

2019-2020

Master Biodiversité Écologie et Évolution
Écologie et Éco-Ingénierie des Zones Humides (EEZH)

États initiaux de suivis de restauration de cours d'eau : protocoles et résultats



Dans le cadre du Contrat Territorial
Eau des Basses Vallées Angevines et
Bassin de la Romme



LAVAUX Nathan

Sous la direction de M. DEGRIECK Bertrand
Professeur référent M. PICARD Damien

SMBVAR

Soutenu publiquement le :
9 septembre 2020



RÉSUMÉ

Le Contrat Territorial Eau (CT Eau) est un outil de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et de la Région Pays de la Loire qui permet le financement d'actions visant la préservation et la restauration de la ressource en eau et des milieux aquatiques. Dans ce cadre, des travaux de restauration de cours d'eau sont entrepris par le Syndicat mixte des Basses Vallées Angevines et de la Romme (SMBVAR). Afin d'estimer les impacts et l'efficacité de la restauration, il est nécessaire de réaliser un suivi environnemental. De plus, il faut s'assurer que les travaux ne perturbent pas des espèces protégées. Après une synthèse bibliographique sur l'état de l'art de la restauration de cours d'eau, ce rapport présente les différentes méthodes de suivi ainsi que les résultats des relevés avant les travaux, constituant l'état initial. Pour les suivis, la flore, les Odonates, l'oxygène dissous et l'hydromorphologie ont été étudiés après l'élaboration des protocoles. Suite aux relevés, 115 espèces végétales ont été inventoriées, ainsi que 19 espèces d'Odonates. Différents indices ont été calculés dans l'objectif d'avoir un état des lieux du milieu et de la biodiversité : indices d'humidité et d'azote d'Ellenberg, indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélou. Les mesures d'oxygène dissous et de plusieurs paramètres hydromorphologiques permettent de connaître l'état du cours d'eau avant la restauration. L'application des mêmes protocoles de suivi 3 ans après les travaux de restauration permettra d'estimer l'effet de la restauration sur le cours d'eau et les espèces. Dans le cadre de la recherche d'espèces protégées, plusieurs espèces ont été contactées sur les sites de restauration, comme la Pulicaire commune (*Pulicaria vulgaris*), la Gratiola officinale (*Gratiola officinalis*), l'Inule des fleuves (*Inula britannica*) ou encore l'Agrion de Mercure (*Coenagrion mercuriale*). Pour préserver ces espèces, ainsi que d'autres potentiellement présentes, des préconisations sont émises afin de limiter l'impact négatif des travaux. En conclusion, ce rapport illustre la complexité de la restauration écologique, autant dans la partie technique de réalisation des travaux que dans l'aspect scientifique du suivi et du choix des indicateurs.

ABSTRACT

The Territorial Water Contract (CT Eau) is a tool of the Loire-Bretagne Water Agency and the Pays de la Loire Region which provides funding for actions aiming the preservation and the restoration of water resources and aquatic environments. In this context, restoration projects on rivers are being undertaken by the Mixed Syndicate of the "Basses Vallées Angevines et de la Romme" (SMBVAR). In order to estimate the impacts and effectiveness of the restoration, it is necessary to carry out environmental monitoring. In addition, care must be taken to ensure that the work does not disturb protected species. After a bibliographic synthesis of the state of the art of river restoration, this report presents the various monitoring methods as well as the results of the surveys before the restorations, constituting the initial state. Flora, Odonata, dissolved oxygen and hydromorphology were studied in the frame of the monitoring, and protocols were developed. During the surveys, 115 plant species were inventoried, as well as 19 Odonata species. Various indices were calculated to obtain an inventory of the environment and biodiversity: Ellenberg's humidity and nitrogen indices, Shannon's diversity index and Piélou's fairness index. Measurements of dissolved oxygen and several hydromorphological parameters made it possible to know the state of the watercourse before restoration. The application of the same monitoring protocols 3 years after the restoration work will allow to estimate the effect of the restoration on the watercourse and the species. Prospections for protected species made it possible to contact several species present on the restoration sites, such as the Small Fleabane (*Pulicaria vulgaris*), the Hedge Hyssop (*Gratiola officinalis*), the British Fleabane (*Inula britannica*) or the Southern Damselfly (*Coenagrion mercuriale*). In order to preserve these species, as well as others potentially present, recommendations are made to limit the negative impact of the restoration work. In conclusion, this report illustrates the complexity of ecological restoration, both in the technical part during the interventions and in the scientific aspect of the monitoring and of the choice of indicators.

Mots clés : Restauration écologique – Cours d'eau – Préconisations – Suivi écologique

Key words: Ecological restoration – Watercourses – Recommendations – Ecological monitoring

Note informative

L'auteur du présent document vous autorise à le partager, reproduire, distribuer et communiquer selon les conditions suivantes :

- Vous devez le citer en l'attribuant de la manière indiquée par l'auteur (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'il approuve votre utilisation de l'œuvre).
- Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce document à des fins commerciales.
- Vous n'avez pas le droit de le modifier, de le transformer ou de l'adapter.



Consulter la licence creative commons complète en français :
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr/>

Le stage dont fait l'objet ce rapport a été effectué du 02 mars 2020 au 28 août 2020. Durant cette période, le contexte sanitaire lié à la pandémie de la COVID-19 a affecté le bon déroulement du stage. Dans le cadre de l'interdiction de déplacement en France, ou confinement, le stage s'est déroulé en télétravail à partir du 17 mars. Dès le lundi 27 avril, les activités de terrain ont pu reprendre en respectant des consignes sanitaires. À partir du 11 mai le travail a pu reprendre en présence, toujours avec le respect de consignes sanitaires au bureau comme sur le terrain. Bien qu'il n'ait pas remis en cause les missions du stage, le confinement a eu des impacts sur certaines tâches. Ainsi, l'inventaire des Amphibiens n'a pas pu être effectué, les dates de passages coïncidant avec la période de confinement. De plus, aucun suivi n'a pu débuter avant le 27 avril, réduisant le nombre de données pour certaines études.

En conséquence, les conditions d'évaluation de l'université ont changé afin de limiter les distorsions entre les étudiants, les différents stages n'ayant pas été impactés de la même manière. C'est pourquoi le présent rapport est constitué de deux parties :

- Un rapport bibliographique traitant de la restauration de cours d'eau.
- Un rapport analytique correspondant à la suite d'un rapport scientifique habituel, portant sur les missions réalisées pendant le stage.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la bonne réalisation de ce stage.

En premier lieu, je souhaite remercier Jean Rousselot, directeur du Syndicat des Basses Vallées Angevines et de la Romme, pour m'avoir permis de réaliser mon stage de fin d'étude en m'accordant sa confiance.

Ensuite, merci à mon maître de stage, Bertrand Degrieck, pour sa confiance, son expertise ainsi que sa connaissance du territoire.

Merci aussi à Sylvain Chollet, pour son aide lors des prospections sur le terrain et sa disponibilité. De même, je remercie Coralie Debarre, pour sa connaissance du territoire.

Je désire aussi remercier le reste de l'équipe du SMBVAR, pour leur soutien et leur contribution à la bonne ambiance de la structure : Elodie Gutierrez, Anne-Laure Riobe et Mélanie Macé.

Je remercie aussi les stagiaires avec qui j'ai partagé les bureaux du SMBVAR : Romarick Turban et Valentin Piau.

Je désire aussi remercier Yannick Gelineau du bureau d'étude Aquascop pour son aide lors de l'élaboration du protocole de suivi hydromorphologique et son expertise quant à l'interprétation des résultats.

De plus, merci à Fabien Dortel du Conservatoire Botanique National de Brest, pour le partage de données concernant la localisation d'espèces protégées, et ses conseils.

Pour finir, je remercie l'ensemble de l'équipe pédagogique du master EEZH, et plus particulièrement mon tuteur de stage, Damien Picard.

Table des matières

RAPPORT BIBLIOGRAPHIQUE	1
1. Introduction.....	1
1.1. L'importance des cours d'eau	1
1.2. Des milieux perturbés	2
1.3. Mesures de protection.....	4
1.4. La notion de restauration de cours d'eau	5
2. Des points à perfectionner.....	6
2.1. Le manque de suivi et la difficulté du choix des indicateurs.....	6
2.2. Diversifier les habitats pour favoriser la biodiversité ?.....	7
2.3. Restaurer à l'échelle du paysage.....	9
3. Conclusion	10
3.1. Bilan des points développés.....	10
3.2. Perspectives.....	11
Références	12
PRESENTATION DE LA STRUCTURE	14
RAPPORT ANALYTIQUE	15
1. Introduction.....	15
1.1. Contexte environnemental	15
1.1.1. Le bassin de la Loire.....	15
1.1.2. Climat du territoire.....	16
1.1.3. Contexte géologique et hydrogéologique.....	17
1.1.4. Occupation du sol.....	18
1.1.5. Milieux naturels et aquatiques.....	18
1.2. Le contrat territorial eau	21
2. Matériel et méthode	22
2.1. Sites étudiés	22
2.2. Protocole de recherche d'espèces protégées	24
2.3. Protocoles de suivis.....	26
2.3.1. Suivi floristique	26
2.3.2. Suivi odonatologique	28
2.3.3. Suivi des Amphibiens.....	28
2.3.4. Suivi physico-chimique	29
2.3.5. Suivi hydromorphologique	30
3. Résultats.....	30
3.1. Résultats de la recherche d'espèces protégées	30
3.2. Résultats des états initiaux.....	32
3.2.1. Flore	32
3.2.2. Odonates	34
3.2.3. Physico-chimie.....	34
4. Discussion.....	35
4.1. Préconisations d'évitement des espèces protégées	35
4.1.1. Flore	35
4.1.2. Odonates	36
4.1.3. Coléoptères	36
4.1.4. Amphibiens.....	37
4.1.5. Reptiles	37

4.1.6.	Chiroptères	37
4.1.7.	Oiseaux	37
4.2.	État initial avant travaux	38
4.3.	Conclusion et perspectives.....	40
	Références	40
	ANNEXES.....	44
1.	Annexe 1 : Présentation du SMBVAR	44
2.	Annexe 2 : Localisation des sites étudiés	46
3.	Annexe 3 : Protocole de recherche des espèces protégées.....	47
4.	Annexe 4 : Protocole de l'inventaire floristique	52
5.	Annexe 5 : Protocole de l'inventaire des Odonates.....	55
6.	Annexe 6 : Protocole de l'inventaire des Amphibiens	58

Table des illustrations

Figure 1 : Les 5 composantes principales communément altérées par les activités humaines et quelques-uns des facteurs importants les constituant. Figure modifiée de Karr <i>et al.</i> , 2000, Figure 1. 3	3
Figure 2 : Bassin de la Loire, source : Agence de l'eau Loire Bretagne.	15
Figure 3 : Moyenne des températures annuelles de la station Angers-Beaucouzé, source : Infoclimat.	16
Figure 4 : Moyenne des précipitations annuelles de la station Angers-Beaucouzé, source : Infoclimat.	16
Figure 5 : Hydrogéologie simplifiée du Maine-et-Loire, le territoire du SMBVAR apparaît en rouge, source : Observatoire de l'eau de Maine-et-Loire.....	17
Figure 6 : Occupation du sol sur le territoire du SMBVAR en 2012, source : SMBVAR.....	18
Figure 7 : Sites Natura 2000 sur le périmètre du SMBVAR, source : SMBVAR.....	19
Figure 8 : État écologique des eaux de surfaces en 2017, source : Agence de l'eau Loire Bretagne, SMBVAR	20
Figure 9 : Localisation des sites du bassin de la Romme.....	22
Figure 10 : Localisation des sites du bassin de la Suette et travaux envisagés, source : Aquascop, SMBVAR.....	23
Figure 11 : Site étudié sur le bassin du Plessis et travaux envisagés.....	24
Figure 12 : Histogramme et tableau des moyennes des indices pour les ripisylves.	33
Figure 13 : Histogramme et tableau des moyennes des indices pour les prairies.....	33
Figure 14 : Histogramme et tableau des moyennes des indices entre les sites, tous milieux confondus (sauf végétation aquatique)	33

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des services écosystémiques des cours d'eau et leur importance en fonction du rang du cours d'eau. La barre de gradient indique là où un service devrait être le plus accentué ou réalisé le long d'un continuum, avec les ombres foncées indiquant une importance élevée et les ombres claires une importance moindre. Le rang des cours d'eau est celui utilisé par la classification de Strahler, un rang faible correspondant aux ruisseaux de têtes de bassin et un rang élevé correspondant aux larges rivières. Tableau tiré de Yeakley <i>et al.</i> , 2016, Table 17.1.....	2
Tableau 2 : Valeur des classes d'état pour l'oxygène dissous et le taux de saturation en oxygène dissous dans les cours d'eau, source : Arrêté du 25 janvier 2010.	29
Tableau 3 : A : Synthèse des résultats des prospections d'espèces protégées au préalable des travaux de restauration sur les sites des bassins de la Romme, de la Suette et du Plessis. B : Notice des abréviations utilisées.....	31
Tableau 4 : A : Synthèse des résultats de l'état des lieux floristique avant les travaux de restauration sur les sites des bassins de la Romme, de la Suette et du Plessis. B : Notice des abréviations utilisées.....	32
Tableau 5 : Synthèse des résultats de l'état des lieux odonatologique avant les travaux de restauration. S = Richesse spécifique, H' = Indice de diversité de Shannon et J'= Indice d'équitabilité de Piérou.....	34
Tableau 6 : A : Synthèse des médianes des mesures d'oxygène dissous de l'état des lieux physico-chimique avant les travaux de restauration. B : Notice des couleurs utilisées pour illustrer la classe de qualité, source : Arrêté du 25 janvier 2010.	34
Tableau 7 : Périodes de sensibilité des différents taxons, d'après Leray <i>et al.</i> , 2016.....	38

Rapport bibliographique

La restauration de cours d'eau Suivis, efficacité et perspectives futures

1. Introduction

1.1. L'importance des cours d'eau

D'après le Code de l'environnement, un cours d'eau est défini par « un écoulement d'eaux courantes dans un lit naturel à l'origine, alimenté par une source et présentant un débit suffisant la majeure partie de l'année. L'écoulement peut ne pas être permanent compte tenu des conditions hydrologiques et géologiques locales » (Article L215-7-1 du Code de l'environnement).

Les cours d'eau constituent une infime portion de l'eau douce présente sur terre (0,006 %), une statistique disproportionnée face à l'importance capitale que revêtent les systèmes lotiques (Malmqvist *et al.*, 2002). Les eaux courantes apportent une pléthore d'utilités à l'Homme, que ce soit pour l'usage domestique, industriel, agricole ou énergétique (Malmqvist *et al.*, 2002). De plus, les eaux douces abritent une diversité biologique remarquable : bien qu'elles n'occupent que 0,8% de la surface de la Terre, il a été estimé que 12% des espèces animales y vivent, dont 20% sont en danger d'extinction ou éteintes (Wishart *et al.*, 2003).

Le rôle des cours d'eau pour la biodiversité, ainsi que les nombreuses utilités que l'Homme peut y trouver, forment ce que l'on appelle des services écosystémiques. Ces derniers sont les processus naturels qui apportent des bénéfices aux sociétés humaines. Ils peuvent être classés selon plusieurs catégories (Zones-Humides) :

- L'approvisionnement, qui comprend les différents produits issus des cours d'eau, comme les poissons pêchés, le sable prélevé et l'eau douce pour tous les usages existants.
- La régulation, c'est à dire le rôle des rivières dans le cycle de l'eau, la régulation du climat et des inondations.
- Le support, qui correspond aux fonctions des cours d'eau comme support d'habitats et de biodiversité, ainsi que le rôle dans la production primaire et le réseau trophique.

- Les services culturels et sociaux, qui sont les bénéfices immatériels comme le tourisme et le récréatif, l'esthétique ou encore la spiritualité.

L'intensité de ces services varie en fonction du rang du cours d'eau selon la classification de Strahler (1957). Ainsi, le tableau ci-dessous (Tableau 1) montre l'importance des différents services écosystémiques des cours d'eau en fonction de leur rang (Yeakley *et al.*, 2016) :

Tableau 1 : Liste des services écosystémiques des cours d'eau et leur importance en fonction du rang du cours d'eau. La barre de gradient indique là où un service devrait être le plus accentué ou réalisé le long d'un continuum, avec les ombres foncées indiquant une importance élevée et les ombres claires une importance moindre. Le rang des cours d'eau est celui utilisé par la classification de Strahler, un rang faible correspondant aux ruisseaux de têtes de bassin et un rang élevé correspondant aux larges rivières. Tableau tiré de Yeakley *et al.*, 2016, Table 17.1.

Catégorie de service écosystémique	Service écosystémique	Cours d'eau de rang bas (1 ou 2)	Cours d'eau de rang intermédiaire (3 à 5)	Cours d'eau de rang haut et plaines inondables (6 et plus)
Approvisionnement	Eau de consommation : domestique			
Approvisionnement	Eau de consommation : agricole			
Approvisionnement	Eau de consommation : industrielle			
Approvisionnement	Utilisation pour le transport et la navigation			
Approvisionnement	Matériaux abiotiques (sables, gravier)			
Approvisionnement	Organismes aquatiques : nourriture			
Approvisionnement	Utilisation pour la production d'énergie			
Approvisionnement	Eau de consommation : eau potable			
Approvisionnement	Organismes aquatiques : usage médical			
Régulation	Contrôle de l'érosion via les infrastructures de contrôle des inondations			
Régulation	Effet tampon des inondations			
Régulation	Contrôle de l'érosion via les interactions avec les eaux continentales			
Régulation	Rôle dans la régulation du climat			
Régulation	Maintien de la qualité de l'eau			
Support	Rôle dans le maintien de la fertilité de la plaine inondable			
Support	Rôle dans la production primaire			
Support	Rôle dans le réseau trophique et les interactions proie / prédateur			
Support	Rôle dans le maintien de l'habitat			
Support	Maintien des ressources génétiques			
Support	Rôle dans le cycle des nutriments			
Culture et social	Pêche sportive et récréative			
Culture et social	Tourisme			
Culture et social	Esthétique et héritage			
Culture et social	Loisir : activités nautiques			
Culture et social	Loisir : activités de randonnée			
Culture et social	Existence (satisfaction grâce aux rivières coulant librement)			
Culture et social	Nourriture traditionnelles			

1.2. Des milieux perturbés

Cependant, l'augmentation et l'expansion des activités humaines altèrent les cours d'eau, impactant les paramètres physiques, chimiques et biologiques des rivières (Carpenter *et al.*, 2011). Les cours d'eau sont caractérisés par leur linéarité et leur continuum amont-aval, ainsi une atteinte ou une altération en amont aura aussi une incidence en aval. Cela explique le fait qu'un linéaire important de cours d'eau puisse être

dégradé alors même que la perturbation est localisée. Par exemple, aux États-Unis, ce sont plus de 130 000 km de cours d'eau qui sont altérés par l'urbanisation, à cause de la modification d'occupation du sol. Cela fait de l'urbanisation la deuxième cause de dégradation des cours d'eau après l'agriculture, alors que la superficie des terres urbanisées est minime comparée à celle des terres agricoles (Paul *et al.*, 2001). Les activités humaines dégradent les cours d'eau en altérant une ou plusieurs composantes (Karr *et al.*, 2000), comme illustré par la figure suivante (Figure 1) :

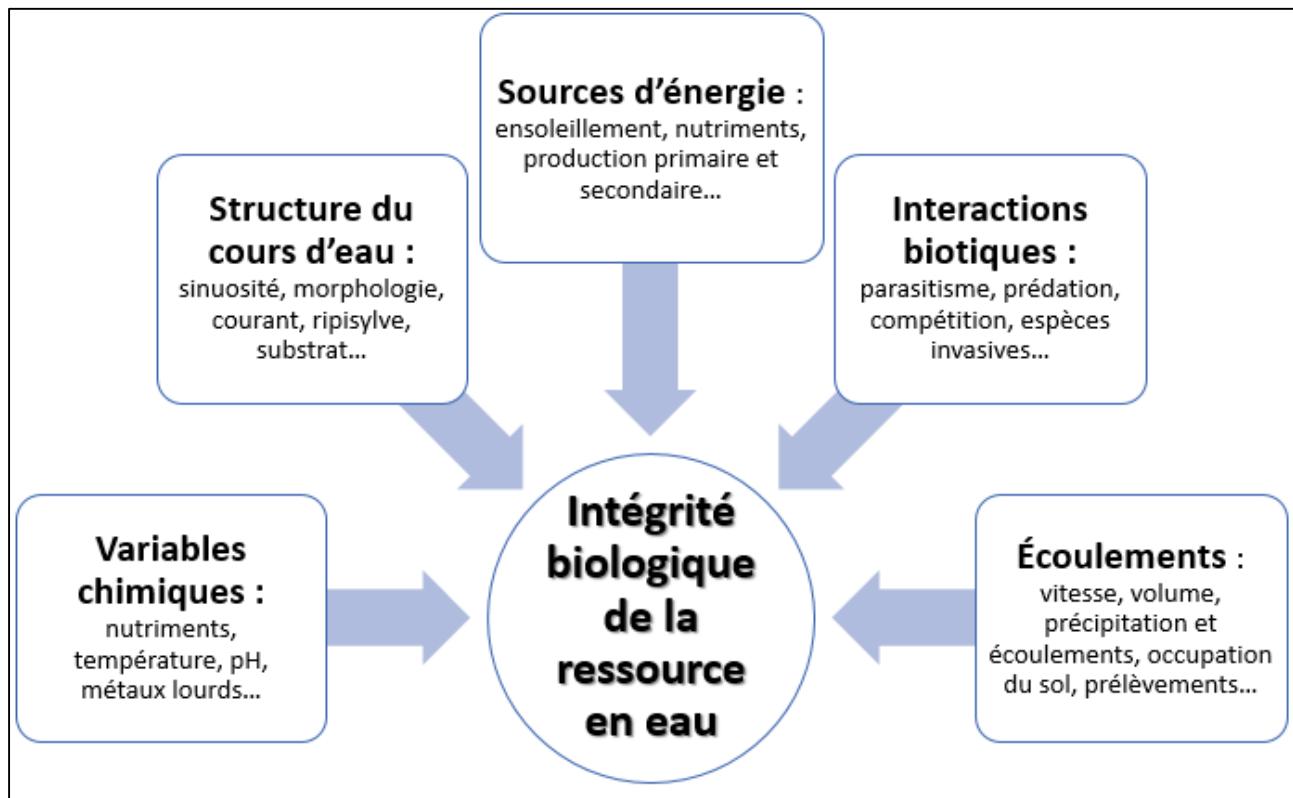


Figure 1 : Les 5 composantes principales communément altérées par les activités humaines et quelques-uns des facteurs importants les constituant. Figure modifiée de Karr *et al.*, 2000, Figure 1.

Ces composantes sont altérées par plusieurs facteurs anthropiques, dont certains sont détaillés ci-après :

- Les retenues : De nombreuses retenues d'eau ont été créées dans le but de réguler les débits selon les besoins de l'Homme, comme par exemple pour le fonctionnement des moulins puis des barrages ou bien pour la demande de l'irrigation. Cependant, ces retenues retiennent les sédiments en amont, engendrent l'érosion du lit à l'aval et empêchent la faune de circuler librement (Walker 1985). Elles ont donc un impact sur la continuité sédimentaire et piscicole.
- Les rectifications : Pour les besoins de l'agriculture et de la prévention des inondations principalement, les rivières ont subi des rectifications morphologiques. Les cours d'eau sont plus rectilignes et souvent plus larges et profonds qu'ils ne le seraient naturellement. Cela a plusieurs impacts, comme la réduction des périodes de débordement, pourtant vitales pour le cycle de nombreuses espèces aquatiques, ou bien l'homogénéisation voire la perte des substrats et des habitats (Malmqvist *et al.*, 2002).

- Les changements d'occupation du sol : Même s'ils n'adviennent pas aux abords du cours d'eau, les changements d'occupation du sol d'un bassin versant ont un impact sur ses rivières. Les deux changements principaux sont l'urbanisation et la déforestation de la végétation riveraine. L'urbanisation augmente notamment le ruissellement, ce dernier pouvant être chargé en polluants provenant des activités humaines (Paul *et al.*, 2001). Ces ruissellements pluviaux participent à l'augmentation de la température de l'eau, qui peut perturber les espèces vivant dans le cours d'eau. La destruction de la ripisylve altère les apports d'énergie, notamment de lumière et de matière organique, et engendre aussi la perte de certains habitats marginaux comme les chevelus racinaires en partie aquatique et les cavités en partie aérienne. Ces altérations ont un impact sur les espèces et leur dynamique trophique (Malmqvist *et al.*, 2002).
- Les nutriments : La concentration en nutriments dans les rivières augmente avec le développement urbain et agricole, particulièrement les composés phosphorés en raison des stations d'épuration et des fertilisants. Cette augmentation en nutriments, aussi appelée eutrophisation, entraîne une diminution de la richesse spécifique des macrophytes et a donc un impact sur l'ensemble des êtres vivants peuplant les cours d'eau (Malmqvist *et al.*, 2002, Paul *et al.*, 2001).
- Les pollutions diverses : de nombreux composés différents affectent l'écosystème aquatique, et peuvent être introduits de manière ponctuelle ou diffuse. Ils sont souvent nocifs pour les organismes, comme par exemple les métaux lourds, dont les concentrations baissent depuis quelques décennies, ou les pesticides (Malmqvist *et al.*, 2002).
- Les espèces exotiques envahissantes : De nombreuses espèces exotiques se sont installées dans les cours d'eau du fait des activités humaines. Ces introductions sont intentionnelles (activités de pêche, contrôle d'espèces indésirables) ou inintentionnelles (depuis des aquariums ou par les transports). Ces espèces ont des impacts importants sur les écosystèmes en perturbant des processus (comme le réseau trophique ou la compétition), pouvant aller jusqu'à l'extinction d'espèces autochtones (Malmqvist *et al.*, 2002, Carpenter *et al.*, 2011).

1.3. Mesures de protection

En réponse aux menaces encourues par les cours d'eau et aux nombreuses altérations dont ces derniers souffrent déjà, des mesures de protection ont vu le jour au 20^e siècle. Avant l'Europe, les États-Unis ont adopté un acte visant à protéger leurs cours d'eau. Le Clean Water Act de 1972 a pour objectif de restaurer et maintenir la qualité chimique, physique et biologique des cours d'eau en réglementant et limitant les pollutions de cours d'eau, notamment ponctuelles, et en restaurant les rivières (American Rivers, United States Environmental Protection Agency).

