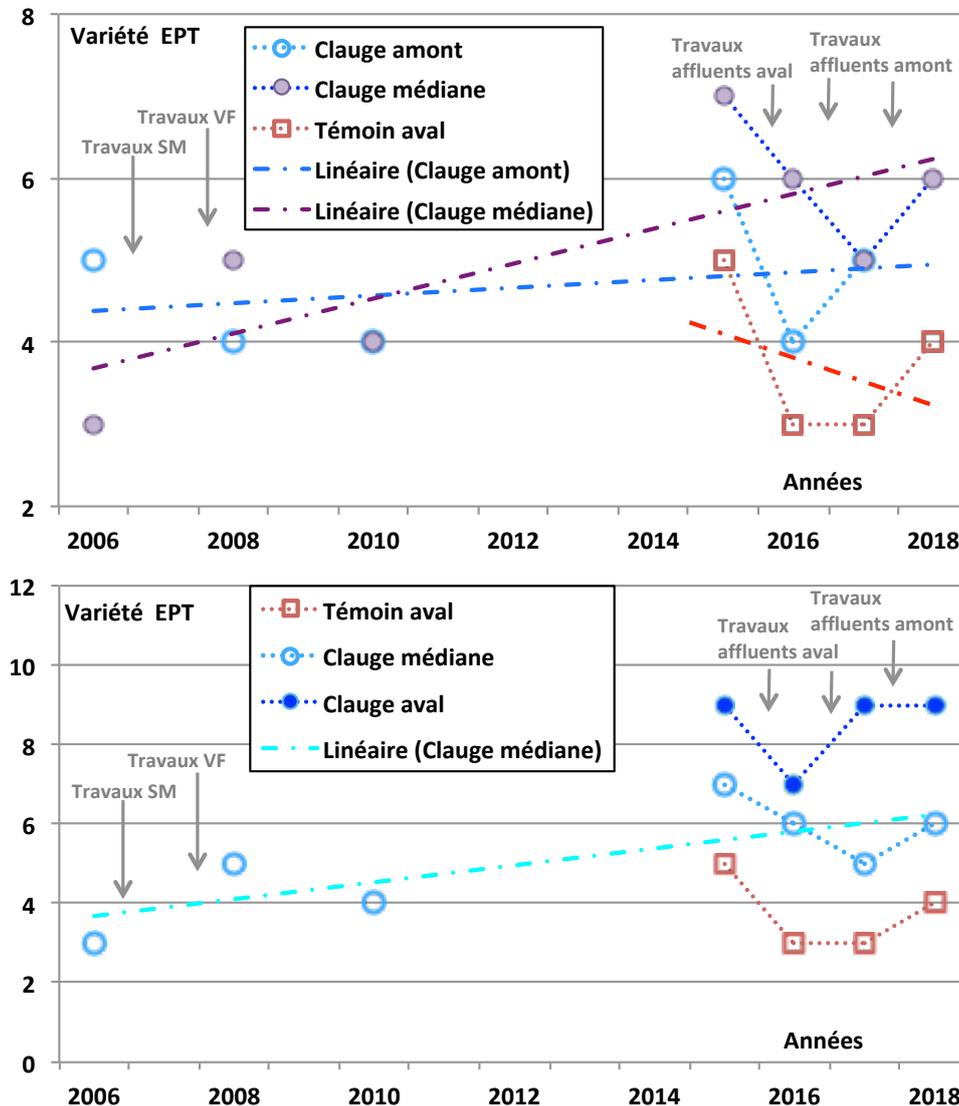


Figure 25. Evolution spatio-temporelle de la variété taxonomique totale (en bas) et des EPT (en haut) des peuplements de macroinvertébrés aquatiques benthiques prélevés entre 2015 et 2018 dans les stations amont, médiane et aval de la Clauge et aval du ruisseau témoin (n°23)

En revanche, les effets à courts termes du réaménagement des affluents restaurés à partir de l'été 2015 sur la variété des EPT apparaissent faibles sur la station « Clauge aval » et insensibles sur la station Clauge « médiane ». Ce résultat s'explique sans doute par l'insuffisance des délais d'action après travaux, ou / et par les variations hydroclimatiques interannuelles plutôt défavorables sur cette période.

Cependant, même à moyens termes, les effets de la restauration des affluents ne semblent pas suffire à renforcer la variété taxonomique globale de la Clauge apicale qui les collecte dans ce secteur. En effet, elle n'augmente que faiblement sur la station aval et pas du tout sur la station médiane (fig. 26).

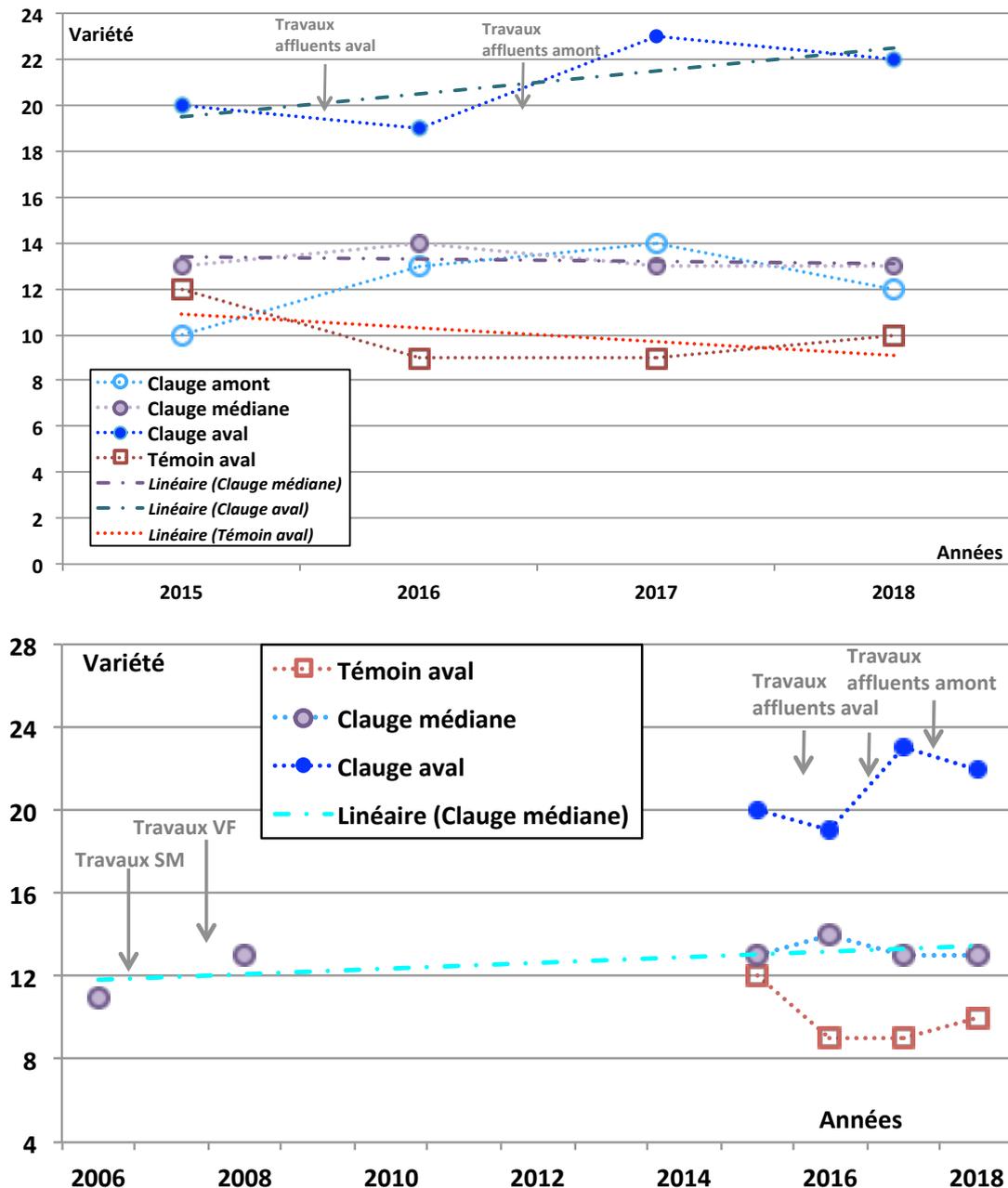


Figure 26. Evolution spatio-temporelle de la variété taxonomique totale (en bas) et des EPT (en haut) des peuplements de macroinvertébrés aquatiques benthiques prélevés entre 2015 et 2018 dans les stations amont, médiane et aval de la Clauge et aval du ruisseau témoin (n°23)

La portée de cette constatation est à relativiser au vu de la tendance à la baisse de la variété taxonomique globale observée sur la station témoin aval. Malgré tout, l'absence d'accroissement net de la variété taxonomique globale montre que la restauration des affluents ne suffit pas à compenser l'uniformisation de l'habitat aquatique de la Clauge apicale, dont la qualité physique a été altérée par des curages successifs et des rectifications partielles.

## Bilan partiel du suivi des effets sur le benthos de la restauration des affluents

Le suivi de l'évolution spatio-temporelle de la composition des peuplements de macroinvertébrés benthiques a montré les tendances et les effets suivants :

- les travaux de restauration entraînent une augmentation de la variété taxonomique globale des ruisseaux et plus particulièrement du nombre de genre des EPT ;
- parallèlement, les abondances de la plupart des EPT montrent également, dans les ruisseaux restaurés, une tendance nette à l'augmentation dès la 2<sup>ème</sup> année après les travaux, contrairement à ce qui est observé dans le ruisseau témoin (fig. 27) ;
- ces tendances à l'accroissement des potentiels biologiques sensibles dès 2 ans après les travaux, se consolider avec le temps ;
- elles s'estompent toutefois lorsque, comme en 2019, le cycle annuel précédant la période d'étude est intégralement déficitaire en précipitations ;
- dans le cas de la Clauge apicale, la restauration des affluents à l'amont des secteurs étudiés accroît, à moyens termes, la variété et l'abondance des EPT ; en revanche les effets à courts termes de ces travaux sur la variété totale n'est pas très sensible.

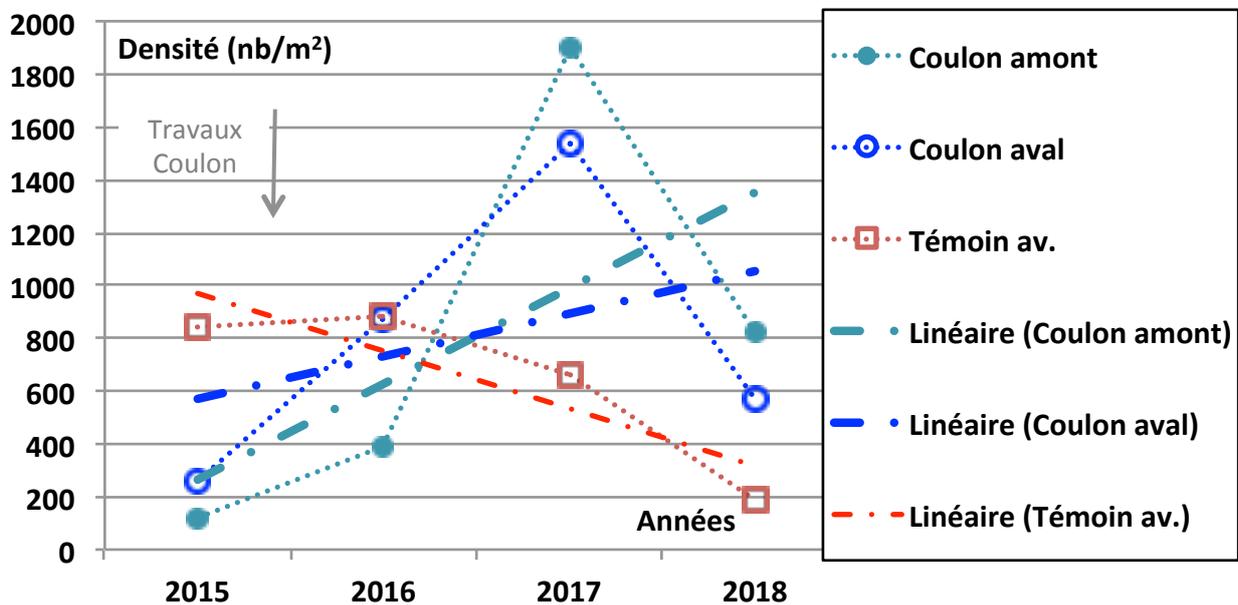


Figure 27. Evolution spatio-temporelle de l'abondance des larves du genre *Nemoura* prélevées entre 2015 et 2017 dans le ruisseau du Sauguet (n° 51) ainsi que dans le ruisseau témoin (n°23)

## 5. Inventaires spécifiques EPT

### 5-1. Apport des chasses imaginale

#### Richesse spécifique potentielle et biodiversité des EPT

Sur l'ensemble des stations d'étude, les 6 à 8 campagnes de chasses annuelles des adultes réalisées 3 années de suite ont permis de capturer en tout 22 espèces appartenant à 18 genres d'EPT (annexe tab. 21). Quinze de ces genres ont aussi été identifiés phase larvaire au cours des prélèvements de benthos.

Ordre	Prélèvements benthiques (1/an, 8-12 placettes)			Chasses d'imagos (6 à 8/an)	
	Famille	Genre	nb/m <sup>2</sup>	Espèce	CET
Plécoptère	<i>Perlodidae</i>	<i>Isoperla</i>	513	<i>Isoperla grammatica</i>	60
	<i>Taeniopterygidae</i>	<i>Brachyptera</i>	292	<i>Brachyptera risi</i>	243
	<i>Capniidae</i>	<i>Zwicknia</i>	3	<i>Zwicknia bifrons</i>	2
				<i>Zwicknia westermanni</i>	38
	<i>Nemouridae</i>	<i>Amphinemura</i>	148	<i>Amphinemura standfussi</i>	28
	<i>Nemoura</i>	31961	<i>Nemoura cinerea</i>	1418	
Ephéméroptère	<i>Ameletidae</i>	<i>Metreletus</i>	163	<i>Metreletus balcanicus</i>	12
	<i>Arthropleidae</i>	<i>Arthroplea</i>	8	( <i>Arthroplea congener</i> )	
	<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>	1251	<i>Siphonurus aestivalis</i>	57
Trichoptère	<i>Beraeidae</i>			<i>Beraea pullata</i>	6
	<i>Limnephilidae</i>	<i>Glyphotaelius</i>	381	<i>Glyphotaelius pellucidus</i>	69
	<i>Limnephilini</i>	<i>Limnephilus</i>	971	<i>Limnephilus auricula</i>	8
				<i>Limnephilus centralis</i>	116
				<i>Limnephilus lunatus</i>	2
				<i>Limnephilus sparsus</i>	1
		indifférenciés	232	<i>Grammotaulius nigropunctatus</i>	4
	<i>Limnephilidae</i>	<i>Micropterna</i>	244	<i>Micropterna lateralis</i>	11
	<i>Stenophylacini</i>	<i>Stenophylax</i>	3254	<i>Stenophylax permistus</i>	70
				<i>Enoicyla pusilla</i>	1
<i>Phrygaenidae</i>	<i>Hagenella</i>	64	<i>Hagenella clathrata</i>	4	
	<i>Oligostomis</i>	34	<i>Oligostomis reticulata</i>	95	
	<i>Trichostegia</i>	572	<i>Trichostegia minor</i>	3	
	<i>Polycentropodidae</i>	indifférenciés			
	<i>Polycentropodidae</i>	<i>Plectrocnemia</i>	16	<i>Plectrocnemia conspersa</i>	1
<b>Nb genres</b>			<b>16</b>		<b>18</b>
<b>Nb espèces</b>					<b>22</b>

Tableau 21. Comparaison de la composition des captures d'EPT effectuées lors des prélèvements de benthos (à gauche) et des chasses d'adultes (à droite) ; les abondances larvaires sont exprimées en densité par mètres carré (nb/m<sup>2</sup>) ; les abondances imaginale sont exprimées en Capture pour l'Effort Total de 6 à 8 campagne par an sur chacune des 11 stations ;

en vert : uniquement à l'état imaginal ; en bleu : uniquement à l'état larvaire ; en jaune : anecdotique

### Différentes entre inventaires par chasses d'imago et prélèvements benthiques

Les trois genres non retrouvés dans les prélèvements benthiques sont des trichoptères ultra-minoritaires ou / et anecdotiques. Ainsi, *Enoicyla pussila* (un seul imago capturé en 3 ans) a un développement larvaire terrestre. *Beraea pullata* (capturée à 6 exemplaires en 3ans) est typique des très petits systèmes, des suintements ou des fossés. Quand à *Grammotaulius nigropunctatus* (4 imagos capturés en 3 ans), elle appartient à la tribu des *Limnephilini* dont 232 larves n'ont pu être déterminée jusqu'au niveau générique.

Parallèlement, une seule larve de *Zwickyia* été capturée, à une densité de 3/m<sup>2</sup>, sur la seule station « Clauge aval » et à une seule occasion, alors que des imagos ont été capturés plus fréquemment et sur plusieurs stations. Cependant, les espèces appartenant à ce genre ont une éclosion très précoce, entre la fin du mois de janvier et le début du mois de mars. Les larves ne sont donc généralement plus présentes dans les ruisseaux au moment où les prélèvements benthiques sont effectués, entre mi-mars et fin avril.

*A contrario*, seul le genre *Arthroplea* n'a été capturé que dans les échantillons larvaires (8 larves en tout). Les 15 autres genres échantillonnés lors des prélèvements benthiques ont tous aussi été capturés à l'état d'adulte. Le nombre d'espèces identifiées sur le domaine d'étude s'élève donc à 23.

Pour la plupart des taxons, la fréquence et l'abondance des larves est nettement plus importante que celle des adultes de l'ensemble des espèces appartenant au même genre. Toutefois, à quelques exceptions près, les deux méthodes classent les abondances génériques de façon similaires.

### Intérêt des inventaires spécifiques par deux approches combinées

**Les chasses imaginales confirment donc que les prélèvements benthiques suffisent à apprécier la diversité des EPT au niveau de l'ensemble des ruisseaux.**

Les chasses imaginales sont aussi utiles pour préciser dans tous les cas la détermination jusqu'au niveau spécifique et donc pour distinguer les espèces appartenant au même genre. Ainsi 4 espèces de *Limniphilius* et deux espèces de *Zwickyia* ont pu être identifiées. Enfin, le suivi stationnel avant et après travaux permet de vérifier et de préciser l'évolution de la diversité des EPT pour chacune des situations stationnelles suivies.

## 5-2. Evolution stationnelle de la richesse spécifique EPT

Les résultats des chasses d'imagos ont été confrontés, pour chacun des ruisseaux, à chacune des années du suivi avec les échantillonnages des larves d'EPT capturées à l'occasion des prélèvements benthiques (tab. 22 à 24). Cette approche vise à caractériser l'attractivité des cours d'eau vis à vis de l'ensemble du cycle de vie des espèces identifiées.

### Richesse spécifique en EPT des ruisseaux restaurés entre 2006 et 2008

Dans le cas des ruisseaux aménagés entre 2006 et 2008, la comparaison des séries de captures effectuées à l'aide des deux types d'échantillonnage fait apparaître un gain variant entre 1 et 3 espèces d'EPT d'une année à l'autre après restauration (tab. 22). A *contrario*, dans les stations témoins, la richesse spécifique suit une tendance à la baisse.

