

## Faculté des Sciences et Techniques

Licence Professionnelle

Métiers des Ressources Naturelles et de la Forêt

Parcours Aménagement arboré et forestier

2023/2024

### Restauration de la Clauge forestière en amont de la Vieille Loye



**Romain Ducrot**

Stage effectué du 1er avril au 12 juillet 2024

**ONF**

Bruez Sylvain

Technicien forestier à l'ONF

Costa Guy

Professeur à l'université de Limoges



## Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de ce stage et à l'élaboration de ce rapport.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement Sylvain Bruez, mon tuteur de stage chez l'ONF pour son accueil, son encadrement et ses précieux conseils tout au long de cette expérience. Sa disponibilité et son expertise ont été d'une grande aide pour l'accomplissement de mes missions.

Je tiens également à remercier toute l'équipe de l'ONF pour leur accueil chaleureux, leur soutien et leur collaboration. Leur esprit d'équipe et leur bienveillance ont rendu ce stage très agréable et enrichissant.

Enfin, je remercie ma famille pour leur soutien moral et leurs encouragements constants tout au long de cette expérience.

## Liste des abréviations

---

**Afforestation** : Plantation par l'homme d'arbres dans le but de repeupler une surface longtemps restée déboisée, ou n'ayant jamais été connue comme telle.

**Alluvion** : Dépôt (cailloux, sables, boues) provenant d'un transport par les eaux courantes.

**Anticlinal** : Pli convexe vers le haut

**Bassin versant** : Espace géographique alimentant un cours d'eau et drainé par lui.

**Bionatte** : protections constituées d'une couche de fibres végétales non tissées aiguilletées ou enchevêtrées, renforcées par un ou deux très minces filets (grilles en fibres naturelles ou synthétiques).

**Chênaies acidiphiles médio-européennes** : Chênaies présentant une flore acidiphile, mais situées dans des conditions plus xériques, généralement sur des affleurements schisto-gréseux.

**Chênaies pédonculées neutroacidiclinales à méso-acidiphiles à crin végétal** : Peuplement à dominance de chênes pédonculés accompagné de charmes en sous-étage sur des sols à tendance limoneuses, bien alimenté en eau, avec une hydromorphie fréquente.

**Confluence** : Jonction de cours d'eau

**Delta** : Dépôt d'alluvions émergeant à l'embouchure d'un fleuve et la divisant en bras de plus en plus ramifiés.

**L'étiage** : débit minimal d'un cours d'eau

**Fraie** : saison de reproduction des poissons et des amphibiens.

**Hêtraie à Mélique** : Peuplement avec un sous climat atlantique moyennement arrosé. On le trouve surtout sur placages limoneux sur sols bruns acides, plus ou moins lessivés, à bonnes réserves en eau.

**Hêtraies collinéennes à Luzule** : Boisements de feuillus purs dont la strate arborée est généralement élevée et dominée par le Hêtre commun associé à diverses autres essences. Cet habitat est établi le plus souvent sur de fortes pentes (entre 25 et 50%) sur des substrats acides, plutôt sur des zones décarbonatées alors que la roche mère est calcaire ou sur des moraines.

**Flottage du bois** : mode de transport par voie d'eau pour des pièces de bois de tailles variables, à l'état brut ou déjà débitées, assemblées entre elles ou pas.

**Hydroclimat** : Climat en milieu aquatique, dont les variations dépendent des conditions saisonnières d'éclairement et de température, et de la composition chimique de l'eau

**Hydromorphe** : Désigne un sol qui est régulièrement saturé en eau.

**Incision** : Désigne un enfoncement généralisé du fond d'un cours d'eau, résultat d'une érosion régressive ou d'une érosion progressive

**LIDAR** : Appareil qui émet un faisceau laser et en reçoit l'écho (comme le radar), permettant de déterminer la distance d'un objet.

**Limnimétrie** : Étude des variations périodiques de la hauteur du niveau des lacs, des rivières.

**Tunage** : Technique de génie végétal destinée à protéger les berges contre l'érosion naturelle mais aussi accentuée par les galeries des ragondins.

**Verrou glaciaire** : En géomorphologie, un verrou glaciaire est la diminution de la largeur et l'élévation du plancher rocheux d'une vallée glaciaire au droit d'une zone qui a mieux résisté à l'érosion du glacier

## Droits d'auteurs

---

Sans objet

# Table des matières

---

Introduction .....	10
Contexte et problématique .....	10
Objectifs du rapport.....	10
Méthodologie .....	10
1. L'entreprise et son secteur d'activité.....	11
1.1. Le secteur .....	11
1.1.1. Les enjeux de l'ONF .....	11
1.1.2. Les missions de l'ONF au cœur des forêts .....	11
1.1.3. Organisation .....	12
1.2. L'entreprise par rapport au secteur .....	13
2. État des lieux de la Clauge forestière .....	14
2.1. Présentation de la forêt de Chaux.....	14
2.1.1. Localisation géographique.....	14
2.1.2. Contexte écologique.....	17
2.1.2.1. Introduction à la biodiversité et aux écosystèmes présents dans la région. ...	17
2.1.2.2. Flore.....	18
2.1.2.3. Faune.....	18
3. Les principes de la renaturation.....	29
3.1. Définition et objectifs de la renaturation .....	29
3.1.1. Définition de la renaturation.....	29
3.1.2. Objectifs de la renaturation.....	29
3.2. Avantages écologiques et sociaux .....	29
3.2.1. Avantages écologiques .....	29
3.2.2. Avantages sociaux .....	29
4. Plan de renaturation .....	30
4.1. Techniques de renaturation utilisées.....	30
4.2. Calendrier de mise en œuvre.....	32
4.2.1. Phases de renaturation .....	32
4.3. Travaux réalisés.....	36
4.3.1. Comblement total ou partiel des tronçons rectilignes surcreusés.....	36
4.3.2. Resserrement du lit par implantation de banquettes végétalisées en vis-à-vis.....	37
4.3.3. Rehaussement sans création d'obstacle à l'aide d'embâcles fixés et engravés. ...	39
4.3.4. Recharges du lit sous forme de bancs de galets-graviers alternés .....	40
4.3.5. Renforcement des gués et protection vis à vis des franchissements .....	40

4.4. Cubages et coûts des travaux.....	41
4.4.1. Articulation et cubage des travaux.....	41
4.4.2. Coûts des travaux.....	42
4.4.3. Financements :.....	42
5. Suivi et évaluation .....	43
5.1. Méthodes de suivi écologique .....	43
5.1.1. Inventaires biologiques .....	43
5.1.2. Échantillonnage de l'eau et du sol .....	43
5.1.3. Technologies de surveillance .....	43
Conclusion .....	44
Références bibliographiques .....	45
Annexes .....	47

## Table des illustrations

---

Figure 1 : Les moyens de déplacement mis à disposition par l'ONF en forêt publique .....	12
Figure 2 : Ce que gère l'ONF.....	12
Figure 3 : Les 9 directions territoriales de l'ONF et ses agences territoriales.....	13
Figure 4 : Organigramme de l'ONF.....	13
Figure 5 : Localisation de la Clauge apicale au sein de la forêt domaniale .....	14
Figure 6 : Localisation de la Clauge par rapport aux autres cours d'eau.....	15
Figure 7 : Localisation du projet et communes concernées (source geoportail.gouv.fr) .....	17
Figure 8 : Image de Delabre.....	18
Figure 9 : Microrhagus pyrenaeus .....	19
Figure 10 : Triton crêté .....	21
Figure 11 : Lézard agile (des souches).....	21
Figure 12 : Cigogne noire .....	22
Figure 13 : Murin de Brandt.....	23
Figure 14 : Histoire de la pédologie du massif .....	24
Figure 15 : La pédologie du massif.....	25
Figure 16 : l'axe de l'anticlinal du massif de la forêt de chaux.....	25
Figure 17 : Exemple d'horizon glossique (fragipan) .....	26
Figure 18 : Températures maximales et minimales mensuelles moyennes et cumuls mensuels moyens des précipitations à Dole-Tavaux .....	26
Figure 19 : Synthèse des principales caractéristiques des sols du vallon de la Clauge apicale et médiane .....	28
Figure 20 : Schéma de principe d'un reméandrement optimal avec comblement total du chenal rectifié .....	30
Figure 21: schéma de principe de mise en œuvre des 3 modalités d'aménagement proposées pour resserrer et rehausser le lit mineur de la Clauge.....	31
Figure 22 : Aplanissement de l'étang du Saujet.....	33
Figure 23 : Le méandre à travers l'ancien étang du Saujet.....	33

Figure 24 : Exemple pour l'étang du Saujet. Les cailloutis sont pris à moins de 100m des travaux. ....	34
Figure 25 : Comblement du lit rectifié et rehaussement des chenaux latéraux secondaires érodés pour réactiver les méandres principaux encore visibles .....	37
Figure 26: Comblement du lit rectifié et surcreusé avec creusement ménagé d'un lit guide méandrique volontairement sous-dimensionné .....	37
Figure 27: Schéma d'édification d'une banquette végétalisée.....	38
Figure 28: Principe du resserrement du lit à l'aide d'un couple de banquette végétalisée en vis-à-vis .....	38
Figure 29: Principe d'ancrage et d'enfouissement des embâcles artificiels .....	39
Figure 30 : Rehaussement de la ligne d'eau et réhumidification des franges humides .....	39
Figure 31 : Disposition des recharges en galets graviers sous forme de série de trois bancs alternés .....	40
Figure 32 : Exemple de recharges en galets .....	40
Figure 33: Exemple de gué (Gué Dubois).....	41

## Table des tableaux

---

Tableau 1 : Processus géomorphologiques et dynamique fluviale à travers les époques .....	16
Tableau 2 : Liste des espèces végétales à fort intérêt écologique ou/et patrimonial .....	18
Tableau 3 : Coléoptères rares ou / et indicateurs de la forêt de Chaux (liste extraite de Dodelin 2019) .....	19
Tableau 4 : Liste des espèces d'amphibiens .....	20
Tableau 5 : Liste des espèces reptiles .....	21
Tableau 6 : Liste des chiroptères fréquentant la forêt de Chaux .....	23
Tableau 7 : Particularités climatiques des années 2018 et 2019 .....	27
Tableau 8 : Phase de mise en œuvre .....	32
Tableau 9 : Résultats escomptés dans la rivière .....	35
Tableau 10: Cubage et dénombrement des aménagements à réaliser sur chacun des 4 tronçons .....	41
Tableau 11: Tableau avec le coût des matériaux .....	42
Tableau 12 : Tableau avec le coût des prestations .....	42

# Introduction

---

## Contexte et problématique

La Clauge forestière située en amont de la Vieille Loye représente un écosystème crucial pour la biodiversité locale, pour le maintien des services écosystémiques essentiels et un fort intérêt comme réserve d'eau potable. Cependant, cette zone a subi de nombreuses pressions anthropiques au fil des années, comme la rectification, le recalibrage et le curage de cette rivière notamment en partie aval. Cela a entraîné une dégradation significative de ses écosystèmes naturels. Les changements climatiques ont également exacerbé ces problèmes, affectant la santé et la résilience des forêts.

Face à ces défis, la renaturation de la Clauge forestière devient une priorité pour restaurer les fonctions écologiques, préserver la biodiversité et améliorer la qualité de vie des communautés locales. Au cours de mes stages, j'ai suivi une tranche de la renaturation de la Clauge et j'ai pu voir les conséquences de ce projet.

## Objectifs du rapport

Ce rapport de stage a pour principaux objectifs :

- **Évaluer l'état de la Clauge forestière avant sa phase de renaturation** en amont de la Vieille Loye, en identifiant les écosystèmes présents, la biodiversité, et les principales pressions écologiques.
- **Définir les principes et les avantages de la renaturation**
- **Identifier le plan de renaturation retenu**, incluant les techniques, le calendrier et les estimations de coûts, pour restaurer et préserver cet écosystème forestier.
- **Expliquer le cadre de suivi et d'évaluation** pour mesurer l'efficacité des actions de renaturation et ajuster les stratégies en fonction des résultats obtenus.

## Méthodologie

Pour atteindre ces objectifs, j'ai suivi plusieurs étapes méthodologiques :

- **Revue de littérature** : Une analyse approfondie des travaux scientifiques, rapports et études de cas existants sur la renaturation des écosystèmes forestiers.
- **Enquêtes de terrain** : Des visites sur site pour collecter des données sur la flore, la faune, le sol et les ressources hydriques de la Clauge forestière.
- **Entretiens avec des experts** : Des discussions avec des spécialistes en écologie, en foresterie et en gestion de l'environnement pour obtenir des avis et des recommandations.
- **Analyse des données** : Utilisation de méthodes quantitatives et qualitatives pour évaluer l'état actuel de la Clauge forestière et élaborer des propositions de renaturation.

# 1. L'entreprise et son secteur d'activité

---

## 1.1. Le secteur

L'Office National des Forêts (ONF) est un établissement public à caractère industriel et commercial français qui est en charge de la gestion des forêts publiques. L'ONF est placé sous la tutelle du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation ainsi que du ministère de la Transition écologique et solidaire.

### 1.1.1. Les enjeux de l'ONF

La forêt française possède un écosystème aux ressources multiples. L'ONF a plusieurs enjeux dans cette forêt française tel que la protection et la gestion durable des peuplements, observer les changements climatiques dû notamment au réchauffement climatique, à contribuer à l'attraction de nos territoires. La transition écologique est un point essentiel que doit traiter un agent de l'ONF tout au long de sa carrière.

Les forestiers permettent également le développement et l'amélioration des forêts. Ils doivent produire du bois, préserver l'environnement, accueillir le public et prévenir les risques naturels. Ils sont donc présents dans le secteur économique, environnemental et social. Ce sont les points indispensables au développement durable.

L'ONF permet également, grâce à son expertise, une offre de services aux entreprises et aux particuliers souhaitant entretenir et valoriser durablement leurs espaces naturels.

### 1.1.2. Les missions de l'ONF au cœur des forêts

L'ONF cherche à valoriser la ressource en bois. En effet, le bois est renouvelable et sobre en carbone ce qui en fait une ressource importante. Elle commercialise près de 35% des volumes de bois sur le marché français.

Depuis les contrats de 2006, l'État demande à l'ONF de produire et de couper plus de bois. Cela permettrait d'avoir plus de ressources naturelles nouvelles en cas de pénuries d'une autre ressource renouvelable ou non. Pour répondre à cette demande, l'ONF :

- A instauré une sylviculture plus dynamique
- A exploité certains peuplements jugés « sous-exploités, vieillissants ou peu accessibles et que l'évolution des prix et de nouveaux débouchés rendent accessibles, notamment pour le bois énergie » ;
- A instauré une « décapitalisation raisonnée de peuplements en sur-maturité dont la qualité des produits se dégrade ou ne répond pas à l'évolution de la demande, notamment de sapins et de hêtres de gros diamètre » (...) « dans le respect de la gestion durable. »

L'ONF a aussi une grande part de responsabilité dans l'environnement. L'établissement protège la **richesse écologique** des milieux forestiers qui abritent près de **80% de la biodiversité** terrestre. Le technicien forestier doit donc établir des actions à mener dans l'entretien de zones humides, dans la conservation d'arbres morts, la création de réserves biologiques, la gestion de zones Natura 2000...

Enfin, le dernier point que doit prendre en compte les agents de l'ONF est le social. Chaque année, les forêts françaises accueillent **700 millions de visites**. Les forêts sont l'endroit idéal, pour les personnes vivant en ville, pour se reposer, se balader, faire du sport.

Pour que les visiteurs puissent aller facilement en forêt avec le moyen qu'ils souhaitent, l'ONF met à disposition des sentiers pédestres, des pistes cyclables et cavalières, des zones

sportives, des parcours thématiques. Tous ces endroits comportent une accessibilité et une sécurité pour le bien du public.

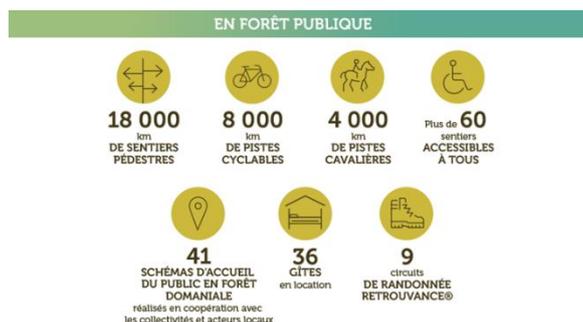


Figure 1 : Les moyens de déplacement mis à disposition par l'ONF en forêt publique

L'Etat demande également à l'ONF de protéger les forêts face aux risques naturels qui touchent la France tel que :

- La restauration des terrains en montagne, avec onze équipes dédiées au maintien de l'espace boisé des forêts et à la lutte contre les avalanches
- La défense des forêts contre les incendies grâce à l'expertise de plus de 220 forestiers spécialisés
- La protection du littoral, grâce notamment à des actions de stabilisation des dunes.

Enfin, l'ONF a un rôle de prestations de service à des collectivités, des entreprises ou des particuliers.

Acteur majeur de la filière forêt-bois, l'Office national des forêts (ONF) rassemble 8 200 professionnels. En Métropole et en Outre-mer, l'ONF gère près de 11 millions d'hectares de forêts publiques appartenant à l'État et aux collectivités territoriales.