En Europe, la directive-cadre européenne sur l'eau (DCE) publiée en 2000 définit la notion de « bon état des eaux ». Tous les États membres doivent tendre vers ce bon état. Les quatre grands objectifs de la DCE sont les suivants :

- La non-dégradation des ressources et des milieux ;
- Le bon état des masses d'eau, sauf dérogation motivée ;
- La réduction des pollutions liées aux substances ;
- Le respect de normes dans les zones protégées.

En France, la politique de l'eau est donc encadrée par la DCE et quatre grandes lois la dictent : La loi de 1964 pose le principe de la gestion de l'eau par bassins hydrographiques (au nombre de 12) et crée les agences de l'eau qui se chargent de la tarification de l'eau. La loi de 1992 organise la planification dans le domaine de l'eau : un schéma directeur d'aménagement de gestion des eaux (SDAGE) est construit pour chaque bassin hydrographique. Au niveau des sous-bassins, des schémas d'aménagement et de gestion des eaux peuvent être élaborés. La loi de 2004 fait suite à la DCE de 2000 et oriente la politique de l'eau vers un objectif de résultat, notamment d'atteindre le bon état des eaux pour 2015, ou à défaut en 2021 ou 2027. Enfin, la loi de 2006 revoit la tarification de l'eau avec plus de transparence, rénove les outils de la police de l'eau et des SAGE (Schéma d'aménagement et de gestion des eaux) en prenant en compte le changement climatique et crée l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (l'ONEMA, qui fait depuis 2020 partie de l'Office français de la biodiversité) (Ministère de la transition écologique).

1.4. La notion de restauration de cours d'eau

Les textes de lois abordent la restauration, comme par exemple celui de 1992 : « la protection contre toute pollution et la restauration de la qualité des eaux superficielles et souterraines et des eaux de la mer dans la limite des eaux territoriales » (Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau).

La restauration écologique peut être définie comme l'ensemble des moyens mis en œuvre dans le but de faire revenir un écosystème à son état originel, avant perturbation. Il serait plus juste d'utiliser le terme réhabilitation, car la plupart du temps il est impossible de réellement restaurer un écosystème, surtout dans un contexte urbain, résidentiel, industriel ou agricole (Roni *et al.*, 2008). La dénomination « restauration » reste cependant la plus couramment utilisée et sera celle choisie pour ce rapport. Initialement, les projets de restauration concentraient leurs efforts sur l'amélioration des ressources piscicoles, en ciblant parfois une seule espèce ou un seul groupe. Par exemple, des centaines de millions de dollars sont dépensés chaque année dans le nord-ouest de l'Amérique pour augmenter les populations de Saumons du genre *Oncorhynchus*, des espèces qui étaient autrefois abondantes mais qui sont aujourd'hui menacées d'extinction. La restauration des cours d'eau a d'abord gagné de l'intérêt suite à la diminution des ressources piscicoles, à l'augmentation de la fréquence des inondations et à la désertification (Roni *et al.*, 2008). Elle est maintenant souvent mise en œuvre dans le but de rétablir des régimes d'écoulements naturels, d'améliorer la qualité de l'eau et de maximiser la biodiversité (Lepori *et al.*, 2005, Bernhardt *et al.*, 2005).

La restauration de cours d'eau, bien qu'étant un outil important pour enrayer la perte de la biodiversité et des services écosystémiques qui en dépendent, reste une technique à perfectionner. En effet, celle-ci souffre

d'un manque de connaissances, notamment parce que cette science relativement récente ne jouit pas d'assez de recul. Nous verrons donc dans cette synthèse les différents points qui permettraient à la restauration de cours d'eau de gagner en efficacité. Le fait que la réussite des projets de restauration est difficile à estimer, et surtout que les suivis sont parfois insuffisants pour évaluer son succès, sera discuté. De plus, la restauration de cours d'eau se concentrant souvent sur l'échelle d'un tronçon et ses habitats, nous aborderons l'idée qu'il est plus efficace de penser la restauration à l'échelle du bassin et du paysage.

2. Des points à perfectionner

2.1. Le manque de suivi et la difficulté du choix des indicateurs

La plupart des projets de restauration de rivières ont des buts formulés précisément par les gestionnaires. L'objectif est souvent l'amélioration hydromorphologique, l'amélioration de la qualité de l'eau et la reconnection des annexes (plaines inondables), et plus rarement l'amélioration des habitats et de la biodiversité (Jähnig *et al.*, 2011 et Bernhardt *et al.*, 2005). Cependant, Bernhardt *et al.* montrent qu'une proportion relativement importante des projets n'a pas de but listé : aux États-Unis, 20% des 37099 projets de restauration qui ont été étudiés par les auteurs n'indiquent aucun objectif. Régulièrement, les projets de restauration de cours d'eau ont comme dessein d'atteindre les conditions d'une rivière non altérée par les activités humaines. Il y a plusieurs manières de cibler cet objectif. Il est possible d'utiliser les informations passées pour connaître quelles étaient les conditions du cours d'eau avant les perturbations en s'aidant des archives d'inventaires, des données historiques ou des photographies anciennes. On peut aussi envisager d'employer comme référentiel des sites analogues mais non perturbés (Palmer *et al.*, 2005). Néanmoins, les gestionnaires sont souvent confrontés au problème d'absence de référentiel non perturbé, dans le contexte actuel où la plupart des cours d'eau sont affectés directement ou indirectement par les activités humaines (Woolsey *et al.*, 2007).

Par ailleurs, les projets de restauration de cours d'eau se heurtent souvent à des difficultés lors de l'évaluation de la réussite, ou de l'échec, des travaux qui ont été entrepris. C'est une problématique majeure car les succès comme les échecs permettent d'améliorer les connaissances sur les techniques de restauration. Le manque d'évaluation est fréquemment expliqué par un manque de moyens (temps, argent et personnel), mais il est peut-être tout autant explicable par la difficulté à définir les objectifs et à choisir des indicateurs de réussite adaptés (Woolsey *et al.*, 2007). Aux États-Unis, seulement 10% des projets indiquent avoir réalisé un suivi ou une évaluation, et peu d'entre eux ont ensuite partagé les résultats. Ce manque de suivi est plus fréquent chez les petits projets (moins de 500 000 dollars). Les plus ambitieux, engageant des sommes importantes (en moyenne 1,5 millions de dollars), comme les reconstructions de plaines inondables ou les reconfigurations de rivières, sont plus souvent susceptibles de jouir d'un suivi (Bernhardt *et al.*, 2005). La complexité du suivi s'explique par l'absence d'approche standardisée permettant

d'évaluer le succès ou l'échec des restaurations. Des paramètres mesurables sont souvent utilisés, dans un but d'objectivité scientifique, et les paramètres plus subjectifs comme l'esthétisme ou la valeur récréative sont souvent laissés de côté (Jähnig *et al.*, 2011). De nombreuses publications proposent des indicateurs de suivi et la stratégie à adopter pour les choisir, comme Woolsey *et al.*, avec 49 indicateurs permettant de suivre 13 objectifs différents. En France, il existe de nombreux documents à l'intention des gestionnaires pour les guider lors du suivi des travaux de restauration, on peut par exemple citer «Aide à l'élaboration d'un programme pour le suivi des travaux de restauration de cours d'eau (continuité et hydromorphologie) : Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques » (Grimault *et al.*, 2018), la «Boite à Outils de suivi des zones humides » (Collectif RhoMéO 2014) ou encore le «Guide pour l'élaboration de suivis d'opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau » (Rolan-Meynard *et al.*, 2019). On peut en revanche noter l'absence de protocole commun et normé pour l'ensemble du territoire qui permettrait pourtant des études comparatives sur la réussite des projets.

De plus, on observe un décalage entre la réussite des projets et la perception de réussite des projets par les gestionnaires. Pour apprécier celui-ci, 26 projets de restauration en Allemagne ont été étudiés par Jähnig *et al.* où les gestionnaires concernés ont répondu à un questionnaire sur leur perception de la réussite. Ainsi, pour 80% des répondants, le succès de la restauration est élevé ou très élevé. Les paramètres hydromorphologiques montrent pour la plupart des projets une amélioration. Cependant, d'après les relevés, il y a une amélioration du peuplement de poissons pour 48% des projets et une amélioration du peuplement d'invertébrés benthiques pour 20% des projets. Il n'y a pas de changement chez les poissons pour 40% des projets et chez les invertébrés pour 60% des projets. Il y a même une détérioration du peuplement pour 12% (poissons) et 20% (invertébrés) des projets. Ainsi, les gestionnaires évaluent souvent le succès du projet de manière subjective, et le savent : 40% ont répondu estimer le succès d'après leurs impressions, contre seulement 25% d'après un suivi (Jähnig *et al.*, 2011).

La solution aux problèmes précédents est de bien formuler les objectifs pour chaque aspect de la restauration (abiotique, biotique et socio-culturel), et de choisir des indicateurs adaptés. Il faut garder à l'esprit que les paramètres biologiques doivent être mesurés sur le long terme et contextualisés. Il n'est pas concevable d'espérer des programmes de suivi extensifs pour chaque projet, mais des états des lieux standardisés avant et après travaux pourraient aider à comprendre quelles actions sont les plus efficaces pour atteindre les objectifs visés. Par ailleurs, il est aussi important d'intégrer des paramètres subjectifs comme la perception du paysage, l'accès à la nature ou les risques pour la population. Dans le cas d'un succès ou d'un échec, il est primordial de partager les données et de les rendre publiques afin de faire avancer les connaissances (Jähnig *et al.*, 2011, Bernhardt *et al.*, 2005).

2.2. Diversifier les habitats pour favoriser la biodiversité ?

La dégradation des cours d'eau a entraîné une perte de la biodiversité de ce milieu. Pour enrayer ce phénomène, les projets de restauration de cours d'eau se sont souvent attelés à créer et diversifier les

habitats avec l'apport de blocs ou de gros débris ligneux (large woody debris LWD) (Lepori *et al.*, 2005). En effet, les gestionnaires partent d'un principe bien connu en écologie démontré par Pianka en 1967 : l'hétérogénéité spatiale est le facteur le plus important de la biodiversité. Selon cette notion, les espèces occupent spatialement la mosaïque environnementale en fonction de leurs préférences de micro-habitats et de mode de recherche de nourriture (Pianka 1967). Ainsi, diversifier les habitats devrait favoriser la biodiversité. Nous allons voir ci-après que cette théorie, prouvée sur des populations de lézards, ne semble pas être parfaitement applicable dans le cadre de la restauration de cours d'eau.

Pour estimer la biodiversité, la plupart des projets étudient les poissons car ils sont faciles à inventorier et ont un intérêt piscicole, et les invertébrés car ils représentent les conditions locales du fait de leur faible mobilité et ont un rôle important dans le réseau trophique (Tullos *et al.*, 2006). La majorité du temps, les restaurations ayant pour but de diversifier les habitats parviennent à augmenter l'hétérogénéité de l'habitat (Palmer 2010). Un article étudiant des restaurations de rivières par l'apport de LWD a bien démontré que cela permettait de créer des mouilles en alternance avec des radiers ainsi que des substrats pour les alevins et des cachettes pour la faune (Larson *et al.*, 2001). Cependant, pour les groupes faunistiques étudiés, les résultats sont peu concluants.

Pour les poissons, certaines études ont montré que la restauration permet une augmentation de la biomasse, mais n'a pas d'impact sur la diversité taxonomique (Lepori *et al.*, 2005), d'autres études n'ont pu montrer aucune amélioration (Palmer *et al.*, 2010). Pour les invertébrés, très peu d'études démontrent une amélioration suite à la restauration, seulement 2,5% des projets d'après la publication de Palmer *et al.* de 2010.

Le problème ne semble pas être le succès de la diversification des habitats, mais bien la corrélation entre l'hétérogénéité de l'habitat et la biodiversité : seulement un tiers des études qui ont tenté de corrélérer la biodiversité au niveau d'hétérogénéité du cours d'eau ont trouvé une relation positive (Palmer *et al.*, 2010). Dans leur étude, Lepori *et al.* ne trouvent une corrélation avec l'hétérogénéité de l'habitat pour aucune des composantes de la diversité biologique. Alors que ces mêmes études ont montré que les habitats s'étaient diversifiés suite aux travaux, cela montre bien que l'hétérogénéité de l'habitat n'est pas le facteur principal contrôlant la biodiversité des cours d'eau.

Tout d'abord, il est difficile d'estimer l'amélioration des communautés par méconnaissance de plusieurs facteurs : les variations biologiques liées à la perturbation lors des travaux, le rétablissement limité par le contexte du bassin, la réponse écologique aux changements physiques et le temps de réponse après la restauration (Tullos *et al.*, 2006). Ce dernier facteur est peu étudié chez les invertébrés et dépend de nombreux éléments : la présence de population source proche, les conditions de l'habitat après la perturbation, la présence d'organismes non affectés par la perturbation, la mobilité, la dérive, le transport aérien (plus important que la dérive pour certains invertébrés se dispersant lors du stade adulte (Wallace 1990)), et le temps de génération des espèces (Cairns *et al.*, 1977).

Mais surtout, la qualité biologique des cours d'eau semble être essentiellement dépendante d'autres facteurs que l'habitat. La qualité de l'eau joue un rôle important, notamment pour les espèces dites polluo-sensibles, et elle doit être prise en compte lors de la restauration ou des relevés faunistiques (Barbour *et al.*, 1991). Ensuite, les facteurs influençant le cours d'eau à une plus grande échelle expliquent mieux les composantes de la diversité biologique, notamment pour les invertébrés. Ce sont par exemple l'urbanisation, l'agriculture ou la gestion de la ripisylve à l'échelle du bassin qui sont souvent corrélées à la diversité biologique (Palmer *et al.*, 2010, Larson *et al.*, 2001).

2.3. Restaurer à l'échelle du paysage

Comme vu précédemment, la variabilité de l'habitat et du tronçon prédisent peu la biodiversité d'un cours d'eau : 6% et 16% respectivement, contre 30% pour la ripisylve et 30% pour l'occupation du sol à l'échelle du bassin (Urban *et al.*, 2006). L'occupation du sol a un impact important sur la biodiversité, notamment le taux d'urbanisation et la présence et qualité de la ripisylve.

Il a été démontré que la biodiversité d'un cours d'eau, notamment des invertébrés, diminue lorsque l'urbanisation du bassin augmente : passer de 1 foyer par hectare à 10 foyers par hectare fait baisser de moitié la diversité taxonomique (Morley 2000, Urban *et al.*, 2006). Des pollutions ponctuelles ou diffuses peuvent être liées aux diverses activités urbaines, mais l'impact principal de l'urbanisation est l'imperméabilisation des sols et les recalibrages qui augmentent les écoulements et altèrent donc le régime de la rivière ainsi que la qualité et la quantité de l'eau. De plus, de nombreux invertébrés ne supportent pas des courants trop forts, et les cours d'eau urbains manquent souvent d'abris pour ces espèces lors des crues. Les espaces verts (comme les pelouses ou les parcs) ne fournissent pas ou très peu le service de stockage des eaux, il est donc important de ne pas uniquement limiter l'imperméabilisation mais de protéger les boisements, les zones humides et la ripisylve (Morley 2000). L'urbanisation affecte aussi l'habitat terrestre en le fragmentant, ce qui a un impact sur les espèces qui utilisent le milieu terrestre dans leur phase adulte (Urban *et al.*, 2006, Wallace 1990).

Il a été mis en avant que le maintien ou la restauration de la ripisylve permet d'atténuer les impacts de l'urbanisation, les meilleures variables expliquant le nombre de taxons étant le nombre et la densité de boisement aux abords du cours d'eau (Urban *et al.*, 2006). La ripisylve agit sur de nombreux paramètres du cours d'eau : elle apporte de l'ombre, de la stabilité aux berges, des feuilles et des débris ligneux qui sont des ressources et des habitats. Par ailleurs, elle limite l'érosion due aux pics de débits, les charges importantes de sédiments ou de nutriments ainsi que le piétinement par l'Homme ou le bétail (Morley 2000). La ripisylve a aussi une influence sur le stade adulte des invertébrés aquatiques : elle crée un microclimat à la température moins élevée et retenant l'humidité, qui sont des conditions favorables pour les adultes. Bien que les boisements riverains accueillent des prédateurs (oiseaux, lézards, araignées...), ils offrent aussi aux invertébrés de nombreux abris (Briers *et al.*, 2004). L'efficacité de la ripisylve dépend de sa taille (longueur

et largeur) et du contexte du bassin : en contexte agricole, on constate une amélioration avec une ripisylve relativement courte (<300m). En contexte forestier, la déforestation de quelques patchs de ripisylve entraîne des effets négatifs sur les invertébrés aquatiques (Morley 2000). De manière générale, pour profiter de l'effet microclimatique, la ripisylve doit être suffisamment large, un linéaire ne suffit pas. Il est aussi important de garder à l'esprit qu'une ripisylve continue dans un contexte non forestier peut être néfaste en apportant trop d'ombre (Briers *et al.*, 2004).

Pour conclure, la majorité des processus chimiques, physiques et biologiques étant générés et cantonnés au sein d'un bassin, et ce dernier étant l'échelle de travail la plus logique d'un point de vue social, économique et politique, la gestion et la restauration des cours d'eau à l'échelle des bassins est la méthode la plus efficace. Néanmoins, certains aspects biologiques prennent place au-delà du bassin notamment la dispersion pour les espèces à forte capacité de dispersion (Odonates et Diptères), et les forces évolutives comme les flux de gènes, la dérive génétique ou la sélection naturelle. La fragmentation des habitats par l'Homme crée de nouvelles barrière et participe à l'isolement de certaines populations, il serait donc aussi intéressant de penser les restaurations de cours d'eau à l'échelle bio-régionale (Wishart *et al.*, 2003).

3. Conclusion

3.1. Bilan des points développés

Comme cela vient d'être exposé, la restauration de cours d'eau a encore plusieurs aspects perfectibles. Ainsi, un projet de restauration efficace ne doit pas faire de dégâts sur le long terme, doit être suivi selon des objectifs fixés au préalable, et les résultats doivent être communiqués aux gestionnaires, scientifiques, preneurs de décisions et riverains pour une acceptation du projet. Palmer *et al.* proposent cinq critères pour une restauration efficace : prendre une image de référence pour guide, mesurer une amélioration de l'état écologique, rendre le système plus résilient et auto-suffisant, ne pas causer de dommages sur le long terme et effectuer un suivi avant et après travaux en rendant les données publiques (Palmer *et al.*, 2005). Souvent encore, et dans un but de favoriser la biodiversité, des projets de restauration se concentrent uniquement sur la diversification des habitats du cours d'eau en ajoutant des éléments physiques à l'échelle du tronçon. Cependant, les variables locales du cours d'eau ont peu d'importance lorsque les altérations à l'échelle du bassin engendrent des perturbations aux conséquences plus significatives pour la faune (Urban *et al.*, 2006). Aucun facteur physique, chimique, hydrologique ne peut à lui seul expliquer précisément la qualité biologique d'un cours d'eau. C'est pourtant régulièrement ce qui est fait : des mesures physiques et hydrologiques ponctuelles sont effectuées pour estimer la qualité biologique. Pour finir, afin d'améliorer les techniques de restauration de cours d'eau, il est nécessaire d'étudier précisément les relations entre les indices biologiques, les métriques physiques, chimiques et hydrologiques, et les différents impacts de l'urbanisation ou de l'occupation du sol à l'échelle du paysage et du bassin (Morley 2000).

3.2. Perspectives

Les cours d'eau fournissent de nombreux services écosystémiques qui sont primordiaux pour l'environnement et pour les sociétés humaines qui en dépendent, comme cela a été développé dans l'introduction. En 2014, Palmer *et al.* observent un changement rapide des objectifs et des méthodes des projets de restauration. Ces derniers, après avoir principalement vocation à restaurer vers un état naturel antérieur, aspirent plus récemment à restaurer les services écosystémiques. En effet, le concept de services écosystémiques est très utile pour sensibiliser le public et les politiques sur notre dépendance aux systèmes naturels. Par ailleurs, cibler des services écosystémiques connus est plus pertinent que de cibler un état initial naturel hypothétique ou de vouloir favoriser certains taxons (Palmer *et al.*, 2014). Une fois encore, il est crucial de prendre en compte l'ensemble des services et de ne pas accorder trop d'importance à un seul, car cela pourrait se faire au détriment des autres. Par exemple, trop favoriser la création d'énergie hydroélectrique peut entraîner la diminution des populations de poissons autochtones (Yealet *et al.*, 2016). Pour finir, le rétablissement des services écosystémiques permet le rétablissement de divers processus naturels comme l'érosion, le transport des sédiments, le stockage et le transport de l'eau, les apports de nutriments et d'énergie, la croissance et les successions végétales ou encore le cycle des nutriments dans le réseau trophique. La restauration des processus s'oppose aux restaurations plus classiques qui créent des éléments pour concevoir des habitats considérés comme bons : alternance de mouilles et de radiers, blocs, zones de fraye, méandres. Ces actions ne sont pas toujours en accord avec le contexte du site, sa topographie ou son hydrologie, ce qui explique leur succès mitigé. De plus, La restauration des processus naturels permet aussi au système de répondre aux perturbations futures via des ajustements physiques et biologiques, permettant à l'écosystème d'évoluer et de s'adapter, comme par exemple face aux altérations d'origine anthropique ou au changement climatique (Beechie *et al.*, 2010).

Les impacts humains sur les écosystèmes aquatiques sont maintenant relativement bien connus et suivent parfois une séquence prédictible. La surexploitation des ressources, notamment piscicoles, est souvent la première incidence, engendrant rapidement un déclin des populations de poissons. Ces changements sont fréquemment suivis par une augmentation de la pollution et des espèces invasives et de la destruction des habitats, comme vu précédemment. Ces différents stress inhibent la restauration des ressources halieutiques dégradées, au point que même en l'absence de prélèvement la plupart des populations de poissons ne retrouveront pas leur abondance initiale. Certains impacts sont en revanche moins bien connus, notamment ceux résultants du changement climatique, qui restent pour la plupart théoriques. Les projections sur le long terme suggèrent des effets conséquents sur les cours d'eau d'ici quelques décennies. Comme les températures et les précipitations affectent les cours d'eau et leurs compartiments (chimique, physique et biologique) ainsi que le cycle des nutriments, la dégradation des toxines et les niches des organismes, l'influence future du changement climatique pourrait impacter tous les aspects des cours d'eau (Carpenter *et al.*, 2011). Ainsi, il est nécessaire d'étudier et d'essayer de prédire ces impacts afin de prévoir la restauration des cours d'eau de demain.

Références

Bibliographie

- Barbour MT, Stribling JB. Use of habitat assessment in evaluating the biological integrity of stream communities. In : Proceedings of symposium : Biological criteria : Research and regulation. United States Environmental Protection Agency, Office of Water. 1991 ; 25-38.
- Beechie TJ, Sear DA, Olden JD, Pess GR, Buffington JM, Moir H, Roni P, Pollock MM. Process-based Principles for Restoring River Ecosystems. Bioscience. 2010 ; 60(3) : 209-222.
- Bernhardt ES, Palmer MA, Allan JD, Alexander G, Barnas K, Brooks S, et al. Synthesizing U.S. River Restoration Efforts. Science. 2005 ; 308(5722) : 636-637.
- Briers RA, Gee JHR. Riparian forestry management and adult stream insects. Hydrol Earth Syst Sci. 2004 ; 8(3) : 545-549.
- Cairns J, Dickson KL. Recovery of streams from spills of hazardous materials. In : Cairns J, Dickson KL Herricks EE, editors. Recovery and restoration of damaged ecosystems. Charlottesville : University of Virginia Press ; 1977 : 24-42.
- Carpenter SR, Stanley EH, Vander Zanden MJ. State of the World's Freshwater Ecosystems: Physical, Chemical, and Biological Changes. Annu. Rev. Environ. Resour. 2011 ; 36 : 75–99.
- Collectif RhoMéO. La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée. Conservatoire d'espaces naturels de Savoie. 2014 ; 254 p.
- Grimault L, Hubert A, Le Bihan M, May C, Mevel A, Pecheux N et al. Aide à l'élaboration d'un programme pour le suivi des travaux de restauration de cours d'eau (continuité et hydromorphologie) : Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques. Rapport de l'Agence Française pour la Biodiversité, Direction Interrégionale Bretagne, Pays de la Loire. Version provisoire, août 2018 ; 47 p.
- Jähnig SC, Loren AW, Hering D, Antons C, Sundermann A, Jedicke E, et al. River restoration success: a question of perception. Ecol Appl. 2011 ; 21(6) : 2007-2015.
- Karr JR, Chu EW. Sustaining living rivers. Hydrobiologia. 2000 ; 422/423 : 1-14.
- Larson MG, Booth DB, Morley SA. Effectiveness of large woody debris in stream rehabilitation projects in urban basins. Ecol Eng. 2001 ; 18 : 211-226.
- Lepori F, Palm D, Brännäs E, Malmqvist B. Does restoration of structural heterogeneity in streams enhance fish and macroinvertebrate diversity ? Ecol Appl. 2005 ; 15(6) : 2060-2071.
- Malmqvist B, Rundle S. Threats to the running water ecosystems of the world. Environ Conserv. 2002 ; 29(2) : 134-153.
- Morley SA. Effects of urbanization on the biological integrity of Puget Sound lowland streams: Restoration with a biological focus. Thèse de Master de Science. University of Washington. 2000 ; 70 p [disponible en ligne] http://cbr.washington.edu/salmonweb/pubs/morley_ms.pdf
- Palmer MA, Bernhardt ES, Allan JD, Lake PS, Alexander G, Brooks S, et al. Standards for ecologically successful river restoration. J Appl Ecol. 2005 ; 42 : 208-217.
- Palmer MA, Filoso S, Fanelli RM. From ecosystems to ecosystem services: Stream restoration as ecological engineering. Ecol Eng. 2014 ; 65 : 62-70.
- Palmer MA, Menninger HL, Bernhardt E. River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? Freshw Biol. 2010 ; 55(Suppl. 1) : 205-222.
- Paul MJ, Meyer JL. Streams in the urban landscape. Annu Rev Ecol Syst. 2001 ; 32 : 333-365.
- Pianka ER. On lizards species diversity: North American flatland deserts. Ecology. 1967 ; 48(3) : 333-351.
- Rolan-Meynard M, Vivier A, Reyjol Y, Boutet-Berry L, Bouchard J, Mangeot P et al. Guide pour l'élaboration de suivis d'opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau. Agence française pour la biodiversité. Collection Guides et protocoles. 2019 ; 190 p.
- Roni P, Hanson K, Beechie T. Global Review of the Physical and Biological Effectiveness of Stream Habitat Rehabilitation Techniques. N Am J Fish Manag. 2008 ; 28 : 856-890.
- Strahler AN. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Tans. Am. Geophys. Union. 1957 ; 38 : 913-920.