Capuré à l'état d'imago Capturé à l'état larvaire Larve et imago	Sommière du Moulin amont		Verne Fendue aval		Témoïn amont	Témoïn aval
	Avant travaux	Après travaux 2008+2015+2016+2017	Avant travaux	Après travaux 2016 à 2018	2015 à 2018	2015 à 2018
<i>Amphinemura standfussi</i>				2018		
<i>Brachyptera risi</i>					2018	
<i>Zwicknia westermanni</i>		2008				
<i>Isoperla grammatica</i>					2015	2015
<i>Nemoura cinerea</i>	2006	2008+2015+_16+_17+_18	2006+2008	2016+2017	2015+_16+_17+_18	2015+_16+_17+_18
<i>Beraea pullata</i>				2017		
<i>Glyptotaelius pellucidus</i>		2015+2016 +2017+2018		2016+2017	2016	
<i>Grammotaulius nigropunctatus</i>	2006					
<i>Hagenella clathrata</i>		2008+2016+2017+2018			2015+2017	2015
<i>Limnephilus centralis</i>			2006+2008	2016+2017+2018		
<i>Micropterna lateralis</i>				2016	2015+2017+2018	2015+2017
<i>Oligostomis reticulata</i>			2006+2008	2016+2017+2018	2017	2017+2018
<i>Stenophylax permistus</i>	2006	2008+2015+2016+2018	2006+2008	2016+2017+2018	2015+_16+_17+_18	2015+_16+_17+_18
<i>Trichostegia minor</i>		2015+2016+2017+2018		2016+2017+2018	2015	
<b>Nb espèces</b>	<b>3</b>	<b>4 ; 4 ; 4 ; 4 ; 5</b>	<b>4 ; 4</b>	<b>7 ; 7 ; 5</b>	<b>6 ; 3 ; 5 ; 4</b>	<b>5 ; 3 ; 4 ; 3</b>

Tableau 22. Liste des captures d'EPT effectuée phase seulement larvaire, seulement imaginal ou aux 2 stades pendant les suivis réalisés entre 2006 et 2008 puis entre 2015 et 2018 dans une station de chacun des ruisseaux de la Sommière du Moulin et de la Verne Fendue ainsi que dans 2 stations jalonnant le ruisseau témoin.

### Richesse spécifique en EPT du ruisseau du Coulon et du Sauget

Dans le ruisseau du Coulon, le nombre d'espèce d'EPT attirées ou / et hébergées passe de 7 à entre 9 et 12 après restauration (tab. 23). Dans le ruisseau du Sauget, cet effet est moins net puisque 12 espèces sont identifiées durant les 2 années précédant les travaux contre 14 puis 12 durant les 2 années qui les suivent. Comme expliqué dans le cas de l'augmentation de variété taxonomique globale, pour l'instant modeste, des fonds du Sauget, le recul après restauration est encore trop court (cf. p. 37 et 38).

Capuré à l'état d'imago Capturé à l'état larvaire Larve et imago	COULON		SAUGET		TEMOIN
	AVANT TRAVAUX 2015	APRES TRAVAUX 2016+2017+2018	AVANT TRAVAUX 2015+2016	APRES TRAVAUX 2017+2018	2015+2016+2017+2018
<i>Amphinemura standfussi</i>		2016+ 2017+2018	2016	2017+2018	
<i>Brachyptera risi</i>		2016 + 2018	2015+2016	2017+2018	2018
<i>Zwicknia westermanni</i>			2015+2016	2017+2018	
<i>Isoperla grammatica</i>	2015	2016+2017+ 2018	2015+2016	2017+2018	2015
<i>Nemoura cinerea</i>	2015	2016+2017+2018	2015+2016	2017+2018	2015+2016+2017+2018
<i>Beraea pullata</i>			2015	2017	
<i>Glyptotaelius pellucidus</i>	2015	2016+2017+2018	2015+2016	2017	2016
<i>Hagenella clathrata</i>		2017			2015+2017
<i>Limnephilus centralis</i>		2016+2017+2018	2015+2016	2017+2018	
<i>Limnephilus auricula</i>				2017+(2018)?	
<i>Limnephilus lunatus</i>				(2018)?	
<i>Micropterna lateralis</i>	2015	2017+2018	2015 + 2016		2015+2017+2018
<i>Oligostomis reticulata</i>		2017+2018	2015+2016	2017+2018	2016+2017+2018
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	2015				
<i>Stenophylax permistus</i>		2016+2017+2018	2016	2017+2018	2015+2016+2017+2018
<i>Trichostegia minor</i>	2015	2016+2017+2018	2015	2017+2018	2015
<i>Arthroplea congener</i>				2017	
<i>Metreletus balcanicus</i>		2017+2018	2015+2016		
<i>Siphonurus aestivalis</i>	2015	2018	2015 + 2016	2017+2018	
<b>Nb espèces</b>	7	9 ; 11 ; 12	12 ; 12	14 ; 12	6 ; 4 ; 5 ; 5

Tableau 23. Liste des captures d'EPT effectuées phase seulement larvaire, seulement imaginal ou aux 2 stades au cours des suivis annuels réalisés de 2015 à 2018 dans des couples de stations jalonnant respectivement les ruisseaux ru Coulon et du Sauget ainsi que le ruisseau témoin.

### Richesse spécifique en EPT de la Clauge apicale (en aval du CD31)

Le nombre d'espèces d'EPT associées aux 3 stations jalonnant la Clauge apicale est plus fluctuant (tab. 24). Cependant, la richesse spécifique de la station « Clauge amont », située jusqu'en 2018 à l'amont de toute confluence avec des affluents restaurés, reste inférieure à celle de la station « Clauge médiane », toute proche, mais bénéficiant des confluences de plusieurs affluents. En effet, cette dernière abrite ou attire systématiquement plus d'espèces d'EPT, sauf en 2018.

La richesse spécifique de la station « Clauge aval » est également supérieure à celle de la Clauge amont, mais le secteur aval appartient à un type écologique plus basal, naturellement associé à des potentiels biologiques plus soutenus, indépendamment des travaux. La différence de surface des bassins versants respectifs, et donc des apports de débits d'étiage, avec les deux stations amont y est importante. On note toutefois dans cette station à l'aval de l'ensemble des ruisseaux restaurés depuis 2008 la présence régulière et l'abondance soutenue de l'éphémère *Metreletus balkanica*.

Capuré à l'état d'imago Capturé à l'état larvaire Larve et imago	CLAUGE AMONT	CLAUGE MEDIANE	CLAUGE AVAL
	2006+2008+2015+2016+2017+2018	2006+2008+2015+2016+2017+2018	2015+2016+2017+2018
<i>Amphinemura standfussi</i>		2006	2015+2017+2018
<i>Brachyptera risi</i>	2016+2017+2018	2006+2008+2016+2018	2015+2016+2017+2018
<i>Zwicknia bifrons</i>			2018
<i>Zwicknia westermanni</i>		2006+2008+2016+2017	2015+2016+2017
<i>Isoperla grammatica</i>	2015+2016+2018	2015+2016+2018	2015+2016+2017+2018
<i>Nemoura cinerea</i>	2006+2008+2015+2016+2017+2018	2006+2008+2015+2016+2017+2018	2015+2016+2017+2018
<i>Beraea pullata</i>		2008	
<i>Glyptotaelius pellucidus</i>	2006+2008+2015+2016	2008+2015+2016+2017	2015+2016+2017+2018
<i>Grammotaulius nigropunctatus</i>	2015	2016+2017	2016
<i>Hagenella clathrata</i>	2008+2015		
<i>Limnephilus centralis</i>	2006+2008+2016+2017+2018	2006+2008+2015+2016+2017+2018	2015+2016+2017+2018
<i>Limnephilus auricula</i>	2015+2016	2006+2008+2015+2016+2017	
<i>Limnephilus lunatus</i>	2006	2016	
<i>Micropterna lateralis</i>	2016	2015+2016	2015
<i>Oligostomis reticulata</i>	2016+2017	2016	2015+2016+2017+2018
<i>Plectrocnemia conspersa</i>			2015+2018
<i>Stenophylax permistus</i>	2006+2008+2015+2016+2017+2018	2006+2008+2015+2016+2017+2018	2015+2016+2017+2018
<i>Trichostegia minor</i>		2008+2016	2017
<i>Metreletus balcanicus</i>			2015+2016+2017+2018
<i>Siphonurus aestivalis</i>	2006+2015+2017+2018	2015+2016+2017+2018	2015+2016+2017+2018
<b>Nb espèces</b>	<b>5 ; 5 ; 7 ; 9 ; 7 ; 6</b>	<b>7 ; 9 ; 14 ; 8 ; 6</b>	<b>13 ; 11 ; 12 ; 12</b>

Tableau 24. Liste des captures d'EPT effectuées phase seulement larvaire, seulement imaginal ou au 2 stades au cours des suivis réalisés de 2015 à 2018 dans 3 stations sur la Clauge apicale

### Bilan sur l'apport des chasses imaginales

L'évolution des captures d'imago considérées ruisseau par ruisseau montre, comme les analyses des peuplements benthiques, une tendance à l'augmentation de l'hospitalité biogène des affluents une fois restaurés. Cependant, les différences apparaissent beaucoup plus fluctuantes en ne considérant que les adultes d'EPT.

La variété spécifique des adultes de ces 3 groupes dépend doublement de l'hydroclimat. En effet, la pluviométrie et la température du cycle saisonnier déterminent non seulement la réussite de la ponte et du développement jusqu'à l'émergence mais aussi la période d'émergence et la réussite des chasses.

Parallèlement, les inventaires imaginaires des EPT caractérisent surtout le potentiel de recolonisation pour ces 3 ordres d'insectes à larve aquatique. Ainsi, la séquence typique de la recolonisation d'un cours d'eau restauré est suivie par *Amphinemoura standfussi* pour le ruisseau du Coulon :

1. Une année après la restauration, des adultes de cette espèce indicatrice d'humidité persistante, jusque là absente, sont capturés à proximité du cours d'eau.
2. L'année suivante, des larves peuvent en peuplent les fonds.
3. Deux ans après la restauration, en année « normale » sur le plan hydroclimatique, les deux écostades peuvent être échantillonnées dans et au dessus du cours d'eau.

En revanche des imagos d'espèces exigeantes peuvent aussi être capturés au dessus de ruisseaux qui n'offrent pas les conditions optimales de développement pour la partie aquatique de leurs cycles vitaux. Dans ce cas, les larves ne s'y développeront pas, et on ne peut considérer que l'espèce fasse partie du cortège associé au cours d'eau considéré.

Un exemple de cette configuration est fourni par le trichoptère *Oligostomis reticulata* pour le ruisseau témoin (n° 23). En effet cette espèce appartenant à l'ordre des *Phryganeidae* est indicatrice de conditions d'humidité persistantes rarement rencontrées dans ce ruisseau témoin dont l'assèchement est rapide et précoce. Les imagos d'*O. reticulata* qui l'ont survolé en 2017 avait probablement émergé d'un des ruisseaux restaurés encadrant depuis peu le ruisseau témoin.

### 5-3. Ecologie des espèces d'EPT des ruisseaux temporaires

#### Adaptations à l'intermittence des écoulements

Tous les affluents étudiés, y compris ceux qui ont été restaurés, sont naturellement temporaires. Corrélativement, parmi les stations étudiées dans la Clauge apicale, seules les stations aval et médiane sont situées sur une portion originellement pérenne, mais désormais intermittente. Dans la situation actuelle, tous les cours d'eau étudiés s'assèchent de la fin du printemps jusqu'à la fin de l'été, c'est à dire d'avril ou mai jusqu'à octobre ou novembre.

Par conséquent, les espèces d'invertébrés aquatiques qui y ont été observés présentent des adaptations leur permettant d'assurer la totalité de leur cycle de développement malgré les périodes d'assec prolongées.

Ainsi toutes les espèces d'EPT capturées sur les 5 ruisseaux suivies peuvent entrer en **diapause** (ou quiescence) lorsque les conditions du milieu (aérien ou aquatique) leur deviennent défavorables (tab. 25). Selon la saison et la durée des périodes critiques de leur cycle de vie, les œufs, les larves, les pupes ou les adultes de ces espèces disposent de mécanismes de protection, d'évitement ou de résistance à l'assèchement.

Dans l'ordre des éphémères la quasi-totalité des espèces n'est pas adaptée aux assecs. Parmi ce groupe, seules les 3 espèces capturées peuvent vivre dans des milieux temporaire. Ainsi, quand les cours d'eau s'assèchent, les **œufs** de *Metreletus balcanicus* comme ceux d'*Ahrthroplea congener* entrent en **diapause**, et subsistent jusqu'à la remise en eau s'ils sont déposés dans des substrats fins humides. Les *Siphonuridae* réalise une diapause au stade adultes tandis que leur larves **migrent vers l'aval** en suivant le front d'assèchement.

Parmi les plécoptères, certains *Nemouridae* comme *Nermoura cinerea* ou *Amphinemura standfussi* sont eux aussi adaptés à l'assèchement des écoulements de surface, mais utilisent d'autres stratégie. Après l'éclosion, si le milieu s'assèche en surface, leurs **larvules s'enfouissent dans le substrat et rejoignent les sous-écoulements hyporhéiques ou l'eau interstitielle**. A l'automne, en hiver ou et au printemps suivant, les larves remontent et colonisent à nouveau le fond du ruisseau.

Les œufs et les larves des plécoptères *Brachyptera risi* et *Isoperla grammatica* peuvent aussi entrer en diapause, dans les eaux interstitielles. En outre, les adultes de ces espèces peuvent soit entrer en diapause, soit accroître leur longévité en se nourrissant de lichen et de microorganismes prélevés sur l'écorce des arbres. Ces mécanismes leur permettent d'attendre l'automne pour recoloniser le milieu aquatique.

Famille /tribu	Espèce	Adaptation à l'intermittence des écoulements
Ameletidae	<i>Metreletus balcanicus</i>	Diapause des œufs en substrats fins humides Eclosion hivernale ou / et printanière Larve madicole facultative
Arthropleidae	<i>Arthroplea congener</i>	Diapause phase œuf ou / et adulte ? Croissance larvaire lente en hiver, rapide au printemps
Siphonuridae	<i>Siphonurus aestivalis</i>	Diapause imaginale / migration (avalaison) des larves
Capniidae	<i>Zwicknia bifrons</i>	Quasi ovoviviparité, croissance larvaire rapide, diapause en phase nymphale dans la zone interstitielle, émergence puis ponte précoce l'année suivante
Capniidae	<i>Zwicknia westermanni</i>	
Nemouridae	<i>Amphinemura standfussi</i>	Diapause phase œuf et larvule (+ phase imago ?)
Nemouridae	<i>Nemoura cinerea</i>	Diapause phase œuf Larve hyporhéique ou intersitelle facultative
Perlodidae	<i>Isoperla grammatica</i>	Diapause phase œuf ? imaginale ? Emergence précoce facultative
Taeniopterygidae	<i>Brachyptera risi</i>	Diapause phase œuf et larvule dans l'eau interstitielle Croissance larvaire rapide. Emergence précoce facultative. Diapause imaginale facultative
Beraeidae	<i>Beraea pullata</i>	Larve semi terrestre ou madicole
L. /Limnephilini	<i>Glyphotaelius pellucidus</i>	Diapause imaginale ; croissance larvaire rapide
L. /Limnephilini	<i>Grammotaulius nigropunctatus</i>	Diapause imaginale (+ diapause phase œuf ?)
L. /Limnephilini	<i>Limnephilus auricula</i>	Diapause imaginale ; croissance larvaire rapide
L. /Limnephilini	<i>Limnephilus centralis</i>	Diapause imaginale ; croissance larvaire rapide
L. /Limnephilini	<i>Limnephilus lunatus</i>	Diapause imaginale ; croissance larvaire rapide
L. /Limnephilini	<i>Limnephilus sparsus</i>	Diapause imaginale ; croissance larvaire rapide
L. /Stenophylacini	<i>Enoicyla pusilla</i>	Larve terrestre
L. /Stenophylacini	<i>Micropterna lateralis</i>	Métabolisme glucidique de résistance à la dessiccation (diapauses œufs, larve, pupes). Adultes « cavernicoles »
L. /Stenophylacini	<i>Stenophylax permistus</i>	Métabolisme glucidique de résistance à la dessiccation (diapause œufs, larve, pupes). Adultes « cavernicoles »
Phrygaenidae	<i>Hagenella clathrata</i>	Diapause phase œuf et larvule dans gangue gélatineuse + larve semi-terrestre dans litières ou vases humides + diapause des pupes possible Eclosion hivernale ou / et printanière
Phrygaenidae	<i>Oligostomis reticulata</i>	Diapause phase œuf et larvule dans gangue gélatineuse / refuge des larves possible dans la zone interstitielle / + diapause des pupes ou des imagos ?
Phrygaenidae	<i>Trichostegia minor</i>	Diapause phase œuf et larvule dans gangue gélatineuse / refuge des larves possible dans la zone interstitielle
Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia conspersa</i>	?

Tableau 25. Adaptation à l'intermittence des 23 espèces d'EPT capturées phase larvaire ou et imaginal au cours des suivis réalisés dans 5 affluents de la Clauge apicale et 3 stations dans son lit (Berthélemy 1967 1976, Bouvet 1974, Faessel 1985, Wallace 2003, Verneaux 1973, Malicky 2004, Redding 2006 2009 2018, Graf et al. 2008 2009, Bluffagni et al. 2009)

De la même façon, les trichoptères *Limnephilidae* réalisent, pour pallier l'assèchement estival de leurs lieux de pontes, une **diapause imaginale ovarienne**. Les adultes, encore immatures, émergent au printemps et se retranchent dans un lieu frais et humide durant toute la saison sèche. C'est durant cette période, qu'advient la maturation sexuelle des femelles. L'accouplement et la ponte des œufs ont lieu en automne lorsque les systèmes sont à nouveau en eau.

Au sein de cette famille, les espèces appartenant à la tribu des *Stenophilini*, comme *Stenophylax permistus* ou *Micropterna lateralis* sont en outre connus comme ayant des **affinités cavernicoles** à l'état adulte. En forêt de Chaux l'important couvert végétal crée en sous-bois des gîtes obscures, frais et humides favorables à la survie des adultes de ces Trichoptères durant leur **quiescence imaginale**. Les espèces appartenant à cette tribu bénéficient en outre d'un **métabolisme glucidique** particulier qui leur permet de résister à la dessiccation à toutes les phases de leur cycle vital.

Parallèlement, pour l'ensemble des espèces *Limnephilidae*, les larves vivant dans les systèmes temporaires **migrent** au cours de leur développement, dans le chenal principal. Elles devancent ainsi l'exondation progressive de leur milieu de vie, comme c'est le cas pour les *Siphonuridae*.

Les *Phryganeidae* ont recours pour leur part à des stratégies de **diapause** d'avantage centrée sur les **premières phases de leur cycle de vie**. Leurs œufs, entourés par une importante masse gélatineuse résistante à la dessiccation, sont pondus sur la végétation surplombant le chenal des cours d'eau à sec et passent la période d'assèchement à l'air libre. Lors des fortes pluies d'automne, les œufs humidifiés sortent de leur quiescence et donnent naissance à des larvules qui finissent par être entraînées dans le ruisseau à nouveau en eau. Le cycle peut alors se poursuivre (fig. 28).



Figure 28. Ponte de trichoptère *Phryganeidae* au dessus de la Verne Fendue restaurée (© M. Goguilly)

En outre, en cas d'assèchement avant la période d'émergence, les larves de certaines espèces de *Phryganeidae* peuvent **s'enfouir**, soit dans les sables et graviers pour atteindre des **écoulement hyporhéiques**, comme *Oligostomis reticulata*, soit dans des **sédiments fins** ou des **litières organiques**, comme *Hagenella clathrata*. Cette stratégie leur permet de survivre à l'exondation temporaire des milieux aquatiques dès lors que leurs habitats de replis restent humides suffisamment longtemps.

### Statut de protection et intérêt patrimonial

Parmi les espèces recensées sur les stations d'études, certaines fréquentant les eaux temporaires sont largement répandues en France telles que *Beraea pullata*, *Limnephilus sparsus*, *Limnephilus lunatus*, *Grammotaulius nigropunctatus*, *Stenophylax permistus*. D'autres en revanche sont **menacées voire en danger** au niveau Européen (tab. 25).