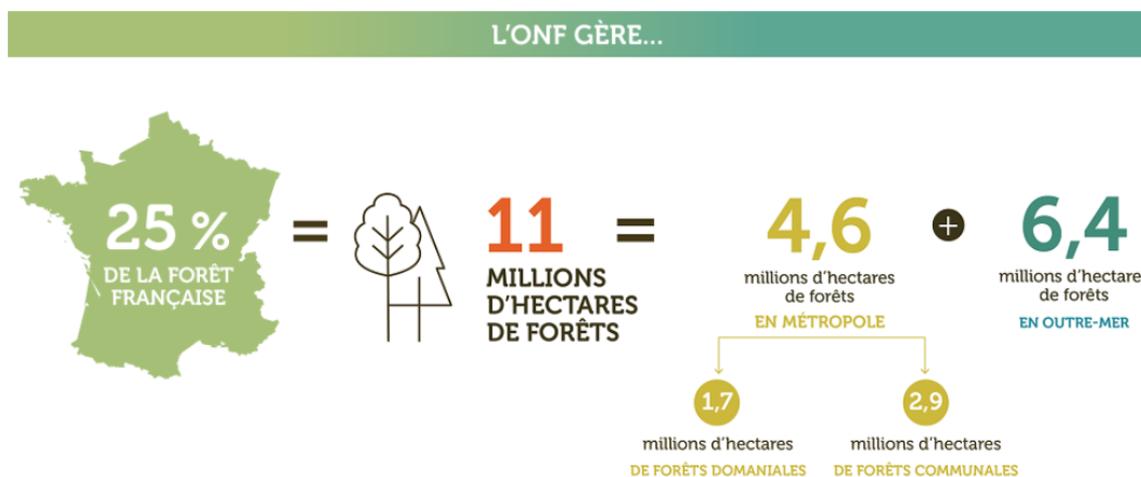


Figure 2 : Ce que gère l'ONF

### 1.1.3. Organisation

En France, l'ONF s'appuie sur une organisation territoriale couvrant le territoire métropolitain et les cinq départements d'Outre-mer.

L'ONF est ainsi organisé en neuf directions territoriales et deux directions régionales (La Réunion, Guadeloupe), 48 agences territoriales, 320 unités territoriales. Son siège est à Paris. L'ONF est également présent dans plus de 50 pays par l'intermédiaire de sa filiale ONF International créé en 1997.

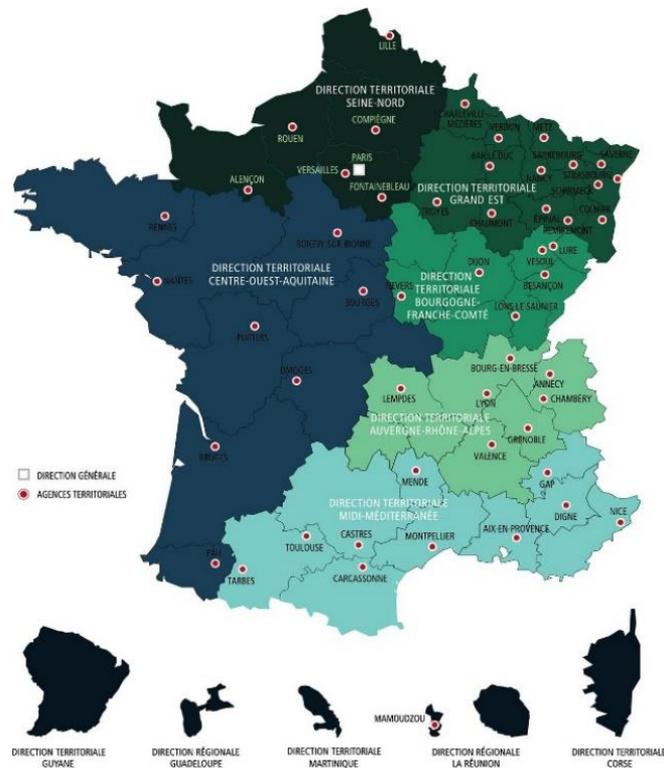


Figure 3 : Les 9 directions territoriales de l'ONF et ses agences territoriales

## 1.2. L'entreprise par rapport au secteur

Pour parler de l'agence de Lons-le-Saunier où j'ai réalisé mon stage je vais vous présenter la hiérarchie existante au sein de l'ONF. L'organigramme ci-dessous permet de comprendre comment celle-ci est réalisée :

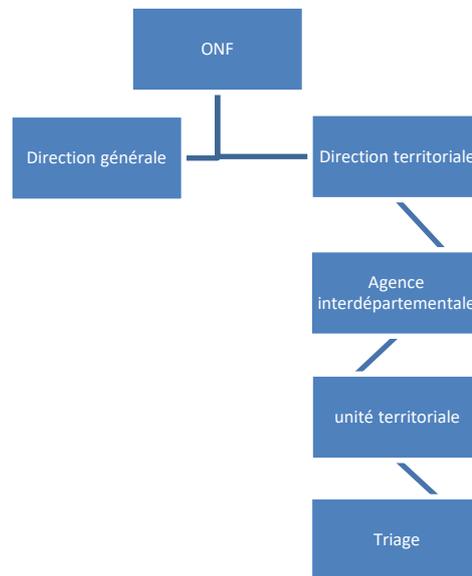


Figure 4 : Organigramme de l'ONF

L'agence interdépartementale est située au 28 Rue de Chaux à Dole dans le Jura. Dans cette agence, on trouve l'unité territoriale de la forêt de chaux et de Dôle.

Le Jura est l'un des départements les plus boisés de France, avec environ 45% (285 000 hectares) de son territoire couvert de forêts. Cela représente une ressource économique majeure pour la région. Le marché du bois dans le Jura est bien structuré, avec une forte présence d'entreprises de scierie, de fabrication de meubles, et de production de bois d'œuvre. Le bois jurassien est très prisé pour sa qualité, en particulier le bois d'épicéa et de sapin.

Les missions de l'ONF sont :

- La valorisation d'un patrimoine
- L'aménagement du territoire
- Le développement local
- Le soutien à la filière bois.

Suite à la 2<sup>nd</sup>e guerre mondiale, qui a causé d'énormes dommages aux forêts françaises, les politiciens ont décidé qu'il était important de reboiser les terrains agricoles afin de récupérer de l'argent grâce à la filière bois. Les subventions du Fond Forestier National créé en 1947 ont permis d'aider lors de ce reboisement.

Aujourd'hui, ces forêts sont gérées par l'ONF et constituent un patrimoine naturel très riche qui permettent des recherches d'études pour les années futures.

## 2. État des lieux de la Clauge forestière

### 2.1. Présentation de la forêt de Chaux

#### 2.1.1. Localisation géographique

La forêt domaniale de Chaux est un impressionnant massif situé à l'est de la région Bourgogne Franche-Comté, dans le Jura, entre les rivières du Doubs et de la Loue. Elle est la deuxième forêt de feuillus en France, en termes de superficie, après la célèbre forêt d'Orléans. La partie domaniale de Chaux représente 13 000 hectares, au cœur d'un massif de 22 000 hectares au total. Elle se trouve à 1 heure du chef-lieu de ce département, Lons-le-Saunier, vers le Nord. Le projet de restauration concerne les parties apicales et médianes de la Clauge qui s'écoule uniquement en forêt domaniale.

Les communes riveraines concernées sont, d'amont en aval, les suivantes :

- Chissey-sur-Loue
- Chatelay
- Germigney
- Santans

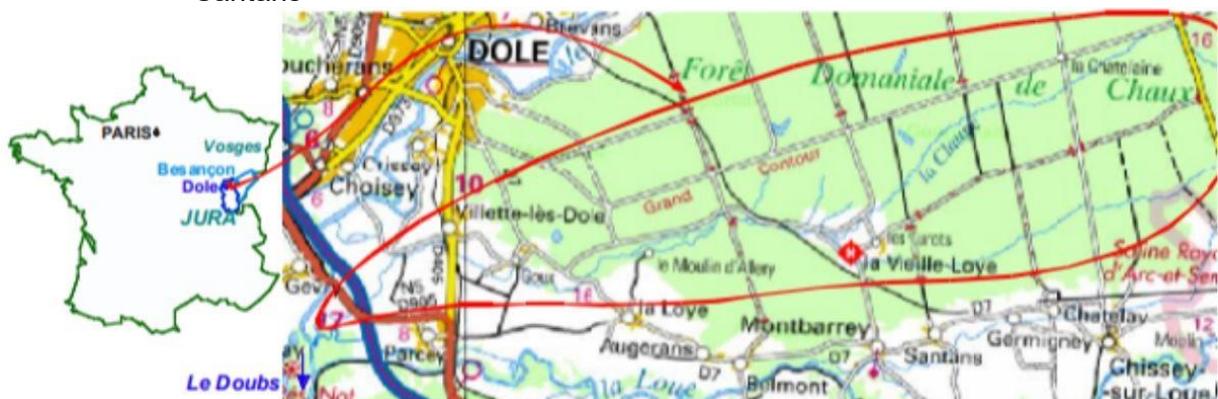


Figure 5 : Localisation de la Clauge apicale au sein de la forêt domaniale

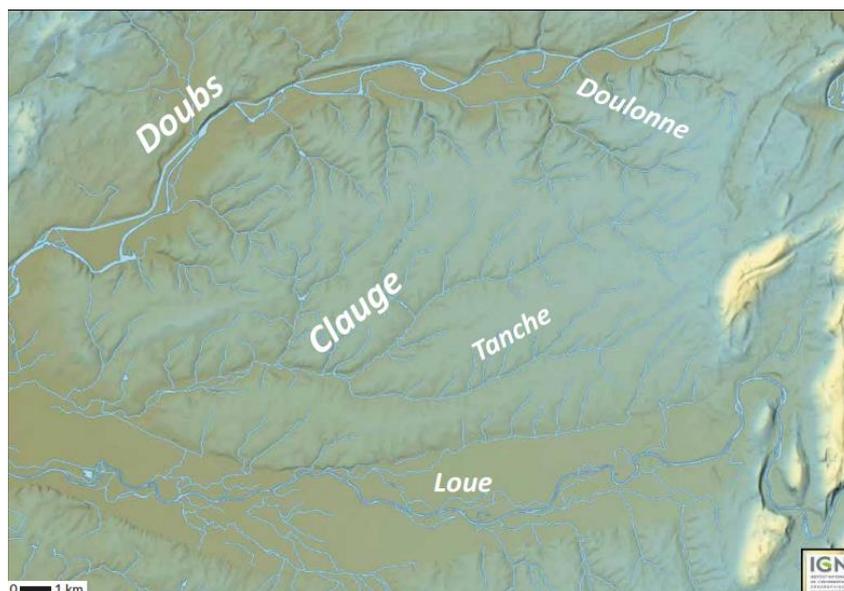


Figure 6 : Localisation de la Clauge par rapport aux autres cours d'eau

La Clauge prend sa source à 274 mètres d'altitude en plein cœur de la forêt de Chaux. Elle s'écoule sur un linéaire de 23 kilomètres, en grande partie sur des alluvions siliceuses anciennes, 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. Le nombre d'affluents de la Clauge s'élève à une centaine.

Cependant, cette rivière a été rectifiée, recalibrée et curée à plusieurs reprises sur sa partie aval. Les parties apicales et médianes de la Clauge, malgré leurs tracés encore méandriformes et leurs versants uniquement forestiers, s'assèchent désormais 6 mois par an. Or ce linéaire était encore hydrologiquement pérenne dans les années 1970 (figure 7 d'après Verneaux 1973 et Teleos 2001).

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 la forêt de Chaux a fait l'objet dans les années 1950 à 1970 (Lucot et al. 2009). La multiplication des fossés de drainage et la rectification de la quasi-totalité des affluents, originellement temporaires, ont entraîné 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 par ces travaux d'aménagement hydraulique.

Parallèlement, les parties apicales et médianes de la Clauge ont été, elles aussi, rectifiées par endroits. Elles ont surtout été intégralement curées, à plusieurs reprises, ce qui a encore aggravé l'abaissement des nappes d'accompagnement.

- **Déforestation et dégradation forestière**

Parallèlement à cette diminution de la présence de l'eau ainsi que la baisse des nappes phréatiques, le milieu forestier a été dégradé. En effet, sans eau, les arbres n'ont pas assez de réserve pour subvenir à leur besoin notamment en période estivale où les températures sont chaudes et donc l'eau indispensable. Les techniciens forestiers de l'ONF remarquent des dépérissements sur de nombreux arbres à différents endroits de la forêt, les hêtres étant les plus concernés dans ce problème de dépérissement.

De plus, la forêt de Chaux a été victime d'une forte exploitation voire d'une déforestation entre le XV<sup>ème</sup> et le XVIII<sup>ème</sup> siècle.

Tableau 1 : Processus géomorphologiques et dynamique fluviale à travers les époques

<b>Epoque</b>	<b>Moteurs géomorphologiques : géologie, climat et pressions anthropiques</b>	<b>Dynamique fluviale</b>
Pliocène- Pléistocène	Dépôt de l'AAR-Doubs, puis le Doubs du cailloutis dont galets et graviers grossiers à dominance siliceuse + passées sableuses	Forte granulométrie. Paléo chenaux multiples probables
Tardiglaciaire	Climat froid Erosion et dépôts fluviaux Erosion et dépôts éoliens	Forte activité du lit Dépôts limono-argileux Tendance au tressage probable, en alternance avec méandres mobiles
Holocène précoce	Afforestation Climat plus tempéré Erosion et dépôt éoliens	Méandres moins actifs Dépôts limono-argileux Comblement partiel des bras secondaires, puis des mortes
Holocène moyen jusqu'à la fin du Moyen-Age	Oscillations climatiques	Méandres plus ou moins actifs
DU XVème au XVIIIème siècle	Exploitation intense de la forêt Flottage Curage régulier (+ extractions)	Erosion des versants Alternance de chenalisation et de tendances érosives favorisant la mobilité
XIXème siècle	Reforestation Curages réguliers (+ extractions) Enlèvements réguliers des bois morts	Début d'enfoncement du lit Erosion latérale et élargissement du lit principal
XXème siècle	Curages et extractions multiples en 1920 et 1940 (occupation des chômeurs) Après 1950, rectification et/ou curage de 150 affluents temporaires Après 1970, rescindement de méandres et recalibrage du chenal principal par portion. Enlèvement systématique des bois morts	Poursuite et amplification de l'enfoncement du lit principal. Erosion latérale et élargissement du lit principal Reprise d'érosion et incision de bras secondaires et d'anciens bras.

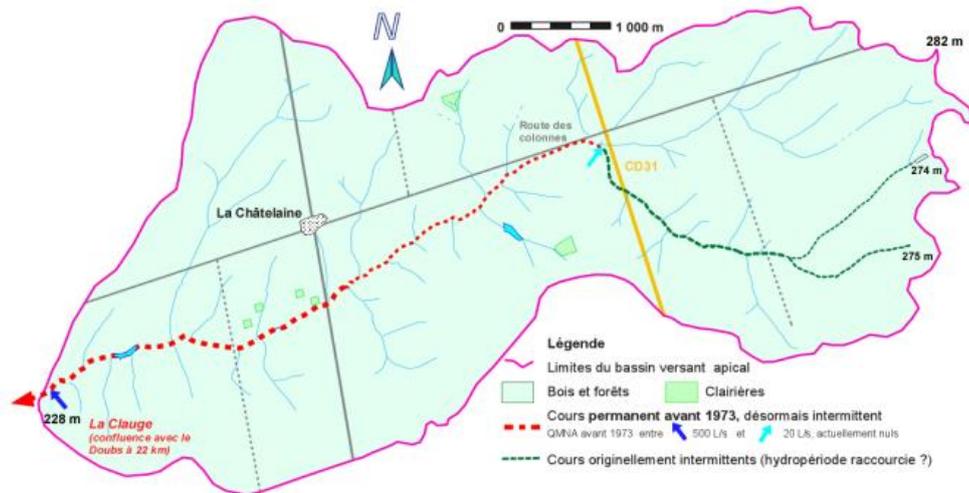


Figure 7 : Localisation du projet et communes concernées (source geoportail.gouv.fr)

Cette figure montre la portion du cours d'eau jadis pérenne mais asséchée depuis les années 70.

- **Changements climatiques**

Le changement climatique a également un impact sur la rivière. En effet, à cause de celui-ci, l'eau se réchauffe et des espèces peuvent disparaître et/ou migrer dans des lieux plus propices à leur survie. Ces espèces sont sans doute la source de nourriture d'autres espèces qui elles-mêmes disparaîtront alors.

Enfin le réchauffement climatique accentue le fait des nombreux curages, rectifications qu'a subi la Clauge en asséchant pendant encore plus de temps les ruisseaux, les affluents de cette rivière. Cela aggrave encore plus la rivière et le milieu forestier qui l'entoure.

## 2.1.2. Contexte écologique

### 2.1.2.1. Introduction à la biodiversité et aux écosystèmes présents dans la région.

D'après la cartographie des habitats forestiers effectuée par Besnard et Augé (2008) le vallon de la Clauge médiane et apicale concerné par le projet de restauration est essentiellement constitué des habitats majeurs suivants :

- Chênaies-charmaies (41.2).
- Chênaies acidiphiles médio-européennes (41.57).
- Plantations diverses (83.3).

Ces formations sont en fait des habitats de substitution des aulnaies marécageuses et alluviales, réduites sur la portion de vallon ciblé à l'état de reliques :

\* Forêts de frênes et d'aulnes des ruisselets et des sources (44.31).