- Tullos DD, Penrose DL, Jenning GD. Development and application of a bioindicator for benthic habitat enhancement in the North Carolina Piedmont. *Ecol Eng.* 2006; 27 : 228-241.
- Urban MC, Skelly DK, Burchsted D, Price W, Lowry S. Stream communities across a rural–urban landscape gradient. *Diversity Distrib.* 2006 ; 12 : 337-350.
- Walker KF. A review of the ecological effects of river regulation in Australia. *Hydrobiologia.* 1985 ; 125 : 111-129.
- Wallace JB. Recovery of Lotic Macroinvertebrate Communities from Disturbance. *Environ Manage.* 1990 ; 14(5) : 605-620.
- Wishart MJ, Davies BR. Beyond catchment considerations in the conservation of lotic biodiversity. *Aquatic Conserv.* 2003 ; 13 : 429-437.
- Woolsey S, Capelli F, Gonser T, Hoehn E, Hostmann M, Junker B, et al. A strategy to assess river restoration success. *Freshw Biol.* 2007 ; 52 : 752-769.
- Yeakley A, Ervin DE, Chang H, Granek EF, Dujon V, Shandas V, Brown D. Ecosystem Services of Streams and Rivers. In : Gilvear DJ, Greenwood MT, Thoms MC, Wood PJ, editors. *River Science: Research and Management for the 21st Century.* John Wiley & Sons ; 2016 : chapter 17, 335-352.

Sitographie

- American Rivers [en ligne]. [Mis à jour en 2019, consulté le 27/07/2020]. Disponible : <https://www.americanrivers.org/rivers/discover-your-river/the-importance-of-the-cwa-to-protecting-your-rivers-clean-water/>
- Article L215-7-1 du Code de l'environnement [en ligne]. [Consulté le 24/07/2020]. Crée par LOI n°2016-1087 du 8 août 2016 - art. 118. Disponible sur Legifrance <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000033029680&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20160810>
- Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau [en ligne]. [Consulté le 24/07/2020]. Disponible sur Legifrance <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000173995>
- Ministère de la transition écologique [en ligne]. [Mis à jour le 08/04/2019, consulté le 27/07/2020]. Disponible : <https://www.ecologique-solaire.gouv.fr/gestion-leau-en-france>
- United States Environmental Protection Agency [en ligne]. [Mis à jour le 11/03/2019, consulté le 27/07/2020]. Disponible : <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>
- Zones-Humides [en ligne]. [Mis à jour le 22/09/2020, consulté le 21/07/2020]. Disponible : <http://www.zones-humides.org>

Présentation de la structure

En 2014, les compétences des collectivités territoriales sont clarifiées avec la mise en vigueur de la loi de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles (Loi n° 2014-58). Celle-ci attribue et rend obligatoire aux collectivités la compétence de gestion des milieux aquatiques et la prévention des risques d'inondation (GEMAPI).

Le Syndicat mixte des Basses Vallées Angevines et de la Romme (SMBVAR) a été créé en avril 2018 pour assurer la préservation et la restauration du bon état écologique des cours d'eau et des milieux aquatiques non domaniaux, ainsi que la prévention des inondations sur le périmètre du bassin de la Maine, des confluences des Basses Vallées Angevines, de celui de la Romme, du Brionneau et du Boulet. Le SMBVAR est constitué entre les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) suivants (Annexe 1a) :

- la communauté urbaine Angers Loire Métropole ;
- la communauté de communes Loire Layon Aubance ;
- la communauté de communes Vallées du Haut-Anjou ;
- la communauté de communes Anjou Loir et Sarthe.

Le syndicat assure sur son périmètre d'action :

- la réalisation, l'entretien et la gestion des aménagements visant à préserver, réguler ou restaurer les caractères hydrologiques ou géomorphologiques des cours d'eau non domaniaux ;
- l'entretien et l'aménagement des cours d'eau non domaniaux, canaux, lacs ou plans d'eau et de leurs accès, ainsi que la protection et la restauration des sites, des écosystèmes aquatiques et des zones humides et des formations boisées riveraines ;
- l'animation et la concertation en matière de gestion des cours d'eau et de prévention des inondations. Il participe à cette fin à tous dispositifs réglementaires ou contractuels.
- le cas échéant, par délégation ou convention, la réalisation d'étude et travaux visant la prévention et la défense contre les inondations.

Pour ce faire, le SMBVAR réalise des actions visant l'atteinte des objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et de la Directive Inondation (DI) en lien étroit notamment avec les acteurs de l'aménagement du territoire, de l'eau potable et de l'assainissement ainsi que de la biodiversité (Directives Habitats et oiseaux). Dans le cadre de la DCE, le SMBVAR va porter des opérations de restauration des milieux aquatiques (études, travaux, amélioration de la connaissance) par le biais de programmes pluriannuels et assurer des missions de conseil. Le périmètre du SMBVAR s'étend sur cinq grandes entités hydrographiques et 28 masses d'eau, représentant un territoire d'environ 1500 km² (Annexe 1b) :

- Le bassin du Loir
- Le bassin de la Sarthe
- Le bassin de la Mayenne
- Le bassin de la Maine en aval des confluences Mayenne/Sarthe/Loir
- Le bassin de la Romme

Le territoire d'action du SMBVAR se situe sur un périmètre marqué par la confluence de nombreux grands cours d'eau : Sarthe et Loir, puis Sarthe et Mayenne, puis Maine et Loire.

Rapport analytique

États initiaux de suivis de restauration de cours d'eau : protocoles et résultats

Dans le cadre du Contrat Territorial Eaux des Basses Vallées Angevines et Bassin de la Romme

1. Introduction

1.1. Contexte environnemental

1.1.1. Le bassin de la Loire

Le SMBVAR est englobé dans le bassin de la Loire (Figure 2). Les 1006 km de cette dernière en font le plus long fleuve français, traversant quatre régions, qui sont, d'amont en aval : l'Auvergne-Rhône-Alpes, la Bourgogne-Franche-Comté, le Centre-Val-de-Loire et les Pays de la Loire. Les principaux affluents de la Loire sont l'Allier, le Loiret, le Cher, l'Indre et la Vienne en rive gauche et la Nièvre, la Maine et l'Erdre en rive droite (Sandre). Ce fleuve est caractérisé par son régime hydrologique très irrégulier : on observe des crues hivernales et printanières importantes dues à la fonte des glaces du Massif Central, mais aussi des étés secs



Figure 2 : Bassin de la Loire, source : Agence de l'eau Loire Bretagne.

permettant la formation d'îlots sableux. Cette hydrologie favorise une biodiversité riche : notamment pour l'avifaune nichant sur les îlots ou dans les prairies inondables.

Il existe quatre stations de suivi hydrologique des cours d'eau sur le territoire.

Une station est présente sur la Maine à Angers depuis 2014 et les récentes mesures ne permettent pas aujourd'hui de définir un régime hydrologique. Le Brionneau est suivi par une station à Avrillé depuis 25 ans, les données déterminent un débit moyen de 0,43 m³/s. La Mayenne présente une station sur le territoire à Chambellay recueillant des données depuis plus de 50 ans, les données déterminent un débit moyen de 39,10 m³/s. Le Loir est mesuré à Durtal pour sa partie aval et présente également un historique de mesure conséquent, son débit moyen est de 31,8 m³/s. La Sarthe présente une station à l'amont du territoire, en Mayenne. Les données mesurées sur 48 ans estiment un débit moyen de 47,3 m³/s (SMBVAR 2019a).

Le bassin de la Romme ne dispose d'aucune donnée, une estimation du régime hydrologique du bassin versant a été faite à partir de la station hydrologique de l'Erdre à Candé suivie depuis 1968. Le débit moyen de la Romme et de la Loge serait estimé à 1,47 m³/s (SMBVAR 2019a).

1.1.2. Climat du territoire

Les données de la station météorologique d'Angers-Beaucouzé sont celles utilisées pour le territoire. La vallée de la Loire permet l'entrée de flux océaniques, ce qui se traduit par un adoucissement des hivers comme des étés, avec des écarts thermiques relativement faibles. Angers et ses environs sont dans une zone où les précipitations ne sont pas très importantes par rapport à la moyenne en France : 700mm de pluie par an en moyenne entre 2000 et 2020 (Figure 3) contre 800mm en moyenne dans le pays. Concernant les températures, la moyenne annuelle est de 11,9°C entre 2000 et 2020 (Figure 4) (13,2°C pour la France). On observe un réchauffement des températures ces 30 dernières années, avec notamment une hausse des températures minimales et une diminution des jours de gels (SMBVAR 2019a, Infoclimat).

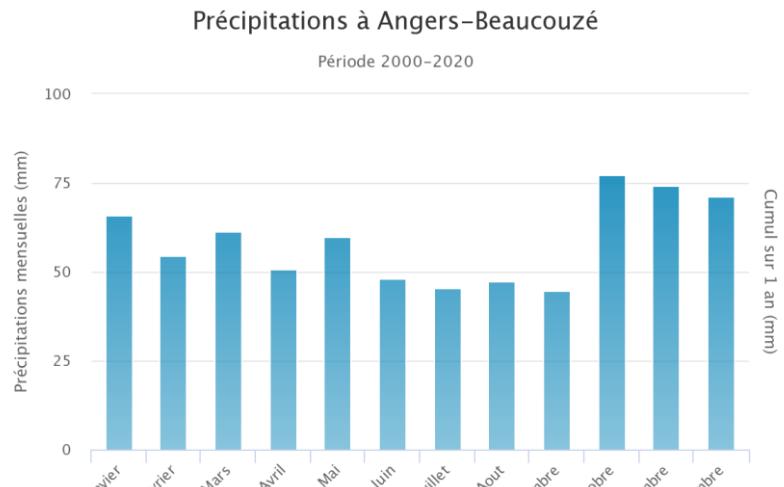


Figure 3 : Moyenne des précipitations annuelles de la station Angers-Beaucouzé, source : Infoclimat.

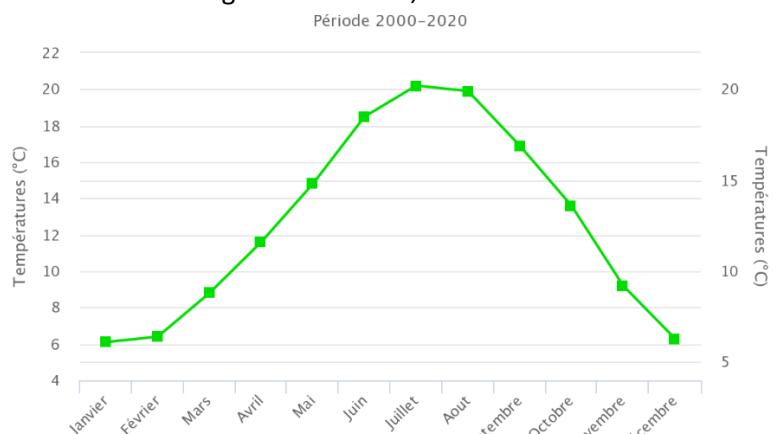


Figure 4 : Moyenne des températures annuelles de la station Angers-Beaucouzé, source : Infoclimat.

1.1.3. Contexte géologique et hydrogéologique

Le SMBVAR, en plus d'être situé dans une zone de confluence hydrographique, est également sur la confluence géologique entre le Massif armoricain et le Bassin parisien (Figure 5).

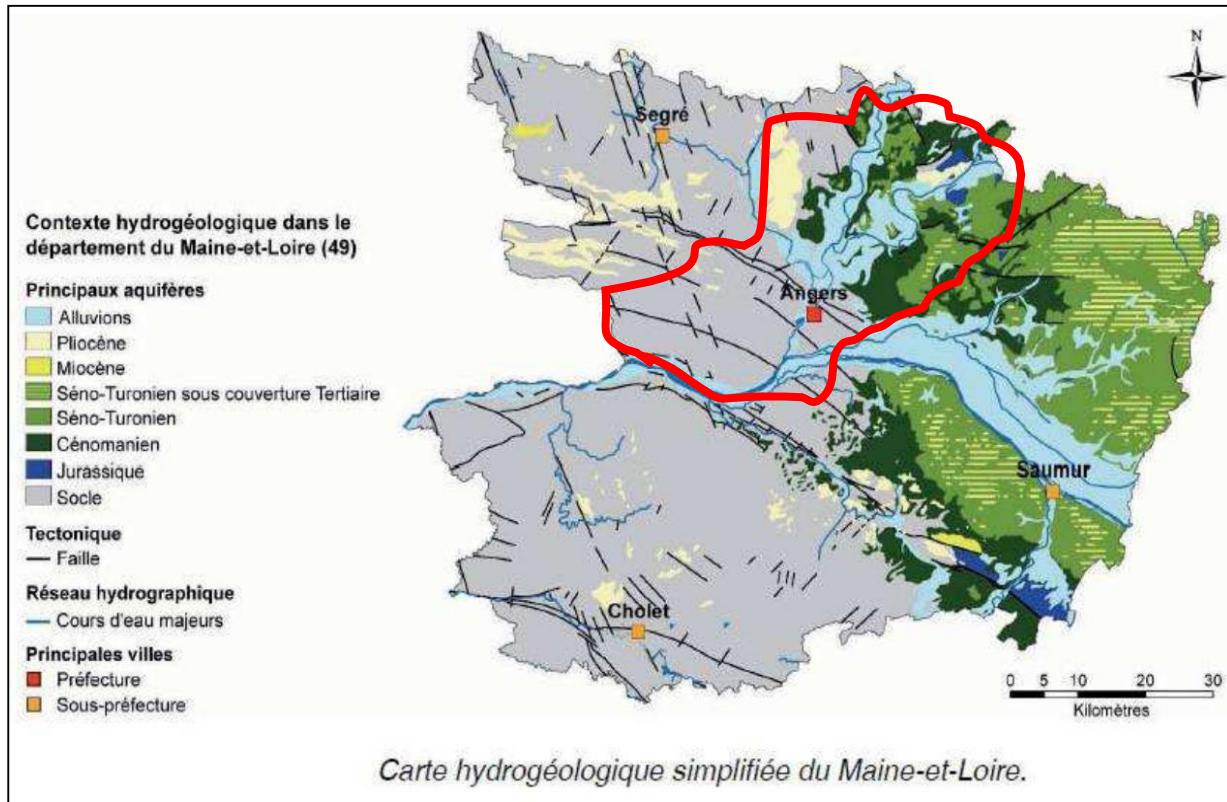


Figure 5 : Hydrogéologie simplifiée du Maine-et-Loire, le territoire du SMBVAR apparaît en rouge, source : Observatoire de l'eau de Maine-et-Loire.

Les bassins de la Romme, de la Maine et de la Mayenne se situent sur les terrains du Massif armoricain qui contiennent des aquifères fissuraux dits de socle avec des ressources en eau limitées. Sous l'effet des pluies efficaces et des écoulements souterrains vers les cours d'eau, le niveau des nappes est en constante évolution. On y constate de fortes variations saisonnières avec un cycle alternant recharge hivernale et vidange estivale.

D'autre part, on retrouve sur la Sarthe et le Loir les alluvions de la Loire, constituées de sable et gravier souvent de bonne perméabilité qui favorisent le stockage des eaux souterraines et dont le fonctionnement est dépendant du régime de la Loire. La Sarthe et le Loir peuvent en effet subir le refoulement des eaux de la Loire via la Maine.

La partie Est du territoire appartient au Bassin parisien, composé de sables du Cénomanien qui sont d'excellents aquifères. La nappe est alimentée d'une part par les pluies efficaces et les cours d'eau au niveau des affleurements et, d'autre part, par drainance, c'est-à-dire verticalement à travers des aquifères sous-jacents (Calcaires du Jurassique) ou sus-jacents (Craie du Séno-Turonien). La productivité de l'aquifère, généralement bonne, dépend de l'épaisseur des sables et de leur teneur en argile dans les zones

d'affleurement. Cette partie Est est sujette à des variations de nappes et de débits moins importants que la partie Ouest située sur le Massif armoricain (SMBVAR 2019a).

1.1.4. Occupation du sol

Concernant l'occupation du sol, celle-ci est relativement homogène sur le périmètre du SMBVAR (Figure 6). Elle est dominée par des cultures et des pâtures, avec plus ponctuellement du maraîchage. Les boisements, essentiellement sur la partie Est, sont peu nombreux. On observe au centre du territoire le secteur très urbanisé d'Angers et de son agglomération. Tous les cours d'eau du périmètre du SMBVAR relèvent du domaine privé excepté la Mayenne, la Sarthe, le Loir et la Maine relevant du domaine public fluvial (SMBVAR 2019a).

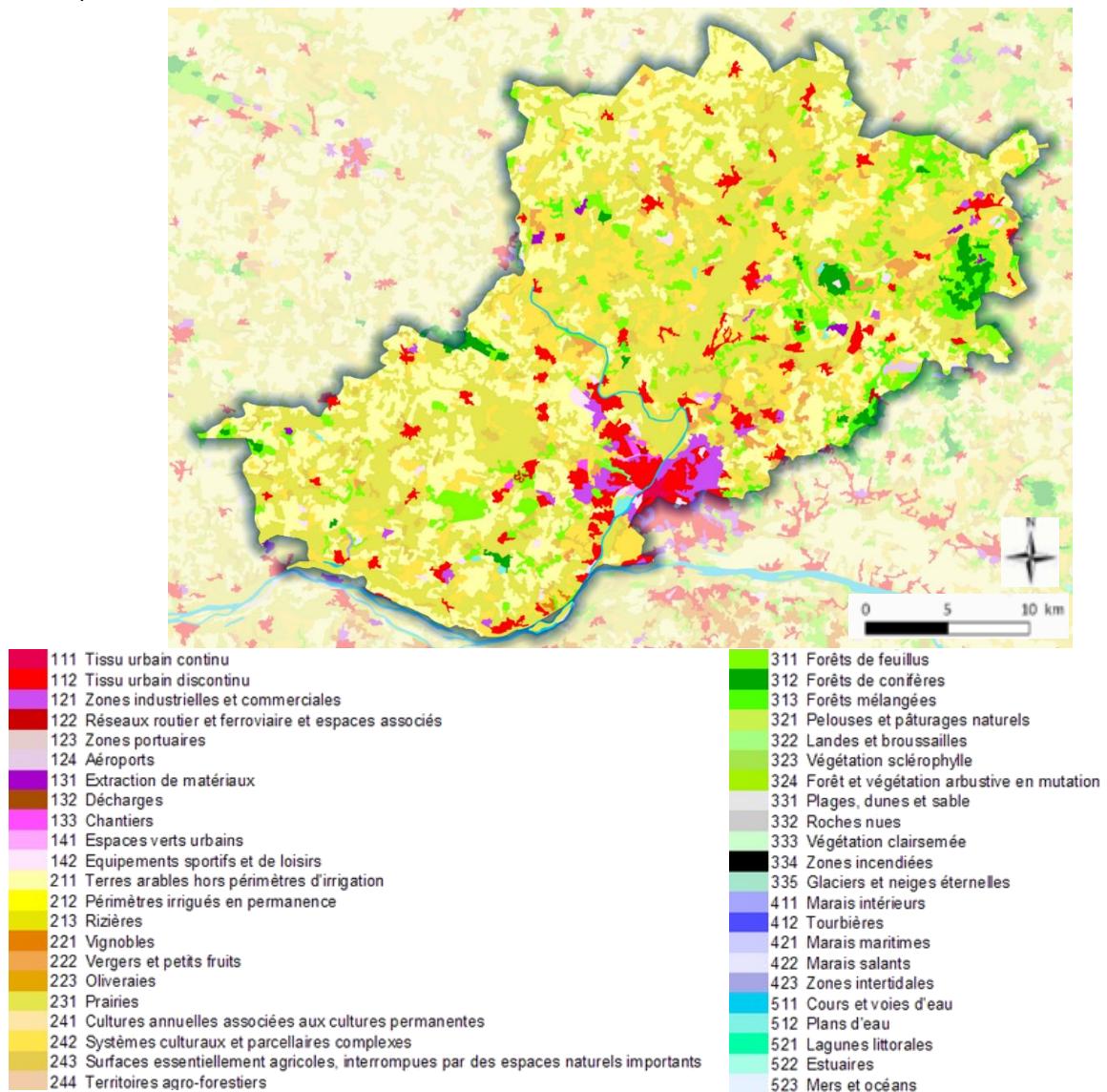


Figure 6 : Occupation du sol sur le territoire du SMBVAR en 2012, source : SMBVAR.

1.1.5. Milieux naturels et aquatiques

Divers outils permettent de protéger ou d'identifier les milieux naturels et les espèces patrimoniales. Nombre d'entre eux sont compris dans le périmètre du SMBVAR.

L'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) a pour objectif d'identifier et de décrire des secteurs présentant de fortes capacités biologiques et un bon état de conservation. On distingue 2 types de ZNIEFF :

- Les ZNIEFF de type I : secteurs de grand intérêt biologique ou écologique : 24 dans le SMBVAR.
- Les ZNIEFF de type II : grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes : 15 dans le SMBVAR.

Les Espaces Naturels Sensibles (ENS) ont pour objectif de préserver la qualité des sites, des paysages, des milieux naturels et des champs d'expansion des crues et d'assurer la sauvegarde des habitats naturels. Ces espaces sont aménagés pour être ouverts au public, sauf exception justifiée par la fragilité du milieu naturel.

Le SMBVAR en dénombre 13 sur son territoire.

Deux sites Natura 2000 existent sur le SMBVAR (Figure 7). Le réseau Natura 2000 a pour objectif de préserver la diversité biologique en Europe en assurant la protection d'habitats naturels exceptionnels en tant que tels ou en ce qu'ils sont nécessaires à la conservation d'espèces animales ou végétales. Les habitats et espèces concernés sont mentionnés dans les directives européennes « Oiseaux » et « Habitats ».

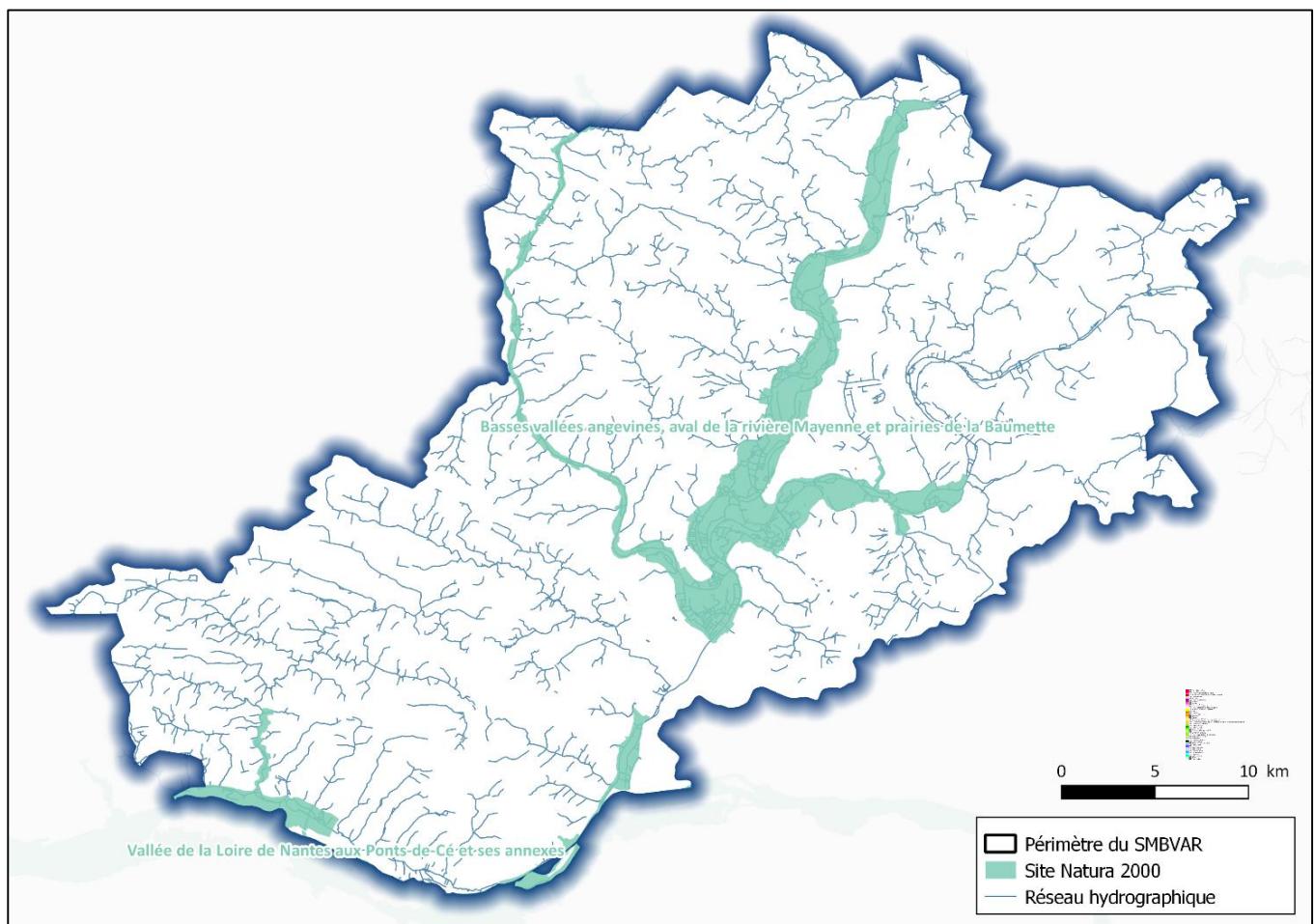


Figure 7 : Sites Natura 2000 sur le périmètre du SMBVAR, source : SMBVAR.

La Vallée de la Loire de Nantes aux Ponts-de-Cé et ses annexes présentent un grand nombre d'habitats inscrits à l'annexe I de la directive Habitats et d'espèces inscrites à l'annexe II. Le site a été intégré dans la liste européenne des sites d'importances communautaires (SIC) du domaine atlantique en 2004 et désigné

en zone spéciale de conservation (ZSC) en 2015. Les Basses Vallées Angevines sont inscrites au réseau Natura 2000 depuis novembre 2004 pour ces milieux aquatiques, boisés et prairiaux.

Les sites RAMSAR sont les zones humides d'importance internationale. Sur ces sites, l'État s'engage à maintenir les caractéristiques écologiques des sites, à mettre en œuvre une gestion et des aménagements appropriés pour garantir l'intérêt biologique et la bonne conservation des milieux, voire leur restauration si nécessaire. Les « Basses Vallées Angevines, marais de basse Maine et de Saint-Aubin » sont l'un des 33 sites désignés RAMSAR en France en métropole (SMBVAR 2019a).