Ordre	Famille / tribu	Espèce	LR France	LR Suisse	LR GB	LR D
Ephéméroptères	<i>Ameletidae</i>	<i>Metreletus balcanicus</i>	NT	CR	x	CR
	<i>Arthropleidae</i>	<i>Arthroplea congener</i>	CR	x	RE	RE
	<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus aestivalis</i>		EN	x	NT
Plécoptères	<i>Capniidae</i>	<i>Zwicknia bifrons</i>		VU	-	?
	<i>Capniidae</i>	<i>Zwicknia westermanni</i>		?	x	?
	<i>Nemouridae</i>	<i>Amphinemura standfussi</i>		NT	-	-
	<i>Nemouridae</i>	<i>Nemoura cinerea</i>		x	-	-
	<i>Perlodidae</i>	<i>Isoperla grammatica</i>		x	-	-
	<i>Taeniopterygidae</i>	<i>Brachyptera risi</i>		x	-	-
Trichoptères	<i>Beraeidae</i>	<i>Beraea pullata</i>		NT	x	-
	<i>Stenophylacini</i>	<i>Enoicyla pusilla</i>		x	-	-
	<i>Limnephilin</i>	<i>Glyphotaelius pellucidus</i>		x	x	-
	<i>Limnephilin</i>	<i>Grammotaulius nigropunctatus</i>		EN	x	NT
	<i>Phrygaenidae</i>	<i>Hagenella clathrata</i>		EN	EN	CR
	<i>Limnephilin</i>	<i>Limnephilus auricula</i>		NT	x	-
	<i>Limnephilin</i>	<i>Limnephilus centralis</i>		x	x	NT
	<i>Limnephilin</i>	<i>Limnephilus lunatus</i>		x	x	-
	<i>Limnephilin</i>	<i>Limnephilus sparsus</i>		x	x	x
	<i>Stenophylacini</i>	<i>Micropterna lateralis</i>		NT	x	-
	<i>Phrygaenidae</i>	<i>Oligostomis reticulata</i>		EN	x	?
	<i>Polycentropodidae</i>	<i>Plectrocnemia conspersa</i>		x	x	-
	<i>Stenophylacini</i>	<i>Stenophylax permistus</i>		x	x	-
<i>Phrygaenidae</i>	<i>Trichostegia minor</i>		VU	-	NT	

RE : extinction régionale    CR : en danger critique    EN : en danger    VU : vulnérable    NT : quasi menacée  
 x non inventoriée    ? donnée insuffisante    - préoccupation mineure    LR Liste Rouge    GB : Grande Bretagne    D : Allemagne

Tableau 25. Statuts de protection, en France, en Suisse, en Grande Bretagne et en Allemagne des 23 espèces d'éphéméroptères, plécoptères et trichoptères capturés durant le suivi de l'entomofaune de la Clauge apicale et de ses affluents.

Ainsi, *Metreletus balcanicus* est en danger critique d'extinction dans la plupart des pays qui l'abritent (Malzacher et al. 1998, OFEV & CSCF 2012). Selon Reding (2006), cette espèce dont la répartition européenne actuelle est disséminée et fragmentée devait vivre originellement dans les zones inondables et les annexes hydrauliques temporaires de très grands fleuves. Disséminée par la fonte des glaciers entraînant la formation de larges corridors fluviaux, elle aurait été, lors de la baisse des débits, « assignée à résidence (...) dans des biotopes de substitution » dans lesquels son adaptation à l'intermittence des écoulements lui aurait permis de subsister.

Le statut actuel de *M. balcanicus* serait donc celui d'une « relictte paléofluviale tardiglaciaire » (Reding 2006), ce qui expliquerait bien sa présence dans le bassin de la Clauge, niché dans les anciennes anastomoses du paléo Aar-Doubs. Sa colonisation du secteur depuis les Balkans pourrait toutefois s'avérer antérieure au quaternaire puisque L'Aar et le Rhin se sont déconnectés du Doubs à la fin du Pliocène. En France, bien que retrouvée depuis 2001 sur plusieurs sites correspondant tous à des zones humides en tête de bassin forestière, elle reste considérée comme quasi-menacée (OPIE 2018).

Parallèlement, *Hagenella clathrata* se trouve sur la liste rouge de tous les pays européens qui en possèdent pour les trichoptères. Cette espèce a connu, depuis une trentaine d'années et sur toute son aire de répartition, un déclin drastique lié à la régression des zones humides. Elle est considérée en Grande Bretagne comme l'emblème du besoin de protection des Trichoptères inféodés ces biotopes.

D'une façon encore plus prégnante, l'éphémère *Arthroplea congener*, disparue en Allemagne et en Angleterre, est considérée comme en danger critique en France (fig. 29). L'aire de répartition de cette espèce relictte est « extrêmement localisée et morcelée » (Wagner et al. 2014). D'après Haybach (2003), sa distribution correspondrait en partie à l'extension de la dernière glaciation, le Würm.

Surtout, comme *H. clathrata*, *A. congener* est étroitement inféodée à une collection d'habitats typiques des zones humides fonctionnelles dont la surface se réduit d'année en année. Les deux seules mentions françaises de la présence de cette espèce la localisent en forêt de Chaux dans la Clauge pérenne aval (Julienne et al. 2007) ou dans ses annexes temporaires (Souchaud & Parmentier 2017). Sa découverte, au cours du présent suivi, dans un des affluents temporaires de la Clauge apicale une fois restauré souligne l'intérêt de ces travaux de réaménagement.



Figure 28. Larve d'*Arthroplea congener* (© M. Gogully)

## Bioindications et typologie des espèces EPT capturées

La prise en compte des exigences écologiques des espèces d'EPT capturées permet d'éclairer les mécanismes qui ont réduit la biodiversité lors de « l'assainissement » hydraulique de la forêt. Réciproquement, des indications sur les processus qui permettent d'optimiser la reconquête biologique peuvent en être déduits. Dans cette optique, 4 séries d'éléments de la biologie de ces espèces ont été considérées (tab. 26).

Espèce	Preferendum typologique	Principaux mode et régime d'alimentation	Substrats préférés	Emerg. 50%
<i>Metreletus balcanicus</i>	Crénal à métarhithral (B1-B3)	Racleur collecteur Détritivore (MO fine)	ggr>fno>chv>lit	Juin juil.
<i>Arthroplea congener</i>	Epi à méta-potamal (B8-B9) Lénitique	Filtreur collecteur (MO fine, microinvertébrés)	hyi>lit>fin=hel (mad)	Juin juil.
<i>Siphonurus aestivalis</i>	Epirhithral à épipotamal (B2 à B7)	Racleur / brouteur (MO, microinvertébrés, algues)	hyi=lit>ggr>fin	Juin
<i>Zwickyia bifrons</i>	Rhithral (B3)	Broyeur (MO fine et grossière, macrophytes)	gal=chv>lit>gra	Févr. mars
<i>Zwickyia westermanni</i>	(B0-B2) ?	Idem ?	Idem ?	Janv. fév
<i>Amphinemura standfussi</i>	(B1-B3) ?	Brouteur broyeur (MO fine et grossière, algues)	gal=chv>lit>fno	Juin
<i>Nemoura cinerea</i>	Hypocrénal à épirhithral (B1-B2)	Broyeur collecteur (MO fine et grossière)	Lit=chv>ggr=fno	Avril
<i>Isoperla grammatica</i>	Méta à hyporhithral (B4-B5)	Prédateur découpeur (invertébrés)	gal=chv>lit	Mars avr.
<i>Brachyptera risi</i>	Epi à métarhithral (B3-B4)	Brouteur collecteur (MO fine, algues)	gal=chv>lit	Fév. mars
<i>Beraea pullata</i>	Crénal (B0-B1)	Broyeur racleur (MO fine, microinvertébrés)	gal>lit>sab (mad)	Juin
<i>Glyptotaelius pellucidus</i>	Eucrénal à épirhithral (B0 à B2)	Broyeur brouteur (MO grossière, macrophytes)	lit>fin>chv	Juin
<i>Grammotaulius nigropunctatus</i>	Lénitique	Broyeur brouteur (MO grossière, macrophytes)	Chv>lit> fin	Juin
<i>Limnephilus auricula</i>	Crénal (B0-B1) Lénitique	Broyeur brouteur (MO grossière, macrophytes)	Chv=hyi>lit> fin	Juil.
<i>Limnephilus centralis</i>	Hypocrénal à épirhithral (B1-B2)	Broyeur brouteur (MO grossière, macrophytes)	Chv=hyi>lit> fin	Août
<i>Limnephilus lunatus</i>	Hyporhithral à métapotamal (B6 à B8) ; Lénitique	Broyeur brouteur (MO grossière, macrophytes)	Chv=hyi>lit> fin	Sept.
<i>Limnephilus sparsus</i>	Epirhithral à épipotamal (B2 à B7)	Broyeur brouteur (MO grossière, macrophytes)	Chv=hyi>lit> fin	Oct.
<i>Enoicyla pusilla</i>	Terrestre	?	Terrestre	Sept.
<i>Micropterna lateralis</i>	Eucrénal à épi-rhithral (B0 à B3)	Broyeur brouteur (MO grossière, macrophytes)	lit> ggr	Mai
<i>Stenophylax permistus</i>	Epicrénal à métarhithral (B2 à B4)	Broyeur brouteur (MO grossière, macrophytes)	lit> ggr	Mai
<i>Hagenella clathrata</i>	Lénitique	Broyeur prédateur (MO grossière, invertébrés)	lit	Juin juil.
<i>Oligostomis reticulata</i>	Métarhithral à hypopotamal (B4 à B9) ; Lénitique	Brouteur broyeur (MO grossière, macrophytes)	lit> fin	Juin juil.
<i>Trichostegia minor</i>	Lénitique	Racleur / prédateur (MO fine, invertébrés)	lit	Juin juil.
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	Crénal ou rhithral selon sous-espèce	Filtreur / prédateur (invertébrés)	lit> ggr = chv	Mai

Tableau 26. Eléments d'écologie pour les 23 espèces d'EPT capturées (Berthélemy 1967-1976, Bouvet 1974, Faessel 1985, Wallace 2003, Verneaux et al. 2003-2004, Malicky 2004, Redding 2006-2009-2018, Graf et al. 2008-2009, Bluffagni et al. 2009) ; **Codes couleurs** expliqués in texto ; **Emerg50** : mois à partir duquel plus de 50 % des adultes ont émergés ; **Substrats** cf. codes tab. 7

Ainsi les **preferenda typologiques** de la quasi-totalité des espèces d'EPT capturées sont nettement **apicaux**. Cette tendance est attendue puisque les milieux considérés sont en tête de bassin, et elle révèle surtout l'affinité forte de ces taxons pour les eaux froides et peu minéralisées. Les quelques espèces dont le *preferendum* est **basal** ou centré sur les systèmes **lénitiques** sont surtout limnophiles, c'est à dire qu'ils dépendent de courants très lents ou nuls.

En termes de **régimes et de mode alimentaires**, la grande majorité des espèces capturées sont détritivores et s'alimentent préférentiellement, soit sur ou / et de particules **organiques** fines (broueteurs / racleurs), soit à partir de particules **organiques** grossière (déchiqueteurs / broyeurs). La plupart de ces taxons peuvent aussi ou alternativement s'alimenter à partir d'algues benthiques ou de **macrophytes** (mousses, hydrophytes ou hélophytes).

Les **prédateurs** stricts ou carnassiers apicaux ne sont représentés que par *Isoperla grammatica* et *Plectrocnemia conspersa*. Toutefois, le régime d'une proportion notable des autres EPT capturés et en particulier des trichoptères *Phryganiidae* comprend une part de prédation, en particulier en fin de développement larvaire. Ce régime partiellement carnassier peut aussi être adopté facultativement par les larves de certains *Limnephilidae* pour accélérer leur croissance terminale et leur nymphose.

Cependant l'ensemble **l'édifice trophique des ruisseaux forestiers rencontrés** dépend essentiellement de la matière **organique** fine ou grossière provenant de la chute des feuilles et du bois mort. La capacité de rétention de ces éléments par les cours d'eau dans des mosaïques d'habitat favorable aux macroinvertébrés qui les consomment ou qui en dépendent conditionne la production secondaire des milieux aquatiques forestiers.

Parallèlement, les **litières** et les **dépôts fins plus ou moins organiques** constituent en eux même des **substrats favorables** à très favorable à 17 espèces sur 23. Ces éléments partiellement ou totalement organiques sont plus particulièrement biogènes quand ils sont en proportions équilibrées dans les faciès lenticules ou lénitique de mosaïques aquatiques diversifiés comprenant aussi d'autres substrats supports et d'autres gammes de vitesses de courant.

Enfin, si presque toutes les espèces capturées présentent des adaptations à l'intermittence des écoulements de surfaces, **certaines d'entre elles ont besoin d'une plus grande persistance de l'humidité du milieu**. Aussi leur présence témoigne soit d'une **hydropériode plus longue**, soit de **l'existence plus durable d'un écoulement hyporhéique accessible** aux macroinvertébrés, soit encore de la **permanence de l'humidité des sols et de l'atmosphère** dans le vallon associé au cours d'eau.

Aussi, les espèces **indicatrices de conditions humides les plus persistantes** dans un au moins des compartiments nécessaire à leur développement sont celles qui émergent le plus tard et dont les larves âgées ont besoin de se développer dans de l'eau de surface juste avant la nymphose. Parmi les 23 espèces EPT capturées, il s'agit des **3 éphémères** ainsi que des trichoptères appartenant soit à la famille des **Phryganeidae** soit à la tribu des **Limnephilini**.

## 6. Suivi des potentiels batracoles en 2018 et 2019

### 6-1. Biodiversité des amphibiens de la forêt de Chaux

#### Composition qualitative des peuplements batracoles

D'après Jussik (2010), 12 espèces d'amphibiens se reproduisent de façon avérée en forêt de Chaux (tab. 27). Quatre d'entre elles sont citées dans de la Directive « Habitats » (CEN 92/43/CEE) comme d'intérêt communautaire et nécessitant des mesures de conservation ou de protection stricte.

Nom commun	Nom scientifique	Annexe Berne	Annexe DH	Protect. Nation.	Livre R. France	Livre R. Fr.-C.	Abondance dans le massif en 2007
<b>Sonneur à ventre jaune</b>	<i>Bombina variegata</i>	II	II et IV	X	VU	NT	x centaines
Crapaud commun	<i>Bufo bufo</i>	III					x centaines
Triton alpestre	<i>Ichthyosaura alpestris</i>	III					x centaines
Triton palmé	<i>Lissotriton helveticus</i>	III					X milliers
Triton ponctué	<i>Lissotriton vulgaris</i>	III			NT	VU	x individus
Grenouille verte	<i>Pelophylax k. esculenta</i>	III			NT		X 10 milliers
Grenouille de Lessona	<i>Pelophylax lessonae</i>	III	IV		NT		?
Grenouille rieuse	<i>Pelophylax ridibundus</i>	III					x centaines
<b>Grenouille agile</b>	<i>Rana dalmatina</i>	II	IV	X		NT	x centaines ?
<b>Grenouille rousse</b>	<i>Rana temporaria</i>	III					X 10 milliers
<b>Salamandre tachetée</b>	<i>Salamandra salamandra</i>	III					X 10 milliers
<b>Triton crêté</b>	<i>Triturus cristatus</i>	III	II et IV	X	NT	VU	x individus

Tableau 27. Liste des espèces d'amphibien dont la reproduction est avérée dans le massif forestier de Chaux (d'après Jussik 2020) ; en bleu espèces abondantes ; en rouge espèces plus étroitement protégées  
DH= Directive Habitat (n° de l'annexe) ; PN = Protection nationale stricte de l'espèce et de son biotope.

#### Facteurs de mortalités d'origine anthropiques

Ces éléments sont corroborés par les comptages réalisés à l'occasion des périodes de reproduction, pour analyser les flux migratoires mais aussi pour évaluer les mortalités induite par la circulation routière (Grand Dole 2012-2013, Dole Environnement 2019). Des centaines de cadavres, surtout de salamandre et de grenouilles rousses mais aussi des autres espèces d'amphibiens du site de Chaux, sont ainsi dénombrés à chaque nuit d'observation le long des axes de circulation et en particulier le long de la D31. Cependant, aucun couloir bien déterminé de migration n'a pu être identifié.

## Répartition et limitations des potentiels batracoles avant restauration

D'après Jussik (2010), les batraciens de la forêt de Chaux se reproduisent majoritairement dans les ornières qui parsèment le massif, ainsi que dans les mares forestières, les étangs et les bras morts. Selon cet auteur, les cours d'eau, temporaires ou non sont très peu utilisés et seulement par les salamandres et les grenouilles vertes. Les annexes de ces systèmes d'eau courante, mis trop rapidement à sec par les fossés de drainage, sont tout aussi peu fréquentées.

## 6-2. Suivi des potentiels batracoles après restauration

### Protocole de comptage et d'observation

Au cours des années 2018 et 2019, la reproduction puis le développement des premiers stades larvaires de la Grenouille rousse (*Rana temporaria*) et de la Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*) ont été observés et quantifiés sur de 6 à 8 affluents restaurés ainsi que sur 2 ruisseaux témoins. La méthode utilisée consiste à compter visuellement les pontes (pour *R. temporaria*) puis les larves (pour les 2 espèces) durant 4 campagnes bi-hebdomadaires se succédant entre début mars et la mi-mai.

Cette période permet d'encadrer la reproduction de la Grenouille rousse depuis sa ponte (généralement fin février ou début mars) jusqu'au stade têtard à 4 pattes voire grenouillettes (entre début mai et la mi-juin). Parallèlement, la salamandre pond entre le début et la moitié du mois de février. Des larves nées à l'automne peuvent aussi passer l'hiver. Dans les deux cas, les larves de salamandre ont, début mars, une taille qui les rend visibles, et elles atteignent la taille adulte entre début mai et début juin : elles peuvent donc aussi être comptées durant les 4 campagnes d'observation.

Durant chaque campagne, les comptages sont effectués par 2 personnes, une sur chaque bord, qui longe le cours d'eau d'aval en amont en restant sur les berges. Les opérateurs dénombrent, selon les campagnes, les pontes de grenouilles rousses et agiles ou leurs larves ainsi que celles de salamandre. Les autres espèces, en très faibles abondances, sont simplement pointées.

Les comptages sont pratiqués en distinguant, le long de chaque cours d'eau de 3 à 5 tronçons homogènes sur le plan de la pente, de la largeur et des types de sols traversés. Sur chaque tronçon, les comptages sont effectués soit exhaustivement (cas des pontes de grenouilles rousses) soit sur de trois à six séquences de faciès de type radier mouille plat ou méandre. Chaque séquence mesure de 20 à 30 fois la largeur du chenal.

De façon à intégrer l'imprécision et à gommer les biais de ces comptages, une transformation en cotes d'abondances semi-quantitatives a été effectuée à partir des données brutes (tab. 28). Elle permet des comparaisons plus objectives et plus claires.

Classe d'abondance	1	2	3	4	5
Nombre / séquence	[1-5[	[6-10[	[10-50[	[10-50[	>100

Tableau 28. Cotes d'abondances des têtards de grenouilles rousses ou des larves de salamandre

### Comparaison des potentiels batracoles des ruisseaux restaurés et témoin en 2018

En 2018, la ponte des grenouilles rousses a commencé à la fin du mois de février. La première campagne de comptage montre que les pontes et les larves de premiers stades de grenouilles rousses sont moyennement abondantes à abondantes sur chacun des affluents restaurés (fig. 30). En revanche, dans les ruisseaux témoins, seul le tronçon amont de l'affluent n°23 abrite une densité moyenne de ponte de cette espèce.

Parallèlement des larves de salamandres ne sont observées que sur les ruisseaux 51, 32 et 14. Les abondances sont moyennes sur le premier de ces affluents restaurés et mineure sur les deux derniers. En ce tout début de saison, il est probable que seule les larves nées en automne et ayant hivernées sont visible



Figure 30. Carte de répartition des abondances d'amphibiens mesurées début mars 2018 dans 6 affluents restaurés et 2 témoins non restaurés (Beaupuy 2018).

Lors de la campagne de mesure effectuée à la fin du mois d'avril, les larves de salamandre étaient visibles dans tous les affluents restaurés en abondance moyenne à forte voire très forte (fig.31). Quelques larves ont été observées dans un des ruisseaux témoins, mais uniquement dans le tronçon médian de l'affluent n°12.