Cette portion amont du vallon de la Clauge comporte aussi les habitats minoritaires mais non anecdotiques suivants, par ordre de représentativité décroissante :

- Chênaies pédonculées neutroacidiphiles à méso-acidiphiles à crin végétal (41.24c).
- Hêtraies collinéennes à Luzule (41.111).
- Hêtraies à Mélisse (41.131).
- Bois de chênes pédonculés et de bouleaux (41.51).

### 2.1.2.2. Flore

La forêt de Chaux est donc principalement composée de chênes sessiles, de chênes pédonculés, de hêtres, de charmes et d'aulnes. On peut également y voir des pins sylvestres, des bouleaux, des trembles, des merisiers... Grâce à ses multiples types de peuplements, il y a une large gamme d'écosystèmes et donc de biodiversité.

#### Concernant les plantes herbacées :

Dans l'ensemble du massif forestier de Chaux, aucune espèce protégée à l'échelle européenne n'est signalée par Boucard & Ballaydier (2019). Cependant, d'après ces auteurs, la présence d'une vingtaine d'espèces à fort intérêt écologique est avérée, probable ou possible dans le vallon de la Clauge apicale. En voici les plus menacées :

Tableau 2 : Liste des espèces végétales à fort intérêt écologique ou/et patrimonial

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Liste rouge de Franche-Comté	Rareté en Franche-Comté	Présence dans le vallon apical et médian
<i>Delarbre</i>	<i>Cicendia filiformis</i>	En danger	Très rare	
<i>Radiole faux lin</i>	<i>Radiola linoides</i>	En danger	Très rare	
<i>Akènes glabres</i>	<i>Inula helvetica</i>	Vulnérable	Rare	Observé ponctuellement

Tableau effectué d'après les relevés effectués par Bailly 1989-2002-2013 et Boucard & Ballaydier 2019)



Figure 8 : Image de Delarbre

Le vallon de la Clauge n'apparaît que très peu affecté par des colonisations de plantes exotiques envahissantes. Boucard & Ballaydier (2019) mentionnent 2 de ces espèces colonisant des surfaces limitées en bordure de la partie médiane du vallon :

- L'Aster à feuille lancéolée (*Symphyotrichum lanceolatum*),
- Le Solidage canadien (*Solidago canadensis*).

Il y a donc une grande diversité de plantes dans la vallée de la Clauge dont certaines qui ont un fort intérêt écologique. Leur répartition est homogène sur tout le massif de la forêt de Chaux.

### 2.1.2.3. Faune

#### Coléoptères

Au cours d'une étude très poussée menée de 2016 à 2018 sur l'ensemble du massif, Dodelin (2019) a déterminé 359 espèces de Coléoptères dans la forêt de Chaux (pour plus de 77 000

individus capturés). En tenant compte des études antérieures réalisées sur des surfaces plus restreintes (Artéro & Mora 2015, Mégrat 2016-2018) la richesse spécifique de cet ordre atteint 427. D'après Dodelin (2019), cette valeur est notable est de l'ordre de celles attendues pour une grande forêt de plaine du Nord-Est de la France.

Tableau 3 : Coléoptères rares ou / et indicateurs de la forêt de Chaux (liste extraite de Dodelin 2019)

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Groupe trophique	IP D	IPBS
Eucnème Barnabé	<i>Dromaeolus barnabita</i>	Saproxylophage	3	2
Cétoine marbrée	<i>Liocola marmorata</i>	Saproxylage	3	2
X	<i>Microrhagus pyrenaeus</i>	Saproxylage	4	3

Légende :

- IPD : indice de valeur patrimoniale croissant de 1 à 4 (D : Dodelin 2019)
- IPBS : fusion des référentiels de Sebek 2012 et Brustel 2001

A noter que le *Microrhagus* est une espèce quasi menacée.

L'étude n'a pas permis de mettre en évidence la présence, dans la forêt de Chaux de coléoptères protégés au niveau national. Cependant, le massif comporte au moins une vingtaine d'espèces considérées comme « rares » (tableau. 3, extrait de Dodelin 2019).



Figure 9 : *Microrhagus pyrenaeus*

## Amphibiens et reptiles

D'après Jussik (2010), 12 espèces d'amphibiens se reproduisent de façon avérée en forêt de Chaux (tab. 4). 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.

A ma connaissance, il n'y a pas d'inventaire quantitatif ni spatialisé des reptiles en forêt de Chaux. Selon Jussik (2010), 7 espèces appartenant à ce groupe peuvent y être rencontrées.

Tableau 4 : Liste des espèces d'amphibiens

Nom commun	Nom scientifique	Annexe Berne	Annexe Directive Habitat	Protection nationale	Liste rouge France et Franche Comté	Abondance sur le massif forestier de Chaux
Sonneur à ventre jaune	<i>Bombina variegata</i>	II	II et IV	X	Vulnérable (F) et Quasi menacé (FC)	X centaines
Triton ponctué	<i>Lissotriton vulgarus</i>	III			Quasi menacé (F) et Vulnérable (FC)	X individus
Grenouille verte	<i>Pelophylax k. esculenta</i>	III			Quasi menacé (F)	X 10 milliers
Grenouille de Lessona	<i>Pelophylax lessonae</i>	III	IV		Quasi menacé (F)	?
Grenouille agile	<i>Rana dalmatina</i>	II	IV	X	Quasi menacé (FC)	X centaines ?
Triton crêté	<i>Triturus cristatus</i>	III	II et IV	X	Quasi menacé (F) et Vulnérable (FC)	X individus



Figure 10 : Triton crêté

Tableau 5 : Liste des espèces reptiles

Nom commun	Nom scientifique	Biotope	Directive Habitat	Protection Nationale	Liste rouge
Couleuvre à collier	<i>Natrix helvetica</i>	Mares et étangs		X	
Couleuvre d'Esculape	<i>Zamenis longissimus</i>	Lisière des forêts de feuillus		X	
Couleuvre verte et jaune	<i>Coluber viridiflavus</i>	Lisière des forêts bien exposée au soleil		X	
Lézard des murailles	<i>Podarcis muralis</i>	Murs, rocaille, tas de pierre, souches, ...	IV	X	
Lézard agile (des souches)	<i>Lacerta agilis</i>	En plaine, lisière des forêts humides	IV	X	Quasi menacé (F)
Lézard à deux raies	<i>Lacerta bilineata</i>	Couvert végétal dense bien exposé au soleil			Vulnérable (FC)
Orvet fragile	<i>Anguis fragilis</i>	Zones humides ensoleillées à végétation basse			Quasi menacé (FC)



Figure 11 : Lézard agile (des souches)

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.

En revanche, entre 2016 et 2020, il a pu être observé et dénombré des fraies massives de salamandres tachetées et de grenouilles brunes dans les méandres et les annexes des affluents restaurés de la Clauge (Beaupuy Mouret 2018 ; Delecourt 2019).

### **Oiseaux et mammifères**

L'étude réalisée en 2005 et 2006 par EPA (2006) a permis de contacter 67 espèces d'oiseaux sur l'ensemble du massif de Chaux, en excluant les migrateurs, les hivernants attardés ou les espèces occasionnelles non nicheuses. En termes de taille de domaine vital, les espèces contactées se répartissent de la façon suivante :

- 12 espèces nicheuses à grand territoire, dont 7 espèces de rapaces ;
- 55 espèces nicheuses à petit ou moyen territoire.

La richesse moyenne par point peut être considérée comme élevée : en un point quelconque du massif, il est en moyenne possible de contacter entre 20 et 22 espèces différentes de passereaux lors de 2 écoutes de 20 minutes (EPA 2006).

Parmi les 67 espèces nicheuses ainsi contactées en forêt de Chaux, 16 présentent un fort intérêt patrimonial, un caractère indicateur particulier ou / et une nécessité prégnante de protection. Parmi elles, la Cigogne noire et le Pic cendré, tous deux typiquement forestiers, sont au cœur de préoccupations européennes. Leurs effectifs en forêt de Chaux représentent une part importante des effectifs français.

Selon EPA (2006), le vallon de la Clauge constitue une zone de nourrissage privilégiée pour la Cigogne noire en début de printemps. Cependant, son site de nidification se trouve plus en hauteur, sur les platis. De même, la plupart des nids de Pic cendré se situent en dehors de fonds de vallons du chevelu hydrographique considéré, comme ceux des pics mars et noirs.

Au moins 32 espèces de mammifères sauvages peuvent être rencontrés dans la forêt de Chaux dont 17 espèces de chiroptères (voir tab 6).



Figure 12 : Cigogne noire

Tableau 6 : Liste des chiroptères fréquentant la forêt de Chaux

Nom vernaculaire	Nom scientifique		DH	LR F	LR FC	Repro
Murin d'Alcathoe	Myotis alcathoe		IV	mineure	Vulnérable	?
Murin de Brandt	Myotis brandtii		IV	mineure	Vulnérable	X
Pipistrelle de Nathusius	Pipistrellus nathusli		IV	Vulnérable	Quasi menacée	X

Légende : DH Directive Habitat – LR liste Rouge France et Franche Comté 6 Repro = reproduction avérée dans la forêt de Chaux.



Figure 13 : Murin de Brandt

Parmi les espèces de chiroptères inventoriées, la Barbastelle d'Europe, le Murin à oreilles échancrées et le Murin de Bechstein sont 3 espèces d'intérêt communautaire, étroitement liées au milieu forestier pour tout ou partie de leur cycle biologique. Le Murin d'Alcathoe et le Murin de Brandt, également très forestiers, affectionnent les boisements humides, tandis que le Murin de Daubenton est plus spécifiquement inféodé aux milieux aquatiques. Les ponts et ouvrages d'art en général, constituent des gîtes (aires de repos) à Chiroptères (CDE 2017).

### **Pédologie du massif**

Le fonctionnement des sols et des cours d'eau du massif de Chaux est lié à son substrat géologique et à son histoire commencée il y a 3,2 millions d'années, pendant l'époque Pliocène (Bichet et Campy 2009). À cette époque, l'ancien Rhin, appelé aussi Aar-Doubs ou Rhin-Doubs, coulait en direction du sud en occupant la partie aval de la vallée du Doubs et se jetait dans le lac Bressan en formant un delta.

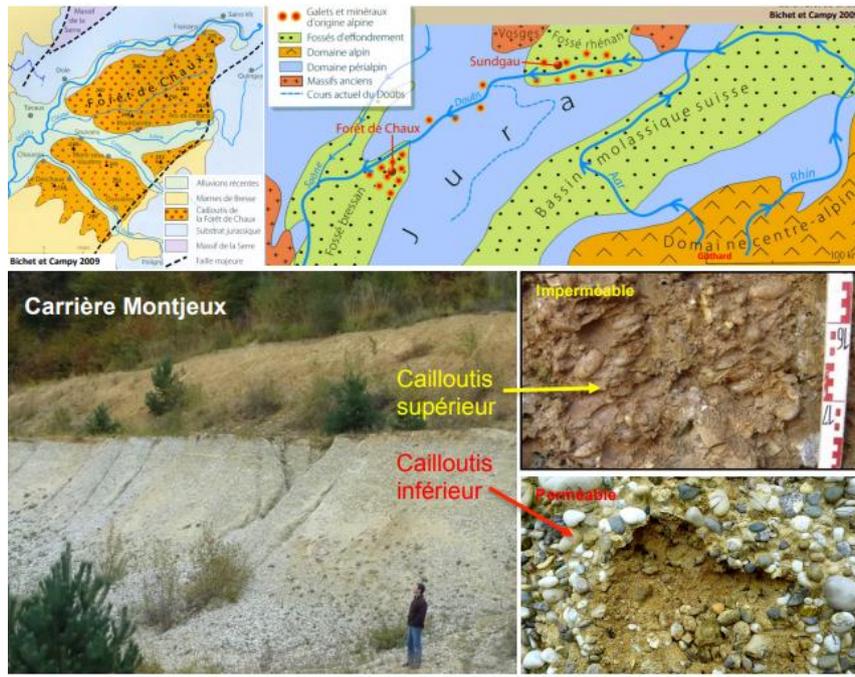


Figure 14 : Histoire de la pédologie du massif

Le lac Bressan était peu profond, d'une largeur qui ne dépassait pas 60 km et occupait le sillon Saône-Rhône sur 350 km, du pied des Vosges jusqu'au sud de Valence (verrou glaciaire des monts du Vivarais). Il se déversait ensuite vers la mer Méditerranée via le Rhône. Le fonctionnement de cet ancien Rhin a duré 600 000 ans, soit jusqu'il y a 2,4 millions d'années (début du Pléistocène). Les dépôts alluviaux accumulés dans ce delta ont été entaillés et en partie recouverts dans sa partie centrale par les alluvions calcaires de la Loue. La forêt de Chaux occupe la partie nord du delta.

Les alluvions déposées dans ce delta proviennent principalement du massif du Saint Gothard, dans les Alpes suisses. Elles sont constituées de galets de roches silicatées (quartzites à 70 %, granites, radiolarites, rhyolithes...) de tailles variables et de sables, d'où l'appellation de cailloutis. Le cailloutis inférieur contient aussi des galets calcaires.

Le dépôt de cailloutis le plus ancien (cailloutis inférieur) est constitué de galets et de sables, alors que le cailloutis supérieur contient en plus des galets et des sables, une proportion importante d'argiles (fig. 14, bas). Ces argiles confèrent au cailloutis supérieur une perméabilité le plus souvent faible à très faible.

L'épaisseur totale des cailloutis est variable, globalement croissante du nord au sud, de 60 m au nord-est du massif dans le secteur de Fraisans à 90 m au sud-ouest du massif (Mont-sous-Vaudrey) et 35 m à proximité de la Châtelaine au centre du massif. L'épaisseur du cailloutis supérieur est globalement plus faible que celle du cailloutis inférieur, mais elle atteint 20 m au niveau de la Châtelaine. Des couches d'épaisseur métrique d'argiles ou de sables (« sables supérieurs » de la Vieille-Loye) ont été observées à la limite entre le cailloutis inférieur et le cailloutis supérieur.

Le cailloutis supérieur est recouvert par une formation argileuse de 1 à 3 mètres d'épaisseur (complexe des argiles supérieures), principalement à l'ouest et au sud du massif. Une couche d'altération de ces argiles, probablement mélangée à des argiles issues du lessivage de la partie supérieure des sols, recouvre le complexe des argiles supérieures et le cailloutis supérieur (en dehors des vallons).

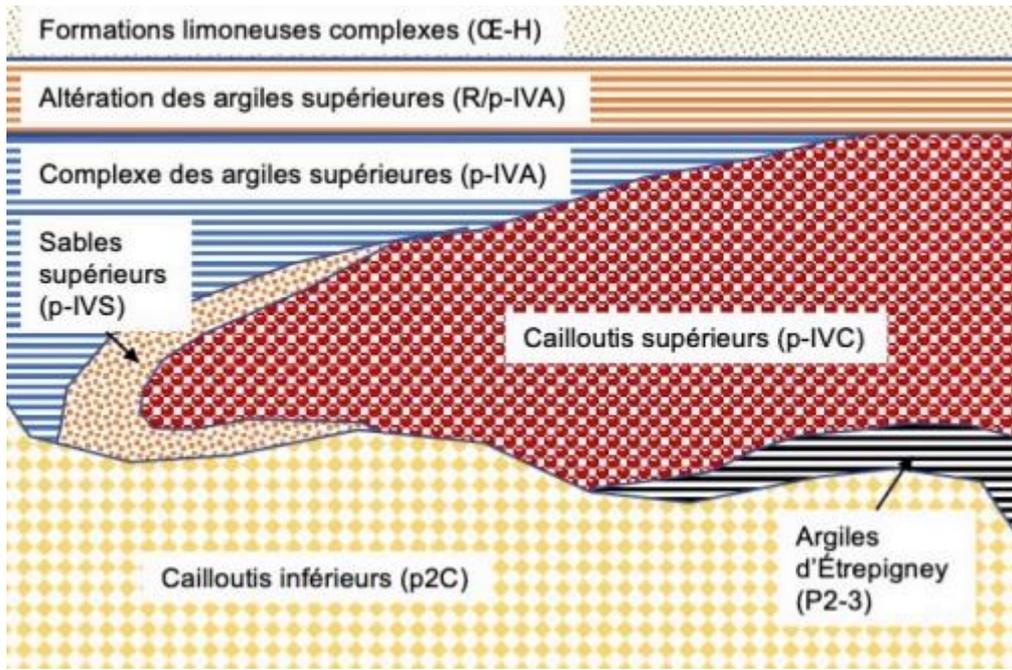


Figure 15 : La pédologie du massif

L'ensemble est lui-même recouvert d'un dépôt limoneux dont l'épaisseur varie de 0,5 à 3 m (formations limoneuses complexes). Des études récentes (Martignier 2013, Rousseau et al. 2014) ont montré que ces dépôts limoneux pouvaient avoir une origine éolienne récente (-30000 à -11 500 ans).

Les formations argileuses renforcent la faible perméabilité du substrat géologique et expliquent la formation de nappes d'eau dans la partie supérieure des matériaux (dans lesquels se développent les sols) et leur circulation latérale.

Le relief actuel s'explique par la croissance d'un plissement des calcaires présents sous les dépôts de l'ancien Rhin (anticlinal) qui les a soulevés progressivement depuis 2,4 millions d'années (Molliex et al. 2011). L'axe de cet anticlinal est orienté sud-ouest – nord-est. Ce soulèvement explique l'asymétrie des affluents de la Clauge en nombre et en dimension, ainsi qu'en partie la présence de plateaux entaillés de vallons qui peuvent être relativement profonds.