Le territoire du Syndicat mixte des Basses Vallées Angevines présente plus de 1 550 km de cours d'eau. La qualité des eaux de surface est suivie par le réseau de contrôles opérationnels (RCO), mis en place sur toutes les masses d'eau identifiées comme risquant de ne pas atteindre les objectifs environnementaux de la DCE (Directive cadre sur l'eau).

L'état écologique des cours d'eau du territoire du SMBVAR est bon à mauvais avec un risque de non atteinte des objectifs de la DCE pour toutes les masses d'eau. Les principaux paramètres déclassant sont la morphologie et l'hydrologie, conséquences d'une importante modification des cours d'eau au cours des années 70 à 90 sur l'ensemble du territoire. La carte ci-après présente l'état écologique des masses d'eau de surface en 2017(Figure 8) (SMBVAR 2019a).

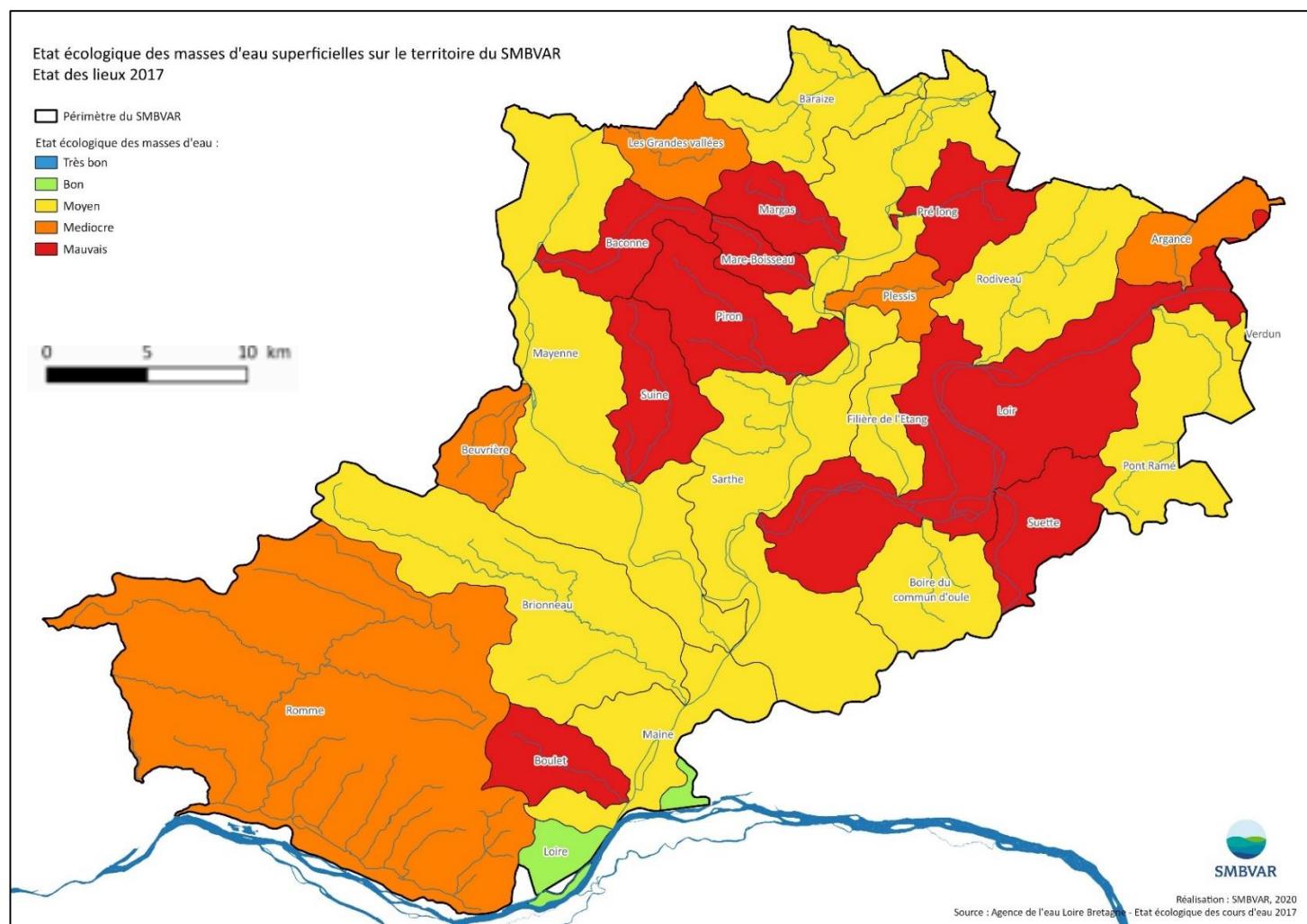


Figure 8 : État écologique des eaux de surfaces en 2017, source : Agence de l'eau Loire Bretagne, SMBVAR

1.2. Le contrat territorial eau

Prenant le relais des intercommunalités en 2018, le SMBVAR et d'autres acteurs (notamment le conseil départemental du Maine-et-Loire CD49), étaient porteurs d'un contrat territorial milieux aquatique (CTMA) sur les Basses Vallées Angevines qui s'étendait de 2014 à 2019. Le but était d'améliorer la qualité et le fonctionnement des cours d'eau et des zones humides dans l'intérêt des différents usages dans le territoire emblématique des Basses Vallées Angevines.

Dorénavant, le territoire des Basses Vallées Angevines et du bassin de la Romme fait l'objet d'une nouvelle stratégie : le contrat territorial eau des Basses Vallées Angevines et de la Romme (CT Eau BVAR). Ce dernier, en lien avec les études initiales sur 6 bassins versants prioritaires (Romme, Plessis, Piron, Baonne, Suine, Snette), couvrira la période 2021-2026, avec un bilan de mi-parcours en 2023. La volonté est de répondre aux enjeux du territoire consignés dans les SAGE (Schéma d'aménagement et de gestion des eaux) Mayenne, Sarthe aval et Loir. Les enjeux principaux sont :

- La qualité de l'eau,
- Les milieux aquatiques, les milieux humides et la biodiversité,
- La mobilisation de l'ensemble des acteurs.

Sur ces 6 masses d'eau, différents travaux sont prévus pour restaurer les milieux aquatiques et visent principalement :

- la restauration des connexions latérales entre le lit mineur et le lit majeur (ex : reméandrage) ;
- la restauration des écoulements et du lit mineur (ex : diversification des habitats) ;
- la restauration des fonctions rivulaires (ex : ripisylve, zones humides) ;
- la restauration de la continuité écologique et sédimentaire.

Les différents maîtres d'ouvrage du CT Eau sont les suivants : le CD 49, le SMBVAR, la Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique. L'appel à projet étant encore en cours, d'autres acteurs s'ajouteront peut-être.

C'est dans le cadre de ce CT Eau que ce stage a été réalisé au sein du SMBVAR. Plusieurs missions ont été effectuées durant ce stage, au préalable des travaux du SMBVAR pour le CT Eau, le but étant de réaliser des états initiaux avant les interventions.

Les deux principaux volets sont les suivants :

- La recherche d'espèces protégées sur les sites de travaux, afin de prendre des mesures d'évitement.
- La construction et l'application de protocoles de suivis hydromorphologiques et biologiques dans le but d'établir un état initial afin de pouvoir évaluer l'efficacité des restaurations en réappliquant ces protocoles a posteriori des interventions.

Ces missions ont été réalisées sur les sites pour lesquels les travaux sont prévus la première année du contrat, les autres sites seront suivis par de futurs stagiaires.

Le présent rapport développe et discute la recherche d'espèces protégées et les suivis biologiques préalables aux travaux de restauration.

2. Matériel et méthode

2.1. Sites étudiés

Les différents sites étudiés sont répartis sur 3 bassins : Romme, Suette et Plessis (Annexe 2). Sur la Romme, ce sont 12 ouvrages, une zone humide et 2 linéaires de cours d'eau qui sont concernés (Figure 9).

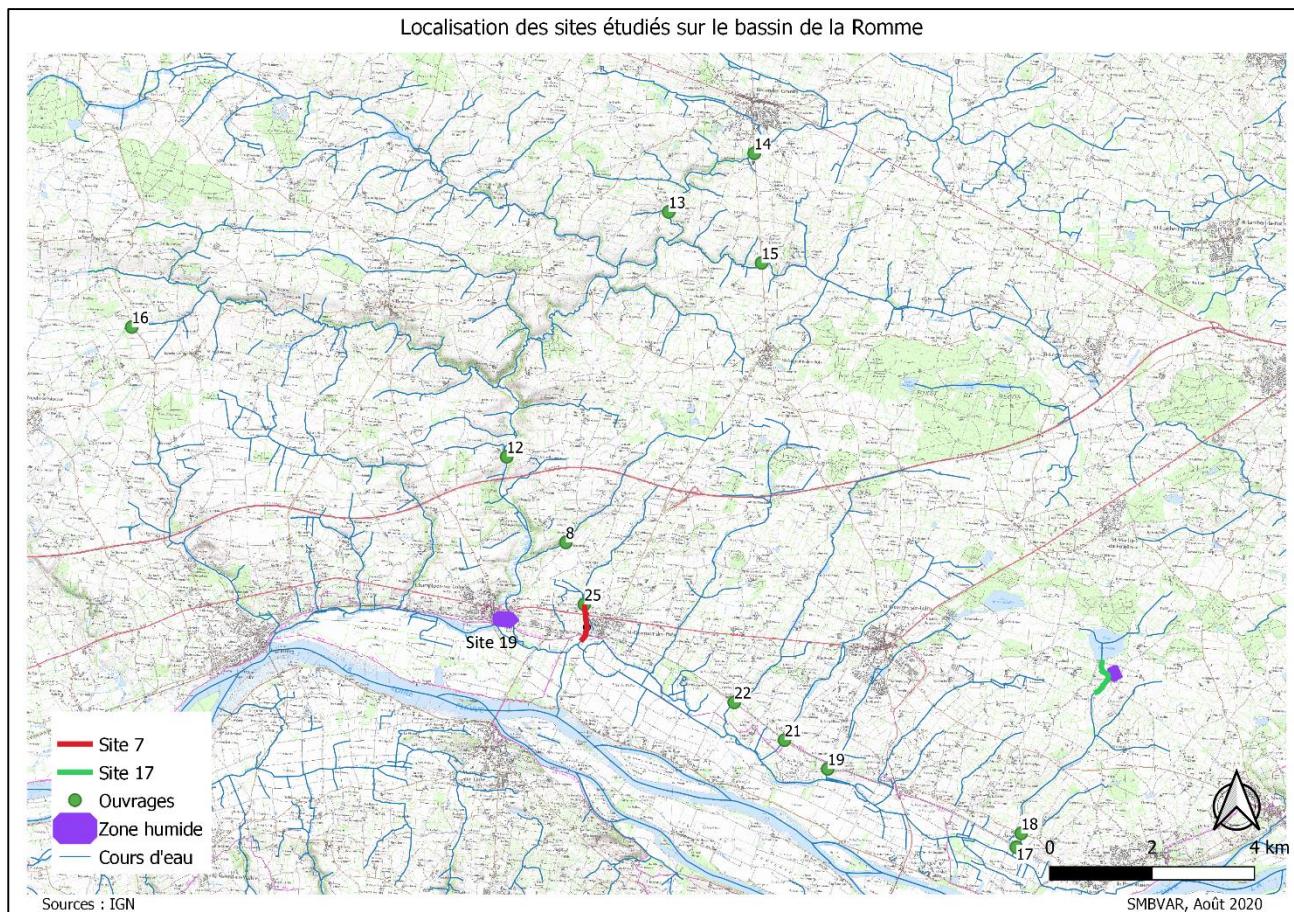


Figure 9 : Localisation des sites du bassin de la Romme, source SMBVAR.

Pour les ouvrages, il est prévu de faire de la recharge granulométrique. Cela consiste à rétablir la continuité sur les ouvrages, principalement les seuils de pont ou les buses mal calées permettant le franchissement d'une route. En apportant des matériaux dans le lit (blocs, cailloux, graviers), la chute provoquant l'obstacle à la continuité est ennoyée ; la ligne d'eau est alors rehaussée par l'aménagement d'une succession de seuils étagéant les profondeurs, sorte d'escalier permettant de franchir l'obstacle. La recharge granulométrique permet aussi de resserrer les écoulements au sein de l'ouvrage afin de permettre un tirant d'eau suffisant à la circulation piscicole et sédimentaire une majeure partie de l'année (SMBVAR 2019b). L'ouvrage 8 sera pour sa part remplacé par un pont cadre, permettant de traverser le cours d'eau sans créer de seuil ou de surface lisse, assurant ainsi la continuité piscicole et sédimentaire.

Concernant la zone humide du site 19, il est prévu un reprofilage du plan d'eau à une cote permettant une inondabilité entre février et début mai puis un assec pendant la période estivale afin de retrouver un rôle de frayère sur cet espace.

Le cours d'eau du site 7 sera remis dans le talweg (point bas donc lit naturel) sur 370 m, et une zone humide sera créée en rive droite. Quant au site 17, Il est prévu une reconstitution du matelas alluvial sur 500 m pour diversifier les habitats et favoriser le débordement du cours d'eau et la reconnexion aux zones humides.

Le bassin de la Snette comporte un site linéaire de près de 1700 mètres sur le ruisseau de Marcé avec plusieurs travaux envisagés (Figure 10).

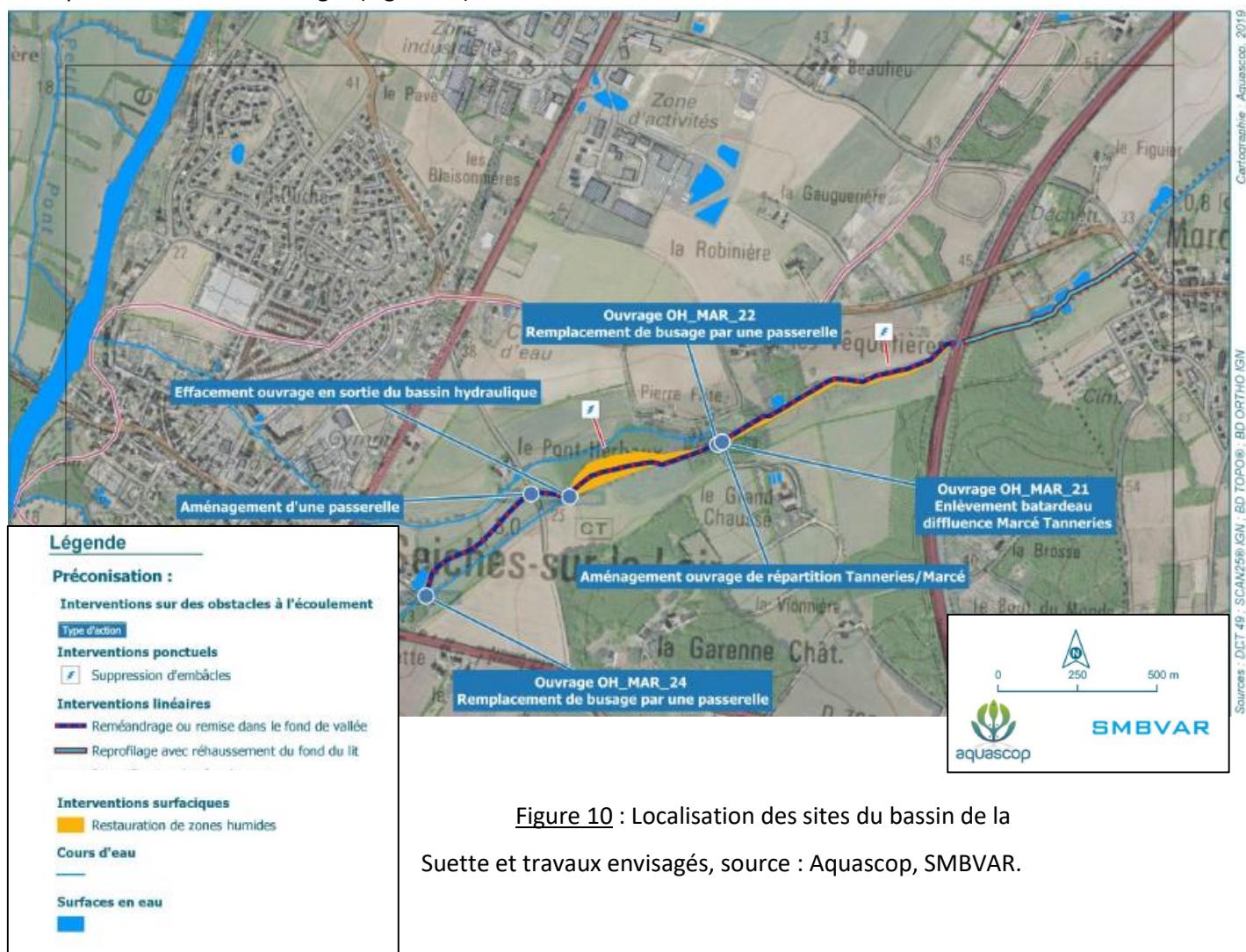


Figure 10 : Localisation des sites du bassin de la Snette et travaux envisagés, source : Aquascop, SMBVAR.

Sur le ruisseau de Marcé, il est prévu de remettre la rivière dans le talweg ou un reméandrage et, pour la partie amont, un reprofilage des berges et un rehaussement du fond du lit actuel. Cette dernière action vise la reconnexion du cours d'eau avec sa nappe d'accompagnement et la diversification des écoulements et des habitats. L'action consiste à apporter dans le lit mineur du cours d'eau un mélange de graviers et de cailloux plus ou moins grossiers suivant le gabarit du cours d'eau. Les matériaux sont déposés sur une épaisseur variable afin d'alterner zones de fosse et zones de radier diversifiant ainsi les écoulements et les habitats. Les épaisseurs sont variables longitudinalement mais aussi transversalement pour recréer une sinuosité

(SMBVAR 2019b). Il est aussi prévu de restaurer une zone humide, notamment sur une surface correspondant à un bassin de rétention où se développent une roselière et une saulaie.

Sur le bassin du Plessis, un linéaire de 450 mètres du ruisseau du Plessis est concerné (Figure 11).

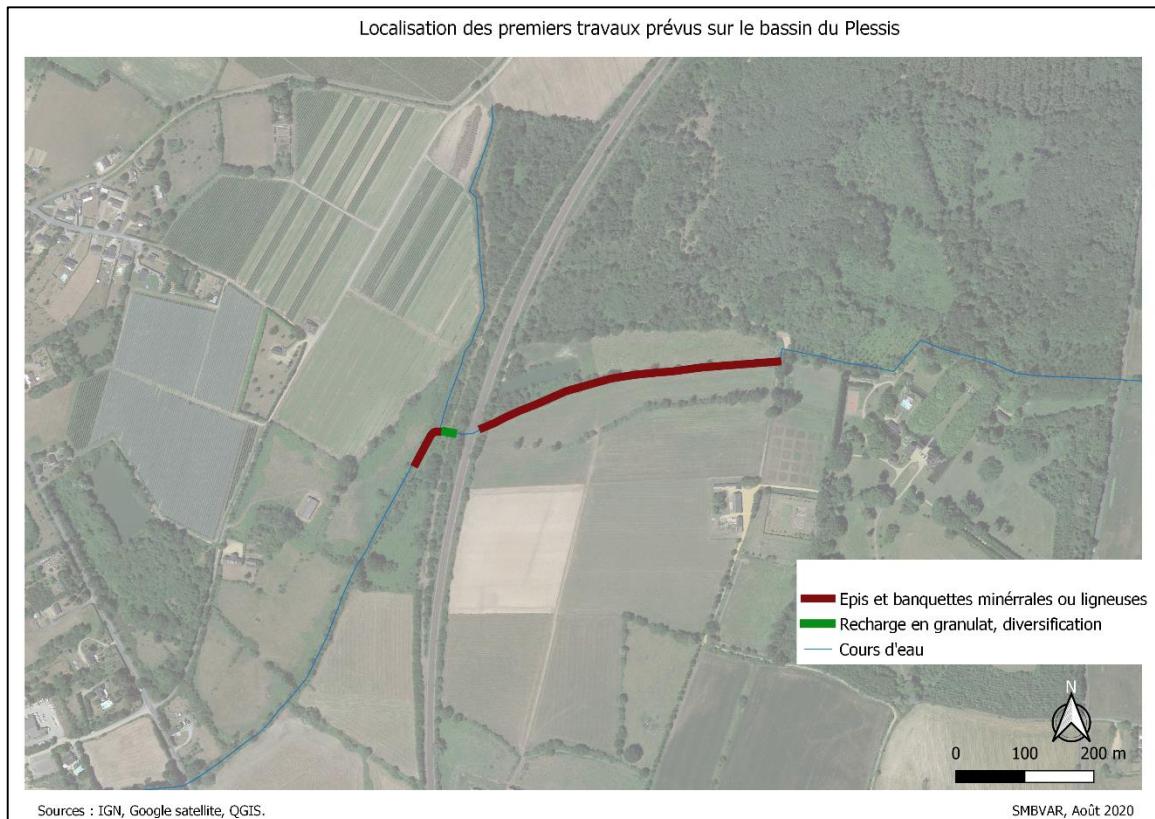


Figure 11 : Site étudié sur le bassin du Plessis et travaux envisagés.

Pour ce site, il est prévu la création d'épis et de banquettes, ainsi que de la recharge en granulat. Ces deux actions, consistant à recharger le fond du lit, permettent de retrouver un substrat grossier par l'élimination du colmatage et de redynamiser le transport sédimentaire afin de retrouver une alternance naturelle de fosses et de radiers. Les écoulements et les habitats seront ainsi diversifiés et l'oxygénation sera aussi améliorée.

2.2. Protocole de recherche d'espèces protégées

Pour chaque site, il est nécessaire de rechercher la présence d'espèces protégées avant la mise en œuvre des travaux de restauration de cours d'eau, afin d'ensuite adapter les interventions pour limiter l'impact sur les espèces. Ces dernières sont recherchées dans les secteurs concernés par les travaux d'aménagement et par la circulation des engins (accès). L'objectif de cet inventaire qualitatif est de détecter la présence d'espèces protégées. Les espèces sont ciblées au préalable en fonction des secteurs grâce à la bibliographie et aux bases de données. Il existe ainsi une liste d'espèces à rechercher pour chaque bassin d'après les données des espèces protégées présentes sur les communes concernées par les restaurations et leurs préférences écologiques.

Deux passages minimum sont réalisés par site, plus s'il le faut pour couvrir les périodes d'observation des différentes espèces. Les espèces sont recherchées à vue dans les habitats potentiels concernés par les travaux ou par le passage d'engins, il s'agit donc aussi de déterminer les voies d'accès. Si l'espèce est présente, elle est géolocalisée, et si besoin photographiée pour validation. Il faut ensuite déterminer si les travaux auront un impact sur l'espèce, et, si oui, chercher des solutions. Plusieurs groupes taxonomiques sont concernés, les paragraphes ci-dessous expliquent brièvement les méthodes utilisées, le protocole complet est consultable en Annexe 3.

Flore

Les espèces floristiques protégées sont recherchées par prospection des habitats potentiels lors de leur période d'observation idéale, donc lors de la floraison.

Odonates

Pour ce taxon, différentes espèces sont à rechercher sur les cours d'eau et les berges. Pour cela, on procède à un inventaire de présence des adultes à vue avec des jumelles, un appareil photo et un filet pour capture au besoin. Les exuvies peuvent aussi servir à attester la présence. De bonnes conditions météorologiques sont nécessaires.

Coléoptères

Trois espèces de la directive habitat et protégées nationalement sont concernées : le Pique-prune (*Osmoderma eremita*), le Grand capricorne (*Cerambyx cerdo*) et la Rosalie des Alpes (*Rosalia alpina*). Au vu de la difficulté d'observation, la présence d'un habitat potentiel vaudra une mesure d'évitement et de préservation lors des travaux. La recherche des espèces passe donc par la recherche d'habitats potentiels, c'est à dire des arbres morts ou sénescents.

Lépidoptères

Une espèce protégée est à rechercher pour la Suette : Le Cuivré des marais (*Lycaena dispar*). La recherche passe par la prospection de son habitat (prairies humides).

Amphibiens

L'inventaire des Amphibiens n'a pas vocation à être exhaustif sur le nombre d'espèces mais seulement de noter la présence/absence d'individus afin de définir des mesures d'évitement. Il est réalisé lors de visites diurnes et nocturnes, idéalement trois fois par an.

Reptiles

L'inventaire des reptiles n'a pas vocation à être exhaustif sur le nombre d'espèces mais seulement de noter la présence/absence d'individus afin de définir des mesures d'évitement. Il est préférable de chercher les habitats potentiels et d'estimer s'ils risquent d'être affectés par les travaux.

Chiroptères

L'inventaire des Chiroptères n'a pas vocation à être exhaustif sur le nombre d'espèces mais seulement de noter la présence/absence de colonies ou d'individus afin de définir des mesures d'évitement. L'inventaire

est réalisé à vue, une recherche d'individus ou d'indices de présence est effectuée dans le site de repos diurne des chauves-souris (ponts, murets, cavités d'arbres, bâtiments). Les habitats potentiels sont aussi recherchés.

Oiseaux

Pour ce groupe, il peut être plus aisé de déterminer si les travaux de restauration de cours d'eau peuvent impacter l'avifaune. A priori, l'impact est faible voire nul, sauf pour certains sites. Il faudrait dans ce cas orienter les recherches d'espèces sur quelques projets, comme par exemple ceux impactant des milieux propices à une avifaune spécifique, comme les roselières.

Mammifères terrestres

L'inventaire des mammifères vise le constat de présence d'espèces bien définies : notamment le Castor d'Europe (*Castor fiber*) et la Loutre d'Europe (*Lutra lutra*), qui sont les plus susceptibles d'être impactés par des travaux de restauration de cours d'eau. L'inventaire consiste à prospecter les habitats potentiels en recherchant les indices de présence.

En plus des deux passages réalisés pour rechercher les espèces protégées, les observations opportunistes réalisées sur les sites à d'autres dates sont aussi prises en compte.

2.3. Protocoles de suivis

Pour suivre l'évolution du milieu après la réalisation des restaurations de cours d'eau, différents protocoles ont été élaborés afin d'établir un état initial. Les mêmes protocoles seront ensuite appliqués de nouveau quelques années après la fin des restaurations pour déterminer quels ont été les changements du milieu.