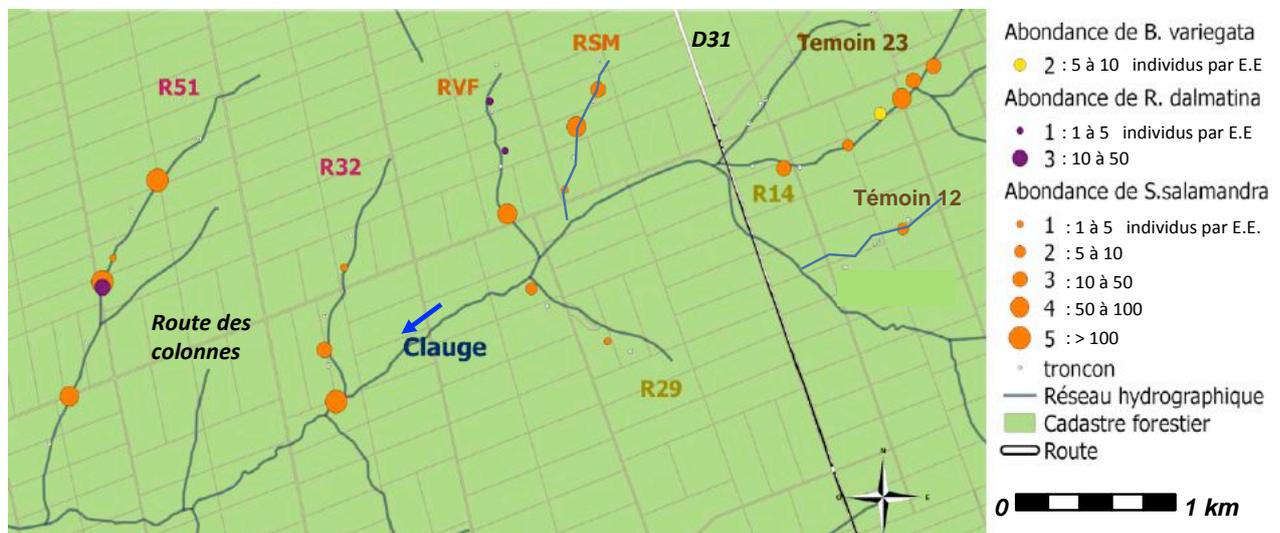


Figure 31. Carte de répartition des abondances d'amphibiens mesurées à la fin du mois d'avril 2018 dans 6 affluents restaurés et 2 témoins non restaurés (Beaupuy 2018).

Les têtards de *Rana temporaria* sont parvenus au stade de têtards 4 pattes ou de grenouillettes. A la moindre approche, ils se réfugient rapidement soit sur les berges, soit dans les sous-berges ou la végétation aquatique. Ils sont ainsi extrêmement difficiles à compter. Cependant, leur abondance peut être estimée empiriquement pour évaluer et comparer le succès du recrutement des cours d'eau étudiés (fig. 32).

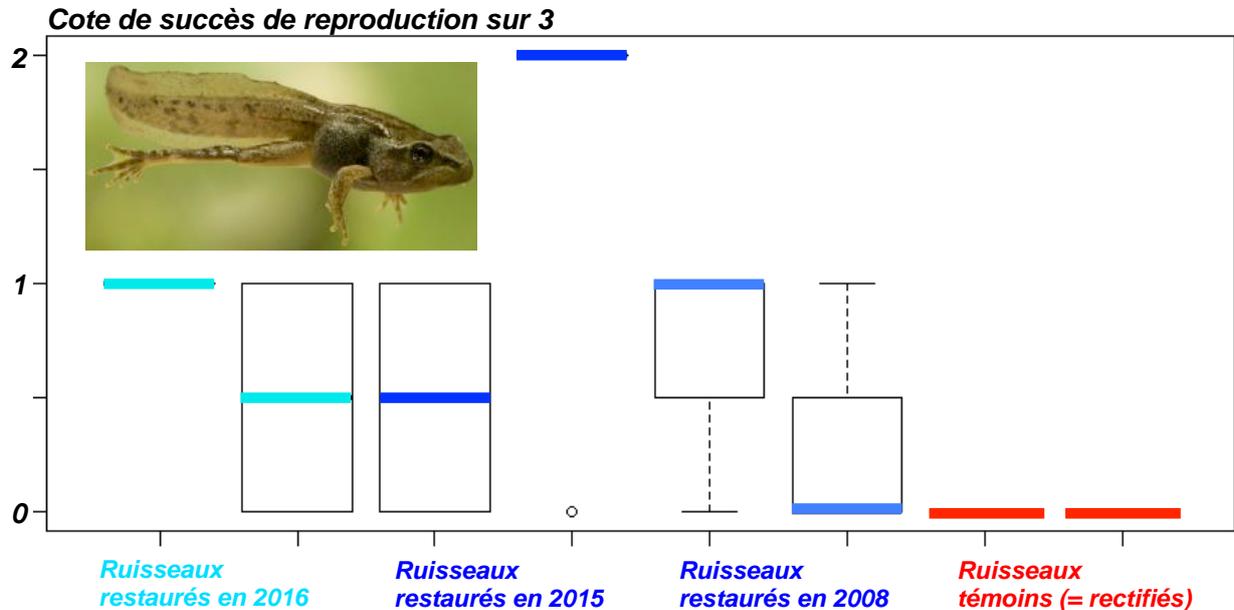


Figure 32. Cotes de succès de reproduction évaluées en 2018 pour la grenouille rousse (*Rana temporaria*) sur 6 affluents de la Clauge apicale restaurés à différentes époques et pour 2 ruisseau témoins non restaurés

**Cote 0** : aucun têtards 4 pattes ni aucune grenouillettes n'a pu être observée ;

**Cote 1** : quelques têtards 4 pattes ou et grenouillettes ont pu être observés au moins à un endroit ;

**Cote 2** : quelques têtards 4 pattes ou et grenouillettes ont pu être observés en plusieurs endroit ;

**Cote 3** : plusieurs dizaines de têtards 4 pattes ou et de grenouillettes ont pu être observés en plusieurs endroit ;

Ainsi, aucun têtard à 4 pattes ni aucune grenouillette n'a pu être observé dans les ruisseaux témoins. Dans les affluents restaurés des grenouillettes ou des têtards ont en revanche été repérés en densité faible à moyenne sur un ou plusieurs tronçons. Parallèlement, des pontes et des têtards de grenouilles agiles ont pu être observées avec des écoulements de surface encore soutenus alors que les témoins étaient sec.

### Comparaison des potentiels batracoles des ruisseaux restaurés et témoin en 2018

Le même protocole a été appliqué durant le début du printemps 2019 sur les 6 mêmes ruisseaux restaurés. Le ruisseau témoin n° 23 a également été prospecté. En revanche, le ruisseau n°12 ayant été restauré durant l'été 2018 a été remplacé par un affluent de la tanche appelé R2, considéré comme témoin.

En 2019 la reproduction des grenouilles rousses n'est advenue qu'une fois le mois de mars bien entamé. La première campagne a commencé le 20 mars. Elle a été suivi de trois autres campagnes, respectivement, à partir du 4 puis du 16 avril et enfin du 08 mai.

A toutes ces occasions les densités de larves de grenouilles rousses étaient moyennes à soutenues sur les 6 affluents restaurés (fig. 33). En revanche elles étaient faible et très localisées sur les deux ruisseaux resturés

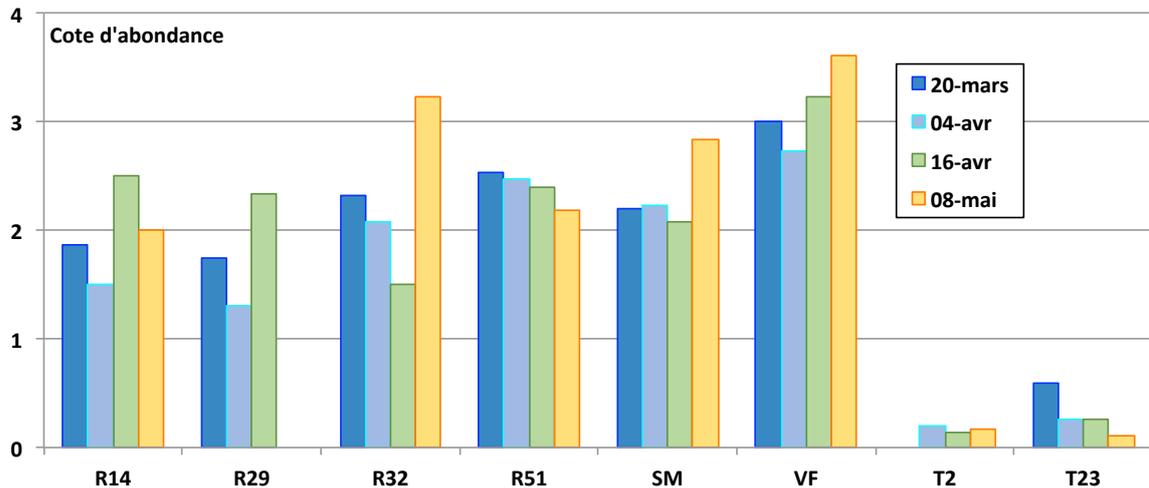


Figure 33. Cotes d'abondance mesurée en 2019 pour les larves de grenouille rousse (*Rana temporaria*) sur 6 affluents de la Clauge apicale restaurés et pour 2 ruisseaux témoins non restaurés

Corrélativement des densités de larves de salamandre moyenne à soutenue ont pu être observées dans les 6 affluents restaurés, alors que celle qui ont été relevés dans le ruisseau témoins n°23 étaient presque nulles. Le ruisseau témoin n°2 abritait des abondances notoires de larves de cette espèce, mais leur abondance y restait inférieure à celles des ruisseaux restaurés, en particulier lors des 2 dernières campagnes.

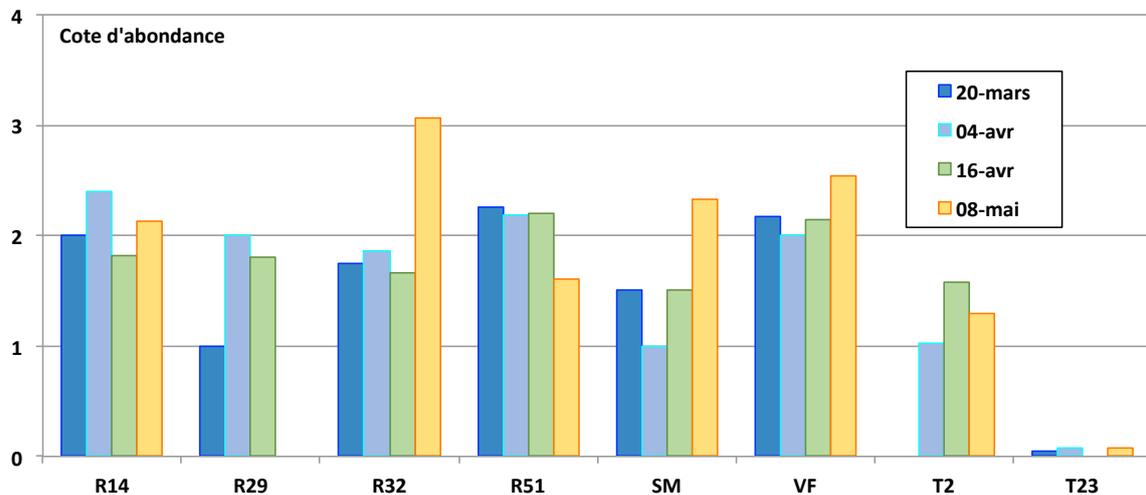


Figure 34. Cotes d'abondance mesurée en 2019 pour les larves de salamandre (*Salamandra salamandra*) sur 6 affluents de la Clauge apicale restaurés et pour 2 ruisseaux témoins

### 6-3. Bilan des effets des restauration sur les potentiels batracoles

#### Impacts quantitatifs sur les grenouilles rouges et salamandres

La restauration des écoulements des affluents de la Clauge apicale a grandement profité aux amphibiens et en particulier à la Grenouille rousse (*Rana temporaria*) ainsi qu'à la Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*). En effet, dans les affluents restaurés, des densités notoires de larves et de sub-adultes ont pu être mesurées pour ces 2 espèces jusqu'à la fin de leur développement aquatiques.

En revanche, si les 2 ruisseaux témoins ont été ponctuellement le lieu de ponte et de développement précoce pour ces deux espèces, aucune larve âgée n'a pu y être observée, ni en 2018 ni en 2019. Durant le printemps de ces deux années, à la fin de la période humide, entre mi avril et début mai, les deux affluents témoins étaient déjà presque entièrement asséchés et n'abritaient plus aucun amphibien.

Par conséquent, dans les ruisseaux restaurés, l'allongement de l'hydropériode permet un véritable recrutement de jeunes adultes de salamandre et de grenouilles.

### Impacts qualitatifs sur les autres amphibiens de la forêt de Chaux

La plupart des autres amphibiens de la forêt de Chaux ont aussi été repérés dans les affluents restaurés à l'occasion des comptages.

Dans le lit même ou dans des annexes proches maintenues en eau de ces ruisseaux, il a pu en particulier être pointés des larves ou des juvéniles de grenouille agile (*Rana dalmatiina*), de grenouille verte (*Pelophylax kl. esculentus*), de crapaud commun (*Bufo bufo*), de sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*). Des tritons alpestres (*Ichthyosaura alpestris*) et palmés (*Lissotriton helveticus*) ont aussi pu être observés, dans tous les cours d'eau, mais plus fréquemment dans les ruisseaux restaurés.

L'allongement de l'hydropériode entraîné par les restaurations semble avoir particulièrement profité à la Grenouille agile. En effet cette espèce se reproduit plus tard que sa cousine rousse. Le développement de ses têtards jusqu'au stade grenouillettes requiert donc que l'hydropériode dure de 2 à 4 semaines de plus, ce qui n'advient, en année normale, que dans les ruisseaux restaurés.

Enfin, l'augmentation globale de l'humidité profitera aussi grandement au Sonneur à ventre jaune (*Bufo variegata*). Cette espèce n'a en effet jamais été observée, y compris en été, mais sans être vraiment recherchée, qu'à proximité des ruisseaux restaurés (Verne Fendue, Sommière du Moulin, R14, R51 ...).

## 7. Bilan et perspectives

### 7-1. Bilan sur l'impact des travaux de restauration des affluents

#### Effets de la restaurations des affluents sur leurs capacités biogènes

Les suivis benthiques et batracologiques montrent que la restauration des affluents s'est traduite par une tendance nette à l'augmentation des capacités biogènes. La biodiversité des macroinvertébrés aquatiques en général et des EPT en particulier est, à terme augmentée d'un facteur allant de 1,5 à 2. La faune endobenthique s'enrichit en particulier de taxons inféodés à une persistance plus importante des conditions humides.

Parallèlement, le succès de reproduction des grenouilles rousses et des salamandres dans les affluents de la Clauge apicale s'accroît considérable en passant de nul, ponctuel ou négligeable à fréquent et soutenu. Les travaux de restauration semblent aussi avoir accru le nombre des sites et le linéaires des ruisseaux permettant la reproduction des grenouilles agiles..

Ces gains biologiques sont sensibles dès la 2ème année après les travaux, mais 3 années au moins sont nécessaires pour les consolider. Ils semblent se renforcer au bout d'une dizaine année, par la vertu de la lente amélioration des conditions d'écoulement hyporhéique ainsi que de l'hydromorphie des sols et de l'accroissement de la densité des formations muscicole sur les berges et le fond des cours d'eau.

L'importance de ces gains de capacités biogènes est toutefois rendue fluctuante par les variations de l'hydroclimat. En particulier à l'issue de cycles inter-saisonniers très secs, comme en 2019, ces gains sont fortement réduits. Rappelons que le cycle annuel précédent les prélèvements de cette année était le plus sec jamais mesuré soit depuis plus de 60 ans. Cet étiage des gains biologique montre que les travaux de restauration permettent d'améliorer la rétention en eau dans les sols, mais pas dans les nappes profondes, et qu'il faut un minimum de pluie pour que ces gains s'expriment.

Malgré tout, la variété des EPT et le nombre d'indicateurs d'humidité persistante étaient en mars 2019 plus élevés dans presque toutes les stations des ruisseaux restaurés par comparaison avec les deux stations témoins (tab. 29). Seule la biodiversité des EPT et le nombre d'indicateurs d'humidité persistante de la station du Coulon amont était alors aussi basses que celles du témoin amont.

<b>Ruisseau</b> <i>station</i>	<b>Témoin 32</b>		<b>SM</b>	<b>VF</b>	<b>Coulon</b>		<b>Sauget</b>	
	amont	aval	aval	amont	amont	aval	amont	aval
Variété EPT	3	2	4	4	3	4	6	5
Nombre d'indicateur d'humidité persistante	1	1	3	3	1	1	2	2

Tableau 29. Comparaison de la variété des EPT et du nombre d'indicateur d'humidité persistante observés en mars 2019 dans les affluents restaurés et non restauré de la Clauge apicale

### Effets de la restaurations des affluents sur la Clauge apicale

Les effets de la restauration des affluents sur les capacités biogènes du chenal de la Clauge apicale elle-même sont moins nets. En année hydrologiquement normale, la variété totale et la variété en EPT des stations situées à l'aval de confluence avec des ruisseaux restaurés montrent une tendance à l'accroissement mais dans une moindre mesure que dans les affluents eux-mêmes.

Cette limitation des gains biologique est liée à la sur-largeur du lit de la Clauge apicale qui a été curée à plusieurs reprises et dont l'enfoncement a été aggravé par l'érosion induite. En effet, l'augmentation des débits d'étiage apportés plus longuement par les affluents ne suffit pas à allonger significativement la durée des écoulements de surface dans le chenal principal. Une véritable restauration morphologique de la Clauge elle-même doit donc être mis en œuvre si l'on veut restaurer ses capacités biogènes.

Malgré tout, une meilleure aptitude à la conservation de la variété des EPT et du nombre d'indicateurs d'humidité persistante en année très chaude a été observée dans les 2 stations de la Clauge apicale située à l'aval des confluences avec des ruisseaux restaurés par rapport à celle qui est située en amont (tab. 30). La rémanence et l'accessibilité pour la faune des écoulements hyporhéiques a probablement été améliorée dans le lit de la Clauge apicale grâce à la restauration des affluents.

Indicateurs de résilience	Stations	Clauge amont	Clauge médiane	Clauge aval
	Rapport entre le nombre d'IHP observés en 2019 et la moyenne des 4 années précédentes sur la station		44 %	57 %
Rapport entre la variété EPT observée en 2019 et la moyenne des 4 années précédentes sur la station		62 %	70%	97 %

Tableau 30. Comparaison des taux de conservation de la variété des EPT et du nombre d'indicateurs d'humidité persistante (IHP) observés en avril 2019 dans 3 stations de la Clauge situées respectivement en amont, au milieu et à l'aval des confluences avec les affluents restaurés

## 7-2. Bilan sur la méthodologie du suivi

L'analyse spatio-temporelle des résultats de ce suivi multi-annuel des ruisseaux restaurés ou non a permis de fonder et de tester une méthode de diagnose adaptée à **l'évaluation de la qualité biologique et au suivi de l'état fonctionnel des cours d'eau temporaires**. Les modalités de cette **approche comparative optimisée** peuvent être à la fois affinés et simplifiés pour améliorer leur standardisation.

### Choix du domaine d'étude et des bioindicateurs

La comparaisons d'une année à l'autre et d'un système à l'autre des résultats stationnels obtenus montre que l'étude de la macrofaune benthique présente un très bon rapport entre gains d'information et coûts d'échantillonnage. Les chasses d'imagos d'EPT permettent de vérifier et de préciser l'image obtenue, mais elles demandent un investissement en temps important. Elles restent pertinentes pour réaliser l'état des lieux de la biodiversité au niveau d'un ensemble hydrographique large.