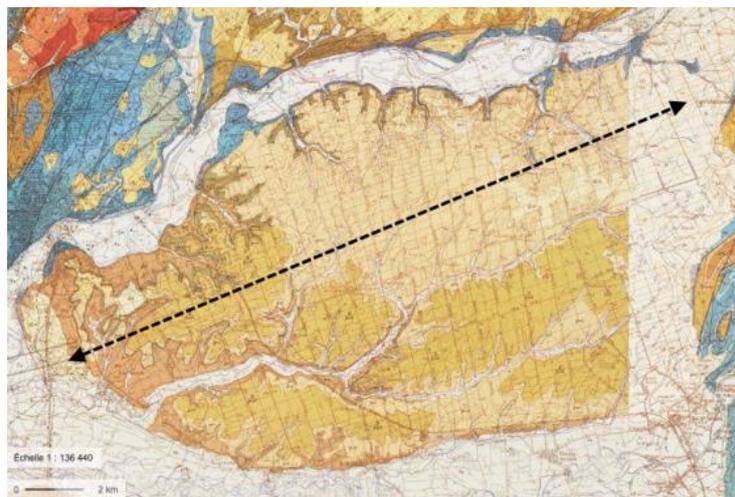


Figure 16 : l'axe de l'anticlinal du massif de la forêt de chaux

Trois grands types de sols sont présents sur les bassins versants de la Clauge :

- Sur les plateaux, des sols lessivés très hydromorphes (glossiques) ;
- Dans les pentes, des sols lessivés hydromorphes, plus ou moins colluviaux ;
- Dans les vallons, des sols alluvio-colluviaux plus ou moins hydromorphes.

Les sols sont globalement acides à très acides (pH compris entre 4,2 et 5,5) et leur texture est limoneuse dans les horizons de surface et enrichie en argiles en profondeur. Les sols de pente et de fond de vallons peuvent être caillouteux.

Les sols de fond de vallon sont relativement jeunes (moins de 20 000 ans).



Figure 17 : Exemple d'horizon glossique (fragipan)

## **Hydroclimat**

Le climat, de type semi-continentale 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, de respectivement, 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. 18, données Météo France 1995-2020).

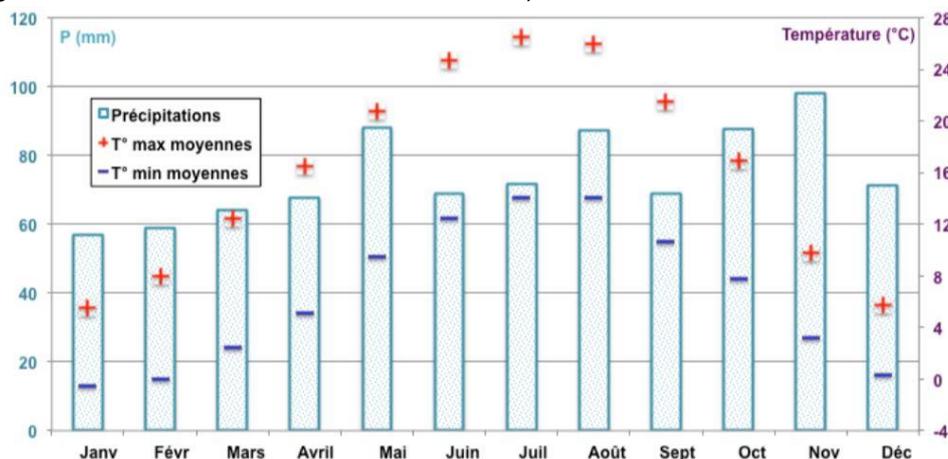


Figure 18 : Températures maximales et minimales mensuelles moyennes et cumuls mensuels moyens des précipitations à Dole-Tavaux

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'août, 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. 7). 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, le déficit du cumul des précipitations par rapport à la valeur normale atteignait -17% contre - 5% en 2018.

Tableau 7 : Particularités climatiques des années 2018 et 2019

Descripteurs	Fraisans normales	Dôle		
		Normales	2018	2019
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

En prenant en compte l'évapotranspiration, le déficit des pluies efficaces survient généralement entre mai et octobre. Depuis une trentaine d'années, le cours apical et médian de la Clauge se retrouve ainsi à sec tous les étés jusqu'à l'amont de la confluence, alors qu'il était pérenne jusqu'au début des années 1970' (Verneaux 1973). Au bilan, 7 des 13 km de linéaire étudiés, permanents en 1973, sont aujourd'hui temporaires.

Les unités cartographiques de sols peuvent être regroupées en 14 tronçons à partir de leurs propriétés communes (fig. 19). Les tronçons s'articulent eux-mêmes en unités de profondeur, de perméabilité et de texture différentes :

- Tronçons 1 à 3 (amont RD31) : sols hydromorphes limoneux moyennement profonds à profonds, à perméabilité moyenne à faible, sur substrat imperméable induré ;
- Tronçon 4 : cas particulier marginal, non hydromorphe, à perméabilité moyenne ;
- Tronçons 5 et 6 : principalement des sols hydromorphes profonds limono-argileux à perméabilité moyenne, une variabilité significative de la texture ;
- Tronçons 7 à 9 : sols hydromorphes profonds à moyennement profonds de texture argilo-limoneuse avec localement présence de sables à perméabilité moyenne ;
- Tronçons 10 et 11 : sols profonds à moyennement profonds, de texture argilo limoneuse, perméables ;
- Tronçons 12 à 14 : sols argilo-limoneux généralement profonds, perméables à très perméables, hydromorphes en profondeur à nappe permanente

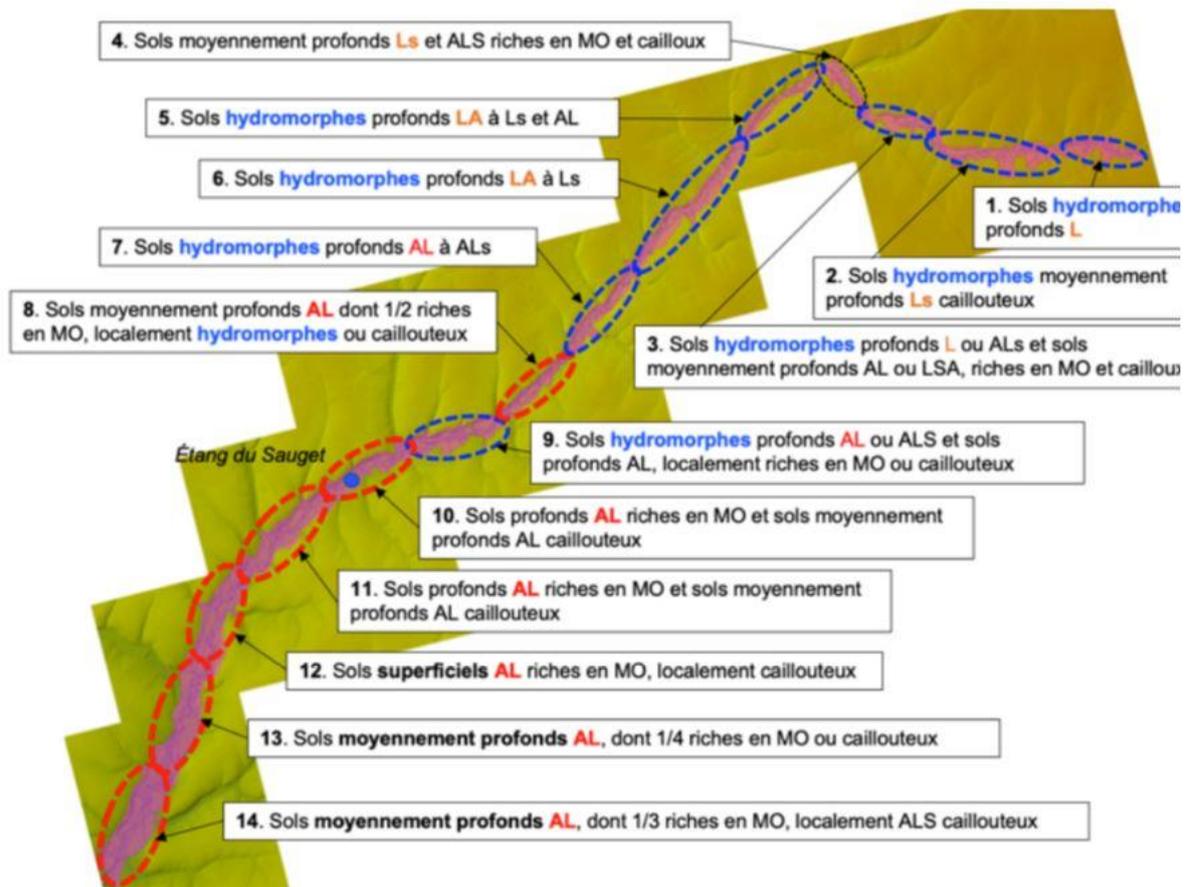


Figure 19 : Synthèse des principales caractéristiques des sols du vallon de la Clauge apicale et médiane

**Légende :**

- L : limoneux
- LA : limono-argileux
- LS : Limono-sableux
- LSA : Limono-sablo-argileux
- ALS : Argilo-limono-sableux
- AL : Argilo-limoneux

En résumé, les capacités des sols du lit majeur de la Clauge à stocker de l'eau (nappe) sont :

- Moyennes à faibles dans la partie amont (tronçons 1 à 4),
- Moyennes à bonnes des tronçons 5 à 9
- Et fortes à très fortes à l'aval. Les sols de l'aval peuvent contenir 2 à 3 fois plus d'eau que ceux de l'amont.

## 3. Les principes de la renaturation

---

### 3.1. Définition et objectifs de la renaturation

#### 3.1.1. Définition de la renaturation

La renaturation se réfère aux efforts délibérés pour restaurer des écosystèmes dégradés, endommagés ou détruits à leur état naturel ou à un état sain et fonctionnel. Cette pratique vise à rétablir les processus écologiques, les communautés végétales et animales, ainsi que les services écosystémiques que ces écosystèmes fournissent.

#### 3.1.2. Objectifs de la renaturation

Les principaux objectifs de la renaturation sont :

- **Restaurer la biodiversité** : Réintroduction naturelle et protection des espèces indigènes.
- **Améliorer les services écosystémiques** : Allonger notablement la durée de l'hydropériode du cours d'eau, sinon à la rendre à nouveau pérenne. Augmentation de la fertilité des sols, et de la rétention des sols.
- **Renforcer la résilience écologique** : Augmenter la capacité des écosystèmes à résister et à se rétablir après des perturbations telles que les changements climatiques, les incendies.

### 3.2. Avantages écologiques et sociaux

#### 3.2.1. Avantages écologiques

- **Augmentation de la biodiversité** : La renaturation favorise la diversité des espèces en recréant des habitats naturels et en réintroduisant naturellement des espèces indigènes.
- **Amélioration de la qualité de l'eau** : Les écosystèmes restaurés filtrent et purifient l'eau, réduisant ainsi la pollution et améliorant la qualité des ressources hydriques locales.
- **Amélioration de la résilience des forêts** : Les forêts restaurées auront plus facilement de l'eau à disposition et pourront donc créer un beau bois d'œuvre.
- **Stabilité des sols** : La végétation renaturée aide à prévenir l'érosion et à maintenir la fertilité des sols.

#### 3.2.2. Avantages sociaux

- **Bien-être des communautés** : Les espaces verts restaurés offrent des opportunités récréatives, éducatives et culturelles, améliorant ainsi la qualité de vie.
- **Éducation et sensibilisation** : Les projets de renaturation servent de plateformes éducatives pour sensibiliser le public aux enjeux environnementaux.
- **Développement économique** : Les activités liées à la renaturation peuvent créer des emplois et stimuler l'économie locale, notamment par le biais de l'écotourisme.
- **Réduction des risques naturels** : La renaturation peut diminuer les risques d'inondations, de glissements de terrain et d'autres catastrophes naturelles.

## 4. Plan de renaturation

### 4.1. Techniques de renaturation utilisées

Afin d'atteindre ces objectifs, le principe général du projet consistait à remodeler le lit de la Clauge pour resserrer et rehausser le niveau de la ligne d'eau d'étiage, et donc aussi l'altitude de la nappe d'accompagnement. Les modalités opérationnelles qui ont été mises en œuvre pour y parvenir ont été conçues pour optimiser les gains écologiques sans réduire les potentiels sylvicoles ni aggraver les risques hydrauliques à l'aval.

Avant de renaturer le cours d'eau principal de la Clauge, des travaux ont été réalisés dans les différents affluents de la Clauge. Ce sont environ une centaine d'affluents qui ont été remodelés pour éviter qu'à la suite des travaux, ces affluents perturbent le cours d'eau de la Clauge restauré. La rivière a donc été travaillée d'amont en aval. Les affluents ont été rectifiés de 2013 à 2018 environ pour laisser le temps aux affluents de reprendre leur cours « normal ». Sur l'ensemble du linéaire un certain nombre de contraintes spatiales combinées avec la prise en compte des usages actuels du milieu ont conduit à moduler et à décliner plusieurs stratégies et techniques de restauration. En effet :

- Le milieu forestier et la densité des arbres rendaient la circulation des engins de chantiers difficile ;
- Les sols étant vulnérables, ils risquaient d'être tassés si ces engins effectuaient trop d'allers et retours, en particulier quand ils sont humides ;
- La dominante siliceuse et non calcaire des sols devait être respectée ;
- Le maintien d'une exploitation forestière durable et rentable nécessitait le maintien du plus grand nombre possible de grands arbres ainsi que l'intégration du projet dans le schéma de desserte forestière.

Compte tenu de ces contraintes, 2 grands types de stratégie d'aménagement fut conçus et articulés en fonction des particularités locales.

1. Sur le linéaire où les méandres de la Clauge ont été rescindés au profit d'un lit rectiligne, le projet préconisait de réactiver ces méandres ou de les recréer, en leur conférant leur altitude et leur gabarit originels. Idéalement, le chenal rectiligne devait alors être intégralement comblé, en protégeant les intersections avec le lit restauré par des tunages étanches (fig. suivante).

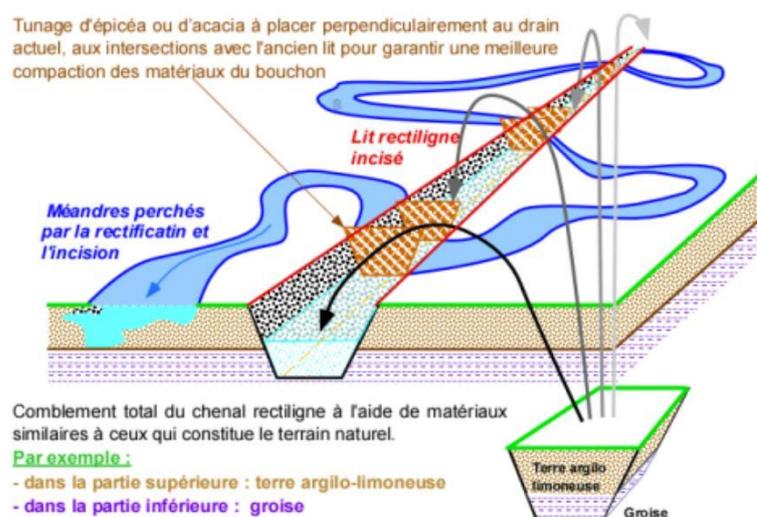


Figure 20 : Schéma de principe d'un reméandrement optimal avec comblement total du chenal rectifié

(Groise = mélange d'argile ou de marne et d'éléments pierreux et gravillonneux)

2. Quand le lit simple ou multi chenal de la Clauge avait été curé et surélargi, mais sans rectification visible, le projet prévoyait de resserrer les écoulements et de rehausser les lignes d'eau d'étiage à l'aide de trois techniques combinées (fig. suivante) :

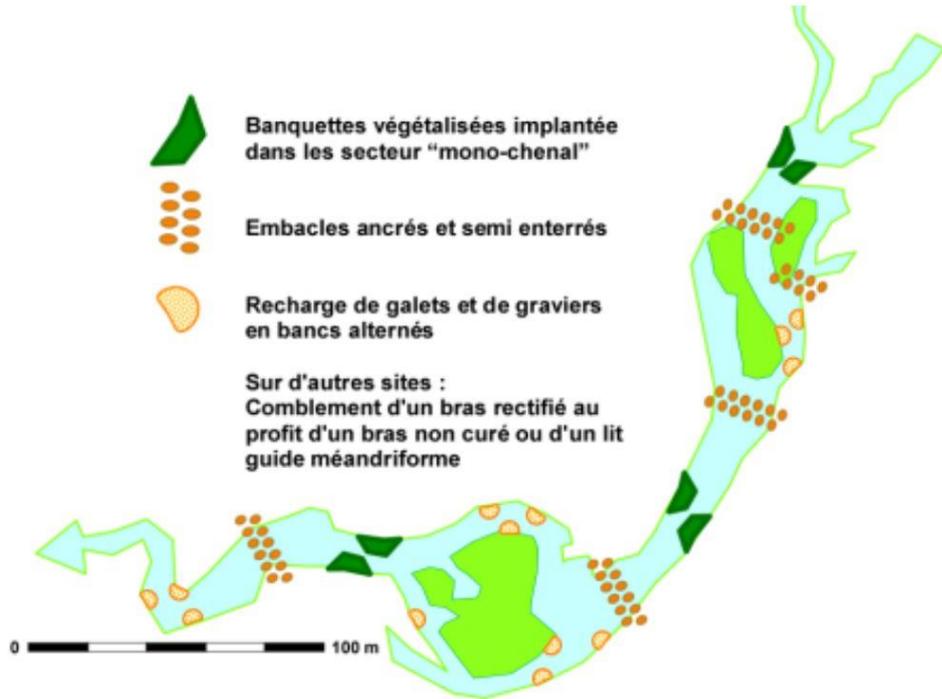


Figure 21: schéma de principe de mise en œuvre des 3 modalités d'aménagement proposées pour resserrer et rehausser le lit mineur de la Clauge

Cette façon de procéder sert à réduire les coûts et les impacts sur les sols ainsi que sur les arbres tout en optimisant l'efficacité de la restauration.