Il a été choisi de suivre différents taxons et paramètres : la flore, les Odonates, les Amphibiens, l'hydromorphologie et la physico-chimie.

Les sites concernés par le suivi des travaux sont ceux où la restauration est prévue sur un linéaire de cours d'eau. Ainsi, les ouvrages du bassin de la Romme ne font pas l'objet de suivi, mais uniquement de recherche d'espèces protégées. Les différents sites suivis sont donc le ruisseau de Marcé (Suette), le ruisseau du Plessis (Plessis) et les sites 7 et 17 (Romme).

Les sous-parties suivantes expliquent brièvement la méthode utilisée pour chaque suivi, les protocoles complets sont consultables en Annexes 4 à 6.

2.3.1. Suivi floristique

Il a été choisi de suivre la flore car les espèces sont bien connues et permettent de décrire les habitats et les conditions du milieu comme le climat, la pédologie ou l'hydrologie (Adam *et al.* 2015).

Méthode d'inventaire :

Le protocole de suivi de la flore a été construit à l'aide du « Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques » (Delassus 2015) du Conservatoire botanique national de Brest, du « Cahier de protocole

des indicateurs de suivis du CTMA » (Loger *et al.*, 2017) et de « La boîte à outils de suivi des zones humides » du Conservatoire d'espaces naturels de Savoie (Collectif RhoMéO 2014). Pour le protocole complet, se référer à l'Annexe 4.

La méthode s'inspire de la phytosociologie sigmatiste de Braun-Blanquet. Ainsi, sur chaque site et après en avoir une vue d'ensemble (Meddour 2011), plusieurs transects sont réalisés dans le sens du profil en travers du cours d'eau, de manière à traverser les différents habitats en marge de la rivière. Sur ces transects, les différentes unités de végétation sont repérées à vue. Dans chaque unité, un relevé au moins égal à l'aire minimale est effectué à un emplacement caractéristique de l'unité (Guinochet 1973). Cette aire est déterminée grâce aux ordres de grandeurs de Gorenflo *et al.* et ceux de Delpech (2005 et 2006). Pour chaque relevé, les espèces végétales sont déterminées et sont quantifiées selon les coefficients de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet *et al.*, 1932, Braun-Blanquet *et al.*, 1952).

Analyse :

Pour chaque relevé, les valeurs d'humidité (F) et d'azote (N) d'Ellenberg du référentiel Julve (2012) et le recouvrement des espèces (seulement celles ayant un recouvrement supérieur à 1) sont utilisés pour calculer l'indice d'humidité moyenne et l'indice de fertilité moyenne selon les formules suivantes :

$$\text{Humidité moyenne} = F(\text{relevé}) = \sum(F * r) / \sum(r)$$

$$\text{Fertilité moyenne} = N(\text{relevé}) = \sum(N * r) / \sum(r)$$

Avec **F** la valeur d'humidité, **N** la valeur d'azote du référentiel Julve et **r** le recouvrement moyen.

Des indices de biodiversité sont aussi calculés : l'indice de diversité de Shannon H' et d'équitabilité de Piélou J'.

$$\text{Indice de Shannon} = H' = -\sum(Pi * \log Pi)$$

Avec **Pi** la proportion de l'espèce : $Pi = ni/N$; ni = nombre d'individus d'une espèce dans le relevé et N = nombre total d'individus dans le relevé.

$$\text{Indice de Piélou} = J' = H' / Hmax$$

Avec **Hmax** = $\log S$ et **S** = nombre total d'espèces (richesse spécifique).

L'indice de Shannon augmente à mesure que les individus sont répartis de façon égale dans les différentes espèces. Ainsi, lorsqu'une espèce domine le peuplement, H' s'approche de 0. En revanche, lorsque toutes les espèces présentent le même nombre d'individus, H' est à son maximum.

L'indice d'équitabilité de Piélou permet de restreindre la dominance des espèces entre 0 et 1 en prenant en compte la valeur de diversité maximale Hmax. Ainsi, lorsque J' s'approche de 0, cela signifie qu'une espèce domine le peuplement. Quand, au contraire, J' tend vers 1, on peut conclure que les différentes espèces ont des abondances relativement identiques au sein du peuplement.

De plus, la proportion d'espèces indicatrices de zone humide est calculée pour chaque relevé, en utilisant la « Déclinaison en Pays de la Loire de la liste des plantes indicatrices de zones humides inscrites à l'arrêté interministériel du 24 juin 2008 » (Lacroix *et al.*, 2009).

2.3.2. Suivi odonatologique

Les Odonates sont suivis pour leur valeur patrimoniale et leur place dans les équilibres trophiques en tant que proies et prédateurs. De plus, leur biologie est bien connue et leur identification relativement aisée (Adam *et al.* 2015).

Méthode d'inventaire :

Le protocole de suivi des Odonates a été construit à l'aide du « Cahier de protocole des indicateurs de suivis du CTMA » (Loger *et al.*, 2017) et du protocole STELI (Suivi temporel des Libellules) de la Société Française d'Odonatologie et du Muséum National d'Histoire Naturelle (SFO et MNHN 2010). Pour le protocole complet, se référer à l'Annexe 5.

Le site d'étude est le site de restauration, avec la possibilité de faire des points d'observations si le linéaire de travaux est trop important. Les habitats du site sont décrits selon une grille standardisée. En parcourant le site, l'observateur réalise une liste la plus exhaustive possible des espèces d'Odonates rencontrées, en les identifiant à vue ou avec capture. Il est possible de récolter et d'identifier les exuvies pour compléter l'inventaire. Le stade biologique et les comportements sont relevés selon la typologie de la SFO. L'observateur a le choix de relever, selon ses compétences, son temps et les paramètres du site : la présence d'espèce, des fourchettes d'abondances pour chaque espèce ou bien le nombre d'individus de chaque espèce observée. L'objectif est d'obtenir un relevé aussi complet que possible des espèces présentes un jour donné pour chaque site. Ainsi, l'observateur devra rester au minimum 30 min sur le site bien que la durée d'inventaire dépasse souvent ce temps et doit être précisée. Idéalement, trois passages sont réalisés par an, de mi-mai à d'août, le minimum étant de deux passages. Les relevés devront dans la mesure du possible être réalisés dans des conditions météorologiques optimales.

Analyse :

Dans le cadre des suivis de restauration, il est surtout intéressant de comparer les richesses spécifiques S avant et après travaux. Si les individus sont dénombrés, il est possible de calculer les indices de Shannon et de Piélou de la même façon qu'explicité pour la flore (Cf 2.3.1, Suivi floristique, Analyse).

2.3.3. Suivi des Amphibiens

Il a aussi été choisi de suivre les Amphibiens car ils fréquentent les milieux terrestres et aquatiques. Dans le cas où la restauration crée des annexes comme des zones humides, il est intéressant de connaître les peuplements d'Amphibiens. De plus, ils sont faciles à inventorier lors de la période de reproduction où ils se présentent en forte densités (Adam *et al.*, 2015).

Méthode d'inventaire :

Ce protocole a été construit à l'aide du Cahier de protocole des indicateurs de suivis du CTMA (Loger *et al.*, 2017), du Bilan des états initiaux du Contrat Territorial des Milieux Aquatiques des Basses Vallées Angevines (Martin, 2019) et de « La boîte à outils de suivi des zones humides » du Conservatoire d'espaces naturels de

Savoie (Collectif RhoMéO 2014). Le protocole Pop-Amphibien est utilisé comme base méthodologique (Barrioz *et al.* 2016). Se référer à l'Annexe 6 pour le protocole complet de suivi des Amphibiens.

L'objectif est d'avoir la liste des espèces présentes sur les sites concernés par les travaux de restauration, donc les zones humides et annexes des cours d'eau, ainsi que les mares proches.

Trois passages, nocturnes ou diurnes, peuvent être faits idéalement : mars-avril ; mai-juin ; juin-juillet. Il est nécessaire de passer au moins une fois de nuit et une fois de jour. Lors des visites diurnes, des observations et identifications visuelles des pontes, têtards et adultes pourront être réalisées. Cette méthode peut être complétée par l'identification au chant, et par des prospections à l'épuisette. De nuit, le protocole prévoit des points d'écoutes et des prospections à la lampe torche.

Analyse :

L'objectif est de savoir quelles sont les espèces présentes sur le site, et de comparer la liste des espèces observées au peuplement attendu. Pour cela, on utilise la formule suivante :

Intégrité du peuplement = nombre d'espèces capturées / nombre d'espèces de la liste de référence

La liste des espèces attendues est établie sur la base de la consultation de l'atlas des Amphibiens du Maine et Loire (Beslot & Faux, 2016).

Compte tenu du contexte sanitaire lors du printemps 2020, le suivi des Amphibiens n'a pas pu être réalisé, les dates de passage coïncidant avec le confinement.

2.3.4. Suivi physico-chimique

Méthode de mesure

Pour chaque site suivi, 2 à 4 points de mesures sont définis en fonction de la taille et de l'hétérogénéité du site. Un passage est réalisé toutes les deux semaines pour mesurer le taux d'oxygène dissous, la température de l'eau et de l'air, la conductivité et le pH.

Analyse :

L'analyse se concentre sur le paramètre de l'oxygène dissous car celui-ci est indispensable à la vie aquatique et participe aux processus de dégradation biochimiques et chimiques. La teneur maximale en oxygène dissous dans l'eau est fonction, pour l'essentiel, de la salinité et de la température de l'eau, mais aussi de l'agitation de l'eau et de la disponibilité en nutriments (Hubiche 2002). Pour estimer la qualité de ce paramètre sur les différents sites, la médiane des mesures est réalisée et est comparée à la grille de qualité de l'eau (Tableau 2) de l'Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface (Arrêté du 25 janvier 2010).

Tableau 2 : Valeur des classes d'état pour l'oxygène dissous et le taux de saturation en oxygène dissous dans les cours d'eau, source : Arrêté du 25 janvier 2010.

Paramètres	Limites des classes d'état				
	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Oxygène dissous (mg O ₂ /l)	>8	>6	>4	>3	<3
Taux de saturation en O ₂ dissous (%)	>90	>70	>50	>30	<30

2.3.5. Suivi hydromorphologique

Un suivi de différents paramètres hydromorphologiques permet de connaître les impacts de la restauration sur la morphologie et les écoulements du cours d'eau. Le protocole a été construit à l'aide des documents « Réalisation d'un suivi hydromorphologique simplifié à 1 opérateur » d'Aquascop (Hansmann *et al.*, 2020) et « Aide à l'élaboration d'un programme pour le suivi des travaux de restauration de cours d'eau (continuité et hydromorphologie) : Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques » (Grimault *et al.*, 2018).

Le suivi hydromorphologique ne sera pas développé dans ce rapport. À titre indicatif le protocole prévoit les éléments ci-dessous sur les linéaires concernés par les travaux ainsi que sur les tronçons en amont et en aval des sites concernés :

- Suivi photographique : visualiser les évolutions des milieux et des paysages.
- Profils en travers : caractériser l'évolution de la géométrie du lit du cours d'eau.
- Cartographie des faciès d'écoulement : caractériser l'évolution des faciès d'écoulement.
- Classes granulométriques : connaître la typologie sédimentaire du cours d'eau.
- Caractérisation de la bande riveraine : caractériser l'évolution de la bande riveraine.
- Colmatage (protocole d'Archambaud) : estimer visuellement le colmatage du substrat grossier.
- Colmatage (protocole des bâtonnets) : estimer l'intensité du colmatage du lit via la profondeur d'oxygénation.
- Méthode de Wolman : Connaître la typologie sédimentaire du cours d'eau.
- Indice de sinuosité : caractériser l'évolution de la sinuosité du cours d'eau par SIG.

Ces différents paramètres peuvent ensuite être analysés et présentés sous forme de tableaux ou de cartes en fonction de leur nature et des besoins et seront ensuite comparés aux résultats après restauration.

3. Résultats

3.1. Résultats de la recherche d'espèces protégées

Les prospections ont permis d'observer plusieurs espèces protégées sur différents sites, ainsi que des habitats potentiels. Le tableau ci-dessous synthétise les résultats (Tableau 3) :

Suite aux investigations, des observations d'espèces protégées ou d'habitats potentiels ont été réalisées pour tous les taxons ciblés sauf les Lépidoptères. Pour ce taxon, seul le bassin de la Suette était concerné et une seule espèce était recherchée : le Cuivré des marais (*Lycaena dispar*). Ce papillon typique des prairies humides butine les fleurs de Menthe (*Mentha spp.*), de Salicaire (*Lythrum salicaria*), ou d'Eupatoire chanvrine (*Eupatorium cannabinum*), et la chenille se nourrit d'Oseilles (*Rumex spp.*) (Puissauve *et al.*, 2015). Il n'a pas été observé car le site étudié ne présente pas de telles prairies humides. Trois espèces végétales protégées ont été observées, toutes sur le bassin de la Romme : la **Pulicaire commune** (*Pulicaria vulgaris*) sur l'ouvrage 12, la **Gratiola officinalis** (*Gratiola officinalis*) et l'**Inule des fleuves** (*Inula britannica*) sur le site 19. Concernant les Odonates, une seule espèce protégée a été vue : l'**Agrion de Mercure** (*Coenagrion mercuriale*).

mercuriale). Les autres espèces recherchées sont en effet inféodées aux grands cours d'eau (Loire, Sarthe ou Loir), comme les Gomphes (*Gomphus spp.*) ou la Cordulie à corps fin (*Oxygastra curtisii*).

Tableau 3 : A : Synthèse des résultats des prospections d'espèces protégées au préalable des travaux de restauration sur les sites des bassins de la Romme, de la Suette et du Plessis. **B** : Notice des abréviations utilisées.

A	Bassin	Site	Flore	Odonates	Coléoptères	Lépidoptères	Amphibiens	Reptiles	Chiroptères	Oiseaux	Mammifères terrestres
Romme	Ouv8	-	-	-	-	NC	-	-	-	-	-
	Ouv12	PC	AM	-	-	NC	GV	HP	-	-	-
	Ouv13	-	-	HP	-	NC	-	-	HP	TM	-
	Ouv14	-	-	HP	-	NC	-	-	HP	-	-
	Ouv15	-	AM	HP	-	NC	GV	HP	Ch	-	-
	Ouv16	-	-	HP	-	NC	GV	-	HP	-	-
	Ouv17	-	-	-	-	NC	-	HP	Ch	-	-
	Ouv18	-	-	-	-	NC	GV	HP	HP	TM	-
	Ouv19	-	-	HP	-	NC	-	-	-	-	-
	Ouv21	-	-	-	-	NC	GV	HP	HP	-	-
	Ouv22	-	-	HP	-	NC	-	-	HP	-	-
	Ouv25	-	-	HP	-	NC	GV	-	-	-	-
	Site7	-	AM	HP	-	NC	GV	-	-	-	-
	Site17	-	-	-	-	NC	GV	-	-	-	-
	Site19(ZH)	GO, IF	-	HP	-	NC	GV	-	-	-	HP
Suette	Marcé - A11	-	AM	-	-	-	GV	CC	-	-	-
	A11 - Bassin	-	AM	-	-	-	GV, GA	-	-	HP	-
Plessis	Plessis	-	-	-	-	NC	GV, CE, ST	-	-	-	-

B	Abréviations utilisées					
NC	Non concerné	CE	Crapaud épineux	IF	Inule des fleuves	
-	Pas d'observation	GA	Grenouille agile	PC	Pulicaire commune	
AM	Agrion de Mercure	GO	Gratirole officinale	ST	Salamandre tachetée	
Ch	Chiroptère	GV	Grenouille verte	TM	Troglodyte mignon (nid)	
CoC	Couleuvre à collier	HP	Habitat potentiel			

L'Agrion de Mercure a été vu sur 3 sites de la Romme et sur l'ensemble du site de la Suette lorsque le milieu est assez ouvert. D'après la bibliographie, la densité moyenne des populations de *Coenagrion mercuriale* est de 1,2 individus/m² (Laporta *et al.*, 2019) ou 1,32 individus/m² (McHattie 2002). La densité des populations trouvées sur le site de la Suette semble plus faible avec 0,42 individus/m² au maximum. Cependant, aucune réelle estimation de la population n'a été réalisée, il ne s'agit que du nombre d'individus observés lors d'un passage divisé par la surface où l'Agrion de Mercure était présent. Cette estimation sous-estime donc potentiellement la taille réelle de la population.

Aucun Coléoptère protégé n'a été rencontré, mais de nombreux sites et ouvrages du bassin de la Romme présentent de vieux arbres (Frênes ou Chênes) avec ou sans trous d'envol, pouvant constituer des **habitats favorables pour ces insectes saproxyliques**. Les Amphibiens ont été recherchés à vue uniquement de jour, de nombreuses **Grenouilles vertes** (*Pelophylax kl. Esculentus*) ont pu être rencontrées sur presque tous les sites. Un inventaire nocturne a été réalisé début mars, permettant de rencontrer la **Grenouille agile** (*Rana dalmatina*) dans le bassin de la Suette et le **Crapaud épineux** (*Bufo spinosus*) ainsi que des larves de **Salamandre tachetée** (*Salamandra salamandra*) sur le site du Plessis. Une **Couleuvre à collier** (*Natrix natrix*)

a été vue sur la Suette, et plusieurs **habitats potentiels** (amas de pierres, éboulis) ont été repérés sur différents sites de la Romme. De nombreux ouvrages de la Romme présentent des **cavités pouvant accueillir des Chiroptères**, après inspection la **présence d'individus** a même pu être attestée pour les ouvrages 15 et 17. Concernant les Oiseaux, leur présence a été notée uniquement quand les travaux de restauration risquent de les perturber. Ainsi, des nids de **Troglodytes mignons** (*Troglodytes troglodytes*) se trouvent sous les ouvrages 13 et 18. Par ailleurs, la roselière se développant dans le bassin de la Suette est un habitat pour l'avifaune patrimoniale : **l'Aigrette garzette** (*Egretta garzetta*), la **Bouscarle de Cetti** (*Cettia cetti*) et la **Rousserole effarvatte** (*Acrocephalus scirpaceus*) ont été observées par Alain Bertaudeau (LPO Anjou). Quant aux mammifères terrestres, le site 19 présente des traces de **Castor d'Europe** (*Castor fiber*). Cependant, ces indices de présence paraissent anciens, ce qui laisse supposer que ce site est un habitat favorable pour cette espèce, ou du moins l'a été.

3.2. Résultats des états initiaux

3.2.1. Flore

Dans le cadre du suivi floristique, 5 transects ont été réalisés sur le site de la Suette, 1 sur celui du Plessis, 2 pour le site 7 de la Romme et 2 pour le site 17 de la Romme, avec en plus un relevé dans une dépression d'une prairie en amont du site. Pour chaque transect, 3 ou 4 relevés ont été réalisés en fonction du nombre d'unités végétales dénombrées, en notant le type de milieu du relevé. Les différents indices prévus dans le

A protocole (Cf 2.3.1 Suivi floristique, analyse) ont ensuite été calculés, les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-contre (Tableau 4) :

Tableau 4 : A : Synthèse des résultats de l'état des lieux floristique avant les travaux de restauration sur les sites des bassins de la Romme, de la Suette et du Plessis. **B** : Notice des abréviations utilisées.

Bassin	Transect	Milieu	Relevé	S	N sp ZH	Prop sp ZH	F	N	H'	J'
Romme	Romme 7 transect 1	VA	R7a_1	3	3	1,00	8,2	6,7	0,46	0,42
		RA	R7a_2	8	5	0,63	5,0	3,7	0,65	0,31
		PdF	R7a_3	16	0	0,00	4,8	6,7	1,23	0,43
	Romme 7 transect 2	VA	R7b_1	3	3	1,00			1,10	1,00
		RA	R7b_2	13	5	0,38	5,5	5,7	1,83	0,72
		RH	R7b_3	19	5	0,26	5,9	7,6	1,31	0,45
		PdF	R7b_4	17	0	0,00	4,9	4,6	1,00	0,35
	Romme 17 transect 1	VA	R17a_1	4	3	0,75	8,6	7,0	0,83	0,60
		RA	R17a_2	15	8	0,53	5,9	6,1	1,55	0,55
		RH	R17a_3	12	2	0,17	7,7	6,7	1,07	0,43
		PdF	R17a_4	13	3	0,23	7,0	5,5	1,49	0,58
	Romme 17 transect 2	VA	R17b_1	3	3	1,00			0,19	0,17
		RA	R17b_2	16	7	0,44	8,0	4,6	1,12	0,40
		RH	R17b_3	16	3	0,19	5,6	8,0	1,59	0,58
		PdF	R17b_4	10	1	0,10	5,1	6,5	0,96	0,42
	Romme 17 ZH	PdF	R17zh_1	13	3	0,23	6,1	4,4	1,52	0,59
Suette	Suette transect 1	VA	S1_1	2	2	1,00	10,0	7,0	0,21	0,30
		RH	S1_2	13	2	0,15	5,4	7,2	1,36	0,53
		PdF	S1_3	9	0	0,00	5,0	6,1	1,21	0,55
	Suette transect 2	VA	S2_1	2	1	0,50	10,0	7,0	0,36	0,52
		RA	S2_2	21	5	0,24	8,0	7,1	2,01	0,66
		PdF	S2_3	12	3	0,25	5,0	6,4	0,88	0,36
	Suette transect 3	VA	S3_1	2	1	0,50	10,0	6,0	0,01	0,02
		RA	S3_2	24	8	0,33	5,6	5,3	1,87	0,59
		PdF	S3_3	12	2	0,17	5,0	7,0	1,31	0,53
	Suette transect 4	VA	S4_1	2	1	0,50	10,0	6,0	0,02	0,03
		RA	S4_2	24	5	0,21	6,9	6,7	2,36	0,74
		RH	S4_3	13	4	0,31	7,2	7,8	1,76	0,69
		Ro	S4_4	4	3	0,75	9,1	7,3	0,76	0,55
	Suette transect 5	VA	S5_1	6	4	0,67	10,0	6,0	0,63	0,35
		RH	S5_2	16	8	0,50	8,1	7,2	1,99	0,72
		PdF	S5_3	10	3	0,30	5,8	7,1	1,66	0,72
		Sa	S5_4	11	8	0,73	8,1	6,2	1,46	0,61
Plessis	Plessis transect 1	Bo	P 1	13	4	0,31	5,1	5,3	2,07	0,81
		RA	P 2	18	3	0,17	5,2	5,9	2,15	0,75
		PP	P 3	13	0	0,00	5,2	5,7	1,20	0,47

Abréviations utilisées										
VA	Végétation aquatique	Sa	Saulaie	F	Indice d'humidité d'Ellenberg					
RH	Ripisylve herbacée	Bo	Boisement	N	Indice d'azote d'Ellenberg					
PdF	Prairie de fauche	PP	Prairie pâturée	H'	Indice de Shannon					
RA	Ripisylve arbustive	S	Nombre d'espèces	J'	Indice de Piélou					
Ro	Roselière	N sp ZH	Nombre d'espèces indicatrices de zone humide	Prop sp ZH	Proportion d'espèces indicatrices de zone humide					

Bien que les différents indices aient aussi été calculés pour les relevés réalisés dans la végétation aquatique (VA), leur interprétation n'est pas pertinente car il s'agit de relevés avec très peu d'espèces (3 en moyenne), et qui par ailleurs ont toutes un indice d'humidité F élevé. Au cours de l'état initial du suivi floristique, 36 relevés ont été effectués. Au total, 115 espèces végétales ont été rencontrées sur 36 relevés. Dans les relevés, la diversité en espèces est comprise entre 2 espèces (végétation aquatique sur la Suette) et 24 espèces (ripisylve arbustive sur la Suette), avec une médiane de 12,5. Bien que le but soit de comparer les indices avant et après la restauration, il est intéressant de comparer la moyenne des indices calculés entre les sites, que ce soit la moyenne pour les types de milieux ou la moyenne totale du site. Les figures ci-dessous permettent ces comparaisons (Figures 12, 13 et 14).

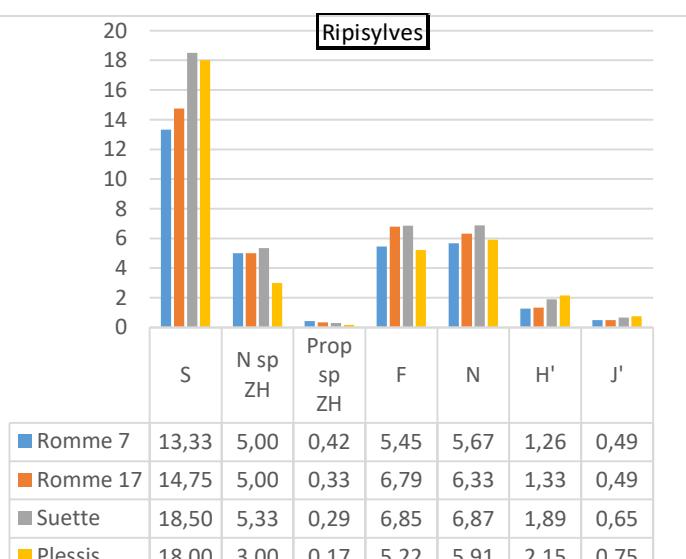


Figure 12 : Histogramme et tableau des moyennes des indices pour les ripisylves.

On constate bien que la proportion d'espèces indicatrices de zone humide et que l'indice d'humidité d'Ellenberg F est maximum pour les végétations aquatiques puis les ripisylves.

Les figures ci-contre permettent de comparer les indices entre les sites. Par exemple, les ripisylves de la Romme sont moins diversifiées que celles de la Suette. Bien que les prairies du site 7 de la Romme soient celles accueillant le plus d'espèces (16,5), elles ne présentent aucune espèce de zone humide.

Concernant les indices d'Ellenberg, le site 17 et la Suette sont ceux qui ont une humidité la plus élevée (6,54 et 6,59), le site 7 et le Plessis ont une humidité moindre (5,21 et 5,17). L'azote suit la même tendance, il est plus élevé chez le site 17 et la Suette que chez les deux autres. Concernant le peuplement végétal, l'indice de Piélou montre que l'équitabilité est plus

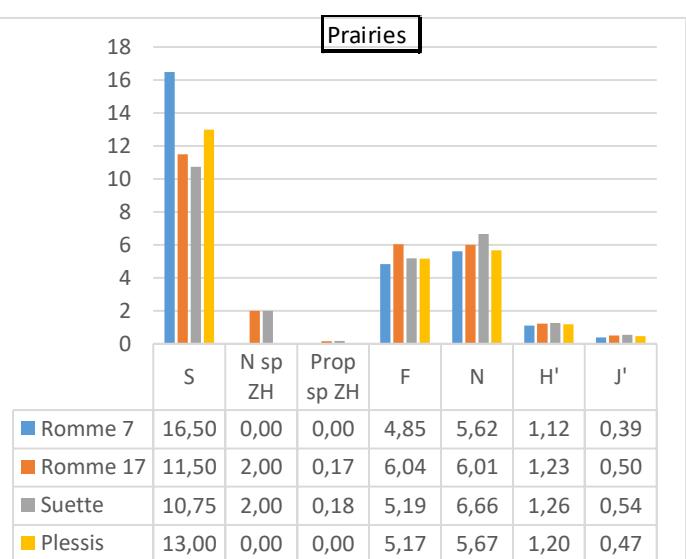


Figure 13 : Histogramme et tableau des moyennes des indices pour les prairies.