Au sein des macroinvertébrés, la détermination doit être menée jusqu'au genre pour les EPT ainsi que le cas échéant pour les coléoptères, les odonates et les crustacés. Les autres groupes sont déterminés suivant les limites taxonomiques définies par le protocole IBGN (2004). Tous les échantillons sont triés et dénombrés exhaustivement.

On en tire les indicateurs suivants :

- + la variété taxonomique et l'abondance totale ;
- + la variété et l'abondance des EPT ;
- + le nombre de taxons indicateurs d'humidité persistante.

### Modalités temporelles adaptées aux cours d'eau temporaires

Pour être à la fois représentatifs et discriminants, les prélèvements de macrofaune benthiques doivent être réalisées en fin d'hydropériode. Cette modalité temporelle permet de capturer des larves âgées et d'obtenir des données comparables d'un cours d'eau à l'autre en termes de fonctionnement.

Pour assurer un suivi réellement informatif, le suivi des cours d'eau temporaires doit être réalisé annuellement afin de pouvoir intégrer les variations hydroclimatiques. Dans la même optique, dans le cas d'un cours d'eau restauré ou aménagé, il est préférable d'effectuer l'état initial durant 2 ou 3 années successives avant travaux, puis d'attendre 2 ou 3 ans avant de recommencer à faire un suivi annuel sur au moins trois ans.

### Modalités spatiales adaptées aux cours d'eau temporaires

Pour comprendre le fonctionnement des cours d'eau temporaires, plusieurs stations doivent être étudiées sur chaque ruisseau. Cette disposition est en effet nécessaire, non seulement pour prendre en compte un éventuel gradient longitudinal, mais aussi pour balayer les éventuelles différences de porosité des sols et du fond du chenal.

Sur chaque station, l'effort d'échantillonnage minimal pour les cours d'eau temporaires est de **8 placettes au moins** pour les ruisseaux dont la largeur de la lame d'eau à la fin de l'hydropériode reste inférieure à 2 mètre au plus large. Pour les cours d'eau plus large, l'effort d'échantillonnage doit être porté à 12 placettes au moins.

Les placettes doivent être prélevées de façon raisonnée, en réalisant entre 2 et 3 réplicats dans chacun des grands types de substrats et supports, dans l'ordre de leur habitabilité décroissante pour la macrofaune benthique en cas de fonds très diversifiés :

- + 2 à 4 placettes dans les granulats (galets > graviers > sables grossiers)
- + 2 à 4 placettes dans les végétaux (bryophyte > hydrophytes > sables grossiers)
- + 2 à 4 placettes dans les fonds organiques (litière > limons > vases > fond tourbeux).

Dans les cas des cours d'eau temporaires de plus de 2 m de large, le nombre de placettes peut utilement être porté à 20 pour disposer de données quantitatives plus précises. Dans ce cas les placettes sont prélevées suivant le protocole MAG20, qui permet aussi de suivre de façon comparable des cours d'eau permanents.

### Suivi batracologique

Le cycle de vie et les affinités forestières de la Grenouille rousse et de la Salamandre tachetée en font des indicateurs privilégiés de la durée de l'hydropériode et de la capacité biogène des ruisseaux temporaires de têtes de bassin. L'évaluation des réussites de recrutement de chacune de ces deux espèces peut être réalisées par comptage visuel du bord, à condition de respecter les modalités spatio-temporelles suivantes.

1° Les comptages doivent être réalisés à 4 reprises par années.

La première campagne doit commencer dès que les premières pontes de Grenouille rousses apparaissent dans le bassin versant considérés. Les campagnes suivantes, espacées de 15 à 20 jours, doivent permettre de suivre la croissance des larves jusqu'à l'apparition des têtards à 4 pattes.

2° Les comptages sont opérés d'aval en amont, depuis la berge, sans entrer dans le cours d'eau idéalement par deux opérateurs (un par berge).

Dans le cas de la première campagne, les pontes de Grenouilles rousses doivent être réalisés exhaustivement sur chacun des cours d'eau et de leurs annexes hydrauliques latérales.

Durant les campagnes suivantes les larves des deux espèces peuvent être comptées par tronçons morphodynamiques homogènes, sous échantillonnés sur de 3 à 6 séquences de faciès dont la longueur doit être égale à entre 20 et 30 fois la largeur de la lame d'eau moyenne.

3° Dans le cas des salamandres, le comptage visuel doit être complété par un dénombrement plus précis par placette ou par des observations nocturnes.

En effet, dans les cours d'eau restaurés ou référentiels, la densité des litières organique et des bois morts est telle que les larves de salamandres sont beaucoup moins visibles que dans le cas des ruisseaux rectifiés ou plus homogènes.

### **7-3. Perspectives sur la restauration des écoulement et son suivi**

Les suivis biologiques et piézométriques des effet de la restauration des affluents de la Clauge apicale montrent que les gains en matière de reconstitution des ressources en eau et d'amélioration de la biodiversité aquatiques sont d'ores et déjà patents. En outre, les mesures effectuées sur les ruisseaux restaurés en 2007 et 2008 indiquent une tendance au confortement de l'amélioration de ces potentiels écologiques à l'échelle d'une dizaine d'années.

Comme une masse critique d'une quarantaine de augmentation de la capacité biogène des cours d'eau a été restaurée entre 2015 et 2018, les impacts positifs de cette démarche devraient être démultipliés dans les dix ans à venir.

Les effets en profiteront aussi aux espèces animales terrestres qui se nourrissent d'insectes à larve aquatiques ou/et qui sont inféodés aux zones humides (batraciens adultes, chiroptères, avifaune...). Les mousses et les carex bénéficieront aussi de l'augmentation de l'humidité des sols ainsi que de l'atmosphère des vallons des ruisseaux restaurés.

Parallèlement, un suivi de l'état de santé et de la vitesse de croissance des arbres a été mis en place pour évaluer l'effet des restaurations sur les potentiels sylvicoles. Sur ce plan, l'amélioration des dessertes forestières qui, sur le bassin versant considéré, a permis la suppression des franchissements dommageables aux cours d'eau et à leur frange humide constitue un effort conjoint remarquable de gestion intégrée.

La démarche de restaurations des écoulements de surface et du pouvoir de rétention en eau du bassin versant forestier se poursuit en outre par la restauration du chenal de la Clauge apicale elle même. Cette importante opération a débuté en 2021 et devrait se poursuivre jusqu'en 2024. Elle devrait permettre de retrouver la pérennité des débits sur un linéaire plurikilométrique de la Clauge, et de reconstituer une véritable continuité écologique entre une zone à truite redevenue fonctionnelle et des affluents temporaires beaucoup plus biogènes.

## Bibliographie

- AFNOR, 1992.- Détermination de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN). Association Française de Normalisation. 64 p.
- AFNOR. 2004.- Indice Biologique Global Normalisé IBGN NF T 90-350. Guide technique 2<sup>e</sup> édition. Agences de l'Eau. 37 p.
- AFNOR. 2009.- Prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivières peu profondes. XP T 90-333. 22p.
- AFNOR. 2010. Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro- invertébrés de cours d'eau. XP T 90-388. 21p.
- AFNOR. 2016. Qualité de l'eau. Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes. NF T 90-333. 41p.
- Aubert J. 1959. *Plecoptera*. Imprimerie de la Concorde, Lausanne. *Insecta helvetica* 1: 139 p.
- Berthélémy C., 1964. La zonation des Plécoptères et des Coléoptères dans les cours d'eau des Pyrénées. *Gewäss. Abwäss.* 34/35:77-79.
- Berthélémy C., 1967. Sur l'écologie comparée des Plécoptères, des *Hydraena* et des Elminthidae des Pyrénées. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 16:1727-1730.
- Berthélémy C., Laur C. , 1976. Plécoptères et Coléoptères aquatiques du Lot (Massif Central Français). *Annales de Limnologie* 11: 263-285.
- Bailly G., 1989. Catalogue des types de stations forestières du Massif de Chaux. Université de Franche-comté, 233p.
- Basset F., 2012. Rapport d'inventaire des chiroptères - Forêt domaniale de Chaux (39). ONF, 25 pages + annexes.
- Bessard S. 2008. Docob du site "Forêt de Chaux". 2 fascicules (rapport + annexes). ONF et DIREN Franche-Comté.
- Boillot F., 1978.- *Contribution à l'étude des déplacements de trichoptères. Principalement des espèces vivant en milieu aquatique temporaire*. Thèse de biologie animale, Université Claude Bernard. Lyon, 160 p.
- Bouchard J., 2009. Réseau de contrôle et surveillance - Réseau de contrôle opérationnel - Résultats campagne 2007-2008 - Jura. ONEMA.
- Boulton A.J., 2003. Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages. *Freshw. Biol.* 48: 1173-1185.
- Bouvet Y., 1976. Ecologie et reproduction chez les Trichoptères cavernicoles du groupe de *Stenophylax* (*Limnephilidae*, *Stenophylacini*). In: Malicky, H. (eds) *Proceedings of the First International Symposium on Trichoptera*. Springer, Dordrecht.
- Bouwes N., Weber N., Jordan C., Saunders W. C., Tattam I. A., Volk C., Pollock M., 2016. Ecosystem experiment reveals benefits of natural and simulated beaver dams to a threatened population of steelhead (*Oncorhynchus mykiss*). *Scientific Reports*, 6: 28-81.
- Bravard J.P., Gilvear D.J., 1993. Structures hydro-géomorphologiques des hydrosystèmes. In: *Hydrosystèmes fluviaux*, Amoros C. & Petts R. ed. : 83-103.
- Bravard, J. P., & Petit, F. (1997). Les cours d'eau - Dynamique du système fluvial. 222.
- Bruder A. et al., 2011. Litter diversity, fungal decomposers and litter decomposition under simulated stream intermittency. *Funct. Ecol.* 25: 1269-1277.

- Buffagni A., Cazzola M., Lopez-Rodriguez M.J., 2009. *Distribution and ecological preferences of European freshwater organisms. Volume 3: Ephemeroptera*. A. Schmidt-Kloiber & D. Hering (Eds), Pensoft, Sofia, 254 p.
- Cemagref Grenoble 1982. *Etude d'impact des aménagements des cours d'eau*. Etude n° 182. CEMAGREF éd. 130 p.
- Conseil Supérieur de la Pêche 1994. *Ressources piscicoles en Franche-Comté - Données 1993 - 1994*. Région Franche-Comté/ Fédérations de pêche et de protection du milieu aquatique Doubs, Jura, Haute-Saône et Territoire de Belfort. 10 p + 1 carte
- Copeland R. R., McComas D. N., Thorne C. R., Soar P. J., Jonas M. M., Fripp J. B., 2001. Hydraulic design of stream restoration projects (ERDC/CHL TR-01-28): US Army Corps of Engineers, Coastal and Hydraulics Laboratory, Vicksburg, MS. 109 p., appendices.
- Corti R., Datry T., 2016. Terrestrial and aquatic invertebrates in the riverbed of an intermittent river: Parallels and contrasts in community organisation. *Freshw. Biol.* 61: 1308-1320.
- Datry, T., N. Bonada, and A. J. Boulton. 2017. *Intermittent rivers and ephemeral streams: Ecology and management*. Academic Press, San Diego, California.
- Décourcière H. & Degiorgi F., 2000. *Protocole d'analyse semi-quantitative des communautés benthiques : le MAG20*. Note technique interne TELEOS Suisse. 4 p.
- Décourcière, H., & Degiorgi, F. (2009). *Analyse biocénotique et habitationnelle d'une station du Ruisseau des Vurpillières en 2009*. Suivi scientifique 12 années après sa restauration pour la RNN du lac de Remoray : p22 p.
- Degiorgi F., Lucot E., 2007. *Restauration de 2 chevelus hydrographiques apicaux affluents temporaires de la Clauge (forêt de Chaux, 39) - Appui technique pour les travaux de restauration. Compte rendu des travaux réalisés en 2007*. Programme LIFE NAT 04/FRI000082 « ruisseaux de têtes de bassin et faune patrimoniale associée» Site Natura 2000 FR4301317 - Action C9
- Dodelin B., 2020. *Inventaire des coléoptères du massif forestier de Chaux (25, 39). Campagnes d'inventaires de 2016 à 2018*. Rapport d'étude pour la Communauté d'Agglomération du Grand Dole, Lyon, 67 pp.
- Doyle M. W., Miller D. E., Harbor J. M., 1999. *Should river restoration be based on classification schemes or process models? Insights from the history of Geomorphology*: ASCE International Conference on Water Resources Engineering, Seattle, Washington.
- DREAL Franche-Comté, 1995-2014. Fiche Natura 2000 FR4301317 - Vallons forestiers, rivières, ruisseaux, milieux humides et temporaires de la forêt de Chaux INPN, SPN-MNHN Paris, 12 p.
- DREAL Franche-Comté, 2009. Fiche Natura 2000 FR430002172, Forêt de Chaux. INPN, SPN-MNHN Paris, 81 p. <https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/430002172.pdf>.
- Durand G., Morillas M. et al. 2001. *Situation actuelle de l'écrevisse à pieds blancs (Austropotamobius pallipes) dans le Jura. Inventaire départemental des populations - Année 2001*. Fédération du Jura APPMA, CSP brigade 39, Agence Eau RMC, DIREN F-C, 23p. + annexes
- Ferrez Y., Guyonneau J., 2005. *Connaissance de la flore rare ou menacée de Franche-Comté, Carex cespitosa L.*. Conservatoire Botanique de Franche-Comté, DIREN de Franche-Comté et Conseil Régional de Franche-Comté, 16p.
- Faessel B., 1985. Les trichopteres. Donnees biologiques, ethologiques et ecologiques. Cles de determination larvaire des familles et des principaux genres de France. *Bulletin Français de la Peche et de la Pisciculture* 299: 1-41.
- Geffroy S., Resch J.-N., Décourcière H., Degiorgi F., 2016. *Synthèse des suivis techniques et scientifiques des effets des travaux de restauration du Drugeon*. Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs, 120 p.
- Gilvear D.J. & Bravard J.P. 1993. Dynamique fluviale in hydrosystèmes fluviaux. In: *Hydrosystèmes fluviaux*, Amoros C. & Petts R. ed. :61-82.

- Graf W., Lorenz A.W., Tierno De Fiueroa J.M., Lucke S., Lopez-Rodriguez M.J., Davies C., 2009. *Distribution and ecological preferences of European freshwater organisms. Volume 2: Plecoptera*. A. Schmidt-Kloiber & D. Hering (Eds), Pensoft, Sofia, 262 p.
- Graf W., Murphy J., Dahl J., Zamora-Muñoz C., López Rodríguez M. J., 2008. *Distribution and ecological preferences of European freshwater organisms. Volume 1: Trichoptera*. A. Schmidt-Kloiber & D. Hering (Eds), Pensoft, Sofia, 388 p.
- Grandmottet J. P., 1983. Principales exigences des téléostéens dulcicoles vis-à-vis de l'habitat aquatique. *Annls Univ. Fr. Comté Biol An 4 (4)* 3-32.
- Hoppeler F., Winkelmann C., Becker J., Pauls S. U, 2018. Larval growth and metabolic energy storage of *Micropterna lateralis* (Trichoptera: Limnephilidae) in an intermittent stream: glycogen dominates in final instars. *Hydrobiologia* 806: 175–185
- Hynes H B N., 1976. Biology of Plecoptera. *Annual Review of Entomology* 21(1): 35-153 .
- Jarrett R. D., Tomlinson E. M., 2000, Regional interdisciplinary paleoflood approach to assess extreme flood potential: *Water Resources Research*, 36 (10): 2957-2984.
- Joveniaux A., Chevillard S., 2006. Inventaires ornithologiques. Site Natura 2000 Forêt de Chaux. Zone de Protection Spéciale. EPA, ONF, DIREN Franche-Comté, 88 p.
- Julienne L., M. Brulin 2007. Additions à la faune des Éphémères de France (11): *Arthroplea congener* Bengtsson, 1908 (Ephemeroptera, Arthropleidae). *Ephemera* 7(2): 89–94.
- Jussyk F., 2010. *Etude des amphibiens sur le site Natura 2000 de la forêt de Chaux dans le cadre de l'animation du document d'objectifs*. Communauté d'agglomération du grand Dole, DREAL Franche-Comté.
- Kite J. S., 2003. Fluvial geomorphology train is leaving the station; shouldn't we be on board?: *Stream Notes*: 6-7.
- Kuusela, K. 1984. Emergence of *Plecoptera* in two lotie habitats in the Oulanka National Park, north-eastern Finland. *Annls Limnol.* 20(1-2): 63-68.
- Lucot E., Degiorgi F., 2009. *Étude du fonctionnement des nappes d'eau et de la faune benthique associées aux cours d'eau temporaires en forêt de Chaux (39) après restauration* - Evaluation des premiers effets biologiques et mésologiques. In R. p. L. 04NAT/FR/000082 (Ed.), (pp. 28).
- Lucot E., Degiorgi F., Augé V., Pereira V., P.-M. Badot, 2008. Le reméandrement des ruisseaux forestiers : un outil pour atténuer les excès du drainage en forêt de Chaux.. *Rendez-vous techniques de l'ONF* 2008: 56-60.
- Malavoi, J.-R., & Bravard, J. P. (2010). *Elements d'hydromorphologie fluviale*. ONEMA Ed. 135 p.
- Malicky, H., 2014. Fauna Europaea: Trichoptera. Fauna Europaea version 2.6.1, <http://www.fauaneur.org>
- Malmqvist B., Sjöström P., 1989. The life cycle and growth of *Isoperla grammatica* and *I. difformis* (Plecoptera) in southernmost Sweden: intra- and interspecific considerations. *Hydrobiologia* 175(2): 97-108.
- Malzacher P., Jacob U., Haybach A., Reusch, H., 1998. Rote Liste der Eintagsfliegen (Ephemeroptera). In: Naturschutz, B. f. (Ed.) Rote Liste gefährdeter Tiere in Deutschland, Bonn: 264–267.
- Masselot G., Brulin M., 2000. Les Ephémères d'intérêt patrimonial pour la France. 1. Première liste: espèces éteintes et espèces en situation critique (Ephemeroptera). *Ephemera* 2: 59–65.
- Messinger T., Wiley, J. B., 2004. Regional relations in bankfull channel characteristics determined from flow measurements at selected stream-gaging stations in West Virginia, 1911-2002: *U.S. Geological Survey Investigations Report 03-4276: 1-43*.
- Miller J. R., Ritter, J. B., 1996. An examination of the Rosgen classification of natural rivers. *Catena* 27: 295-299.
- Milner N.J., Hemsworth R.J., Jones B.E., 1985. Habitat Evaluations as a Fisheries Management Tool. *J. Fish Biol.* 27: 85-108.