- ❖ Resserrement du lit par implantation de banquettes végétalisées en vis-à-vis.
- ❖ Rehaussement des fonds sans création d'obstacle à l'aide d'embacles fixés et engravés (c'est à dire enfouis sous de la groise extraite sur les talus à proximité).
- ❖ Recharges du lit sous forme de bancs de galets et de graviers alternés.

Ces travaux de restauration comprenaient aussi l'effacement de l'Etang du Sauget.

Les matériaux nécessaires au comblement des portions rectifiées et au remplissage des banquettes furent extraits dans les talus proches. Mis au point pour la restauration des affluents, ce procédé consistait à n'excaver que quelques décimètres du cailloutis sur des surfaces dépourvues d'arbres, après avoir réservé la couche d'humus. Celle-ci était ensuite réétalée pour une remise en état immédiate. De cette façon, la circulation des engins était limitée. En outre, n'étaient utilisés que des matériaux locaux, particulièrement bien adaptés, et surtout exempts de toutes plantes exogènes.

Enfin, pour éviter que des franchissements sauvages ou inappropriés du cours d'eau par des véhicules forestiers ou privés n'en altèrent à nouveau la morphologie du lit de la Clauge après la restauration, 5 gués furent confortés ou/et rehaussés d'une vingtaine de centimètres au maximum pour les franchissements de la sommière sans nom à l'ouest de la route D31 ainsi que des routes forestières du Carabinier, Dubois, Guiseul.

## 4.2. Calendrier de mise en œuvre

### 4.2.1. Phases de renaturation

#### ➤ Phase de préparation :

Un arrêté préfectoral a permis la réalisation de ce chantier. Par la suite, un AE, (acte d'engagement) un CCAP (cahier des clauses administratives particulières), un CCTP (cahier des clauses techniques particulières), des DC (Désignation du mandataire par ses co-traitants) et un RC (Règlement de la consultation) ont permis à l'ONF de montrer aux exploitants ce qu'ils devaient faire pour la réalisation de la renaturation de la Clauge.

#### ➤ Phase de mise en œuvre

Les travaux de restauration furent réalisés au cours de 3 tranches annuelles de 12 à 16 semaines chacune. Un tiers du linéaire de la Clauge apicale et médiane, soit 5 km environ, fut ainsi réaménagé chaque année. Ce phasage limita les risques de dérangement de la faune à une partie du vallon, tout en conservant les deux tiers comme éventuel refuge.

Tableau 8 : Phase de mise en œuvre

Tranche	Secteurs ou tronçons de l'amont vers l'aval	Linéaire (m)	Pente (‰)
1	Aval digue Tharin – D31	4136	3,4
2	D31 – RF Défois	5237	2,8
3a	RF Défois – étang Sauget	2182	2,2
3b	Etang Sauget - RF Gilardoni	3067	2,0

En outre, les travaux ne furent réalisés que dans le lit à sec, soit typiquement et sauf épisodes de pluies estivales prolongées, entre le 15 juillet et le 15 octobre, voire le 15 novembre en l'absence de pluies automnales accentuées. Dans ces conditions :

- Les sols ne risquaient d'être ni tassés ni déstructurés ;
- Le milieu aquatique ne fut aucunement touché, d'autant qu'en l'absence d'eau, il n'y avait aucun risque de transfert de matière en suspension vers l'aval.
- Le risque de dérangement de la faune sauvage fut minimisé, en particulier pour les oiseaux nichant dans le vallon, ou à proximité, puisque leur nidification fut terminée.

Enfin, des visites de repérage de la portion de vallon à restaurer furent réalisées par un ornithologue (juste avant travaux) et par un herpétologue (après d'éventuels épisodes pluvieux). Ces repérages étaient destinés à vérifier la présence des deux espèces d'intérêt patrimonial majeur susceptibles d'être affectées par les travaux.

Si un nid de Cigogne noir occupé était repéré à proximité du lit à restaurer, soit dans un rayon inférieur à 300 m, les travaux furent reportés pour ce secteur jusqu'à l'émancipation des jeunes, typiquement à la mi-août, voire fin août.

Si des Sonneurs à ventre jaune étaient localisés sur le cheminement prévu pour les machines, des contournements étaient organisés. Si cette solution était impossible à mettre en œuvre, ils étaient déplacés suivant les directives énoncées par la DREAL.

Pour ma part, j'ai pu suivre et observer la tranche 3a lors de mon stage en BTS Gestion Forestière. Grâce à ce stage, j'ai pu voir une partie de la renaturation de la Clauge avec ses différents travaux expliqués dans le grand point suivant mais également l'effacement de l'étang du Sauget.

Ce point d'eau, traversé par la Clauge était un seuil-barrage transformant environ 500 mètres de rivière en plan d'eau. Il faisait une surface d'environ 1,01 ha mais avait un bassin versant d'environ 2 580 ha. Il était destiné à réduire la section d'écoulement de la Clauge pour la faire passer sur un seuil en béton.

Même s'il était déjà échanté et tombé en désuétude, il restait un obstacle à la circulation des poissons et perturbait le transport solide.

Une partie a été complètement assainie tandis qu'une petite surface d'environ 2 000 m<sup>2</sup> a été laissée en forme de mare notamment pour les amphibiens. Une pêche a donc eu lieu pour faire évacuer et transporter dans l'étang le plus proche les poissons et autres animaux vivant dans ce point d'eau.



Figure 22 : Aplanissement de l'étang du Sauget

Un méandre a donc été remplacé à la place de l'étang pour guider l'eau à travers la forêt. Cependant nous ne verrons les résultats que dans quelques années car l'eau peut s'échapper et reprendre la forme de l'étang notamment en période de crue.



Figure 23 : Le méandre à travers l'ancien étang du Sauget.

### **Utilisation exclusive de matériaux pris sur place**

Le projet avait été conçu de façon à n'utiliser que des matériaux prélevés sur place, comme dans le cas de la restauration des affluents. La groise du remplissage des banquettes et les

recharges en granulats furent issues d'extractions superficielles réalisées sur les talus, à moins de 50 mètres du lit à restaurer. Sur les surfaces très limitées servant aux prélèvements, choisies à l'écart des grands arbres pour éviter d'en abîmer les racines, l'humus fut décapé et réservé, puis immédiatement remis en place.

Les apports de matériaux se limitaient aux pieux d'acacia ou de chêne nécessaires à la construction des ossatures de banquettes et à l'ancrage des bois morts, ainsi qu'à des rouleaux de bionatte biodégradable légère de type paille et jute tressés. Ils représentaient moins de 10 camions de 8 à 10 tonnes pour chacune des tranches.



Figure 24 : Exemple pour l'étang du Saujet. Les cailloutis sont pris à moins de 100m des travaux.

### **Limitation des engins et de leurs allers et venues**

Corrélativement, les machines utilisées pour ces aménagements se réduisaient, selon les tranches et les portions considérées, à une ou deux pelleteuses, dont une de 8 à 10 tonnes, en permanence, et l'autre, plus importante, de 20/25 tonnes, sur les parties où le chenal actuel avait été le plus élargi. Un ou deux tombereaux de petite taille (4 à 8 tonnes) furent aussi nécessaires sur certains secteurs.

Une fois mis en place sur site, ces engins ne nécessitaient plus de transport sur route carrossable, ni même d'allers-et-venues sur les routes forestières. Ils suivaient le lit à restaurer au fur et à mesure du déroulement et restaient sur place chaque nuit.

De telles modalités de gestion des matériaux et des machines de chantier limitaient le dérangement de la faune et contribuaient à réduire fortement le risque de tassement des sols. Ils évitaient totalement le risque d'introduction de plantes indésirables.

### **Organisation et déroulement du chantier de terrassement**

Pour chaque tranche, une base de chantier fut installée en bordure externe du vallon, sur une aire de dépôt ou de stockage déjà dégagée, le plus près possible du vallon de la Clauge, mais sans empiéter dans la partie humide. La longueur du linéaire traité justifiait le déplacement de chaque base annuelle en milieu de tranche.

Les ravitaillements en carburant étaient exclusivement réalisés en s'éloignant à plus de 100 mètres du lit de la Clauge et de chacun de ses affluents, sur la route forestière la plus proche. Les pleins étaient réalisés sur des dispositifs étanches amovibles (bacs « pliables » ou démontables et bâches plastiques). Les camions de ravitaillement devaient être équipés de kits « antipollution » comprenant des quantités suffisantes de produits absorbants, de même que chacune des machines du chantier.

La localisation et la nature de chacun des aménagements étaient prévues de façon précise à partir de la topographie déduite du LIDAR. Cependant, leur positionnement et leurs dimensions étaient vérifiés et adaptés point par point au cours de l'implantation et du piquetage du chantier, en collaboration étroite entre le Maître d'œuvre, l'Aide à la maîtrise d'Ouvrage (ou ATDO) et l'Entreprise retenue. Ces adaptations éventuelles avaient essentiellement pour but de réduire au maximum tout risque résiduel d'impact sur la faune et la flore du vallon de la Clauge.

### **Plantations des aulnes et saules**

Les plantations d'aulnes et de saules furent effectuées en novembre ou décembre. Elles ont été réalisées à pied, en suivant le linéaire de la Clauge, à l'aide de tarières portables thermiques, sinon électriques. Les arbustes à replanter étaient approvisionnés par véhicule léger au croisement de chaque route forestière avec la Clauge, soit tous les 400 mètres environ.

### **Phase de suivi et d'ajustement**

Les études réalisées sur différents compartiments de l'écosystème forestier humide constitué par le vallon de la Clauge médiane et apicale avaient fourni un état initial complet et solide. En effet, une grande partie des étages de l'édifice biologique avait été étudiée quantitativement et à l'espèce, et ce à plusieurs reprises dans la plupart des cas.

Pendant les travaux, la surveillance des éventuels impacts sur la faune et la flore était assurée à la fois par les agents de l'ONF, par une aide à la maîtrise d'ouvrage (AMO ou ATDO) assurée par un spécialiste en biologie, et par un comité de pilotage technique. Ce dernier inclura les gestionnaires des milieux naturels partenaires de l'ONF pour la forêt de Chaux (Grand Dole, EPTB, Syndicat Doubs Loue). Les agents du Ministère de l'environnement (DREAL, OFB) et de la DDT du Jura furent associés à cette démarche.

Tous furent conviés à chacune des réunions de chantier. Leur fréquence était hebdomadaire à bimensuelle, en fonction de l'avancement des travaux.

Le dispositif qui avait permis de dresser un état initial complet, à la fois précis et robuste, fut utilisé pour apprécier et quantifier les effets de la restauration. Dans le cours d'eau, cette évaluation fut réalisée à l'aide du dépouillement régulier des capteurs en continu déjà installés pour les débits et la température de l'eau ainsi qu'à l'aide de la répétition, tous les 3, 6 et 9 ans, des analyses effectuées pour caractériser la qualité physique et les potentiels hydrobiologiques de l'état initial.

Tableau 9 : Résultats escomptés dans la rivière

<b>Investigations</b>	<b>Indicateur de réussite</b>
<b>Hydrologie et limnimétrie</b>	Accroissement du débit d'étiage aval et allongement de l'hydropériode amont
<b>Thermographie aquatique</b>	Rafraîchissement de la T° estivale avale
<b>Piézométrie des zones humides</b>	Allongement de la durée de présence et rehaussement de l'altitude de la nappe
<b>Morphologique hydrodynamique</b>	Augmentation de la qualité morphologique
<b>Chimie de l'eau</b>	Réduction des contaminations
<b>Macro-invertébrés aquatiques</b>	Augmentation des variétés en abondance et sensibilité
<b>Poissons</b>	Recolonisation des chabots, truites, lamproies sur l'amont. Augmentation de l'abondance des truites et lottes à l'aval.

Ces mesures étaient réalisées sur 5 stations jalonnant le cours apical et médian de la Clauge afin d'apprécier l'effet de la restauration pour des configurations morphologiques et hydrodynamiques contrastées. Simultanément, elles devaient aussi être appliquées sur la station témoin située à l'aval proche de la voie ferrée sur la partie amont du cours pérenne de la Clauge.

Parallèlement, la qualité chimique de l'eau et des sédiments de la Clauge apicale et médiane devait idéalement être caractérisée avant travaux puis suivie après restauration. Dans cette optique, de 4 à 8 campagnes de mesures des teneurs en carbone organique, azote et phosphore de l'eau du cours d'eau furent effectués. Le même dispositif devait ensuite être répété après 3, 6 et 9 ans.

Cette approche permettait de distinguer d'une part les effets de l'augmentation escomptée des débits d'étiage et d'autre part l'évolution de la qualité chimique de l'eau de la Clauge à l'aval de la Vieille Loye, précédemment fortement altérée par les rejets mal traités de la station d'épuration. La comparaison des teneurs en carbone et nutriments pouvait aussi servir à mesurer l'impact de la restauration morphologique sur la fonctionnalité des transferts trophiques.

Les effets bénéfiques de la restauration de la Clauge sur les potentiels écologiques amphibiens et terrestres du vallon demanderont sans doute plus de temps à se faire sentir. En effet, le temps de réaction des sols et de la végétation à l'augmentation de l'humidité est de l'ordre d'au moins dix ans. Après ce laps de temps, il faudra refaire les analyses qui ont servi à dresser l'état initial de ces compartiments écologiques : analyses phytosociologiques, relevés botaniques dont bryologie, inventaires des coléoptères, des batraciens, des oiseaux et des chiroptères.

Enfin, sur deux placettes de suivi de la piézométrie des sols situées dans le vallon de la Clauge apicale, l'ONF réalise des mesures dendrométriques régulières sur des arbres témoins. Ces investigations permettront, à moyen terme, d'apprécier l'effet de la restauration de la Clauge sur l'état sanitaire et la vitesse de croissance des arbres.

La modélisation hydraulique effectuée dans le cadre de l'étude d'impact avait aussi montré que les risques d'inondation à l'aval du linéaire restauré, et en particulier à la Vieille Loye, ne seraient aucunement aggravés par le projet. En effet, l'altitude des lignes d'eau y restera la même pour les crues quelle que soit leur intensité. Une simulation hydrologique indiquait que leur vitesse de propagation y sera même légèrement retardée.

### 4.3. Travaux réalisés

#### 4.3.1. Comblement total ou partiel des tronçons rectilignes surcreusés

Les portions de chenal rectilignes et surcreusés furent comblées de façon à réactiver des méandres encore visibles mais désormais perchés, ou à concentrer le débit dans le ou les bras secondaires sinueux (fig. 25). Le cas échéant, les bras secondaires avaient été rechargés afin de garantir le rehaussement et le resserrement de la lame d'eau d'étiage

En revanche, si le chenal rectiligne surcreusé était unique, un lit guide méandrique avait été creusé (fig. 26), en prenant soin de le sous-dimensionner pour éviter qu'il ne s'incise trop rapidement. Dans tous les cas, deux tunages rustiques furent implantés, respectivement, à l'amont et à l'aval de la portion oblitérée, afin de compacter puis de protéger les matériaux de comblement qui furent extraits des talus proches.