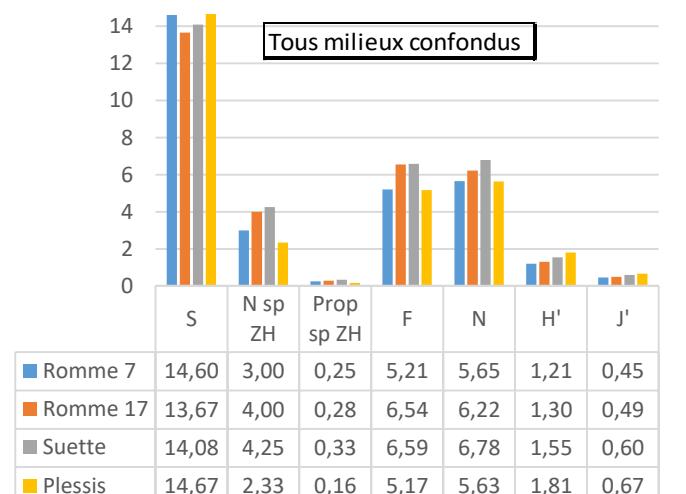


Figure 14 : Histogramme et tableau des moyennes des indices entre les sites, tous milieux confondus (sauf végétation aquatique)

élevée sur le Plessis (0,67), puis sur la Suette (0,60) et enfin sur les sites 17 et 7 de la Romme (0,49 et 0,45). La Suette est le site où la proportion d'espèces végétales indicatrices de zone humide est la plus importante (0,33), le Plessis étant le site où elle est la plus faible (0,16).

3.2.2. Odonates

Dans le cadre du suivi des Odonates, le site du Plessis et les deux sites de la Romme constituent chacun un site d'étude. Pour la Suette en revanche, la longueur et l'hétérogénéité du site de restauration justifie le fait que 4 zones d'études ont été délimitées. Au total, ce sont 19 espèces d'Odonates qui ont été inventoriées sur les cours d'eau au cours de 2 passages par site, le premier en mai et début juin, le second en juillet. Pour chaque site d'étude, différents indices ont été calculés, comme prévu dans le protocole : richesse spécifique S, diversité de Shannon H' et équitabilité de Piélou J'. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 5) :

Tableau 5 : Synthèse des résultats de l'état des lieux odonatologique avant les travaux de restauration. S

= Richesse spécifique, H' = Indice de diversité de Shannon et J'= Indice d'équitabilité de Piélou.

Indices	Romme7	Romme17	Suette1	Suette2	Suette3	Suette4	Plessis
S	3	5	10	7	7	6	4
H'	1,08	0,80	1,20	1,12	1,11	1,21	0,77
J'	0,98	0,73	0,68	0,74	0,69	0,81	0,87

Ainsi, on constate que la richesse spécifique est plus élevée sur les sites d'études de la Suette, jusqu'à 10 espèces pour Suette1, avec en tout 13 espèces différentes sur l'ensemble du site. Les sites de la Romme ou du Plessis abritent peu d'espèces : entre 3 et 5, mais ont une bonne équitabilité de Piélou.

3.2.3. Physico-chimie

Dans le cadre de l'état des lieux physico-chimique, 16 points de prélèvements ont été suivis : 6 pour le site de la Suette, 2 pour celui du Plessis, 4 pour le site 7 de la Romme et 4 pour le site 17 de la Romme. Cinq passages ont été réalisés sur les points de la Suette et du Plessis et quatre pour les points de la Romme, entre début mai et mi-juillet, avec environ 2 semaines entre chaque.

Le tableau ci-après synthétise les résultats de l'oxygène dissous, en attribuant une classe de qualité aux médianes calculées (Tableau 6) :

Tableau 6 : A : Synthèse des médianes des mesures d'oxygène dissous de l'état des lieux physico-chimique avant les travaux de restauration. B : Notice des couleurs utilisées pour illustrer la classe de qualité, source : Arrêté du 25 janvier 2010.

A	Site	Suette						Plessis		Romme 7				Romme 17								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
Médiane par point	O2 dissous (mg/l)	6,715	6,59	7,13	8,045	8,245	8,96	4,225	1,47	3,04	6,02	3,405	5,23	3,455	4,985	5,305	3,92					
	% saturation	72,2	65,4	72,5	79,4	85,4	92,6	56,4	18,2	31,05	61,8	49,05	52,8	47,2	56,65	56,2	34,95					
Médiane par site	O2 dissous (mg/l)	7,8						2,32		3,845				4,575								
	% saturation	76,7						46,05		48,2				48,5								
B	Paramètres																					
	Très bon																					
	Bon																					
	Moyen																					
	Médiocre																					
	Mauvais																					

Ainsi, on constate une grande disparité entre les sites concernant la qualité de l'eau au regard des paramètres oxygène dissous et pourcentage de saturation. Le site de la Suette est dans la classe d'état « bon », alors que les sites de la Romme sont « moyen » ou « médiocre » et le site du Plessis est « médiocre » voire « mauvais ».

4. Discussion

4.1. Préconisations d'évitement des espèces protégées

Suite à l'inventaire des espèces protégées sur les différents sites où des travaux de restauration sont prévus, des préconisations sont à prendre lors de l'intervention afin de limiter au maximum la perturbation des espèces ciblées.

4.1.1. Flore

Les indices d'Ellenberg tirés du référentiel Julve (2012) permettent de connaître les conditions de croissance les plus favorables pour les espèces végétales (Ellenberg 1974, Okland 1990).

Pulicaire commune (*Pulicaria vulgaris*)

Les indices d'Ellenberg de cette espèce sont 9 pour la lumière et 8 pour l'humidité, ce qui signifie qu'elle est favorisée par un fort ensoleillement et une humidité importante. De ce fait, les travaux ayant pour conséquence l'ouverture du milieu peuvent s'avérer favorables à l'espèce, de même que les suppressions d'ouvrage comme cela a été observé à la confluence du Layon et de la Loire (Leray *et al.*, 2016). Cette espèce étant aussi présente dans les prairies pâturées, il est également nécessaire de la rechercher dans les prairies attenantes. Un piquetage des stations avant les travaux est préconisé afin de bien définir les zones d'accès pour les engins. La Pulicaire commune fleurissant jusqu'en septembre, les travaux ne doivent pas commencer avant cette période pour éviter les destructions directes. Aucun impact résiduel n'est donc attendu sur cette espèce, dont l'état de conservation pourrait même s'améliorer (Leray *et al.*, 2016).

Gratirole officinale (*Gratiola officinalis*)

Ses indices d'Ellenberg sont de 7 pour la lumière et de 8 pour l'humidité. Ainsi, elle est favorisée par une humidité importante mais ne supporte pas l'ombrage, les travaux ouvrant le milieu ou permettant l'inondation périodique peuvent donc être favorables à l'espèce. La diminution de la période de crue hivernale lui est défavorable. Cette espèce se développe aussi dans les prairies attenantes qu'il faut donc prospector avant de piquer les stations pour définir l'accès des engins. Elle fleurit jusqu'en septembre voire début octobre, les travaux ne doivent pas commencer avant cette période pour éviter les destructions directes. La Gratirole officinale est sensible à la compétition avec les espèces invasives qu'il est donc préférable de combattre. Le manque de connaissances sur l'écologie de *Gratiola officinalis* rend difficile la qualification d'éventuels impacts résiduels sur cette espèce. Il est notamment difficile de prédire les conséquences des modifications des régimes hydrologiques estivaux et des assecs (Leray *et al.*, 2016). Ainsi, la réponse de la Gratirole à des périodes en eau en été reste inconnue.

Inule des fleuves (*Inula britannica*)

Les indices d'Ellenberg de l'Inule des fleuves sont de 8 pour la lumière et 7 pour l'humidité, elle est donc elle aussi favorisée par l'ouverture du milieu et l'augmentation de l'humidité du sol. Elle se développe sur les berges mais aussi dans les prairies, il faut donc bien piquer les stations pour définir l'accès des engins et les zones de travaux en berge. Cette espèce fleurissant jusqu'en septembre, les travaux ne doivent pas commencer avant cette période pour éviter les destructions directes. Comme la Gratiole officinale, c'est une espèce des milieux frais qui pourrait être impactée par les changements hydrologiques estivaux, mais l'impact résiduel reste difficile à estimer (Leray *et al.*, 2016).

4.1.2. Odonates

Agrion de Mercure (*Coenagrion mercuriale*)

La larve de l'Agrion de Mercure passe 2 hivers consécutifs dans l'eau, elle est donc particulièrement sensible à l'assèchement, même de courte durée (Perrin 2015). L'ensoleillement étant un facteur important pour cette espèce, il faut faire attention à ce que le site ne s'ombrage pas, à cause par exemple d'un envahissement par des ronces ou d'une plantation de ripisylve. De plus, l'Agrion de Mercure a besoin de végétation aquatique, il faut donc veiller à maintenir la végétation existante (Perrin 2015), comme par exemple le Cresson de fontaine (*Nasturtium officinale*) qui est abondant sur les tronçons de la Suette occupés par cette demoiselle. Par ailleurs, il est pertinent de chercher à déterminer l'importance relative de la population en se basant sur la surface d'habitat favorable, l'état de conservation de l'habitat propice et son fonctionnement en métapopulation. Pour cela, il est nécessaire d'identifier les autres populations autour et de déterminer si des corridors existent entre-elles (Iorio 2015). L'Agrion de Mercure a une capacité de dispersion assez faible : en moyenne 30 à 40m avec un maximum de 1,8km (Hassal *et al.*, 2012). Cependant, bien que 95% des individus se déplacent de moins de 300m (Merlet *et al.*, 2012), une étude propose une distance de 2km pour la dispersion entre les populations (Keller *et al.*, 2012).

Afin de maintenir des zones refuges pour l'Agrion de Mercure, et au vu de sa faible capacité de dispersion, il faudrait réaliser les travaux de restauration par tronçon et en alternance.

4.1.3. Coléoptères

Les espèces ciblées sont les insectes sapro-xylophages classés au titre de la Directive Habitat-Faune-Flore et protégés à l'échelle nationale : le Pique-prune (*Osmoderma eremita*), le Grand capricorne (*Cerambyx cerdo*) et la Rosalie des Alpes (*Rosalia alpina*). Ces espèces étant inféodées au bois mort, et notamment aux vieux chênes et aux frênes têtards, il est donc préconisé de ne pas intervenir sur ces arbres et de maintenir les sujets âgés ou possédant des cavités. Si des embâcles ligneux sont à ôter, il est possible de les déposer en berges afin de créer de nouveaux habitats pour ces espèces. De plus, créer de nouveaux arbres têtards si possible permet de renouveler l'habitat de ces insectes (Leray *et al.*, 2016).

4.1.4. Amphibiens

De manière générale, pour ce taxon, la préconisation est de réaliser les travaux en dehors des périodes de reproduction. Ainsi, les travaux de restauration devront avoir lieu de septembre à novembre (Leray *et al.*, 2016).

Peu de données ont été récoltées pour les Amphibiens, car les inventaires n'ont pu être réalisés à cause du contexte sanitaire du printemps 2020. La plupart des données concernent des observations opportunistes de jour, essentiellement de Grenouille verte (*Pelophylax kl. Esculentus*). Cependant, il est à noter la présence de larves de salamandre dans un fossé proche du cours d'eau sur le site du Plessis. Pour favoriser les Amphibiens, il faudrait conserver ce fossé et faire en sorte qu'il soit inondé de manière plus durable.

4.1.5. Reptiles

Sur plusieurs sites, des habitats potentiels pour les reptiles ont été observés : il s'agit d'éboulis et d'amas de pierres. Comme pour les Amphibiens, les travaux devront avoir lieu en dehors de la période d'activité des reptiles, qui est de mars-avril à septembre. Réaliser les travaux en octobre-novembre permet donc d'éviter d'impacter les reptiles. Par ailleurs, si les habitats potentiels repérés sur les sites sont amenés à être dégradés voire réutilisés lors des travaux de restauration, il est possible de les recréer. Pour cela, il faut aménager des tas de pierres et de bois constitués de bloc et de branches de différents diamètres dans des secteurs ensoleillés (Mionnet *et al.*, 2011).

4.1.6. Chiroptères

Comme pour les Coléoptères, il est préconisé pour les Chiroptères d'éviter d'abattre tout arbre mort, sénescient ou présentant des cavités favorables. De plus, les travaux doivent être réalisés hors période de reproduction et d'hibernation, il faut donc les planifier de mars à octobre. Si ces préconisations sont respectées, aucun impact résiduel n'est attendu pour ce taxon (Leray *et al.*, 2016).

4.1.7. Oiseaux

Compte tenu de la nature des travaux envisagés et de la capacité de fuite de ce taxon, le risque de détruire des individus adultes est négligeable. Cependant, des nids, des couvées ou des habitats peuvent potentiellement être détruits. Pour éviter ces destructions, les travaux doivent se dérouler en dehors de la période de reproduction des oiseaux. Ainsi, il faut les planifier d'août à janvier (Leray *et al.*, 2016). La roselière présente sur le site de la Suette est l'habitat d'oiseaux spécifiques : l'Aigrette garzette (*Egretta garzetta*), la Bouscarle de Cetti (*Cettia cetti*) et la Rousserole effarvatte (*Acrocephalus scirpaceus*) ont été observées. Réaliser les travaux hors de la période de nidification assure de ne pas détruire d'individus, mais il serait préférable de ne pas dégrader ce milieu en évitant le passage dans la roselière.

Concernant les arbres pouvant abriter des Coléoptères, des Chiroptères ou encore des Oiseaux cavernicoles, si un arbre potentiellement favorable doit être enlevé, pour des raisons de sécurité publique ou de circulation de l'eau, une expertise précise doit être menée pour s'assurer qu'il n'est pas utilisé comme habitat.

De manière générale, les travaux devront donc avoir lieu en dehors des périodes de reproduction et d'hibernation (Tableau 7). Il apparaît ainsi que la période la plus favorable est l'automne (septembre et octobre notamment). Par ailleurs, c'est aussi la saison la plus logique pour intervenir sur les cours d'eau car elle correspond à la période des basses eaux (Leray *et al.*, 2016).

Tableau 7 : Périodes de sensibilité des différents taxons, d'après Leray *et al.*, 2016.

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	JUIL.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Avifaune												
Amphibiens												
Reptiles												
Chiroptères												
Flore												

En outre, ces prospections d'espèces protégées permettent aussi d'observer d'autres paramètres à prendre en compte, comme par exemple les espèces invasives. Plusieurs sites de la Romme présentent des populations de Jussie (*Ludwigia peploides*) qui risquent d'être favorisées par les perturbations lors de la réalisation des travaux. Pour éviter sa propagation, il est possible de planter une ripisylve, mais cette dernière risque d'apporter trop d'ombre aux espèces végétales protégées vues ci-dessus. Augmenter la vitesse des écoulements lui est aussi défavorable. De plus, il est également possible de procéder à un arrachage avant les travaux, mais cela est coûteux et demande une pression d'entretien *a posteriori* pour des résultats incertains (Leray *et al.*, 2016). Lors des travaux, il est primordial de veiller à ne pas disséminer la Jussie sur le site et entre les sites, en évitant notamment de laisser des fragments sur les roues des engins.

4.2. État initial avant travaux

Les études de la flore, des Odonates et des taux d'oxygène dissous correspondent aux états initiaux des suivis, leur interprétation est donc limitée tant que les données de l'état après la restauration ne sont pas récoltées. Chez les espèces végétales, on observe une courbe de croissance en fonction du niveau moyen de la nappe, on peut donc en conclure qu'il existe une valeur optimale de développement (Okland 1990, Ellenberg 1974). Il en est de même pour la disponibilité des nutriments dans le sol. Ainsi, utiliser les valeurs indicatrices des espèces (valeurs d'Ellenberg) permet d'avoir une estimation des paramètres du milieu. Il a été montré qu'utiliser les valeurs de nombreuses espèces du relevé est plus précis que d'utiliser une seule ou quelques espèces (Diekmann 2003). Les résultats des indices d'Ellenberg sont cohérents : les relevés avec l'humidité la plus importante sont ceux avec la plus grande proportion d'espèces de zone humide, et sont souvent ceux correspondant à la ripisylve : la valeur d'humidité moyenne des ripisylve est de 6,1 avec 30% d'espèces de zone humide contre 5,3 avec 10% d'espèces de zone humide pour les prairies. Après restauration,

dans le cas où l'un des objectifs est de reconnecter le lit majeur du cours d'eau, et donc d'augmenter l'inondabilité des prairies attenantes, on s'attend à ce que l'indice d'humidité des relevés augmente. L'indice de trophie N permettra de suivre les impacts de la restauration. Quant à la diversité végétale au sein du site, on peut espérer que la restauration permette son augmentation grâce à la création d'un gradient d'humidité perpendiculaire au cours d'eau plus important. On s'attend à dénombrer plus d'espèces indicatrices de zone humide après la restauration. Ces dernières prenant la place des espèces actuellement présentes, plus généralistes, la diversité en espèces et l'indice d'équitabilité ne seront peut-être pas améliorés après la restauration.

Concernant les Odonates, les plans d'eau proches des cours d'eau ont aussi été inventoriés, mais non pris en compte dans l'analyse. Le site de la Suette est celui avec la meilleure richesse spécifique, mais il faut garder à l'esprit que le linéaire de la Suette est le plus long, permettant ainsi un plus grand nombre d'habitats : roselière, saulaie, cours d'eau avec et sans ripisylve. Les indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélou sont à interpréter avec prudence. En effet, pour plusieurs sites peu d'espèces et d'individus ont été observés, ce qui affecte donc la pertinence de ces indices. Par exemple, la meilleure équitabilité de Piélou est celle du site 7 de la Romme (0,98), ce qui est expliqué par le fait que seulement 3 espèces ont été vues, avec pour chacune 2 ou 3 individus, ce qui confère donc une bonne équitabilité, mais ne signifie pas que le peuplement est de qualité. Suite aux restaurations, on s'attend à voir apparaître plus d'espèces, notamment pour les sites assez pauvres pour lesquels la faible diversité peut s'expliquer par l'assèchement des cours d'eau dès le mois de juillet. Cependant, en fonction du type de rivière, une augmentation du nombre d'espèces n'est pas nécessairement corrélée positivement avec une amélioration de l'état écologique. Pour les cours d'eau proches des sources par exemple, un nombre faible d'espèces est considéré comme normal, le peuplement étant constitué d'espèces spécialisées (Chovanec *et al.*, 2015).

A propos de l'oxygène dissous, les résultats peuvent être expliqués par les caractéristiques du cours d'eau. Les sites 7 et 17 obtiennent la qualité médiocre ou moyenne car le cours d'eau était à sec ou sans écoulement visible à partir de juillet. La teneur en oxygène dissous dépend en effet de l'agitation de l'eau et de sa température (Hubiche 2002), un cours d'eau avec peu d'eau et sans écoulement contient donc très peu d'oxygène dissous. Le site du Plessis obtient une qualité médiocre voire mauvaise, bien qu'il n'y ait pas eu d'assèchement observé pendant les prélèvements, aucun écoulement n'était visible en juillet. Pour ces deux bassins, on constate que la teneur en oxygène dissous diminue au cours du temps, elle est donc probablement liée à la réduction des débits et l'élévation des températures. Le site de la Suette en revanche obtient la qualité bonne, le cours d'eau a toujours présenté un écoulement, même s'il était faible en juillet. Après la restauration, on peut s'attendre à ce que la teneur en oxygène dissous augmente : un cours d'eau moins encaissé et plus méandriforme aura de l'eau et un écoulement plus longtemps dans l'année, et ce encore plus dans le cas de remise dans le talweg, où le cours d'eau sera de nouveau connecté à sa nappe d'accompagnement. Un taux d'oxygène plus important sera bénéfique pour la vie aquatique (Hubiche 2002). Cependant, la quantité d'eau est aussi très liée au contexte hydrogéologique (Cf 1.1 Contexte géologique), la

restauration ne permettra peut-être pas d'atteindre une qualité optimale en oxygène dissous pour le bassin de la Romme.

4.3. Conclusion et perspectives

L'objectif de cette étude était de construire des protocoles de suivi des travaux de restauration du CT Eau BVAR, d'appliquer ces protocoles pour dresser un état initial des premiers sites concernés, et en parallèle de rechercher la présence d'espèces protégées afin de les prendre en compte lors des travaux.

Plusieurs protocoles ont été élaborés, afin de suivre la flore, les Odonates, les Amphibiens, l'oxygène dissous et l'hydromorphologie. Les états initiaux ont permis de récolter de nombreuses informations sur la qualité et l'état de la biodiversité, ainsi que des paramètres du milieu et du cours d'eau. Ces mêmes protocoles seront réalisés 3 ans après les travaux de restauration afin d'évaluer leurs impacts et leur efficacité. De plus, d'autres suivis sont effectués pour le SMBVAR : poissons (IPR) et macro-invertébrés (IBGN). Il a été choisi de ne pas élaborer d'indices par manque de recul, les données ayant été récoltées sur peu de sites pour l'instant. D'autres indices pourront être choisis en fin de CT Eau, en utilisant par exemple les quartiles des données, comme cela avait été fait pour le CTMA BVA (Martin 2019) pour donner une note aux site.

L'observation de certaines espèces protégées a permis de les prendre en compte pour les travaux, au travers de préconisations à respecter pour limiter les impacts négatifs potentiels sur ces espèces.

Les états initiaux, bien qu'ils ne peuvent être exhaustifs sur l'état de l'environnement avant la restauration, offrent de nombreuses informations et données qui permettront d'évaluer l'efficacité de la restauration. De plus, ils permettent d'estimer la pertinence des travaux, et d'apporter des modifications afin de prendre en compte le contexte environnemental, notamment les espèces protégées et invasives.

Pour finir, ce rapport permet d'illustrer la complexité et la pluridisciplinarité de la restauration écologique avec l'exemple des restaurations de cours d'eau. Que ce soit pour le choix des sites, pour l'adoption du type de restauration, pour la phase technique de réalisation des travaux ou encore pour le suivi et le choix des indicateurs, la restauration écologique demande une réflexion en amont et à une échelle large en impliquant les acteurs du territoire pour pouvoir porter ses fruits et entraîner une amélioration de la qualité des milieux naturels et de la biodiversité.

Références

Bibliographie :

- Adam Y, Béranger C, Delzons O, Frochot B, Gourvil J, Lecomte P et al. Guide des méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels - Application aux sites de carrière. UNPG, 3 rue Alfred Roll 75849 - Paris Cedex 17. 2015 ; 390 p.
- Barrioz M, Miaud C. Protocoles de suivi des populations d'amphibiens de France, POPAmphibien. Société Herpétologique de France. 2016 ; 13 p.

- Beslot E, Faux D. Répartition des Amphibiens et Reptiles de Maine-et-Loire. Ligue de protection des oiseaux, Société herpétologique de France. 2016 ; 19 p.
- Braun-Blanquet J, Conard HS, Fuller GD. Plant sociology. The study of plant communities. New York and London, McGraw-Hill book company, inc. 1932 ; 439 p.
- Braun-Blanquet J, Roussine N, Nègre R. Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. Dir. Carte Group. Vég. Afr. Nord, et Centre national de la recherche scientifique. Montpellier. 1952 ; 292p.
- Chovanec A, Waringer J. Colonization of a 3 rd order stream by dragonflies (Insecta: Odonata) – a best practice example of river restoration evaluated by the Dragonfly Association Index (lower Weidenbach, eastern Austria). Acta ZooBot Austria. 2015 ; 152 : 89-105.
- Collectif RhoMéO. La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée. Conservatoire d'espaces naturels de Savoie. 2014 ; 254 p.
- Delassus L. Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques. (Document Technique). Conservatoire botanique national de Brest. 2015 ; 25 p.
- Diekmann M. Species indicator values as an important tool in applied ecology – a review. Basic Appl Ecol. 2003 ; 4(6) : 493-506.
- Ellenberg H. Zeigerwerte des Gefässpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica 9. 1974 : 1-97.
- Gorenflo R, De Foucault B. Initiation à la phytosociologie. Complément au chapitre 23. In : Biologie végétale, les Cormophytes. Dunod, éd. 2005 ; 1-27.
- Grimault L, Hubert A, Le Bihan M, May C, Mevel A, Pecheux N et al. Aide à l'élaboration d'un programme pour le suivi des travaux de restauration de cours d'eau (continuité et hydromorphologie) : Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques. Version provisoire, août 2018. Rapport de l'Agence Française pour la Biodiversité, Direction Interrégionale Bretagne, Pays de la Loire. 2018 ; 47 p.
- Guinochet, M. Phytosociologie. Masson et Cie, Paris. 1977 ; 177 p.
- Hansmann JB, Gelineau Y. Réalisation d'un suivi hydromorphologique simplifié à 1 opérateur. Version 1, mars 2020. Note de travail, Aquascop. 2020 ; 24 p.
- Hassall G, Thompson DJ. Study design and mark-recapture estimates of dispersal: a case study with the endangered damselfly *Coenagrion mercuriale*. J. Insect Conserv. 2012 ; 16 : 111-120.
- Hubiche JL. L'eau support de vie, l'Oxygène de l'eau. Cahier 2002 indicateurs. Loire Estuaire Cellule de mesures et de bilans. 2002 ; 6 p.
- Iorio E. Eléments de doctrine régionale pour la prise en compte des odonates dans le cadre des études réglementaires en Pays de la Loire. DREAL Pays-de-la-Loire & DREAL Basse-Normandie 2015 ; 26 p.
- Keller D, Van Strien MJ, Holderegger R. Do landscape barriers affect functional connectivity of populations of an endangered damselfly? Freshw Biol. 2012 ; 57 : 1373-1384.
- Lacroix P, Le Bail J. Déclinaison en Pays de la Loire de la liste des plantes indicatrices de zones humides inscrites à l'arrêté interministériel du 24 juin 2008. Conservatoire botanique national de Brest. 2009 ; 51 p.
- Laporta G, Goretti E. Investigation on the declining Southern Damselfly (*Coenagrion mercuriale*, Odonata) in a Mediterranean population: survival rate and population size. J. Insect Conserv. 2019 ; 23 : 667-675.
- Leray A, Lafage D, Decraemere C. Évaluation des enjeux faune - flore pour les projets de restauration des annexes hydrauliques dans le cadre des règlementations Natura 2000 et espèces protégées. Approche globale de Montsoreau à Nantes. Conservatoire des Espaces Naturels Pays de la Loire. 2016 ; 145 p.
- Loger L, Yao E. Cahier de protocole des indicateurs de suivis du CTMA. 2017 ; 10 p.
- Martin A. Bilan des états initiaux du Contrat Territorial des Milieux Aquatiques des Basses Vallées Angevines. Faculté de Sciences d'Angers. 2019 ; 42 p.
- McHattie STJ. Analysis of data on dispersal in southern damselflies (*Coenagrion mercuriale*). University of Liverpool, BSc Zoology. 2002/03 ; 41 p.
- Meddour R. La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanqueto-Tüxenienne. Faculté de Sciences Biologiques et Agronomiques de Tizi Ouzou, Algérie. 2011 ; 40 p. Disponible sur https://www.tela-botanica.org/wp-content/uploads/2017/03/méthode_phytosociologique_Braun-Blanqueto-Tüxenienne_2011.pdf
- Merlet F, Houard X. Synthèse bibliographique sur les traits de vie de l'Agripon de Mercure (*Coenagrion mercuriale* (Charpentier, 1840)) relatifs à ses déplacements et à ses besoins de continuités écologiques. Office pour

les insectes et leur environnement et Service du patrimoine naturel du Muséum national d'Histoire naturelle. Paris. 2012 ; 6 p.