- Mitsch W.J., Gosselink J.G., 1993. *Wet Lands, 2nd edition*. Van Nostrand Reinhold éd., New York, London. 722 p
- Montgomery D. R., Buffington J. M., 1998, Channel processes, classification, and response, in Naiman, R. and Bilby, R., eds., *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*, New York, Springer-Verlag, p. 13-42.
- Niemi G.J. et coll. 1990. Overview of Case Studies of aquatic Systems from Disturbance. *Environn. Managem.*, 14: 571-587.
- ONF-LPO, & 2012. *Connaissance et protection des oiseaux, précautions de gestion : la Cigogne noire*. Plaquelette n°9200-12-EMAI-TEC-001, Fontainebleau, 12 pages.
- ONF 39, 2008. *Vallons forestiers, rivières, ruisseaux, milieux humides et temporaires de la forêt de Chaux* Document d'objectifs de la ZPS n° FR4312005 "Forêt de Chaux" et du SIC n°FR4301317.
- Orr M. R., Weber N. P., Noone W. N., Mooney M. G., Oakes T.M, Broughton H. M., 2020. Short-Term Stream and Riparian Responses to Beaver Dam Analogs on a Low-Gradient Channel Lacking Woody Riparian Vegetation, *Northwest Science* 93(3-4): 171-184.
- Pereira V., 2008 - Réseau de mares de Liesle/Arc et Senans/Champagne sur Loue - Plan de gestion 2009-2013 - Programme régional d'actions en faveur des mares de Franche-Comté.
- Petts G.E., Bravard J.P., 1993. Le réseau hydrographique dans le bassin versant. In: *Hydrosystèmes fluviaux*. Amoros C et Petts G.E. éd. Collections écologie n°24, Masson Paris, p 21-41.
- Pollock M. M., Weber N. Lewallen G., 2017. Beaver Dam Analogues (BDAs), in *The Beaver Restoration Guidebook: Working with Beaver to Restore Streams, Wetlands, and Floodplains* US Fish and Wildlife Service, Portland, Oregon, p. 82-96.
- Pollock, M., T.J. Beechie, J. Wheaton, C. Jordan, N. Bouwes, N. Weber, C. Volk. 2014. Using Beaver Dams to Restore Incised Stream Ecosystems. *BioScience* 64:279-290
- Prodon R., 1976. *Le substrat, facteur écologique et éthologique de la vie aquatique*. Thèse de spécialité. Université de Lyon. 171p.
- Rabeni C. F., Jacobson R. B., 1993. The importance of fluvial hydraulics to fish-habitat restoration in low-gradient alluvial streams. *Freshwater Biology*, v. 29, p. 211-220.
- Ravizza C., Fochetti R., 1999. I Plecotteri *Taeniopterygidae* della regione italiana (*Plecoptera*). *Memorie della Società Entomologica Italiana*, 77: 123-159.
- Reding, J.-P., 2006. Notes faunistiques sur *Metreletus balcanicus* (*Insecta: Ephemeroptera*) et *Ironoquia dubia* (*Insecta: Trichoptera*), deux espèces d'insectes aquatiques du Jura nouvelles pour la Suisse. *Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles* 129: 73-86.
- Reding J.-P., 2009. La renaturation du ruisseau des Vurpillières (RNN du Lac de Remoray, Doubs): problèmes, méthodes et résultats d'un suivi macrobenthique (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) à long terme (1993–2007). *Bourgogne nature* 9: 225–241.
- Reding J.-P. G., Launay B., Ruffoni A., Vinçon G., Boumans L. 2016. A new species of *Zwickyia* Murányi (*Plecoptera*, *Capniidae*) from the French and Swiss Jura Mountains, the French Massif Central, and the French Middle Rhône Region. *Zootaxa* 4121(2): 133-146.
- Reding J.-P. G., 2018. Stoneflies of the genus *Zwickyia* Murányi, 2014 (*Plecoptera: Capniidae*) from western Switzerland. *Zootaxa* 4382(2):201-241.
- Reding J.-P., 2020. *Les Plécoptères du Massif du Jura : Guide d'identification des larves au genre et à l'espèce*. Neuchâtel (Switzerland), independently published. 4 volumes 522 p.
- Rice, S. P., Greenwood, M. T., Joyce C. B., 2001, Tributaries, sediment sources, and the longitudinal organisation of macroinvertebrate fauna along river systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58 : 824-840.
- Rosgen D. L., 1994, A classification of natural rivers: *Catena* 22: 169-199.
- Schumm S. A., 1977. *The Fluvial Systems*. Wiley éd., New York. 409 p.

- Shields F. D., Copeland R. R., Klingema, P. C., Doyle M. W., Simon A., 2003, Design for stream restoration. *Journal of Hydraulic Engineering* 129: 575-584.
- Simonson T.D. 1993. Correspondance and relative precision of stream Habitat Features Estimated at Two Spatial Scales *Journ. Fresh. Ecology* 8: 363-373.
- Skidmore P. B., Shields, F. D., Doyle, M. W., Miller, D. E., 2001. A Categorization of Approaches to Natural Channel Design: ASCE River Restoration Conference, Reno, NV.
- Souchaud, L., Parmentier, E., 2017. Nouvelle donnée sur l'espèce rare *Arthroplea congener* (Ephemeroptera, Arthropleidae) en Forêt de Chaux (Jura). *Ephemera* 18(1): 61-64.
- Steward, A. L. et al. 2011. Terrestrial invertebrates of dry river beds are not simply subsets of riparian assemblages. *Aquat. Sci.* 73: 551-566.
- Stonedahl, S.H., Harvey, J.W., Wörman, A., Salehin, M. and Packman, A.I., 2010. A multiscale model for integrating hyporheic exchange from ripples to meanders. *Water Resources Research* 46(12)&.
- Stubbington R, Greenwood A M, Wood P J, Armitage P D, Gunn J, Robertson A L., 2009. The response of perennial and temporary headwater stream invertebrate communities to hydrological extremes. *Hydrobiologia* 630: 299-312.
- Stubbington R, Barthès A, Bouchez A, England J, Paillex A, Sánchez-Montoya M, Verdonschot R C M, Westwood C G, Datry, T. 2019. Biotic groups as indicators of dry-phase ecological quality assessments in intermittent rivers and ephemeral streams. *Ecological Indicators* 97: 165-174
- Stubbington R. et al., 2021. Disentangling community responses to natural stressor and human impact gradients in river ecosystems across Europe. *Journal of Applied Ecology* 59(2) : 537-548.
- Stubbington R., 2012. The hyporheic zone as an invertebrate refuge; a review of variability in space, time, taxa and behaviour. *Marine and Freshwater Research* 63: 294-311.
- Thomas A., Bonnefous O., Khatori M., Soubaya T. 2006. Évolution des communautés de Plécoptères dans la Garonne près de Toulouse depuis 1930 : l'agonie des insectes bioindicateurs les plus sensibles (Plecoptera). *Ephemera* 7(1): 45-57.
- Tierno De Figueroa J. M., López-Rodríguez J. M., Lorenz W. A., Graf W., Schmidt-Kloiber A., D. Hering 2010. Vulnerable taxa of European *Plecoptera* (Insecta) in the context of climate change. – *Biodiversity and Conservation* 19: 1269-1277.
- 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., Vergon J. P., Larinier M., 1975. Aspects écologiques des travaux d'aménagement de cours d'eau. Orientations et principes généraux. *Houille blanche*, 2-3 :127-132.
- Verneaux J., Verneaux V., Schmitt A. Prouteau C., 2004. Assessing Biological Orders of river sites and biological structures of watercourses using ecological traits of aquatic insects. *Hydrobiologia* 519: 39-47.
- Verneaux, J., Schmitt A., Verneaux V., Prouteau C., 2003. Benthic insects and fish of the Doubs River system: typological traits and the development of a species continuum in a theoretically extrapolated watercourse. *Hydrobiologia* 490.:63–74.
- Wagner, A., Stucki, P., Sartori, M. 2014. *Arthroplea congener* (Ephemeroptera: Heptageniidae) un genre et une espèce nouveaux pour la faune de Suisse. *Bulletin de la Société entomologique suisse* 87 (1/2) : 61-69.
- Wallace I. D., 1991. *A review of the Trichoptera of Great Britain*. Research & survey in nature conservation **No. 32**. Nature Conservancy Council, Peterborough.
- Wallace I. D., 2003. The beginner's guide to caddis (Order Trichoptera). *Bulletin of the Amateur Entomologists' Society* **62**: 15-26.
- Zwick P. 1992. Stream habitat fragmentation- a threat to biodiversity. *Biodiversity & Conservation* 1: 80-97.

## **Annexes**

### **Annexe 1. Photos des ruisseaux rectifiés et restaurés.**

#### **A1-1. Photo d'un affluent rectifié et incisé (n° 23, témoin)**



A1-2. Photo d'un affluent restauré par comblement total du chenal rectiligne



A1-3. Photo d'un affluent restauré par oblitérations partielles à l'aide de bouchons



**A1-4. Photo du rehaussement de la lame d'eau d'un affluent méandrique mais curés à l'aide d'embacles artificiels ancrés et semi-enterrés.**

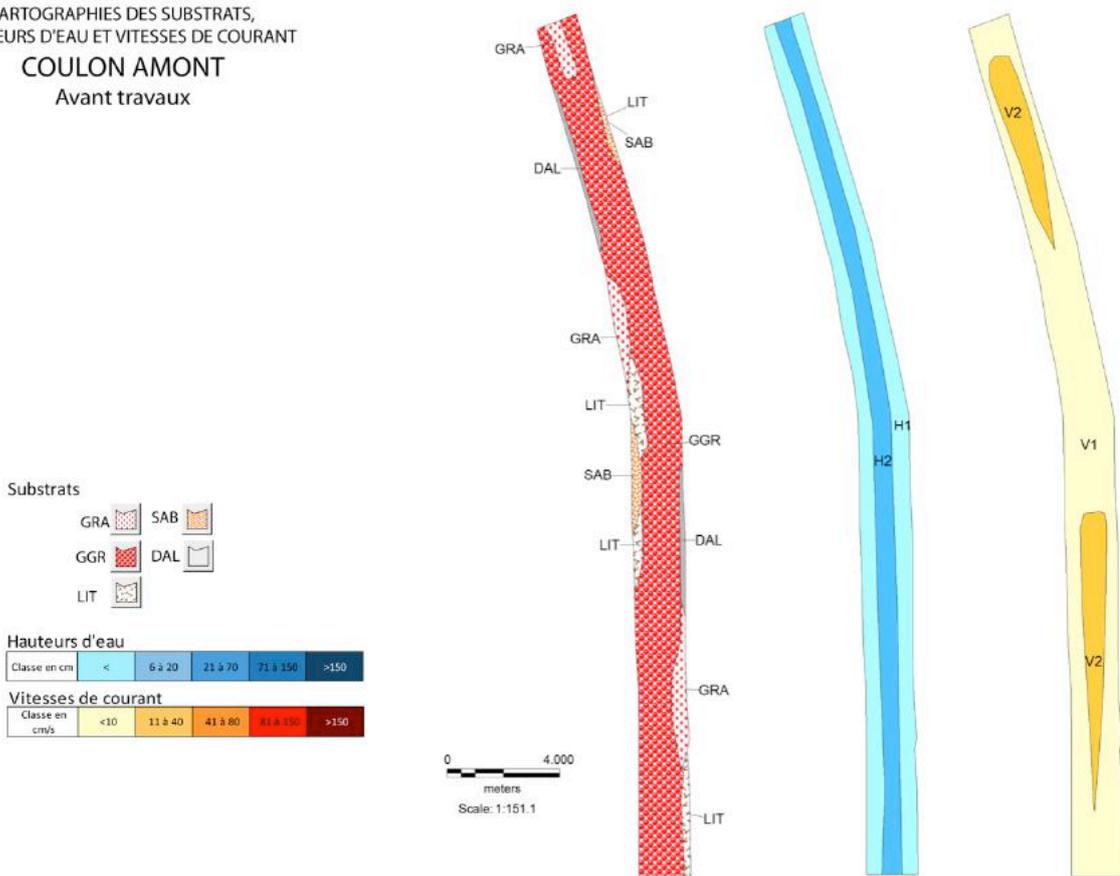


**A1-5. Photo du rehaussement de la lame d'eau d'un affluent méandrique mais curés à l'aide de triplet de bancs de graviers galets (recharge)**

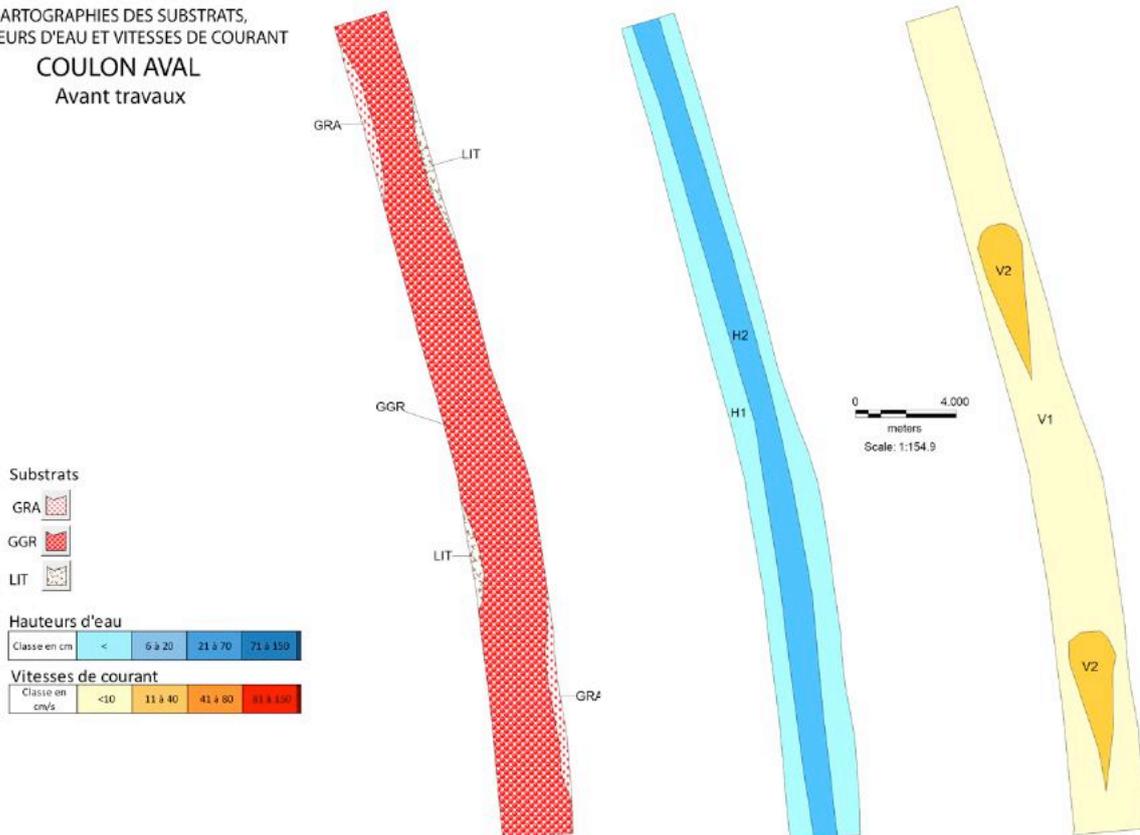


Annexe 2. Cartes IAM des ruisseaux avant restauration et témoin

CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
**COULON AMONT**  
Avant travaux



CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
**COULON AVAL**  
Avant travaux



CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
RU DU SAUGET AMONT  
Avant travaux

Substrats

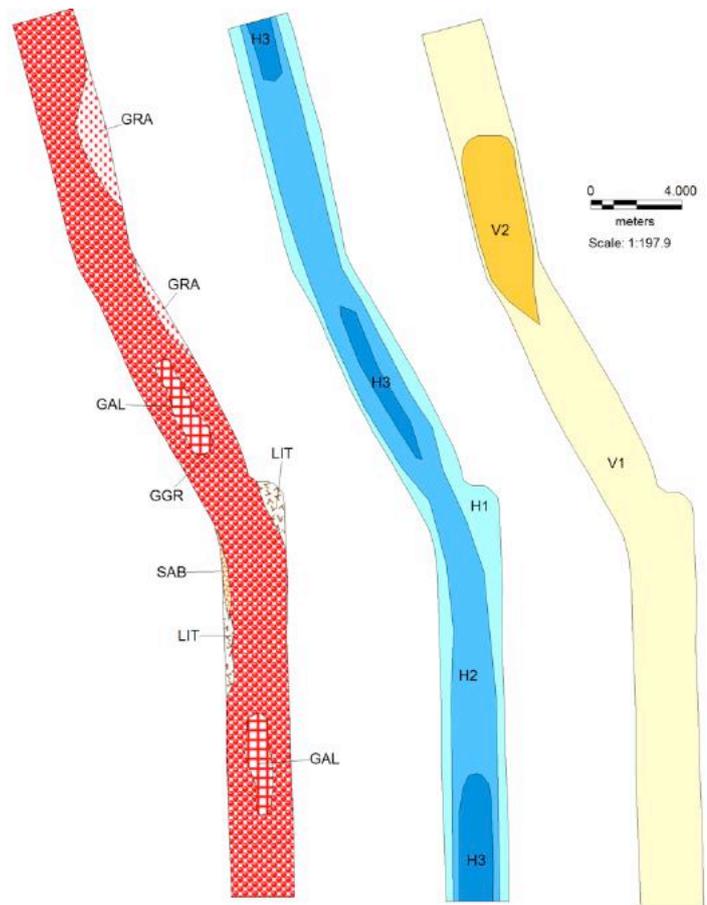


Hauteurs d'eau

Classe en cm	<	6 à 20	21 à 70	71 à 150	>150
--------------	---	--------	---------	----------	------

Vitesses de courant

Classe en cm/s	<10	11 à 40	41 à 80	81 à 150	>150
----------------	-----	---------	---------	----------	------



CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
RU DU SAUGET AVAL  
Avant travaux

Substrats

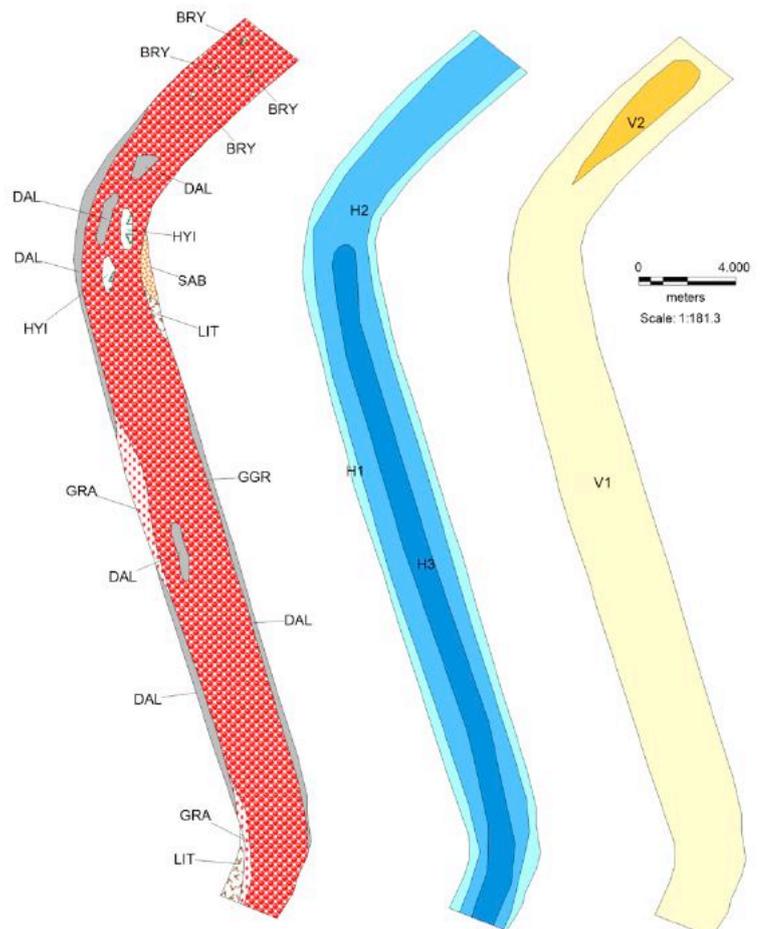


Hauteurs d'eau

Classe en cm	<	6 à 20	21 à 70	71 à 150	>150
--------------	---	--------	---------	----------	------