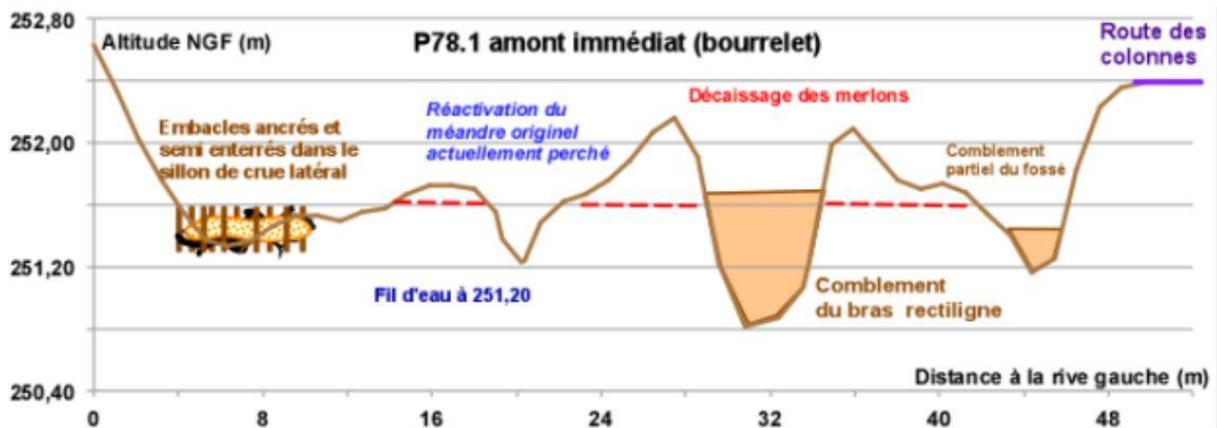


Figure 25 : Comblement du lit rectifié et rehaussement des chenaux latéraux secondaires érodés pour réactiver les méandres principaux encore visibles

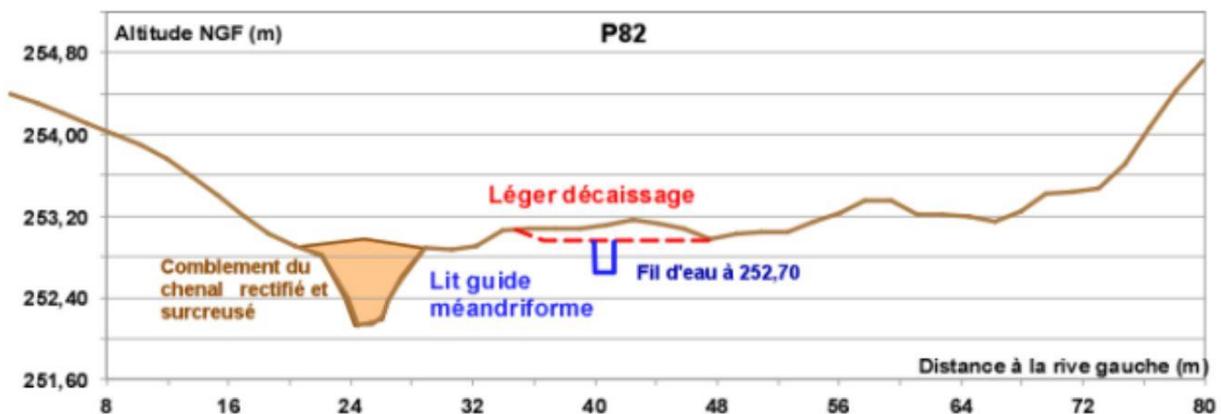


Figure 26: Comblement du lit rectifié et surcreusé avec creusement ménagé d'un lit guide méandriforme volontairement sous-dimensionné

#### 4.3.2. Resserrement du lit par implantation de banquettes végétalisées en vis-à-vis

Des couples de banquettes végétalisées de 2 à 6 mètres de large sur 8 à 16 mètres de long furent implantés dans les secteurs « mono-chenal » les moins élargis pour contribuer au resserrement des écoulements d'étiage.

Ces banquettes furent édifiées à l'aide d'une série de piquets plantés dans le fond du cours d'eau et sur lesquels furent fixés un simple bardage de planches rustiques ou de rondins de résineux. Ces ossatures furent remplies de matériaux groseux prélevés à proximité (fig. 27). Une bionatte biodégradable de type paille / jute d'environ 400 g/m<sup>2</sup> avait été installée pour protéger ces matériaux pendant 1 à 2 ans, le temps qu'ils se végétalisent.

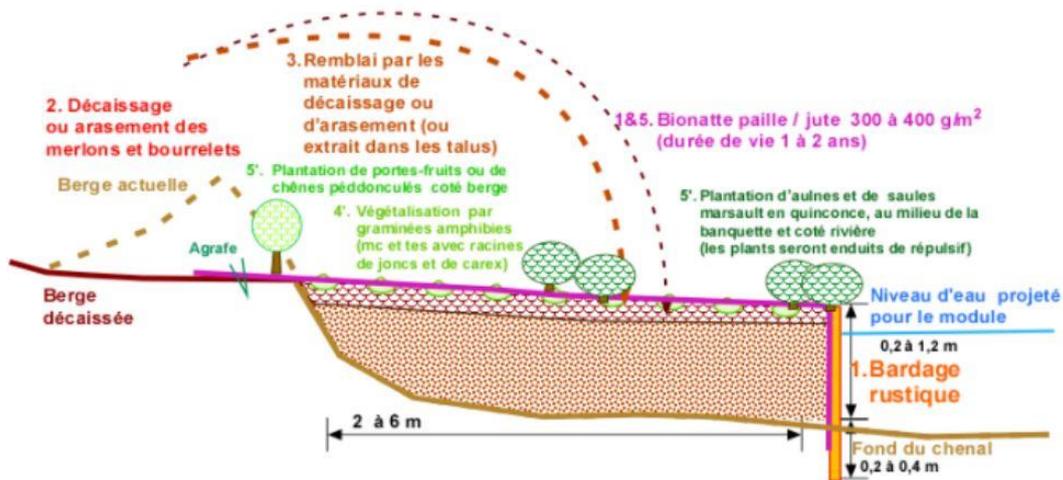
Des lacunes furent ménagées au sein des bardages, sous la ligne d'eau du débit moyen, afin que des sous-berges fonctionnelles puissent se créer rapidement. Ces banquettes étaient protégées par un géotextile à décomposition rapide, de façon à permettre à la végétation de s'installer dès la première année après leur implantation qu'il s'agisse d'aulnes, de charmilles, de graminées, de joncs, ...

En particulier, des aulnes et des saules marsault de 2 à 3 ans furent plantés. Typiques des ripisylves fonctionnelles, ces essences pionnières affectionnent la lumière. Aussi, elles devaient bénéficier des éclaircies ménagées par la coupe des charmes, ainsi que des

trembles, hêtres ou jeunes chênes utilisés pour contribuer à l'édification des embâcles artificiels ou/et dégagés pour implanter les banquettes.

D'après Gill (1992) ou Brossier & Palu (2016), ni les aulnes ni les saules ne font partie des essences préférées par les cervidés. Cependant, quand ils sont en très forte densité, chevreuils et cerfs peuvent en consommer les bourgeons (Ecofor 2014). Aussi, les plants furent enduits du répulsif « Trico » à base de graisse et de laine de mouton. En effet, les tests toxicologiques auquel ce produit a été soumis n'ayant décelé aucun risque pour les organismes aquatiques, il peut être utilisé en bordure de ruisseau sans préconisation de distance minimale.

**Profil en travers d'une banquette végétalisée**



**Vue de face depuis le centre de la rivière**

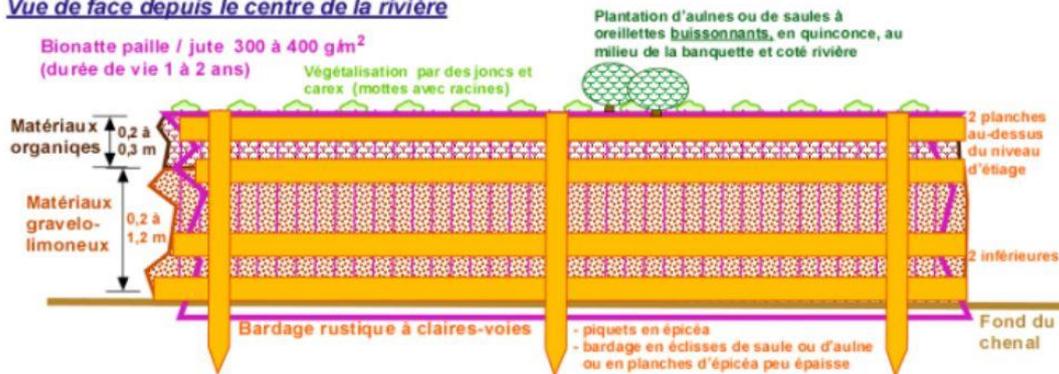


Figure 27: Schéma d'édification d'une banquette végétalisée

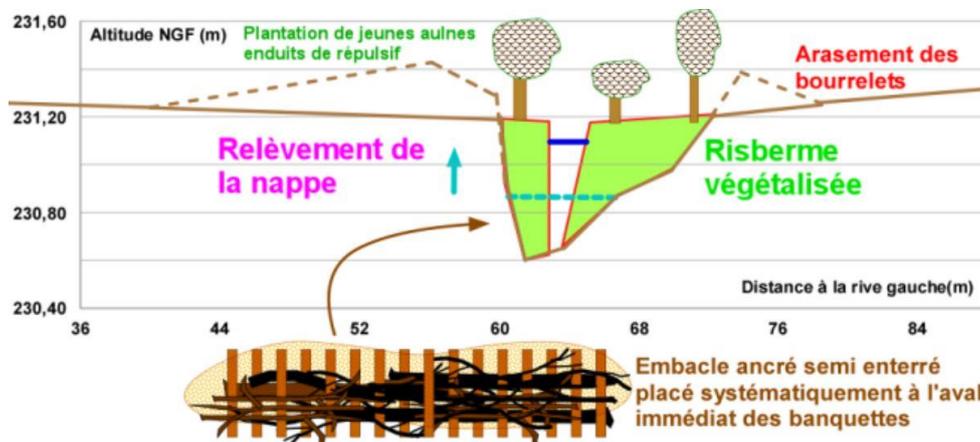


Figure 28: Principe du resserrement du lit à l'aide d'un couple de banquette végétalisée en vis-à-vis

### 4.3.3. Rehaussement sans création d'obstacle à l'aide d'embâcles fixés et engravés.

A l'aval de chacune de ces doubles banquettes, ainsi que dans tous les secteurs apparaissant moins surcreusés ou moins surélargis, des embâcles artificiels furent ancrés dans le lit à l'aide d'un réseau de pieux d'acacias en quinconce et semi-enterrés sous des matériaux graveleux extraits sur les talus les plus proches (fig. 29 et 30). Ces aménagements ralentissaient les écoulements et rehaussaient le niveau de la ligne d'eau du module et des étiages sans créer d'obstacle à la circulation de la faune.

Un embâcle artificiel semi-enterré fut systématiquement ancré à l'aval immédiat des banquettes.

Ces ouvrages rustiques imitent la structure des barrages de castors et jouaient un rôle similaire sur la reconstitution des ressources en eau. Leur faisabilité et leur efficacité avait d'ores et déjà été testées et démontrées sur plusieurs affluents de la Clauge.



Figure 29: Principe d'ancrage et d'enfouissement des embâcles artificiels



Figure 30 : Rehaussement de la ligne d'eau et réhumidification des franges humides

Cette photo a été prise dans un affluent temporaire de la Clauge. Cette modification a été faite à l'aide d'un embâcle ancré et enfoui sous des matériaux groiseux extraits dans un talus proche.

#### 4.3.4. Recharges du lit sous forme de bancs de galets-graviers alternés

D'importantes recharges en galets et graviers furent effectuées tout au long du linéaire restauré, à l'amont et à l'aval des banquettes et embâcles artificiels. Ces matériaux graveleux furent mobilisés par arasement des anciens bourrelets de curage en sommet de berge ou et issus de prélèvements sur les flancs du vallon les plus proches.

Ils furent disposés par groupes de 3 bancs artificiels alternés, de façon à participer au resserrement et au rehaussement des lignes d'eau d'étiage et des petites crues (fig. 31 et 32).

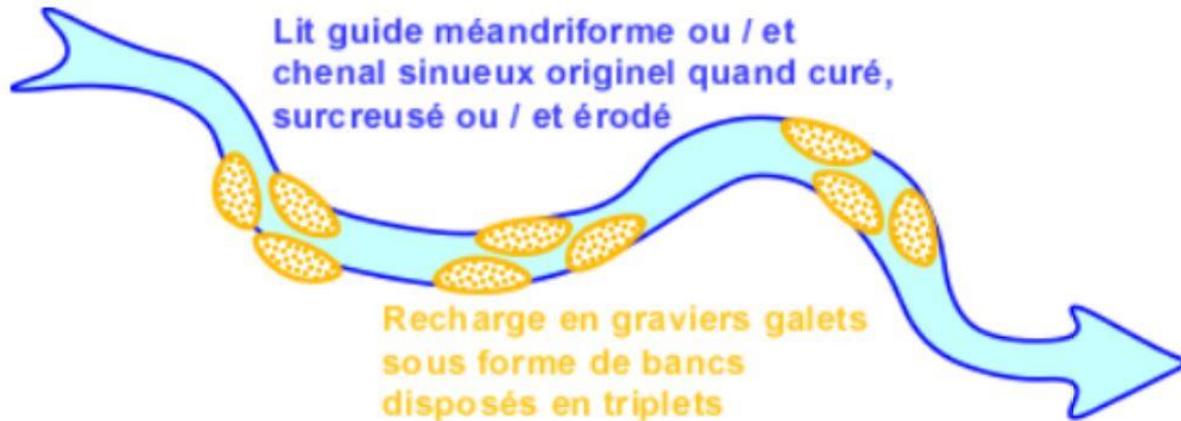


Figure 31 : Disposition des recharges en galets graviers sous forme de série de trois bancs alternés



Figure 32 : Exemple de recharges en galets

#### 4.3.5. Renforcement des gués et protection vis à vis des franchissements

Une partie des déstructurations morphologiques subies par la Clauge apicale étaient liés à des franchissements intempestifs du chenal quand il est en eau. Des ornières et des contournements « sauvages » étaient ainsi visibles à proximité de la plupart des gués existants. Aussi, il avait été proposé de les renforcer par empierrement, à l'exception de ceux des RF Défois, et Maclot, respectivement destinés à être remplacés par un ponceau et déjà constitué par un parement bétonné en bon état et vérifié.

Le projet prévoyait en revanche l'empierrement des 5 autres gués, à l'aide de dalles rustiques et de pierres plates. Ces aménagements rustiques participaient au rehaussement de l'altitude des lignes d'eau d'étiage. En parallèle, les utilisateurs des voies de circulation, dont les

chasseurs, furent sensibilisés à la vulnérabilité de la morphologie de la rivière. La réglementation des accès aux routes forestières traversant la Clauge avait été renforcée. Ces différentes modalités ont été combinées et calées, sur l'ensemble du linéaire à restaurer, en suivant les irrégularités topographiques mises en évidence par les levers de terrain. L'implantation du projet fut toutefois adaptée sur mesure, en situation, via un piquetage assuré en étroite collaboration par l'entreprise, la maîtrise d'œuvre et une assistance d'ingénierie écologique à la conduite du chantier.



Figure 33: Exemple de gué (Gué Dubois)

## 4.4. Cubages et coûts des travaux

### 4.4.1. Articulation et cubage des travaux

Le volume de matériaux nécessaires pour réaliser ces différents aménagements était estimé à un peu plus de 21 000 m<sup>3</sup> sur l'ensemble du linéaire à restaurer, en tenant compte de différentes modalités de restauration.

Tableau 10: Cubage et dénombrement des aménagements à réaliser sur chacun des 4 tronçons

Secteurs	Complements et bouchons		Doubles banquettes végétalisées		Embâcles enterrés		Triples bancs de galets graviers		Gués empierrés	
	Nb	Vol. unit. (m <sup>3</sup> )	Nb	Vol. unit. (m <sup>3</sup> )	Nb	Vol. unit. (m <sup>3</sup> )	Nb	Vol. unit. (m <sup>3</sup> )	Nb	Vol. unit. (m <sup>3</sup> )
Digue Tharin - D31	4	624	7	18	44	4	62	4	1	19
D31 - Défois	24	4365	3	25	24	5	69	16		
Défois - Sauget	10	3186	38	38	53	8	149	24	2	38
Sauget -Gilardoni	2	243	19	38	48	8	124	36	2	51
<b>Total</b>		<b>8418</b>		<b>2367</b>		<b>1104</b>		<b>9392</b>		<b>235</b>

#### 4.4.2. Coûts des travaux

Les dimensions et les prix unitaires des différentes modalités d'aménagement variaient d'un secteur à l'autre. Le coût des aménagements et de leur mise en œuvre devait être estimés, sans compter les suivis scientifiques, ni d'éventuels travaux de modification des dessertes.

Tableau 11: Tableau avec le coût des matériaux

Secteurs	Linéaire (km)	Comblements et lits	Doubles banquettes	Embâcles enterrés	Bancs de galet et graviers	Gués empierrés	Total
Digue Tharin – D31	3,45	7 638	9 016	15 840	12 400	3 840	48 734
D31 – Défois	2,67	19 141	4 800	11 520	28 152	X	63 613
Défois – Sauget	4,75	9 498	76 000	34 464	79 268	30 720	23 1950
Sauget - Gilardoni	3,59	1 600	45 600	34 752	122 264	20 480	224 696
<b>Total</b>	<b>14,46</b>	<b>37 877</b>	<b>135 416</b>	<b>98 576</b>	<b>242 084</b>	<b>55 040</b>	<b>568 993</b>

Tableau 12 : Tableau avec le coût des prestations

Secteurs	Linéaire (km)	Aménagements	Implantation chantier	MOE	AMO	Total
Digue Tharin – D31	3,45	48 734	4 000	5 200	3 600	60 738
D31 – Défois	2,67	63 613	8 000	9 200	5 200	85 216
Défois – Sauget	4,75	231 950	12 000	24 000	9 600	276 754
Sauget - Gilardoni	3,59	224 696	12 000	20 000	9 600	265 500
<b>Total</b>	<b>14,46</b>	<b>568 993</b>	<b>36 000</b>	<b>58 400</b>	<b>28 000</b>	<b>691 393</b>

Le coût d'implantation du chantier recouvrait la préparation des sites, le transport des machines, la sécurisation du chantier, les nettoyages et finitions.

Le coût de l'AMO comprenait les visites préalables de repérage de la proximité éventuelle des espèces menacées (Sonneurs à ventre jaune) ou des nids occupés par la Cigogne noire.

A cette somme de 691 393 euros s'ajouta les coûts de formation, de sensibilisation, de coordination des parties prenantes et les gestions administratives. Le coût total s'éleva au final à environ 1 800 000 euros.

#### 4.4.3. Financements :

Les principaux financiers de ce projet ont été identifiés et étaient l'Agence de l'eau, l'ONF, le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Chrono-environnement et l'Université de Franche-Comté.