- Mionnet A, Bellenque S. Note méthodologique pour la prise en compte des reptiles dans les études d'impact en Champagne-Ardenne. CPIE du Pays de Soulaines, Association Nature du Nogentais, LPO Champagne Ardenne, Regroupement des Naturalistes Ardennais. 2011 ; 19 p.
- Okland RH. Vegetation ecology : theory, methods and application with reference to Fennoscandia. Sommerfeltia Suppl. 1. 1990 : 1-233.
- Perrin M. Inventaire des populations d'Agrion de Mercure sur le bassin de l'Oudon. Mayenne Nature Environnement. 2015 ; 35 p.
- Puissauve R, Dupont P. Fiches d'information sur les espèces aquatiques protégées : Cuivré des marais, *Lycaena dispar* (Haworth,1802). Museum National d'Histoire Naturelle et Office national de l'eau et des milieux aquatiques. 2015 ; 4 p.
- SMBVAR 2019a. Dossier de demande de reconnaissance en Etablissement Public d'Aménagement et de Gestion des Eaux (EPAGE). Avril 2019 ; 53 p.
- SMBVAR 2019b. Gestion des milieux aquatiques des masses d'eau de la Romme, du Brionneau et du Boulet. Définition et hiérarchisation des actions à mener sur le territoire. Juillet 2019 ; 88 p.

Ouvrages et sites utilisés pour la détermination

- Bonnier G, De Layens G. Flore complète portative de la France, de la Suisse et de la Belgique. Belin. 1986 ; 426 p.
- Boudot JP, Doucet G, Grand D. Cahier d'identification des Libellules de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Deuxième édition. Biotope, Mèze, (collection Cahier d'identification). 2019 ; 152 p.
- Conservatoire Botanique National de Brest, Flore protégée des Pays de la Loire, [en ligne]. [Consulté pendant tout la durée du stage]. Disponible sur http://www.cbnbrest.fr/florepdl/html/Statut_protection/protection.html.
- Fitter R, Fitter A, Farrer A. Guide des graminées, carex, joncs, et fougères. Delachaux et Niestlé. 2009 ; 256 p.
- Inventaire National du Patrimoine Naturel [en ligne]. [Consulté pendant toute la durée du stage]. Disponible sur <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>.
- Pujol D, Cordier J, Moret J. Atlas de la flore sauvage du département du Loiret. Biotope. 2008 ; 480 p.
- Tela-botanica [en ligne]. [Consulté pendant toute la durée du stage]. Disponible sur <https://www.tela-botanica.org/>.

Sitographie :

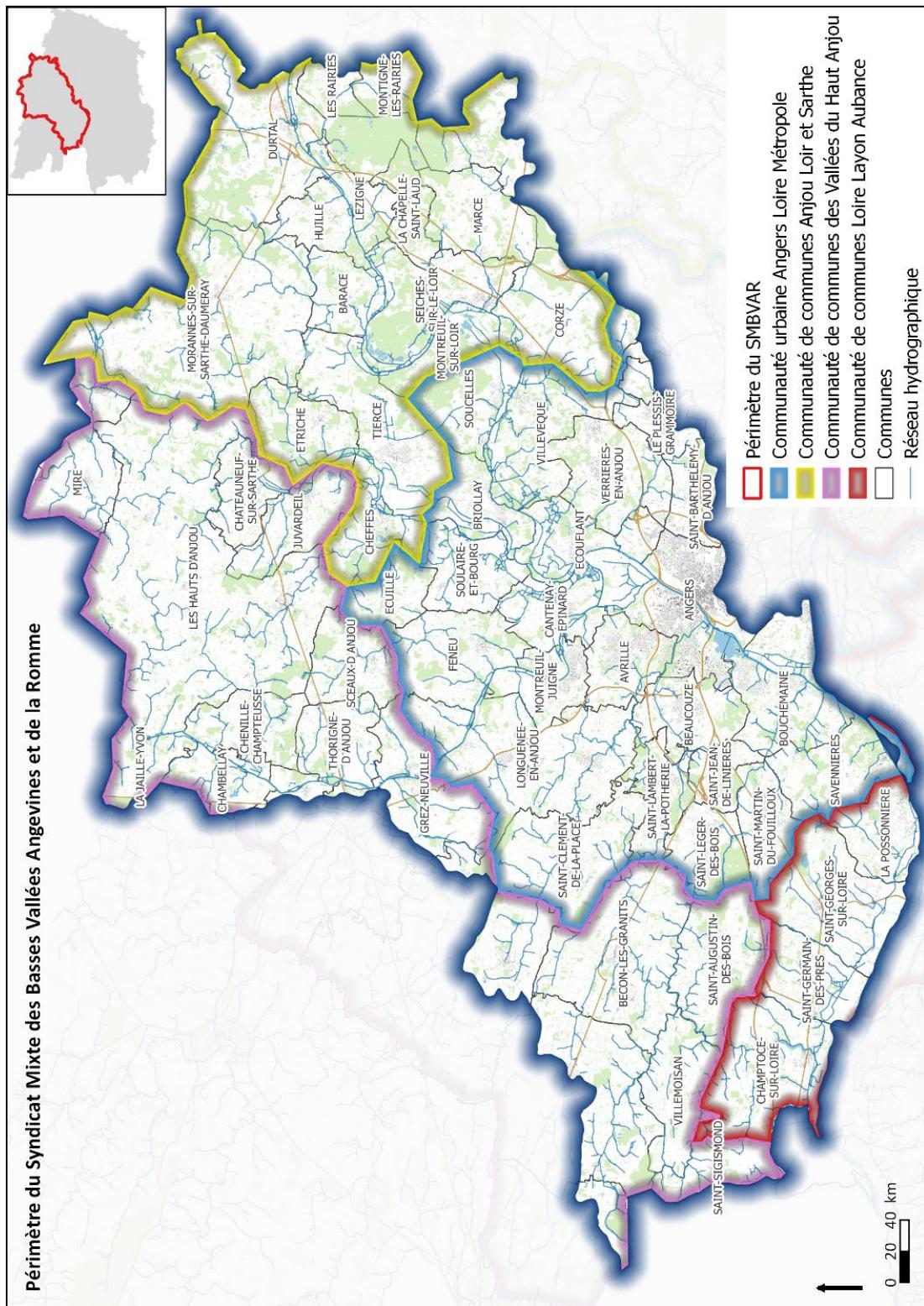
- Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement [en ligne]. [Mis à jour le 31/08/2018, consulté le 05/08/2020]. Disponible sur <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021865356>
- Delpech R. La phytosociologie. 2006. [En ligne]. [Consulté le 04/08/2020]. Disponible sur : http://www.tela-botanica.org/page:menu_407
- Infoclimat [en ligne]. [Consulté le 31/07/2020]. Disponible sur <https://www.infoclimat.fr/>
- Julve P. Catalogue des milieux naturels. 2012. Baseflore [en ligne]. Disponible sur https://www.researchgate.net/publication/302925607_baseflor
- Loi n° 2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles [en ligne]. [Mis à jour le 29/12/2019, consulté le 30/07/2020]. Disponible sur Legifrance <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000028526298>

- Observatoire de l'eau de Maine-et-Loire [en ligne]. [Consulté le 31/07/2020]. Disponible sur <https://www.eau-anjou.fr/>
- Sandre (Service d'administration nationale des données et des référentiels sur l'eau) [en ligne]. [Mis à jour le 02/08/2012, consulté le 31/07/2020]. Disponible sur <http://www.sandre.eaufrance.fr/geo/CoursEau/---0000>
- SFO et MNHN. Suivi temporel des Libellules STELI [en ligne]. [Consulté le 12/05/2020]. Disponible sur https://steli.mnhn.fr/sites/default/files/docs_steli/block_pdf/Steli_protocole%20occupancy.pdf
- QGIS (3.6). [Logiciel]. Disponible sur <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>.

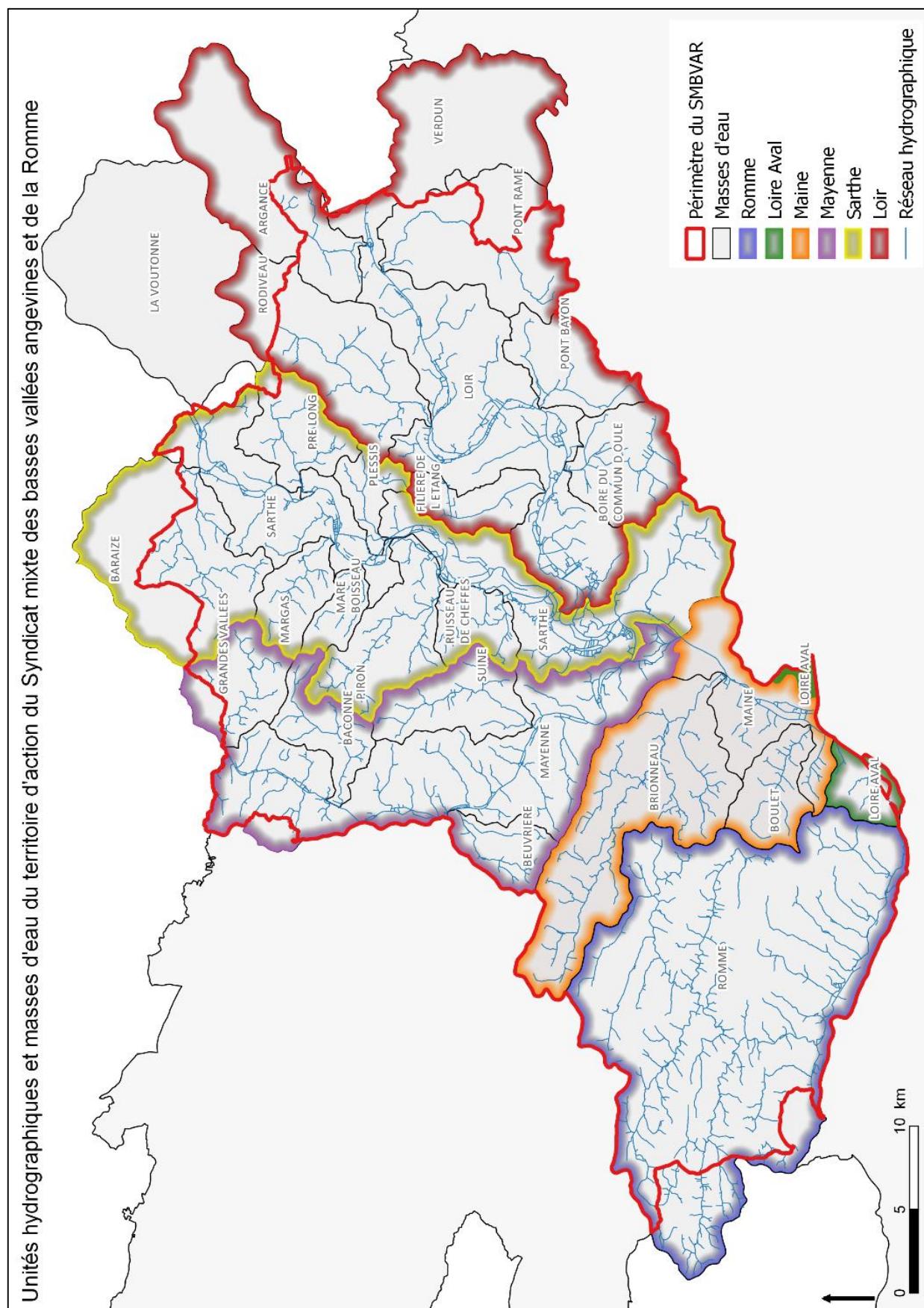
Annexes

1. Annexe 1 : Présentation du SMBVAR

Annexe 1a : Périmètre et EPCI du SMBVAR, source : SMBVAR

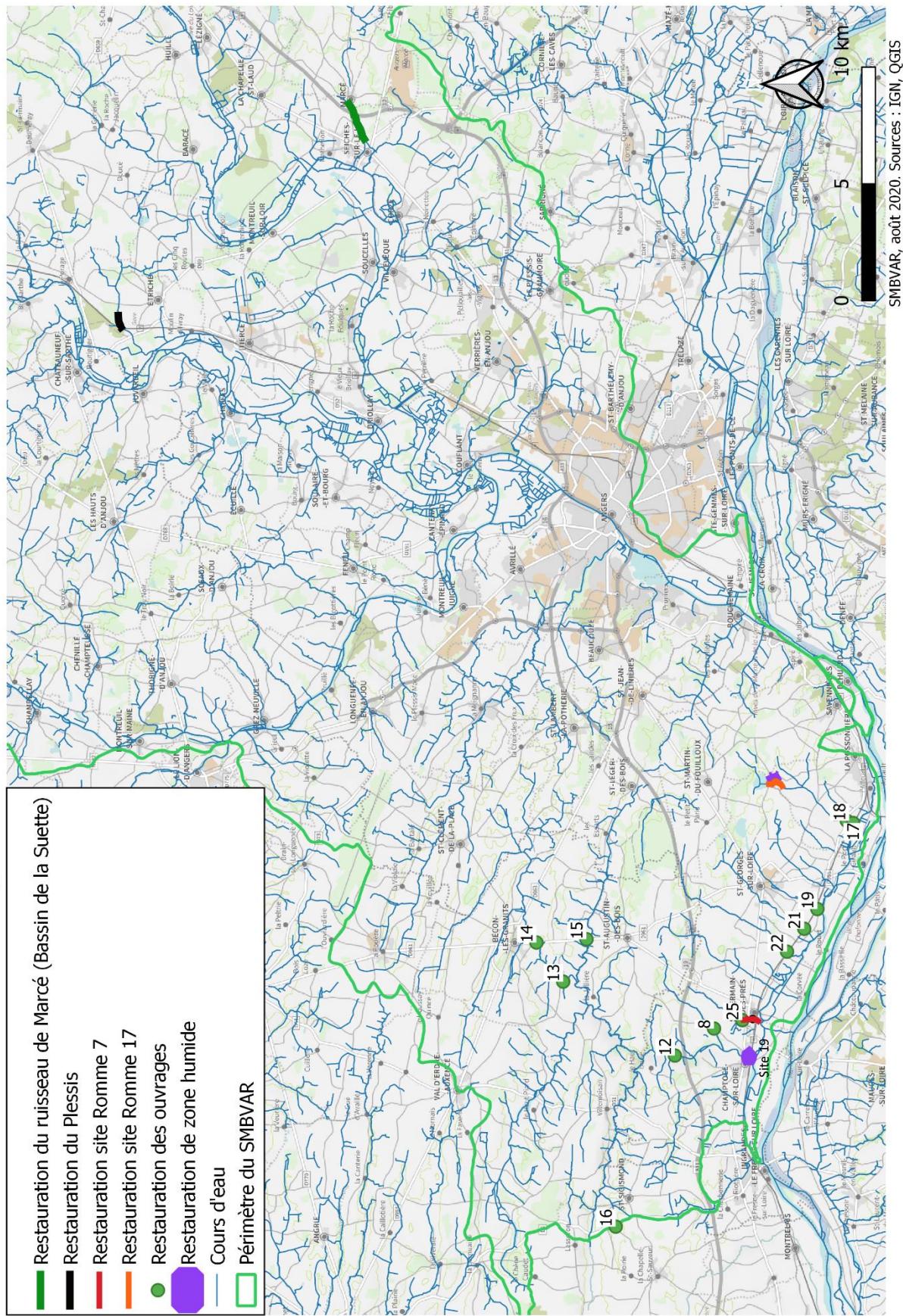


Annexe 1b : Unités hydrographiques et masses d'eau du territoire d'action du SMBVAR, source : SMBVAR.



2. Annexe 2 : Localisation des sites étudiés

Localisation des sites et ouvrages étudiés dans le cadre de l'état initial au préalable des travaux de restauration



SMBVAR, août 2020. Sources : IGN, QGTS

3. Annexe 3 : Protocole de recherche des espèces protégées

Protocole d'inventaire de présence d'espèces protégées au préalable des travaux de restauration de cours d'eau

Le but de ce présent document est de détailler les méthodes utilisées pour l'inventaire des espèces protégées préalable à la mise en œuvre de travaux de restauration de cours d'eau. Les informations sur l'écologie des espèces ont été pour la plupart acquises sur le site de l'INPN (<https://inpn.mnhn.fr>). Les espèces sont recherchées dans les secteurs concernés par les travaux d'aménagement et par la circulation des engins (accès). L'objectif est de détecter la présence d'espèces protégées, c'est donc un inventaire qualitatif. Les espèces sont ciblées au préalable en fonction des secteurs grâce à la bibliographie et aux bases de données. Il existe ainsi une liste d'espèces à rechercher pour chaque bassin.

Deux passages minimum sont réalisés par site, plus s'il le faut pour couvrir les périodes d'observation des différentes espèces. Les espèces sont recherchées à vue dans les habitats potentiels concernés par les travaux ou par le passage d'engins. Si l'espèce est présente, elle est géolocalisée, et si besoin photographiée pour validation. Il faut ensuite déterminer si les travaux auront un impact sur l'espèce, et, si oui, chercher des solutions pour limiter ces impacts, via des préconisations.

Flore

Les espèces floristiques protégées sont recherchées par prospection des habitats potentiels lors de leur période d'observation idéale, donc lors de la floraison (Tableau 1).

Tableau 1 : Plantes protégées à rechercher dans les différents bassins versants, ainsi que leur période de floraison et leurs habitats potentiels

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Plessis	Romme	Suette	Habitats potentiels
Cardamine à petites fleurs			x	x					x			Fossés, berges, dépressions
Céraiste douteux			x	x					x			Dépressions, prairies humides, marais
Flûteau nageant			x	x	x	x	x			x		Herbiers stagnants ou faible courant, parfois amphibia, eaux claires et sans ombre
Gratirole officinale				x	x	x	x	x	x	x	x	Prairies humides, berges
Inule des fleuves					x	x	x		x	x		Prairies humides, berges, caricaies, roselières
Isopyre faux-pigamon		x	x							x		Sous-bois frais
Orchis grenouille			x	x					x			Prairies de fauche
Plantain à feuilles carénées				x	x					x		Sols secs et acides : pelouses sèches rocheuses, éboulis
Pulicaire commune					x	x	x		x	x	x	Prairies humides pâturées, chemins humides, grèves de cours d'eau
Scutellaire à feuilles hastées				x	x	x	x		x			Voisinage des haies bordant les prairies humides et les cours d'eau
Spiranthe d'été				x	x	x					x	Marais, landes et prés marécageux
Trèfle de Micheli			x	x					x	x		Prairies de fauches humides des vallées alluviales

Odonates

Pour ce taxon, différentes espèces sont à rechercher sur les cours d'eau et les berges. Pour cela, on procède à un inventaire de présence des adultes à vue avec des jumelles, un appareil photo et un filet pour capture

au besoin. On réalise aussi un temps de recherche et de récolte des exuvies sur les berges et végétaux, pour identification. Encore une fois, il est préférable d'avoir une photographie pour valider les observations. Pour les Odonates, les prairies proches des aménagements peuvent aussi faire l'objet d'une prospection, les adultes pouvant y séjourner pour leur maturation. Les inventaires doivent avoir lieu lors des périodes propices d'observation des espèces (Tableau 2).

Tableau 2 : Odonates protégées à rechercher dans les différents bassins versants, ainsi que leur période d'observation et leurs habitats potentiels (les croix rouges indiquent les pics d'observation).

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Plessis	Romme	Suette	Habitats potentiels
Agrion de mercure	x	x	x	x	x		x	x	x	Eaux courantes claires, oxygénées, avec végétation
Cordulie à corps fin		x	x	x					x	Partie calme des grandes rivières avec lisière arborée
Gomphé à pattes jaunes		x	x	x	x		x			Partie calme des grandes rivières à fond sableux, limoneux ou vaseux
Gomphé de Graslin		mi	x	x			x		x	Partie calme des larges rivières et fleuves
Gomphé serpentin		x	x	x	x				x	Eaux courantes à fond sableux des grands fleuves aux
Leucorrhine à gros thorax	x	x	x	x					x	Bordures de marais, lacs forestiers, bras morts, rivières lentes, canaux

Par ailleurs, les prospections doivent être réalisées dans les meilleures conditions possibles pour les Odonates (Tableau 3) :

Tableau 3 : Conditions météorologiques idéales pour l'observation d'odonates (Source :

		Température		
		<17°C	17°C-22°C	>22°C
Nébulosité	>3/4	non	oui	oui
	<¾	oui	oui	oui
Pluie		non	non	non
Force du vent	< 4	non	oui	oui
	4	non	oui exceptionnellement	
	> 4	non	non	non

Lépidoptères

Une espèce protégée est à rechercher pour la Suette : Le Cuivré des marais, *Lycaena dispar*, protégé nationalement. Il est visible de mai à septembre dans les prairies humides et friches à Oseille crépue. La chenille se nourrit d'oseilles et l'adulte butine les menthes, Eupatoires, Salicaires ou Pulicaires.

Cette espèce n'est pas inféodée aux cours d'eau mais elle peut être à rechercher dans les zones humides à restaurer ou concernées par les travaux.

Coléoptères

Trois espèces de la directive habitat et protégées nationalement sont concernées.

Au vu de la difficulté d'observation, la présence d'un habitat potentiel vaudra une mesure d'évitement et de préservation lors des travaux. La recherche des espèces passe donc par la recherche d'habitats potentiels.

Pique-prune, *Osmoderma eremita*

Cavités d'arbres (feuillus essentiellement, et surtout le chêne), remplies de terreau.

Recherche d'individus adultes vivants, de larves ou différents indices de présence tels que des fragments d'individus (pattes, élytres) ou des excréments. La présence de fèces ou de débris d'insectes doit toutefois

être interprétée avec précaution : ces indices peuvent persister des dizaines d'années dans une cavité, même si l'espèce a cessé de s'y reproduire.

Période d'observation : Les adultes sont visibles d'avril à septembre, juillet et août étant les mois les plus propices à leur observation.

Grand capricorne, *Cerambyx cerdo*

Chênes relativement âgés, l'environnement de l'arbre importe peu. Présence de grandes galeries large d'un à deux centimètres à l'extérieur du tronc.

Recherche d'individus adultes vivants dans les cavités ou sous l'écorce (activité essentiellement crépusculaire et nocturne). Recherche de l'habitat.

Période d'observation : Les adultes sont visibles de juin à septembre.

Rosalie des Alpes, *Rosalia alpina*

Les œufs sont insérés profondément (2 à 4 cm) dans les anfractuosités ou les blessures du bois (souches, grosses branches, plaies d'élagage...) (Nicollet et Lemperiere 2002). Le bois sec peu moi et bien exposé au soleil est préférentiellement choisi pour la ponte. La Rosalie effectue la totalité de son cycle de développement dans le bois mort : arbres morts ou malades encore sur pied, souches, troncs ou grosses branches coupés ou cassés au sol, etc. C'est la portion de bois mort sur laquelle l'œuf sera pondu qui constitue l'habitat, ou plutôt le microhabitat, de la Rosalie. De nombreux milieux naturels étant susceptibles de contenir ce microhabitat, l'espèce peut être rencontrée aussi bien en forêts que dans les zones bocagères, les ripisylves, etc. En plaine, elle exploite principalement les saules ou les frênes âgés, aussi bien sur des arbres isolés que dans des haies bocagères ou des ripisylves. Le Frêne est l'essence majoritaire dans la vallée de la Loire (X. GOUVERNEUR, comm. pers.).

Période d'observation : Les adultes sont surtout visibles en Juillet et en Août.

Amphibiens

L'inventaire des Amphibiens n'a pas vocation à être exhaustif sur le nombre d'espèces mais seulement de noter la présence/absence d'individus afin de définir des mesures d'évitement.

Lors des visites diurnes, des observations et identifications visuelles des pontes, têtards et adultes seront réalisées. Cette méthode peut être complétée par l'identification au chant, et par des prospections à l'épuisette pour identifier les larves et têtards qui se développent. Concernant la recherche d'Amphibiens à l'aide d'épuisette, la technique consiste à réaliser des mouvements d'épuisette par « aller et retour » d'environ 1 m dans et à proximité des différents habitats (par exemple dans les plantes aquatiques de différentes espèces, le long des berges, etc.)

Des prospections de nuit seront réalisées dans le but de prendre en compte les espèces plus actives la nuit. Le protocole consiste à une écoute des chants de 10 minutes maximum par site, complété par des observations visuelles à la lampe torche de 10 minutes en moyenne (Grossi 2010 ; Molière 2005).

Conditions et période de prospection :

Idéalement 3 visites annuelles, un passage courant février-mars, un 2e passage courant avril-mai et un dernier passage au mois de juin (RhoMeO).

Reptiles

L'inventaire des reptiles n'a pas vocation à être exhaustif sur le nombre d'espèces mais seulement de noter la présence/absence d'individus afin de définir des mesures d'évitement.