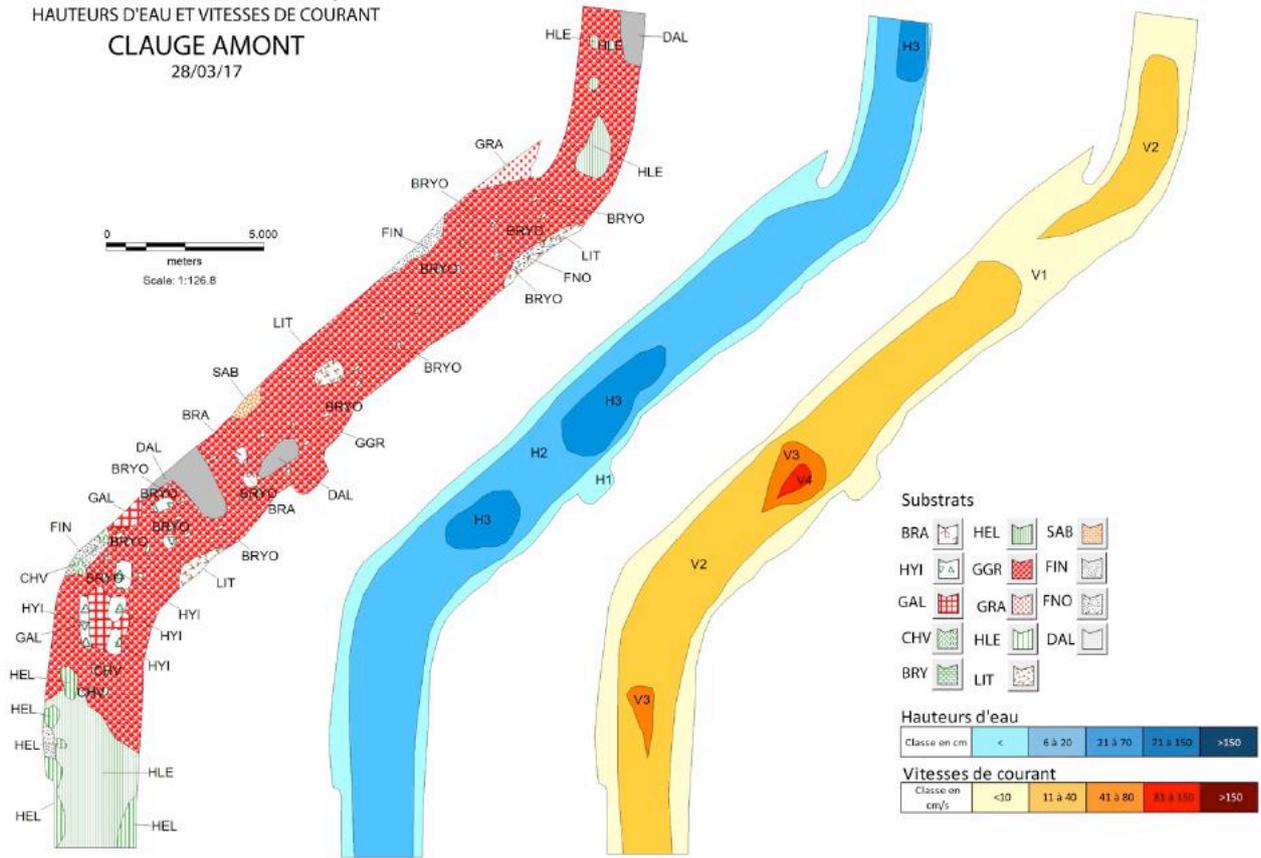
Vitesses de courant

Classe en cm/s	<10	11 à 40	41 à 80	81 à 150	>150
----------------	-----	---------	---------	----------	------

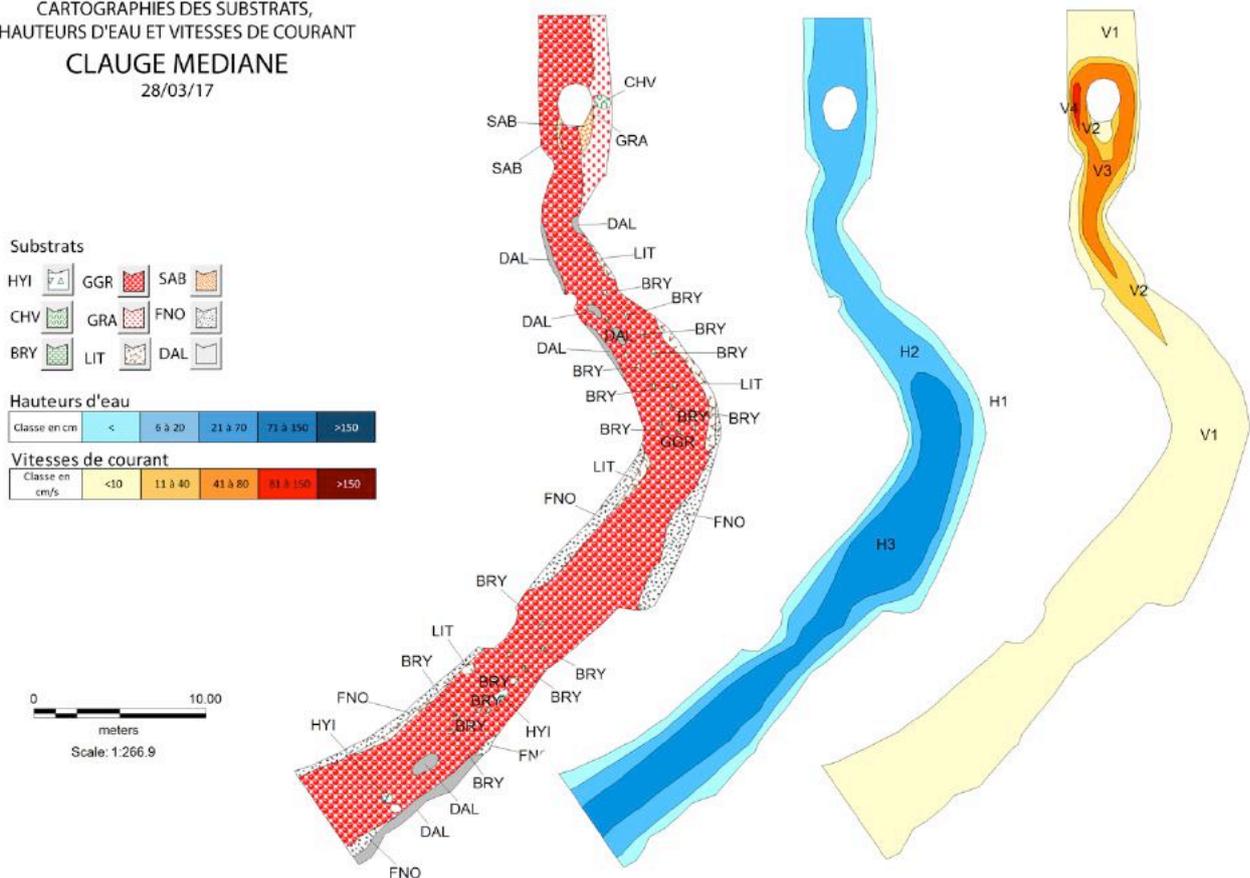




CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
**CLAUGE AMONT**  
28/03/17

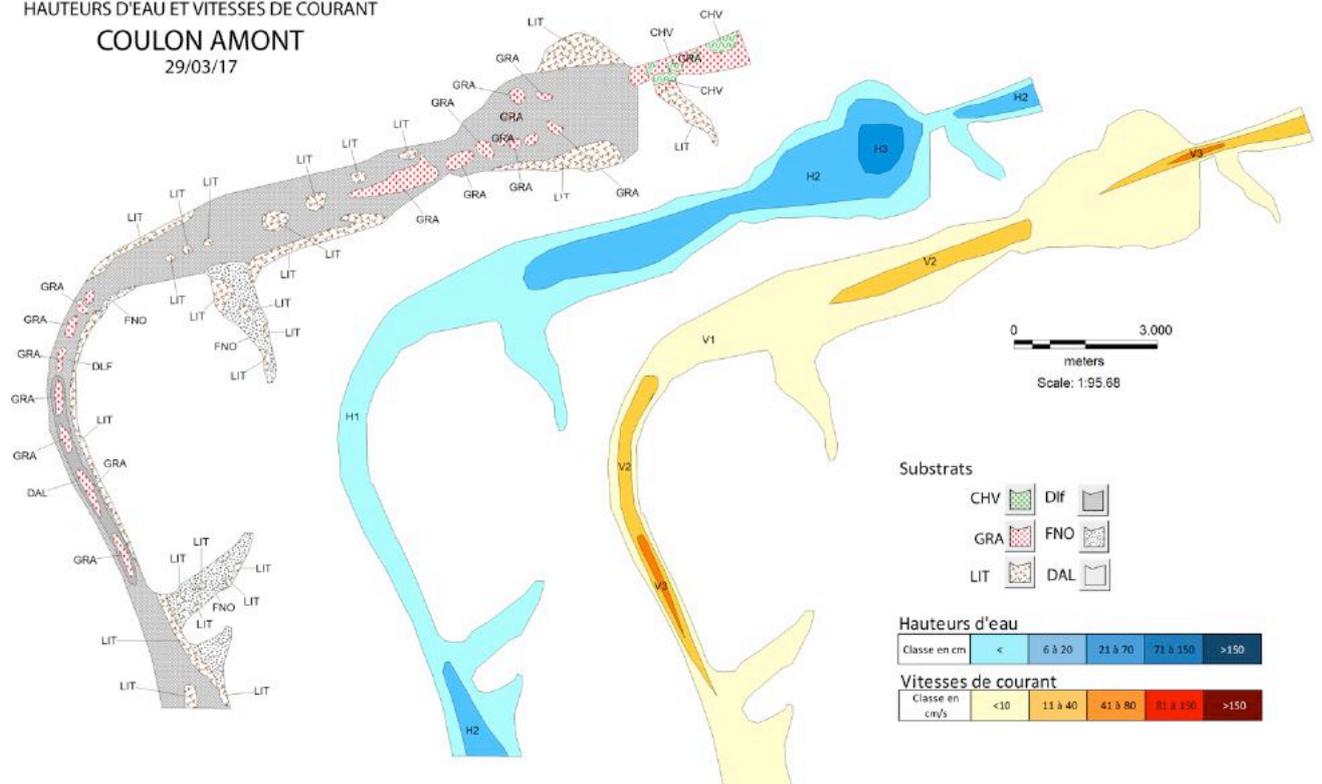


CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
**CLAUGE MEDIANE**  
28/03/17

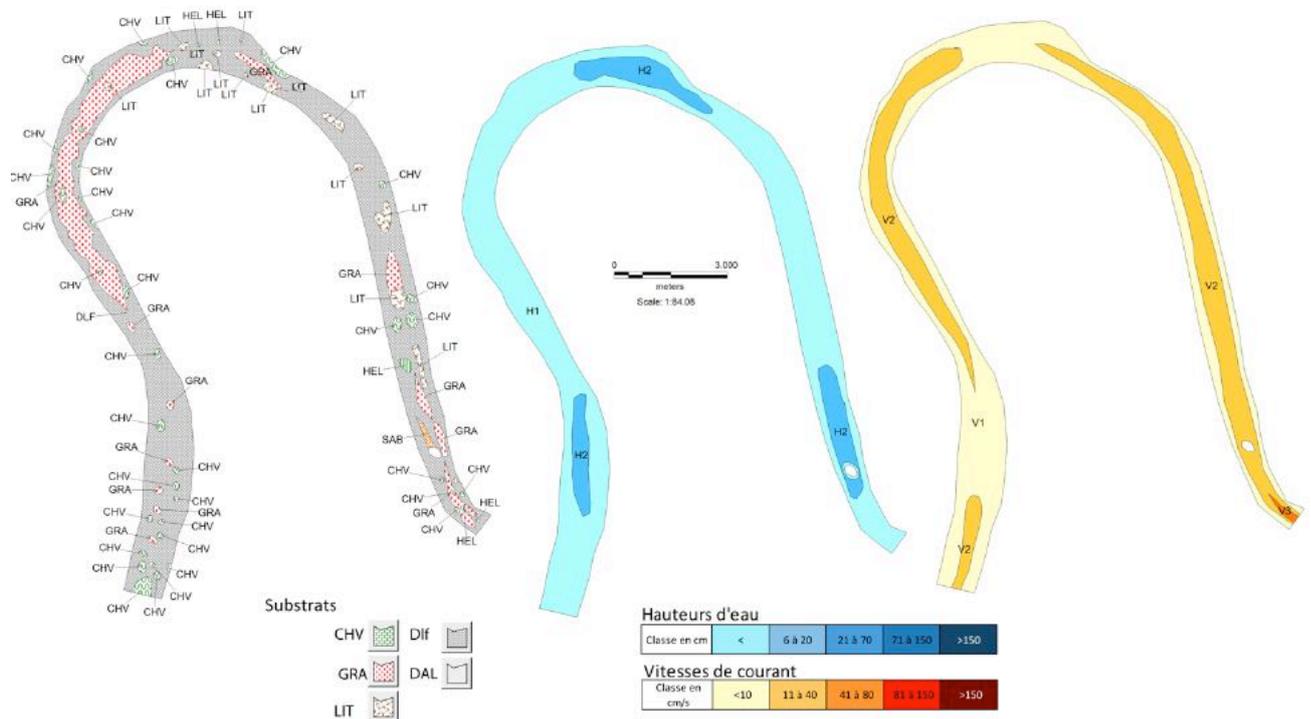


### Annexe 3. Cartes IAM des ruisseaux restaurés

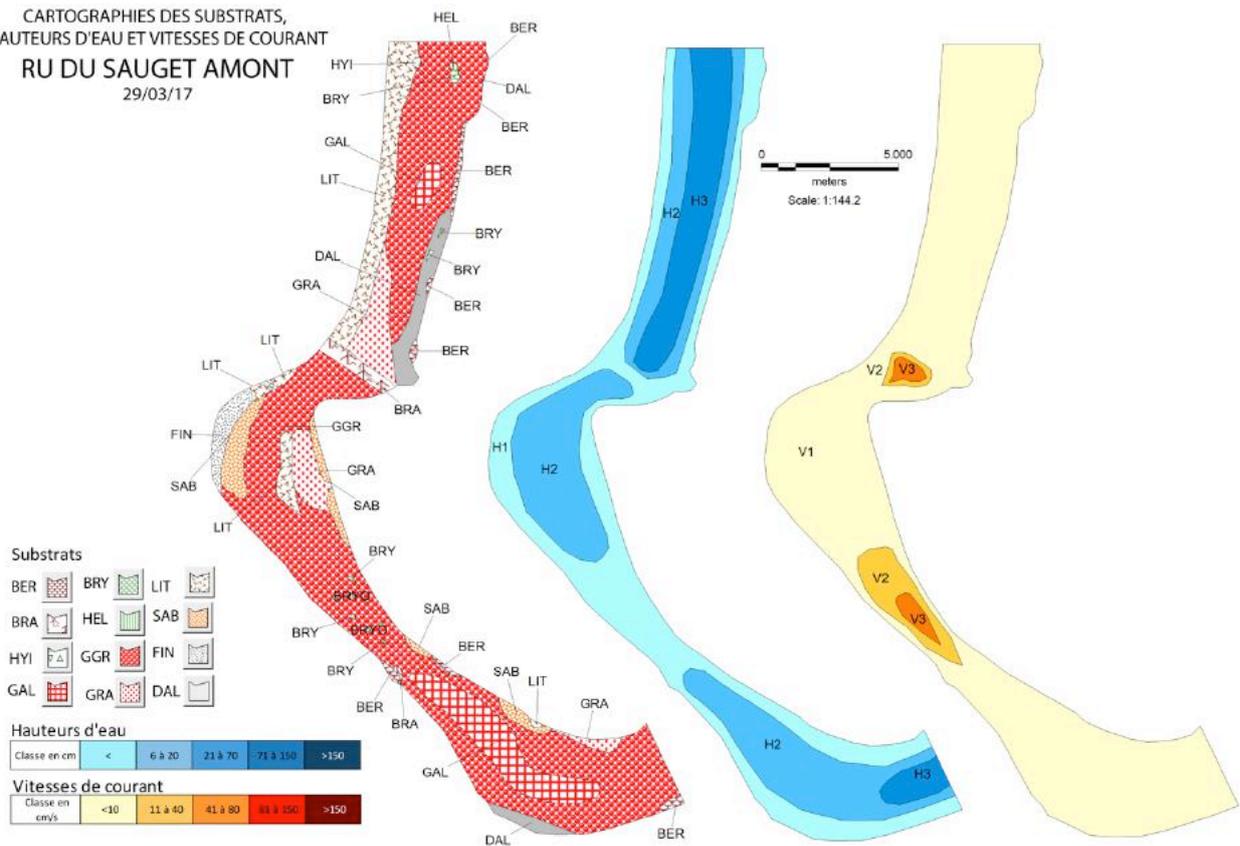
CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
**COULON AMONT**  
29/03/17



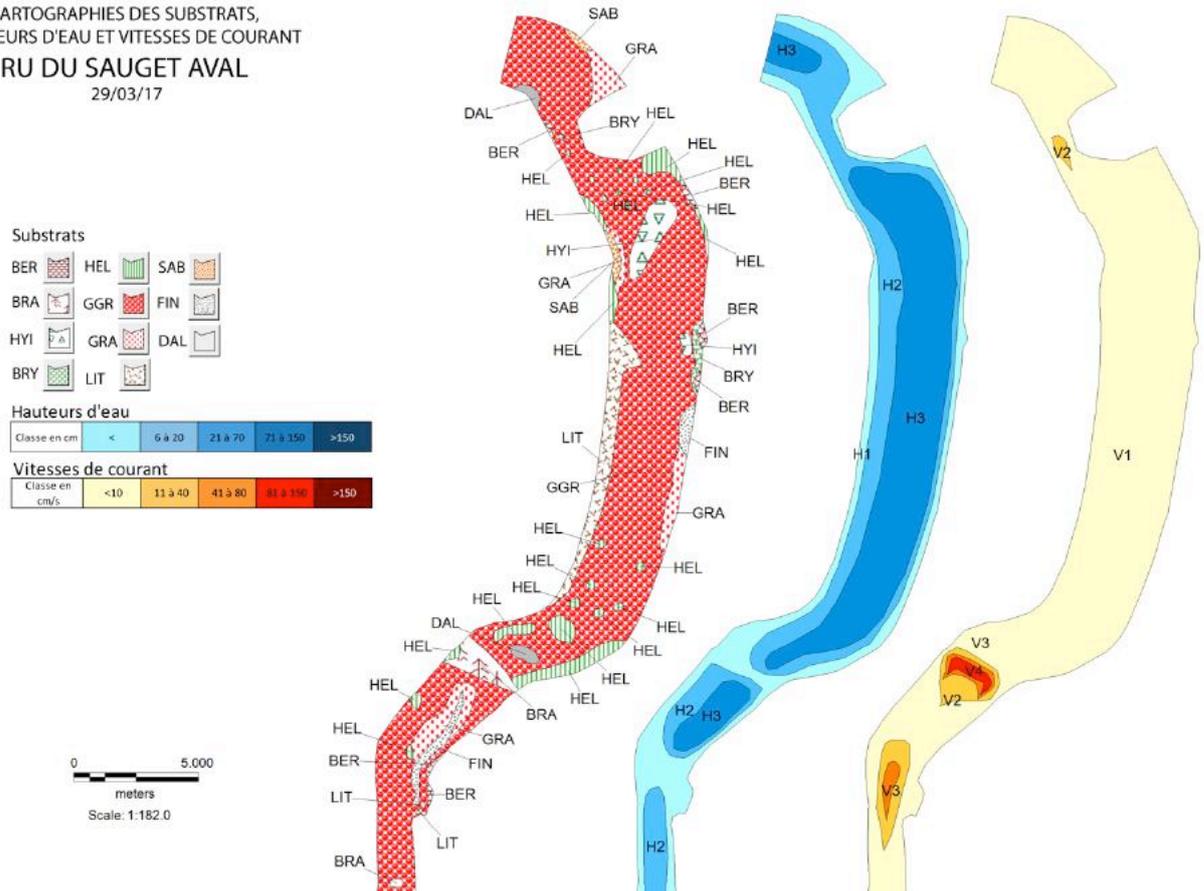
CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
**COULON AVA**  
29/03/17



CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
RU DU SAUGET AMONT  
29/03/17

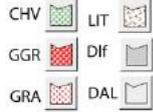


CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
RU DU SAUGET AVAL  
29/03/17



CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
**VERNE FENDUE**  
28/03/17