## 5. Suivi et évaluation

---

### 5.1. Méthodes de suivi écologique

#### 5.1.1. Inventaires biologiques

Il est important de suivre les effets bénéfiques mais aussi néfastes de cette renaturation. Pour cela des inventaires floristiques et faunistiques sont réalisés régulièrement pour identifier les bienfaits de ce projet. Par exemple, des pêches électriques sont organisées tous les ans dans la Clauge pour réaliser un inventaire des populations de poissons.

Grâce à ces données, nous pouvons savoir si des espèces précédemment disparues à cause des nombreux curages qu'avait subi la Clauge réapparaissent et créent de nouveaux habitats. C'est l'OFB ainsi que l'ONF qui réalisent ces activités de surveillance et d'inventaires.

#### 5.1.2. Échantillonnage de l'eau et du sol

Concernant les données d'analyse de l'eau, des capteurs ont été installés dans la Clauge pour relever différentes informations comme le débit de l'eau, sa hauteur, sa température, la profondeur de la nappe et d'autres données utiles à l'évolution de la qualité physique de la Clauge suite au projet. Cela permet de voir si le projet a réellement fonctionné et a rempli ses objectifs.

#### 5.1.3. Technologies de surveillance

Enfin, des activités de drone permettent de visualiser l'évolution des dépérissements dans la forêt de chaux. Ainsi, une comparaison avec les photos d'autrefois peut permettre de voir la différence entre le nombre d'arbres dépérissant avant le projet et ce nombre après la renaturation de la Clauge.

## Conclusion

---

La renaturation de la Clauge forestière en amont de la Vieille Loye représente un projet ambitieux mais nécessaire pour restaurer un écosystème dégradé et rétablir les services écosystémiques essentiels pour la biodiversité locale et les communautés humaines. Ce rapport a permis d'identifier les principales caractéristiques hydrologiques, pédologiques et biologiques de la Clauge forestière, ainsi que les pressions anthropiques qui ont contribué à sa dégradation. Ce projet de restauration consiste à resserrer et à rehausser son lit mineur à l'aide de doubles banquettes végétalisées, d'embâcles fixés et semi enterrés ainsi que de recharges sous forme de bancs de graviers et de galets. Ils se traduiront par une augmentation des débits d'étiage de la Haute-Clauge dont l'hydropériode s'allongera notablement sur sa partie apicale.

Combinés avec les effets de la restauration de ses affluents temporaires, ces processus permettront à la Clauge de retrouver la pérennité de son écoulement sur sa partie médiane, devenue intermittente depuis les années 1980'. La restauration de la Clauge se traduira en effet par une forte augmentation de l'abondance des insectes à larve aquatique ainsi que des potentiels piscicoles. Parallèlement, l'augmentation de la fonctionnalité des zones humides associées à la Haute et Moyenne Clauge favorisera la reconquête et l'extension de l'aulnaie alluviale qui constitue un des habitats forestiers les plus altérés d'Europe. La restauration de cette mosaïque de biotopes aquatiques et humides au cœur de la forêt de Chaux renforcera l'intérêt écologique de l'ensemble de la trame verte et bleue qui joint les vallées du Doubs et de la Loue.

Enfin, les mesures transdisciplinaires et pluriannuelles qui ont servi à caractériser l'état initial du vallon de la Clauge et qui ont fondé les principes des aménagements proposés pourront être reconduites après les travaux pour en mesurer l'efficacité. Les principes et les modalités de cette restauration pourront alors être soit modulés ou complétés, soit validés puis valorisés pour en transférer les acquis à d'autres systèmes forestiers humides qui ont été altérés. En conclusion, la renaturation de la Clauge forestière en amont de la Vieille Loye n'est pas seulement un projet environnemental, mais aussi un engagement envers un avenir durable où la nature et les activités humaines coexistent harmonieusement. Les bénéfices attendus vont au-delà de la restauration écologique, incluant l'amélioration de la qualité de vie des populations locales, la résilience face aux changements climatiques, et la préservation d'un patrimoine naturel précieux pour les générations futures.

## Références bibliographiques

---

ARTERO ARMEL, MORA FREDERIC ET LE CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE FRANCHE COMTE, *CARACTERISATION DES PEUPELEMENTS DE COLEOPTERES SAPROXYLIQUES DU MASSIF FORESTIER DE CHAUX (FRANCHE-COMTE, DOUBS ET JURA). RESTITUTION DES CAMPAGNES 2013-2014*, 2015, 46 P

BALANDIER Philippe, *IMPACT DE L'INTENSITE DES PRELEVEMENTS FORESTIERS SUR LA BIODIVERSITE*, 2014.

BESSARD Séverine, OFFICE NATIONAL DES FORETS DU JURA, *DOCUMENT D'OBJECTIFS : SITES NATURA 2000 FORET DE CHAUX FR4312005 ET VALLONS FORESTIERS, RIVIERES, RUISSEAUX, MILIEUX HUMIDES ET TEMPORAIRES DE LA FORET DE CHAUX FR4301317*, 2008, 124p.

BICHET Vincent, CAMPY Michel, *MONTAGNES DU JURA – GEOLOGIE ET PAYSAGES*, <https://journals.openedition.org/quaternaire/5203>, 2008, consulté le 01 aout 2024.

DEGIORGI François, GOGUILLY Michael, DECOURCIERE Hervé, *FORET DE CHAUX, JURA - LIFE RUISSEAUX DE TETES DE BASSINS ET FAUNE*, <https://www.yumpu.com/fr/document/view/16901740/foret-de-chaux-jura-life-ruisseaux-de-tetes-de-bassins-et-faune>, 2007, consulté le 01 aout 2024.

DUMONT B., VERNEAUX Jean., *EDIFICE TROPHIQUE PARTIEL DU COURS SUPERIEUR D'UN RUISSEAU FORESTIER*, *Annales de Limnologie*, 1976, vol. 12, n° 3, p 239-252.

FERREZ et al., *INVENTAIRE DES VEGETATIONS DE FRANCHE-COMTE*, [https://cbnfc-ori.org/sites/default/files/documentatton/files/317\\_inventaire-vegetations-fc-avril\\_2020\\_web.pdf](https://cbnfc-ori.org/sites/default/files/documentatton/files/317_inventaire-vegetations-fc-avril_2020_web.pdf), 2020, consulté le 01 aout 2024.

IFN, *TPOLOGIE DES STATIONS FORESTIERES*, <https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/TypoLOGO040825.pdf>, 2004, consulté le 01 aout 2024.

IGN, *GEOPORTAIL*, <https://www.geoportail.gouv.fr/>, 2024, consulté le 25 juillet 2024.

JOVENIAUX Alain, CHEVILLARD Sandrine, EPA, *SITE NATURA 2000, FORET DE CHAUX : ZONE DE PROTECTION SPECIALE : INVENTAIRES ORNITHOLOGIQUES*, 2006, 88p.

METEO FRANCE, *METEO FRANCE*, <https://meteofrance.com/climat/relevés/france>, consulté le 01 aout 2024.

NAHORNYJ Laurantide, *DIAGNOSTIC ECOLOGIQUE DE DEUX AFFLUENTS DU DOUBS ISSUS DE LA FORET DE CHAUX : LES DOULONNES ET LE RUISSEAU DE LA BRETENIERE*, <https://www.peche->

jura.com/images/icagenda/files/rapport-m2quest-2015-de-laurantide-nahornyj.pdf, 2015, consulté le 2 aout 2024.

ONF, *LA FORET DOMANIALE DE CHAUX, IMMERSION DANS UN GIGANTESQUE TEMPLE VERT*, <https://www.onf.fr/vivre-la-foret/%2B/c26::la-foret-domaniale-de-chaux-immersion-dans-un-gigantesque-temple-vert.html>, 2024, consulté le 01 aout 2024.

ONF, *OFFICE NATIONAL DES FORETS*, <https://www.onf.fr>, 2024, consulté le 01 aout 2024.

SIE, *ÉTUDE ENTOMOLOGIQUE DANS LE CADRE DE L'ANIMATION DU DOCOB DU SITE NATURA 2000 « MOYENNE VALLEE DU DOUBS » DE 2019 A 2021 - AXE 2 : COLEOPTERES SAPROXYLIQUES COMPTE RENDU N°1 - MARS 2020 - ANNEE DE COLLECTE 2019 - PORTAIL WEB SIE*, [https://side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRACUSE/681610/etude-entomologique-dans-le-cadre-de-l-animation-du-docob-du-site-natura-2000-moyenne-vallee-du-doub?\\_lg=fr-FR](https://side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRACUSE/681610/etude-entomologique-dans-le-cadre-de-l-animation-du-docob-du-site-natura-2000-moyenne-vallee-du-doub?_lg=fr-FR), 2020, consulté le 01 aout 2024.

Société Forestière de Franche-Comté (SFFC), *HABITATS\_FORESTIERS\_SIMPLIFIE\_2003\_3.PDF*, [https://bourgognefranche-comte.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/habitats\\_forestiers\\_simplifie\\_2003\\_3.pdf](https://bourgognefranche-comte.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/habitats_forestiers_simplifie_2003_3.pdf), 2003, consulté le 30 juillet 2024.

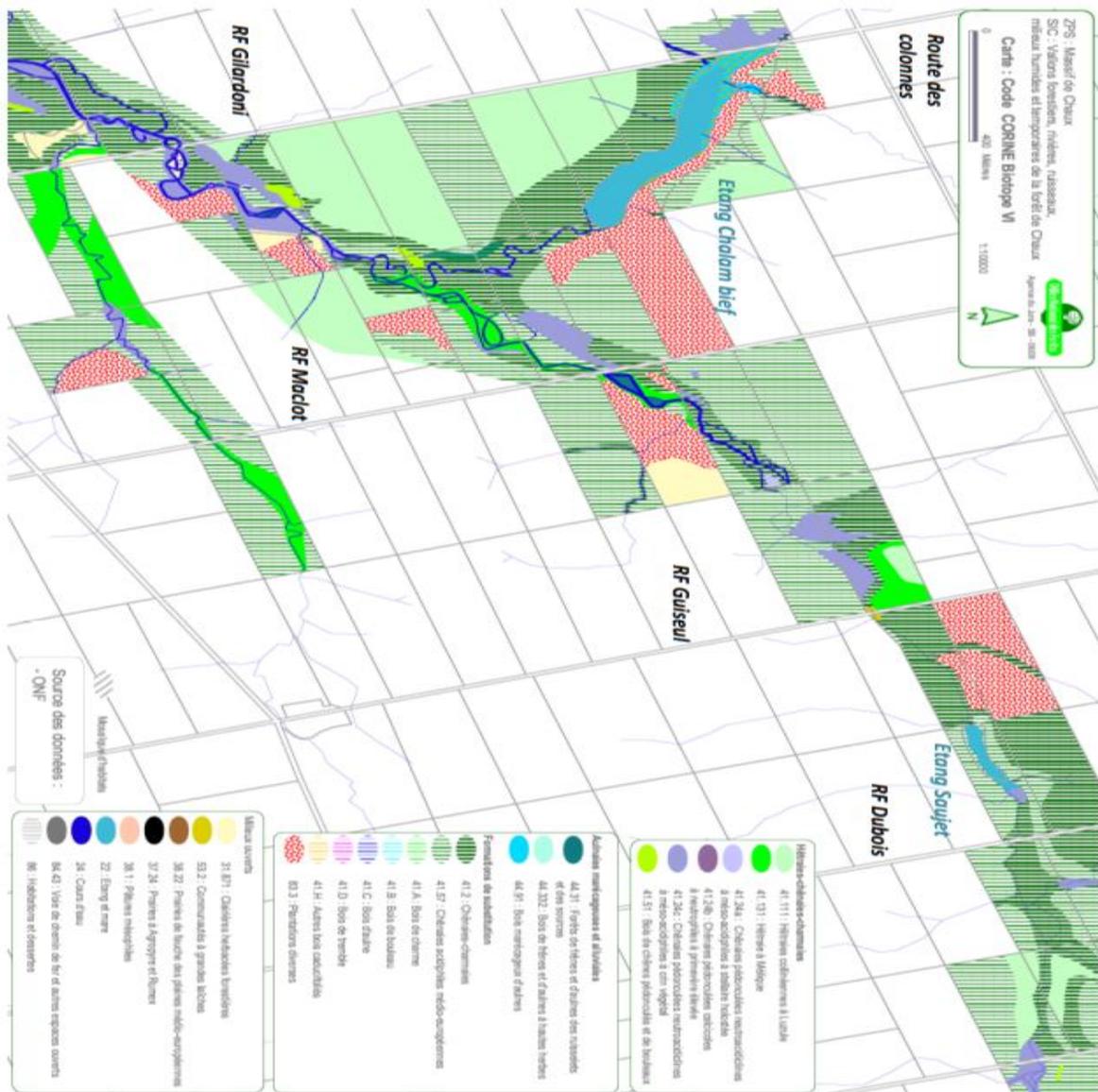
VERNEAUX Jean., *COURS D'EAU DE FRANCHE-COMTE (MASSIF DU JURA) : RECHERCHES ECOLOGIQUES SUR LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU DOUBS : ESSAI DE BIOTYPOLOGIE*, 1973.

## Annexes

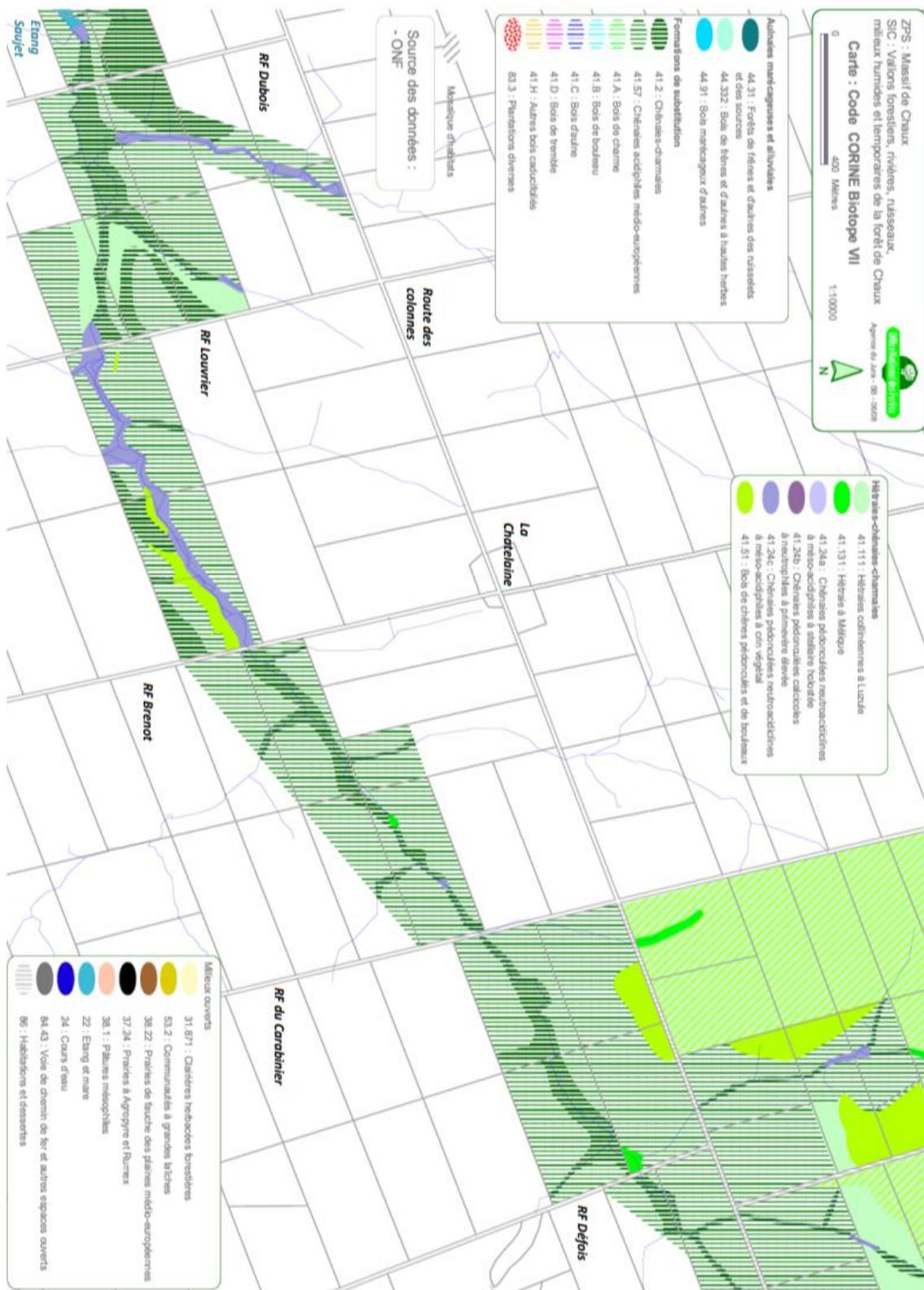
---

Annexe 1. Carte de la mosaïque de biotopes terrestres entre le gué Gilardoni (aval) et l'étang du Sauget (Bessard 2008).....	48
Annexe 2. carte de la mosaïque de biotopes terrestres entre l'étang du Sauget et le gué Défois (Bessard 2008) .....	49
Annexe 3. Carte de la mosaïque de biotopes terrestres entre le gué du carabinier et le gué des Salines (Bessard 2008) .....	50
Annexe 4. Localisation de l'étang de Sauget, en barrage sur la Clauge sur la commune de Chatelay) .....	51
Annexe 5. Localisation pressentie pour les bases chantier .....	52