La détection à vue n'étant pas suffisante, et les plaques reptiles demandant d'être posées plusieurs mois avant pour permettre l'acclimatation des individus, il est préférable de chercher les habitats potentiels et d'estimer s'ils risquent d'être affectés par les travaux. Les habitats favorables sont les pelouses sèches, les pierriers, les murets, les lisières forestières et les haies.

Si le choix est fait d'utiliser des plaques, il faut les poser au mois de février.

Conditions et période de prospection :

Entre avril et juin. Plusieurs passages sont conseillés, à effectuer en fin de matinée. Les journées froides, pluvieuses ou de grand vent seront évitées. Une météo variable ou nuageuse sera préférée à une journée chaude et ensoleillée. Il est conseillé de parcourir longuement et lentement les zones favorables.

Même si les reptiles peuvent être contactés du mois d'avril au mois de septembre, (c'est-à-dire en dehors de leur période d'hibernation), deux périodes clés sont à privilégier pour la prospection :

- milieu du printemps (15 avril – 15 juin) : période d'appariement, les mâles sont plus mobiles ;
- fin de l'été (environ du 1er au 15 septembre) : fin de la période de gestation et mise bas, les femelles doivent s'exposer davantage pour mener à bien le développement des embryons. (Mionnet 2011)

Chiroptères

L'inventaire des Chiroptères n'a pas vocation à être exhaustif sur le nombre d'espèces mais seulement de noter la présence/absence de colonies ou d'individus afin de définir des mesures d'évitement.

L'inventaire est réalisé à vue, une recherche d'individus ou d'indices de présence est effectuée dans le site de repos diurne des chauves-souris (ponts, murets, cavités d'arbres, bâtiments). Les crottes de chauves-souris n'ont pas de tâche blanche, sont entassées à la verticale d'un gîte diurne et s'émettent en petites particules brillantes (chitine d'insectes).

Conditions et période de prospection : Du printemps à l'automne.

Oiseaux

L'inventaire des oiseaux se veut d'être le plus exhaustif possible dans la liste des espèces présentes au niveau d'un site afin d'en analyser la présence/absence d'espèces protégées et leur besoin de préservation.

Pour ce groupe, il peut être plus aisément de déterminer si les travaux de restauration de cours d'eau peuvent impacter l'avifaune. A priori, l'impact est faible voire nul, sauf pour certains sites. Il faudrait dans ce cas orienter les recherches sur quelques projets, comme par exemple ceux impactant des milieux propices à une avifaune spécifique, comme les roselières. De plus, ils sont aussi concernés par l'inventaire des arbres à cavités, certains oiseaux étant cavernicoles.

Mammifères terrestres

L'inventaire des mammifères vise le constat de présence d'espèces bien définies : notamment le Castor d'Europe (*Castor fiber*) et la Loutre d'Europe (*Lutra lutra*), qui sont les plus susceptibles d'être impactés par des travaux de restauration de cours d'eau. La recherche se fait par prospection des habitats potentiels.

- **Castor d'Europe** : Cours d'eau et berges.

Recherche d'indices de présence : réfectoire (trace de coupe), castoréum, empreintes.



- **Loutre d'Europe** : Berges, rochers ou souches surplombant le cours d'eau.

Recherche d'indices de présence : épreintes, empreintes.

Les épreintes se présentent sous forme de petits tas (souvent allongés, parfois légèrement cylindriques) verdâtres, noirs ou gris, selon l'état de fraîcheur. Elles contiennent généralement des écailles et des ossements de poissons. Leur odeur très particulière est certainement le meilleur critère pour les identifier. En effet, contrairement à la plupart des crottes, elles ne sentent pas « mauvais », mais sentent curieusement le miel (de châtaignier pour être précis) mêlé à un léger fumet de poisson. Les épreintes sont déposées sur les rives des cours d'eau, souvent sur une pierre, au pied d'un arbre, au niveau d'une confluence ou d'un pont, en quelque sorte au niveau de tout élément se distinguant du reste du paysage.

Les empreintes de pas montrent 5 doigts placés en éventail avec de petites griffes dont la marque est directement attenante au doigt. Le 5 ème doigt n'est pas toujours visible mais l'axe de symétrie de l'empreinte, qui passe au milieu d'un doigt, permet de distinguer l'empreinte de celle des animaux à 4 doigts, où l'axe de symétrie passe entre deux doigts. L'empreinte des pattes antérieures mesure environ 6 cm, celle des pattes postérieures environ 7 cm (INPN).



Les autres mammifères observés lors des prospections seront aussi notés et pris en compte lors des travaux.

4. Annexe 4 : Protocole de l'inventaire floristique

Protocole du suivi floristique

Le protocole de suivi de la flore a été construit à l'aide du « Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques » (Delassus 2015) du Conservatoire botanique national de Brest, du « Cahier de protocole des indicateurs de suivis du CTMA » (Loger et al., 2017) et de « La boîte à outils de suivi des zones humides » du Conservatoire d'espaces naturels de Savoie (Collectif RhoMéO 2014).

Inventaire :

Un seul passage est effectué par an, ce qui permet, selon les résultats du protocole RhoMéO, de capturer environ 65% des espèces d'un site. De plus, le contexte sanitaire lors de la période de stage n'a pas permis de réaliser un premier passage en avril-mai.

La méthode d'inventaire a pour objectif d'avoir un état de référence de la végétation et du milieu pour caractériser ensuite les impacts potentiels des travaux. Elle s'inspire de la phytosociologie sigmatiste de Braun-Blanquet. Il s'agit donc de relever les espèces végétales et leur recouvrement pour chaque association rencontrée le long d'un transect. Il faudra donc d'abord identifier les différentes unités végétales présentes pour ensuite inventorier les espèces au sein de ces unités et calculer des indices écologiques : biodiversité, humidité et azote avec l'indice de Shannon, l'indice d'équabilité de Piélou et les indices d'Ellenberg.

Après avoir visité le site, 2 à 4 transects sont définis, en fonction de la taille du site. Ces transects sont réalisés dans le sens du profil en travers et doivent être représentatifs de la végétation globale du site et rendre compte de l'hétérogénéité de l'habitat. Le long de ces transects, les différentes unités de végétation homogène sont repérées, et correspondent aux unités phytosociologiques. Pour cela, il faut se baser sur l'homogénéité floristique (composition spécifique) et physionomique (structure), ces deux aspects traduisant logiquement l'homogénéité écologique (Delassus, 2015). Ainsi, il faut tout d'abord repérer l'uniformité des couleurs et des textures dans la végétation et la stratification verticale. Ensuite, il faut s'assurer qu'au sein de ces formations la composition des espèces floristiques est homogène.

Une fois les différentes unités repérées, il faut choisir l'emplacement du relevé. Celui-ci ne doit pas être influencé par la volonté d'inclure un maximum d'espèces ou une plante rare. Le relevé doit se situer à l'emplacement qui paraît le plus caractéristique de l'unité. Ainsi, il faut éviter les zones qui paraissent hétérogènes, et il est préférable de le placer au centre de l'unité, afin d'éviter un effet de lisière. Un relevé ne sera considéré comme représentatif de l'association végétale que s'il est effectué sur une surface au moins égale à l'aire minimale, c'est à dire sur une surface assez grande pour contenir la quasi-totalité des espèces présentes dans l'association (Guinochet, 1973). Cette aire minimale est couramment déterminée en construisant une courbe aire-espèces. On peut cependant retenir une valeur de l'aire-minimale habituelle en fonction du type de végétation (Tableau 1) :

Formations	Etendues
Végétations annuelles de dalles ou fissures rocheuses	Quelques cm ²
Végétations flottantes de lentilles d'eau	10 cm ²
Prairie, pelouses maigres ou de montagne, végétations aquatiques, roselières, mégaphorbiaies	10 à 25 m ²
Communautés de mauvaises herbes, végétations rudérales, celles des éboulis, coupes forestières	25 à 100 m ²
Landes	100 à 200 m ²
Forêts	300 à 800 m ²

Formations	Etendues
Ourlets et lisières herbacées	10 à 20 m
Végétations herbacées ripuaires	10 à 50 m
Haies	30 à 50 m
Végétations des eaux courantes	30 à 100 m

Tableau 1 : Ordres de grandeur des aires minimales des relevés floristiques pour les étendues spatiales (en haut) et les linéaires (en bas). D'après Gorenflo *et al.* 2005 et Delpech 2006.

Pour chaque relevé, les espèces végétales sont déterminées et sont quantifiées selon les coefficients de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet *et al.*, 1932, Braun-Blanquet *et al.*, 1952) (Tableau 2).

De plus, la strate de chaque espèce est notée : herbacée, arbustive ou arborée. Le recouvrement de chaque strate sera noté en pourcentage, ainsi que leur hauteur moyenne en m ou cm.

Coefficients	Recouvrement
+	< 1 %, espèces disséminées et peu abondantes
1	< 5 %
2	Entre 5 % et 25 %
3	Entre 25 % et 50 %
4	Entre 50 % et 75 %
5	Entre 75 % et 100 %

Tableau 2 : Coefficients de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet *et al.*, 1932, Braun-Blanquet *et al.*, 1952).

Analyse :

De nombreuses espèces végétales présentent une courbe de croissance en fonction du niveau de la nappe et de la disponibilité en nutriments, montrant que ces espèces ont un optimum pour ces facteurs (Okland 1990, Ellenberg 1974). La bibliographie montre que l'ensemble des espèces présentes sur une placette (si les conditions écologiques sont à peu près homogènes) donne des indications plus précises qu'une seule ou quelques espèces (Braun-Blanquet, 1926). Les valeurs indicatrices de Julve (2012) apportent une indication sur les préférences écologiques des espèces végétales et sont disponibles pour les plantes de France métropolitaine dans un tableur nommé baseflore.

Pour chaque relevé, un indice d'humidité et d'azote est calculé. Pour ce faire, les espèces avec un coefficient de recouvrement de 2 à 5 sont conservées et ces coefficients sont convertis en pourcentage de recouvrement selon la table de Van der Maarel (1979) (Tableau 3) :

Coefficient d'abondance de Braun-Blanquet	Recouvrement moyen
+	0,1%
1	5,0%
2	17,5%
3	37,5%
4	62,5%
5	87,5%

Tableau 3 : Conversion entre le coefficient d'abondance Braun Blanquet et le recouvrement moyen (Van Der Maarel, 1979).

Ainsi, pour chaque relevé, les valeurs d'humidité (F) et d'azote (N) du référentiel Julve et le recouvrement des espèces sont utilisés pour calculer l'indice d'humidité moyenne et l'indice de fertilité moyenne selon les formules suivantes :

$$\text{Humidité moyenne} = F(\text{relevé}) = \sum(F * r) / \sum(r)$$

$$\text{Fertilité moyenne} = N(\text{relevé}) = \sum(N * r) / \sum(r)$$

Avec F la valeur d'humidité et N la valeur d'azote du référentiel Julve, et r le recouvrement moyen.

La valeur de l'indice F donne une indication sur le niveau moyen de la nappe, comme cela a été démontré (Pautou 1970, Diekmann 2003), et la valeur de l'indice N reflète la productivité globale liée à la disponibilité en nutriments (Diekmann 1998, Ertsen 1998). De ce fait, un indice F élevé indique un sol humide et un indice N élevé une forte disponibilité en nutriments.

Il est possible de comparer les relevés du même transect entre eux ou les transects du même site entre eux. L'objectif étant le suivi des impacts de la restauration, on cherche à comparer les indices F et N avant et après travaux. Pour les relevés situés sur la ripisylve ou les prairies jouxtant le cours d'eau, on s'attend à ce que la valeur F augmente après la restauration lorsque le but est de reconnecter le lit majeur et les zones humides, ainsi que de réduire la pente des berges.

Des indices de biodiversité sont aussi calculés : l'indice de diversité de Shannon H' et d'équitabilité de Piélou J'.

$$\text{Indice de Shannon} = H' = -\sum(P_i * \log P_i)$$

Avec P_i la proportion de l'espèce : $P_i = n_i / N$

n_i = nombre d'individus d'une espèce dans le relevé

N = nombre total d'individus dans le relevé

$$\text{Indice de Piélou} = J' = H' / H_{\max}$$

Avec $H_{\max} = \log S$

S = nombre total d'espèces (richesse spécifique).

Attention : Après conversion du coefficient d'abondance en recouvrement moyen, la somme des P_i n'est pas égale à 1. Il est nécessaire de diviser les P_i par la somme des P_i afin d'avoir une proportion sur 1 avant de calculer les différents indices de biodiversité.

L'indice de Shannon augmente à mesure que les individus sont répartis de façon égale dans les différentes espèces. Ainsi, lorsqu'une espèce domine le peuplement, H' s'approche de 0. En revanche, lorsque toutes les espèces présentent le même nombre d'individus, H' est à son maximum.

L'indice d'équitabilité de Piélou permet de restreindre la dominance des espèces entre 0 et 1 en prenant en compte la valeur de diversité maximale H_{\max} . Ainsi, lorsque J' s'approche de 0, cela signifie qu'une espèce domine le peuplement. Quand, au contraire, J' tend vers 1, on peut conclure que les différentes espèces ont des abondances relativement identiques au sein du peuplement.

Par ailleurs, il est possible de calculer la proportion de plantes indicatrices de zones humides pour les relevés concernant les ripisylves ou prairies proches des cours d'eau. En effet, on s'attend à ce que ces espèces soient plus nombreuses après les travaux de restauration ayant pour but de reconnecter les annexes. Pour cela, la « Déclinaison en Pays de la Loire de la liste des plantes indicatrices de zones humides inscrites à l'arrêté interministériel du 24 juin 2008 » (Lacroix et al., 2009) est utilisée.

5. Annexe 5 : Protocole de l'inventaire des Odonates

Protocoles suivis Odonates

Protocole inspiré du Suivi temporel des libellules : STELI et du Cahier de protocole des indicateurs de suivis du CTMA de 2017.

Choix des sites

Un site d'étude sera défini par le site de restauration. Le site d'étude et son périmètre seront géoréférencés, et seront fixes d'une année sur l'autre si la restauration le permet (impossible dans certains cas, comme les remises dans le talweg). Si le site de restauration est trop étendu (par exemple une restauration linéaire de 1km), il est possible de réaliser des ensembles de points d'observation sur des secteurs stratégiques ayant le plus de probabilité de présence d'Odonates.

Description du site

La surface du site et la description des habitats seront caractérisés au début de l'étude. La description des habitats sera mise à jour chaque année, en utilisant une grille de description standardisée. (Cf fin du protocole). Si le site présente plusieurs habitats, décrire les dominants.

Méthode de relevé

L'observateur réalisera une liste la plus exhaustive possible des espèces d'Odonates présentes sur le site. Si l'observateur suit un itinéraire sur le site, le principe est de réaliser une prospection globalement identique à chaque passage.

En fonction des connaissances de l'observateur, les identifications varieront de l'espèce au groupe d'espèces. Les relevés seront faits à vue et par capture. Pour la capture d'espèces protégées, l'observateur devra détenir une autorisation de capture. Les observateurs le souhaitant pourront compléter leurs inventaires de site en prospectant les exuvies ou les larves, de même, les observateurs pourront identifier pour chaque espèce les stades biologiques et les comportements observés.

La typologie sera celle utilisée par la SFO :

- stade biologique : adulte, immature, émergent, exuvie, larve,
- comportements : comportement d'appétence sexuelle (territorialité, poursuite, etc.), tandem, accouplement, ponte.

L'observateur devra mentionner la ou les méthodes utilisées (à vue, capture).

Temps de relevé :

L'objectif est d'obtenir un relevé aussi complet que possible des espèces présentes un jour donné pour chaque site. Ainsi, l'observateur devra rester **au minimum 30 min** sur le site. En règle générale, la durée de l'inventaire excédera ce temps minimum. L'observateur indiquera alors l'heure du début et de fin de son inventaire du jour. Le temps de relevé ne devra pas excéder une journée.

Répétition des relevés dans le temps :

1 fois avant le 15 juin, 1 fois entre mi-juin et fin juillet et 1 fois à partir du 1 août.

Quantification des individus :

L'observateur aura le **choix** de relever :

- soit la présence des espèces observées,
- soit des fourchettes d'abondance des espèces observées,
- soit le dénombrement précis des espèces observées.

L'observateur relevant des fourchettes d'abondance utilisera les intervalles suivant :

- 1 individu,

- 2 à 10 individus,
- 11 à 50 individus,
- >50 individus.

Conditions météorologiques :

Les relevés devront dans la mesure du possible être réalisés dans des conditions météorologiques optimales. A chaque passage un relevé météorologique devra être effectué.

Conditions météorologiques optimales pour réaliser les relevés Odonates

		Température			
		< 17°C	17°C - 25°C	> 25°C	>30°C
Nébulosité	> 75%	non	oui	oui	oui
	< 75%	oui	oui	oui	oui
Pluie		non	non	non	non
Force du vent	> 5 Beaufort	non	non	non	non
Heure		10h-16h	10h-16h	10h-17h	9h - 18h

Echelle Beaufort

Force 0	La fumée des cheminées monte droit.
Force 1	très légère brise. La fumée des cheminées indique la direction du vent. 1 à 5 km/h.
Force 2	légère brise. On sent le vent sur le visage, les feuilles bougent. 6 à 11 km/h.
Force 3	petite brise. Les drapeaux flottent, les feuilles sont sans cesse en mouvement. . 12 à 19 km/h.
Force 4	jolie brise. Les poussières s'envolent et les petites branches ne cessent de bouger. 20 à 28 km/h.
Force 5	bonne brise. Les petits arbres balancent, les sommets des arbres s'agitent. 29 à 38 km/h.

Tableaux 1 et 2 : Conditions météorologiques optimales pour l'inventaire des Odonates et échelle des vents de Beaufort, source : SFO 2010.

Analyse

Dans le cadre des suivis de restauration, il est surtout intéressant de comparer les richesses spécifiques **S** avant et après travaux. Ainsi, lorsque la restauration a pour objectif de diversifier les habitats et de reconnecter les annexes et zones humides, on s'attend à observer plus d'espèces après les travaux. Si les individus sont dénombrés, il est possible de calculer les indices de Shannon et de Piélou.

Indice de Shannon = $H' = -\sum(Pi * logPi)$

Avec Pi la proportion de l'espèce : $Pi = ni/N$; ni = nombre d'individus d'une espèce dans le relevé et N = nombre total d'individus dans le relevé

Indice de Piélou = $J' = H' / Hmax$

Avec $Hmax = \log S$ et S = nombre total d'espèces (richesse spécifique).

L'indice de Shannon augmente à mesure que les individus sont répartis de façon égale dans les différentes espèces. Ainsi, lorsqu'une espèce domine le peuplement, H' s'approche de 0. En revanche, lorsque toutes les espèces présentent le même nombre d'individus, H' est à son maximum.

L'indice d'équitabilité de Piélou permet de restreindre la dominance des espèces entre 0 et 1 en prenant en compte la valeur de diversité maximale $Hmax$. Ainsi, lorsque J' s'approche de 0, cela signifie qu'une espèce domine le peuplement. Quand, au contraire, J' tend vers 1, on peut conclure que les différentes espèces ont des abondances relativement identiques au sein du peuplement.

Description des habitats

Chaque site fera l'objet d'une description de l'habitat selon la grille suivante, avec un seul choix de description par catégorie (ex : habitat aquatique mare ; eau turbide ; niveau de l'eau constant...). En cas de plusieurs habitats différents sur un même site, chaque habitat sera décrit mais distingué selon son importance en terme de surface (habitat dominant, secondaire et faiblement représenté)

Habitats aquatiques	Eau	Phénomène d'eutrophisation (présence d'algue filamentuse)	Variation du niveau de l'eau	Courant	Végétation aquatique	Rives
Sources/suintements			Niveau de l'eau très variable au cours de l'année	Courant lent	Présence d'herbiers (végétation submergée)	Rives nues
Fossés inondés	Turbidité (eau trouble)		Niveau de l'eau globalement constant au cours de l'année	Courant lent	Présence de végétations flottantes	Rives avec végétation herbacée
Ruisselets/ruisseaux (<3m de large)	Eutrophisation et turbidité		Courant rapide		Présence d'hélophytes (appareil végétatif aérien)	Rives avec végétation ligneuse
Rivières (entre 3 et 10m de large)	Absence d'eutrophisation et de turbidité		Inconnu		Présence d'herbiers et de végétations flottantes	Rives avec végétation herbacée et ligneuse
Grands cours d'eau, fleuve (>10m de large)					Présence d'herbiers et d'hélophytes	
Canaux navigables					Présence de végétations flottantes et d'hélophytes	
Mares (moins de 50 m ²)					Absence totale de végétation aquatique	
Étangs (50 - 450 m ²)						
Maraîches ou tourbières alcalines						
Tourbières acides						
Lacs et grands réservoirs						
Milleix aquatiques cultivés						
Prairies humides						
Maraîches saumâtre						
Estuaire						
Activité humaine						
Habitat terrestre						
Boisement feuillus						
Boisement conifères						
Boisement mixte						
Buissons, haies ou jeune boisement < 5m de hauteur						
Milieu ouvert, non agricole (landes, steppe,...)						
Sol minéral sans végétation (banc de sable, dune blanche, sol rocheux)						
Urbain : Espace vert						
Milieu agricole = prairie de fauche ou cultivée						
Milieu agricole = grande culture						
Milieu agricole = verger, vignes, maraîchers						
Milieu agricole = élevage						
Milieu agricole - autre						

Tableau 3 : Grille de description des habitats, source : SFO 2010.

6. Annexe 6 : Protocole de l'inventaire des Amphibiens

Protocole de suivi des Amphibiens

Ce protocole a été construit à l'aide du Cahier de protocole des indicateurs de suivis du CTMA (Loger et al., 2017), du Bilan des états initiaux du Contrat Territorial des Milieux Aquatiques des Basses Vallées Angevines (Martin, 2019) et de « La boîte à outils de suivi des zones humides » du Conservatoire d'espaces naturels de Savoie (Collectif RhoMéO 2014). Le protocole Pop-Amphibien est utilisé comme base méthodologique (Barrioz et al. 2016).

Principe

L'objectif est d'avoir la liste des espèces présentes sur les sites concernés par les travaux de restauration, donc les zones humides et annexes des cours d'eau, ainsi que les mares proches.

Idéalement, 3 sessions dont 1 nocturne seront réalisées (RhoMeO ; Miaud, 2005) :

- Fin janvier/début février pour la reproduction des espèces précoces (Grenouilles rousses et agiles, Crapaud épineux, Salamandre tachetée).
- Début mars jusqu'à courant mai pour les espèces plus tardives comme le Pélodyte ponctué, le Crapaud calamite ou la Rainette verte et également pour les tritons.
- Fin mai jusqu'à début juin pour les espèces les plus tardives comme les Grenouilles vertes, le Sonneur à ventre jaune et l'Alyte (Miaud, 2005)

Cependant, le suivi étant réalisé par des stagiaires, le passage de janvier-février n'est pas faisable. Ainsi, 3 passages, nocturnes et diurnes, peuvent être faits idéalement : mars-avril ; mai-juin ; juin-juillet. Il est nécessaire de passer au moins une fois de nuit et une fois de jour, et de respecter une pression d'échantillonnage homogène entre les différents types d'habitats (Porteret, 2017).

Méthode d'échantillonnage

L'inventaire des Amphibiens combine plusieurs méthodes afin d'être le plus représentatif possible, le but étant d'être le plus exhaustif possible dans la liste des espèces présentes au niveau d'un site.

Ainsi, lors des visites diurnes, des observations et identifications visuelles des pontes, têtards et adultes pourront être réalisées. Cette méthode peut être complétée par l'identification au chant, et par des prospections à l'épuisette pour identifier les larves et têtards qui se développent. Des points d'écoute sont choisis afin de couvrir des zones potentielles de présence d'espèces.

Concernant la recherche d'Amphibiens à l'aide d'épuisette, la technique consiste à réaliser des mouvements d'épuisette par « aller et retour » d'environ 1 m dans et à proximité des différents habitats (par exemple dans les plantes aquatiques de différentes espèces, le long des berges, etc.).

Il peut être intéressant également de noter l'effort de pêche (par exemple la durée, nombre de coup d'épuisette, linéaire de berges échantillonées, etc.) (Miaud, 2005).

Des prospections de nuit seront réalisées dans le but de prendre en compte les espèces plus actives la nuit. Le protocole consiste en une écoute des chants de 10 minutes maximum par point, complétée par des observations visuelles à la lampe torche de 10 minutes en moyenne (Grossi J.L., mai 2010 ; Molière, J.-J., 2005). Les Amphibiens utilisent régulièrement des abris (bois, pierres, etc.), qui pourront être inspectés avec profit (Miaud 2005).

Le stade sera noté : ponte, larve, adulte.

Le but n'est pas de suivre l'importance des populations mais d'avoir une vision des espèces présentes. Le suivi au cours des années permet de juger des conséquences des travaux de restauration sur le nombre d'espèces présentes. Cependant, il reste intéressant de noter le nombre d'individus et de pontes observé, en utilisant si nécessaire des classes d'abondance : 1 à 10 ; 11 à 50 ; plus de 50 (RhoMéO).

Analyse

L'objectif est de savoir quelles sont les espèces présentes sur le site, et de comparer la liste des espèces observées au peuplement attendu. Pour cela, on utilise la formule suivante :

Intégrité du peuplement = Nb sp capturées / Nb sp liste réf. présente

La liste des espèces attendues est établie sur la base de la consultation de l'Atlas des Amphibiens du Maine et Loire (Beslot & Faux, 2016). Le site internet de l'INPN qui représente spatialement la répartition des différentes espèces sur une maille de 10 km² peut aussi être utilisé : [http://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/recherche].

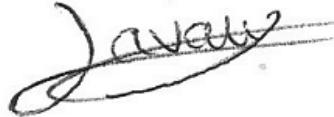
Pour la comparaison, dans l'onglet "Données sur la répartition", il ne sera retenu que les couches "Distribution de référence" (pour les deux périodes) correspondant aux données de la Société Herpétologique de France (SHF).

La valeur de cette composante de l'indice évolue de 0 à 1 et traduit, plus on se rapproche de 1, la présence du maximum d'espèces sténophiles possibles dans notre échantillonnage (RhoMéO).

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné Nathan Lavaux
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une
partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet,
constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.
En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées
pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiant(e) le **25 / 08 / 2020**



Cet engagement de non plagiat doit être signé et joint
à tous les rapports, dossiers, mémoires.

Présidence de l'université
40 rue de rennes – BP 73532
49035 Angers cedex
Tél. 02 41 96 23 23 | Fax 02 41 96 23 00