Substrats

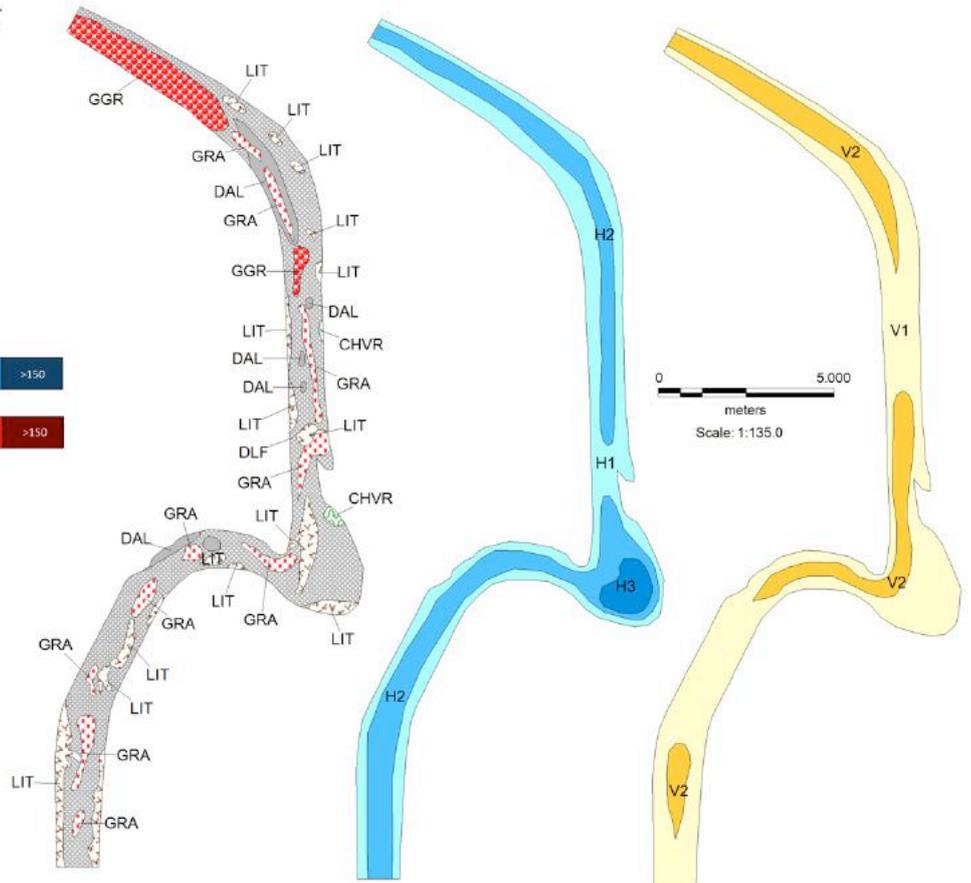


Hauteurs d'eau

Classe en cm	<	6 à 20	21 à 70	71 à 150	>150

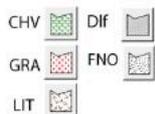
Vitesses de courant

Classe en cm/s	<10	11 à 40	41 à 80	81 à 150	>150



CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
**SOMMIERE DU MOULIN**  
28/03/17

Substrats

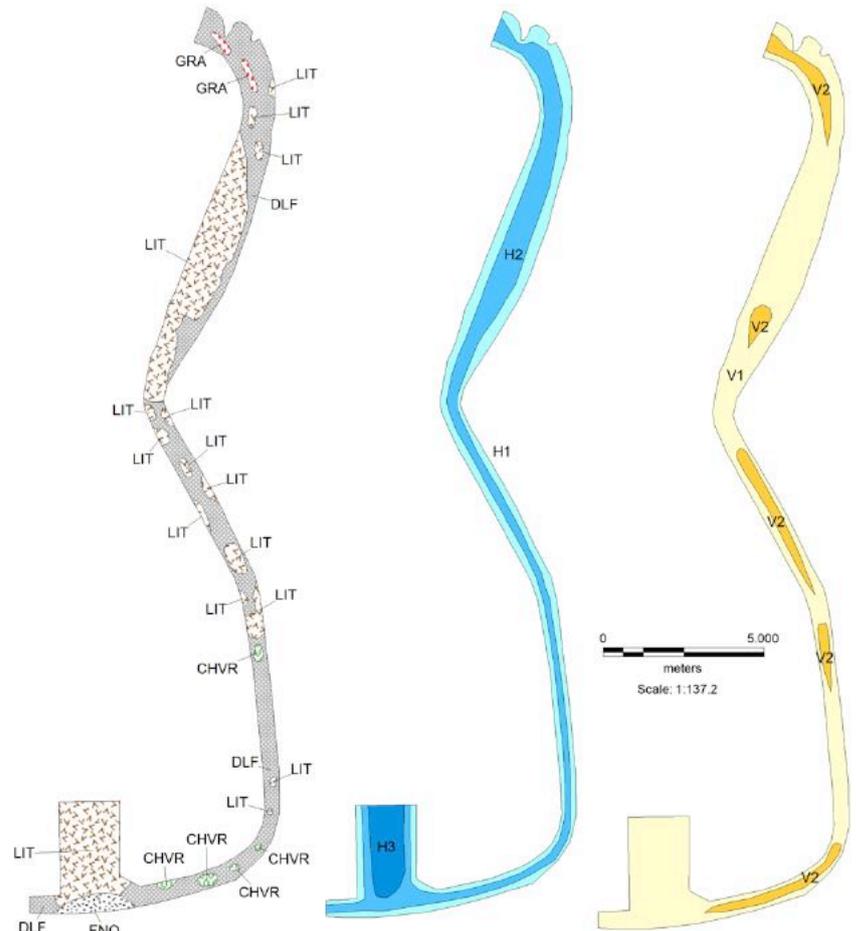


Hauteurs d'eau

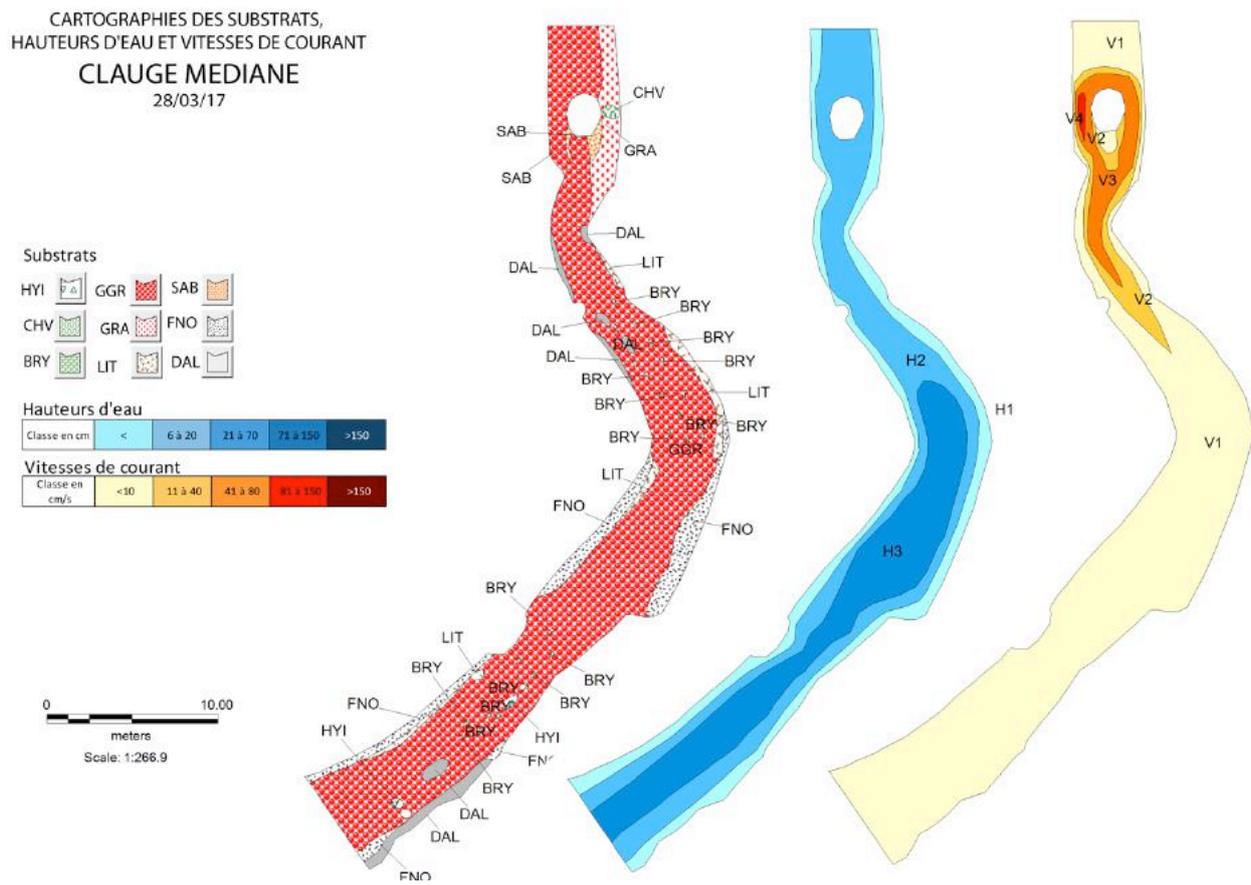
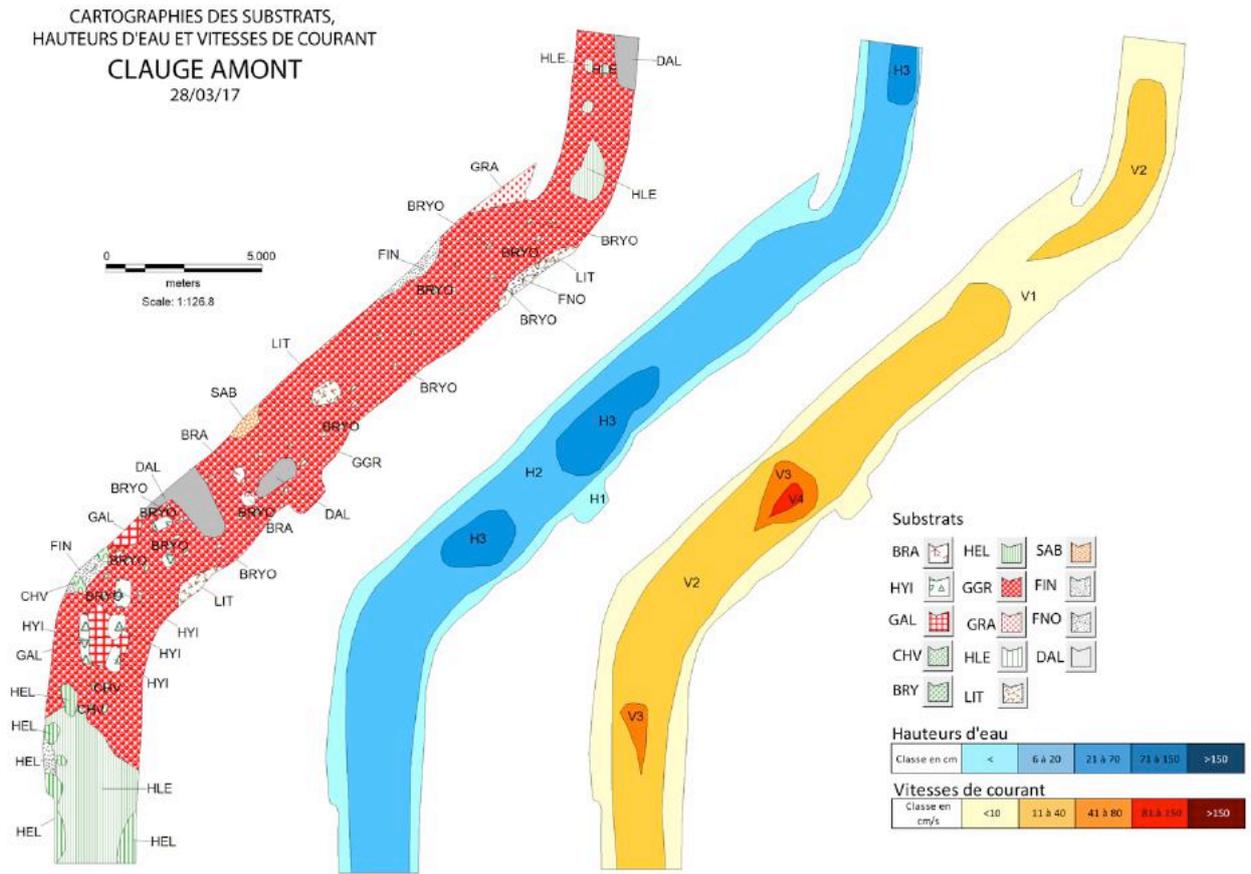
Classe en cm	<	6 à 20	21 à 70	71 à 150	>150

Vitesses de courant

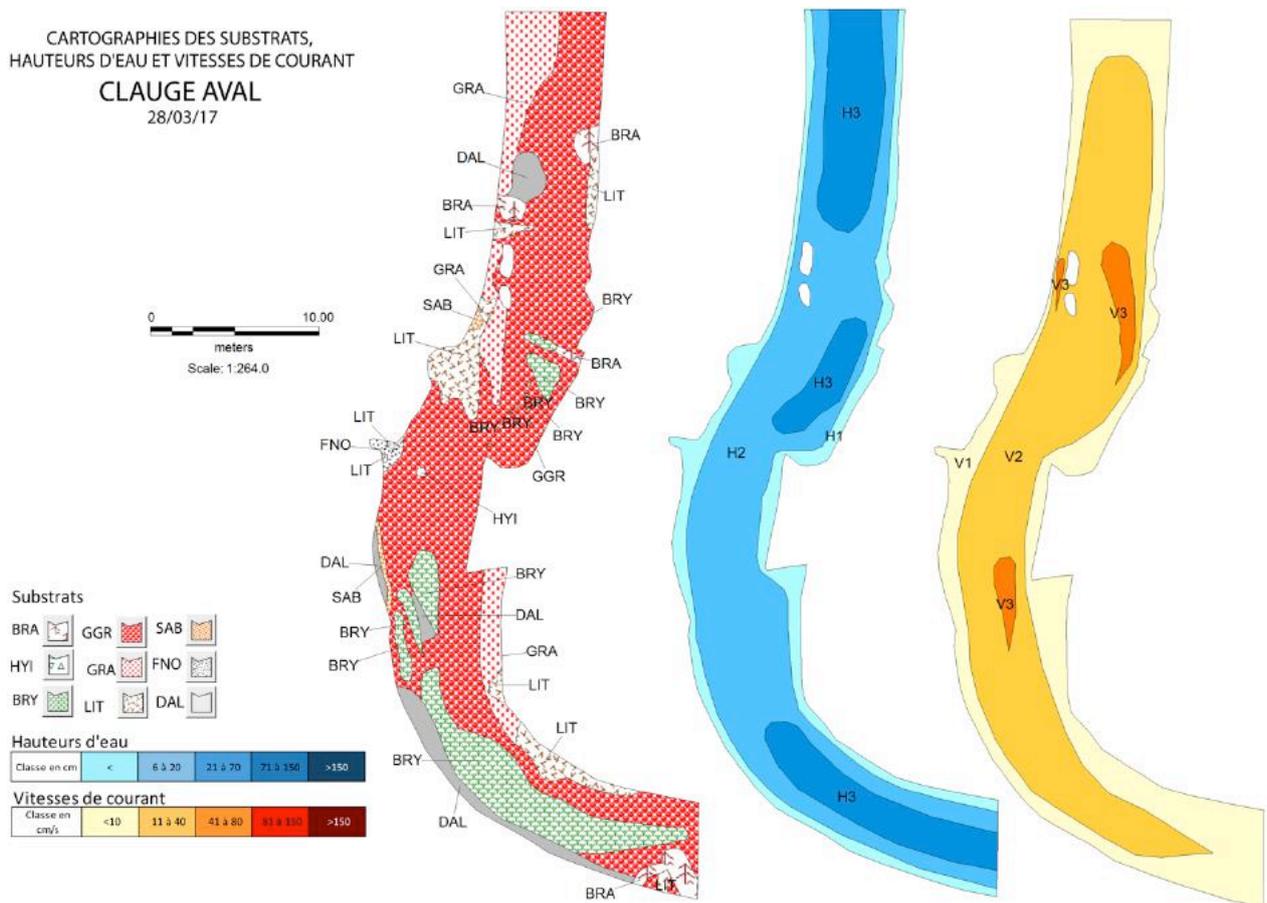
Classe en cm/s	<10	11 à 40	41 à 80	81 à 150	>150



Annexe 4 : cartes IAM de la Clauge apicale avant restauration



CARTOGRAPHIES DES SUBSTRATS,  
HAUTEURS D'EAU ET VITESSES DE COURANT  
CLAUGE AVAL  
28/03/17



Annexe 5 : capture des imagos

Ruisseau	SM						VF						T-am					T-av					
	Année	2006	2008	2015	2016	2018	2019	2006	2008	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
Amphinemura standfussi																							
Beraea pullata											1												
Brachyptera risi												9					1						
Enoicyla pusilla																							
Glyptotaelius pellucidus				3	1																		
Grammotaulius nigropunctatus	1																						
Hagenella clathrata		1															1						
Isoperla grammatica																							
Limnephilus auricula																							
Limnephilus centralis								3	4	3	3												
Limnephilus lunatus																							
Limnephilus sparsus																							
Metreletus balcanicus																							
Micropterna lateralis																	1						
Nemoura cinerea	7		5	26	6			3	62	2	12	1	4	25		4	5	6	63	2			
Oligostomis reticulata								3	4	1	12	1			2					2	3		
Plectrocnemia conspersa																							
Siphonurus aestivalis																							
Stenophylax permistus				1	1					2													
Trichostegia minor																							
Zwicknia bifrons																							
Zwicknia westermanni																							

Ruisseau	Coul_am					Coul_av					Saug_am					Saug_av							
	Année	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019		
Amphinemura standfussi								2		1			7						1				
Beraea pullata													1		1								
Brachyptera risi					2					36			1	4		21			24	3	86		
Enoicyla pusilla																							
Glyptotaelius pellucidus					1					2			1	3	1	6	3			11			
Grammotaulius nigropunctatus																							
Hagenella clathrata																							
Isoperla grammatica			1				1						4	1				1	6		3		
Limnephilus auricula																							
Limnephilus centralis										1			1	8	11			1		6			
Limnephilus lunatus																							
Limnephilus sparsus																							
Metreletus balcanicus																							
Micropterna lateralis													2										
Nemoura cinerea	1	10	7	6			7	49	17	41	14	5	76	67	84	13	5	37	12	9	1		
Oligostomis reticulata				3						1	1				4	1	2	1	5	2	1		
Plectrocnemia conspersa																							
Siphonurus aestivalis							1			1			2	9	4	4		1	1			4	
Stenophylax permistus								2		1			3	4	1			5	8				
Trichostegia minor															1	1							
Zwicknia bifrons																							
Zwicknia westermanni								1					4					1	5	5	1		

Ruisseau	CI_am						CI_med						CI_av										
	Année	2006	2008	2015	2016	2017	2018	2019	2006	2008	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019			
Amphinemura standfussi										2													
Beraea pullata											1								3	11	1		
Brachyptera risi							2			1				16		2	1	5	27				1
Enoicyla pusilla																							
Glyptotaelius pellucidus	1	1			1						1	1	1					5	5	18	3		
Grammotaulius nigropunctatus												1	1					1					
Hagenella clathrata																							
Isoperla grammatica																1		3	7	4	24	2	
Limnephilus auricula					1	1										1						1	
Limnephilus centralis	4	16			2	9	4	4			10		1	5	5		1	5	4	4	1		
Limnephilus lunatus	1												1										
Limnephilus sparsus					1																		
Metreletus balcanicus																		1	10		1		
Micropterna lateralis																		8					
Nemoura cinerea	30	10	4	94	22	25	12	20	9		83	1	9		11	78	217	82	17				
Oligostomis reticulata						3						3				4	2	21	12				
Plectrocnemia conspersa																							
Siphonurus aestivalis																		5	11	7	1	6	
Stenophylax permistus	3	5	1	4	2	1		3	2		2	1		1		6	5	6					
Trichostegia minor																				1			
Zwicknia bifrons																					1	1	
Zwicknia westermanni									2			1	1			1	7	9					