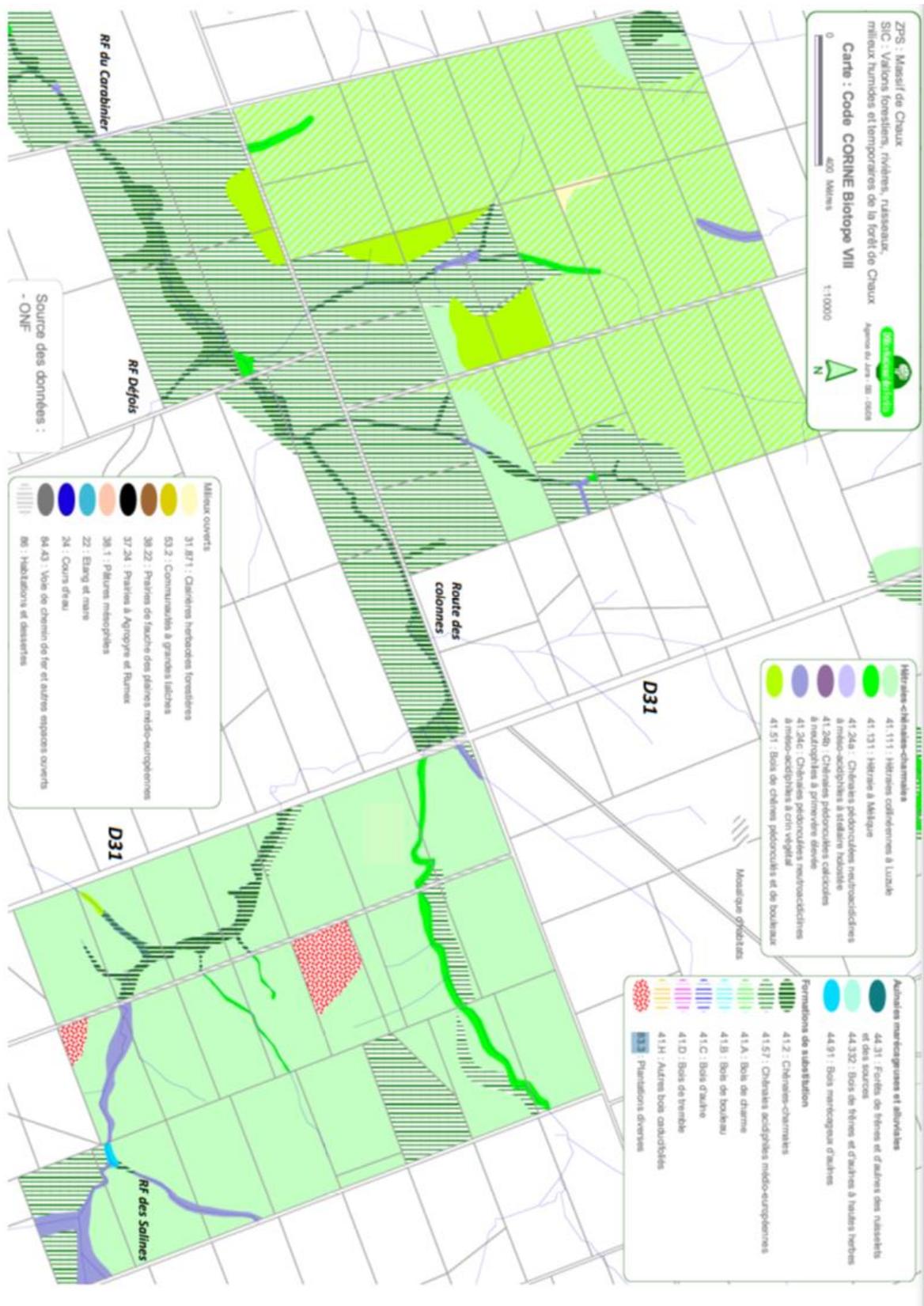
# Annexe 1. Carte de la mosaïque de biotopes terrestres entre le gué Gilardoni (aval) et l'étang du Sauget (Bessard 2008)



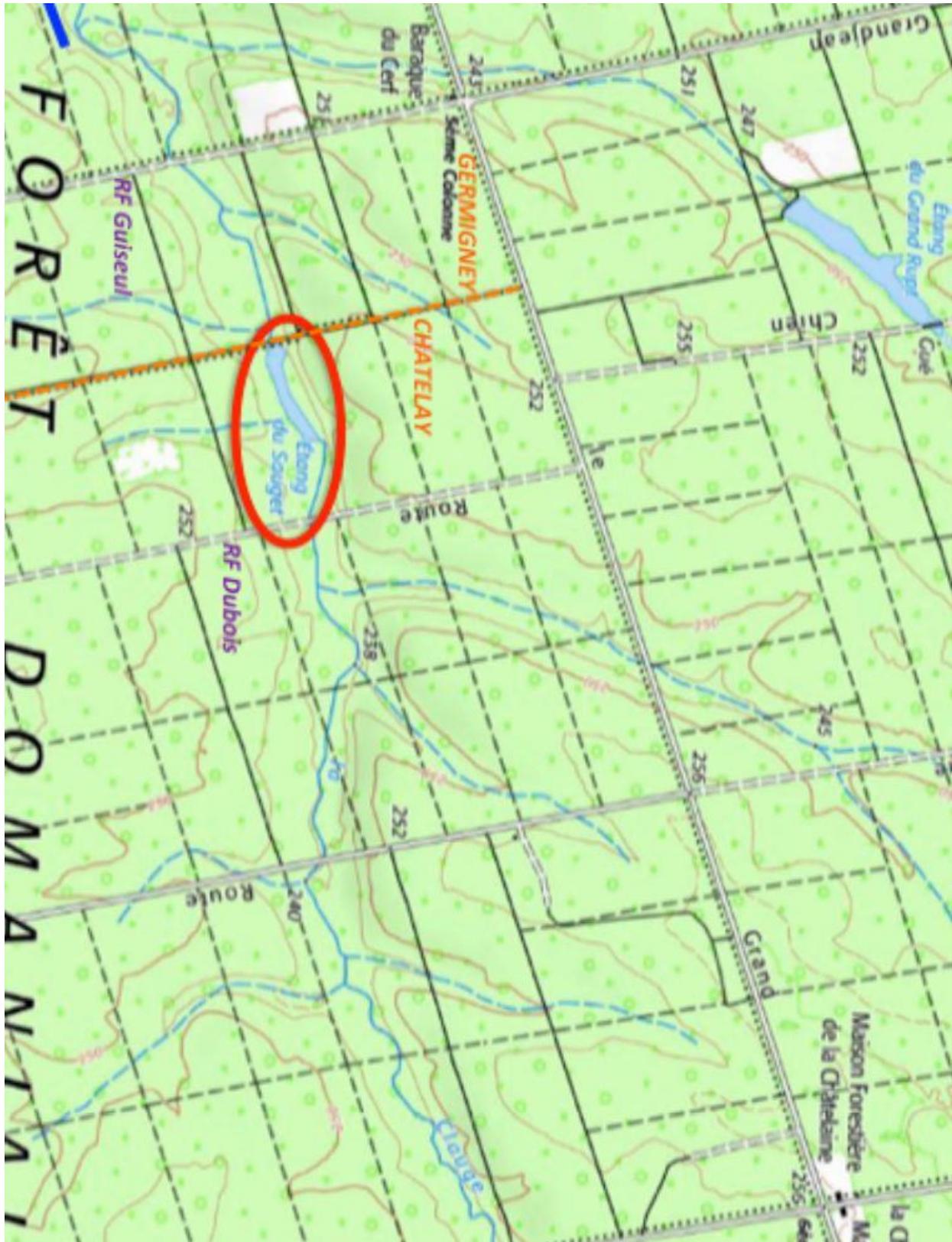
## Annexe 2. carte de la mosaïque de biotopes terrestres entre l'étang du Sauguet et le gué Défois (Bessard 2008)



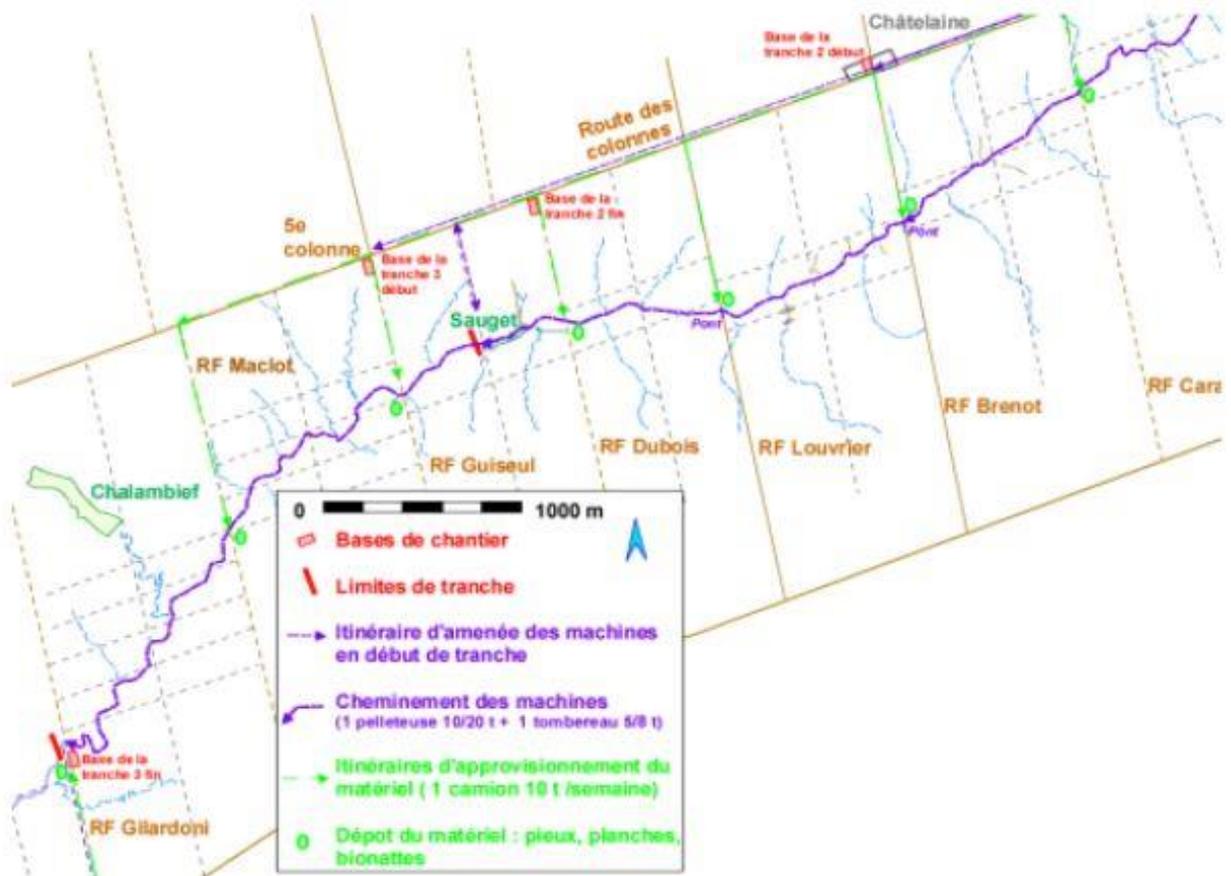
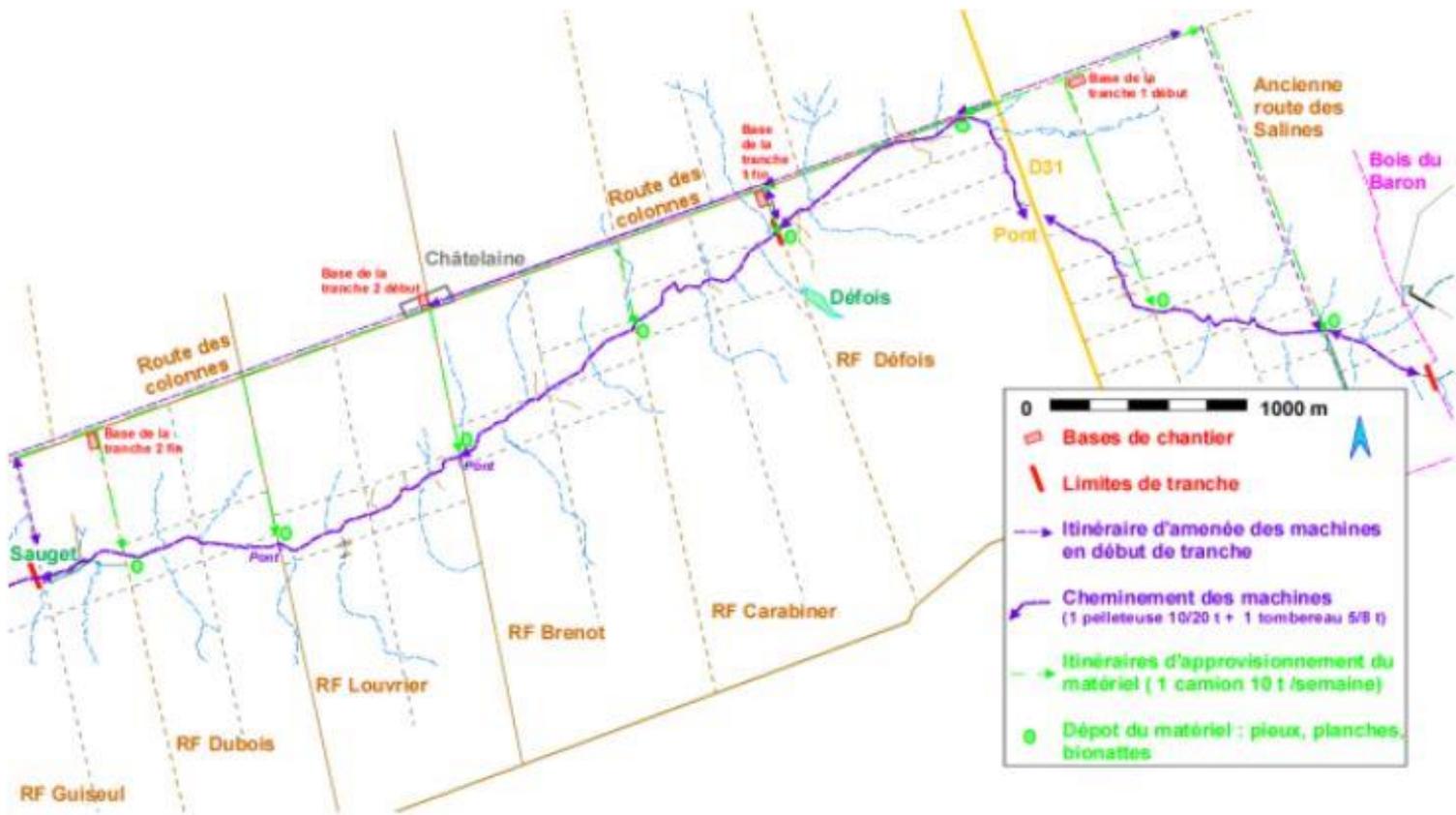
**Annexe 3. Carte de la mosaïque de biotopes terrestres entre le gué du carabinier et le gué des Salines (Bessard 2008)**



Annexe 4. Localisation de l'étang de Sauget, en barrage sur la Clauge sur la commune de Chatelay – source geoportail.gouv.fr



## Annexe 5. Localisation pressentie pour les bases chantier





## Restauration de la Clauge forestière en amont de la Vieille-Loye

---

Ce projet vise à restaurer la Clauge forestière en amont de la Vieille Loye.

La Clauge forestière est un écosystème crucial pour la biodiversité locale et pour le maintien des services écosystémiques. Cependant, elle a été fortement impactée par des activités humaines, entraînant une dégradation de l'environnement naturel et une diminution de la réserve en eau des sols.

Les changements climatiques ont exacerbé ces problèmes, affectant la santé et la résilience des forêts.

Le rapport s'appuie sur des revues de littérature, des enquêtes de terrain, des entretiens avec des experts et des analyses des données.

La Clauge, qui s'écoule sur environ 23 km, est une rivière avec un potentiel écologique élevé, mais qui s'assèche désormais six mois par an en raison des travaux d'assainissement hydrauliques passés.

La forêt de Chaux est composée principalement de chênes, de hêtres, et d'autres essences, avec une grande diversité écologique tant au niveau de la flore que de la faune.

Le projet de restauration vise à remodeler le lit de la Clauge pour resserrer et rehausser le niveau de l'eau, en utilisant des techniques telles que l'implantation de banquettes végétalisées et le comblement des tronçons rectilignes.

Les travaux sont planifiés sur plusieurs années, avec une attention particulière pour minimiser les impacts sur l'écosystème et les sols.

Un suivi rigoureux est prévu pour évaluer l'impact des travaux sur l'hydrologie, la qualité de l'eau, la biodiversité, et la santé des forêts.

Les résultats de ces suivis permettront d'ajuster les stratégies de restauration si nécessaire.

Ce rapport illustre l'importance de la renaturation pour la préservation des écosystèmes forestiers et met en avant les défis techniques et écologiques rencontrés dans ce type de projet. Il montre également l'engagement de l'ONF dans la gestion durable des forêts publiques en France.

---

**Mots-clés :** Restauration écologique, Clauge forestière, Forêt de Chaux, Renaturation, Biodiversité, Écosystème forestier, Dégradation environnementale, Gestion durable, Changements climatiques, Office National des Forêts (ONF), Flore et faune, Techniques de renaturation, Suivi écologique, Hydrologie, Aménagement forestier

---

