

Mémoire

Auteur : Ackaert, Arthur

Promoteur(s) : Wellens, Joost

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/21508>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ULiège - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

**EN QUOI L'INVENTORISATION DES COURS D'EAU NON
CLASSÉS PEUT-ELLE RÉPONDRE AUX ATTENTES DE
LUTTE CONTRE LES INONDATIONS ET DE MAINTIEN DE LA
BIODIVERSITÉ AVEC LA MISE EN PLACE DE NATURE
BASED SOLUTIONS ? : CAS D'ÉTUDE SUR LE BASSIN
VERSANT DE LA GUEULE**

ARTHUR ACKAERT

**MEMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023-2024

RÉDIGÉ SOUS LA DIRECTION DE MONSIEUR JOOST WELLENS

COMITÉ DE LECTURE :

MONSIEUR GUILLAUME RENARD

MADAME MARIE LANG

©Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège.

*L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : ACKAERT Arthur
(arthur@ackaertfrancois.net)

Remerciements :

Je tiens tout particulièrement à remercier mon promoteur Monsieur Wellens pour sa confiance et les libertés qu'il m'a permis de prendre lors de la réalisation de ce travail. Ainsi que pour ses conseils et sa bienveillance durant tout mon parcours académique au campus d'Arlon.

Je remercie également les membres du jury Monsieur Renard et Madame Lang pour avoir relu et évalué mon travail.

Je suis très reconnaissant envers tous les membres de la structure du Contrat Rivière Meuse-Aval et ses affluents pour leur accueil et leur soutien lors de mon stage qui est à l'origine de ce travail. Avec une attention toute particulière pour Samuel et Marie-Claire pour leurs conseils et le temps qu'ils m'ont consacré ainsi que pour Patrick pour toutes ses idées et son accompagnement tout le long du stage.

Merci à mes parents et à mes proches pour leur soutien lors de ce travail ainsi que lors de l'ensemble de mes études.

Résumé

Depuis les inondations de juillet 2021, les phénomènes d'inondations occupent une importance médiatique très importante. La perception des inondations et les dangers qu'elles représentent ont beaucoup évolués dans l'opinion publique. Encore plus pour les régions qui ont été les plus touchées notamment la partie du bassin de la Gueule qui se trouve aux Pays-Bas.

Pour pallier à ces problèmes, de nombreuses solutions sont proposées et mises en place le long des cours d'eau. Pourtant, très peu d'entre elles concernent les cours d'eau non classés qui jouent un rôle dans l'accumulation des eaux vers l'aval lors d'épisodes d'inondations.

Le premier objectif de cette étude est de découvrir si l'inventorisation des cours d'eau non classé, en fonction de leurs caractéristiques, sous forme d'une carte permet d'identifier des éléments d'amélioration pour lutter contre les inondations et maintenir la biodiversité.

Le second objectif de cette étude est de déterminer si la mise en place de projets fondés sur la nature aux abords de ces mêmes cours d'eau non classés peut répondre aux attentes de lutte contre les inondations et de maintien de la biodiversité.

Abstract

Since the floods of July 2021, flood phenomena have taken on a very high media profile. The public perception of floods and the dangers they represent has evolved considerably. Even more so for the regions that have been hardest hit, notably the Gueule basin.

To overcome these problems, numerous solutions have been proposed and implemented along watercourses. However, very few of them concern unclassified watercourses, which nevertheless have a role to play during floods.

The first objective of this study is to find out whether the inventory of unclassified watercourses, according to their characteristics, in the form of a map, makes it possible to identify elements for improvement to combat flooding and maintain biodiversity.

The second objective of this study is to determine whether the implementation of nature-based projects in the vicinity of these watercourses can meet the expectations of flood control and biodiversity maintenance.

Table des figures

Figure 1 - Exemple de nature based solution avec la mise en place de Keyline Design.	14
Figure 2 : Hydrogramme de crue avec les différentes grandeurs remarquables.....	15
Figure 3 : Variation de la hauteur d'eau qui ruisselle en fonction de la présence d'un couvert végétal.....	17
Figure 4 : Proportion de l'infiltration, de l'évaporation et du ruissellement en fonction de l'urbanisation.....	18
Figure 5 - Exemple de canalisation retrouvée lors de l'inventaire	19
Figure 6 : Exemple de remise à ciel ouvert avec la situation initiale et la situation projetée.....	20
Figure 7 - Exemple de représentation d'un CVP (source : PROTECT'eau)	21
Figure 8 - Rôle du CVP face au ruissellement (source IRSTEA).....	23
Figure 9 : Schéma de l'eutrophisation dans un milieu aquatique (De Vos & Petitfrère, 2008).....	24
Figure 10 : Exemples d'espèces présentes dans les cordons rivulaires : Martin pêcheur (gauche) et odonate (droite)	26
Figure 11 : Exemple de piège à embâcles	27
Figure 12 - Photo de jonc, massette et scirpe des bois (de gauche à droite)	28
Figure 13 : Impact des zones humides sur l'écoulement des eaux de pluies (Mitsch & Gosselink, 2015).	30
Figure 14 : Délimitation de la Structure Écologique Principale en région Wallonne (source : DEMNA)	32
Figure 15 : Représentation de l'Euregio Meuse-Rhin	34
Figure 16 : Représentation des communes de la zone d'étude (en rouge) et les cours d'eau étudiés superposés au réseau écologique	35
Figure 17 : Représentation du corridor Ostherthogenwald - Kelmis	35
Figure 18 : Représentation du corridor vallée de la Gueule dans la zone étudiée	36
Figure 19 : Représentation du corridor sud d'Aachen dans la zone étudiée.....	36
Figure 20 : Représentation des sous-ensembles du réseau écologique dans la zone étudiée	37
Figure 21 : Représentation de chacun des sous-ensembles où des améliorations sont possible ainsi que le nombre de km de haies à planter dans ces derniers pour atteindre un état de bocage (65m/ha) (avec en jaune les bocages dégradés).....	38
Figure 22 : Représentation des sous-ensembles où des améliorations sont possibles et le nombre de mares à creuser pour atteindre 4 mares/km ²	39
Figure 23: Carte de l'ensemble des bassins versants principaux de Wallonie (avec le bassin de la Gueule entouré en rouge) (WalonMap)	40
Figure 24 : Légende de la classification des espèces permettant la classification en SGIB en fonction de leur degré d'extinction	49

Figure 25 : Inventaire des cours d'eau non classés sur le bassin de la Gueule pour la lutte contre les inondations et le maintien de la biodiversité.....	50
Figure 26 : Représentation de l'occupation du sol des cours d'eau non classés sur le bassin de la Gueule	51
Figure 27 : Représentation des zones inondées (en bleu) lors des évènements de juillet 2021	52
Figure 28 : Représentation des cours d'eau canalisés sur le bassin de la Gueule.....	53
Figure 29 : Représentation des 3 types de canalisations	54
Figure 30 : Représentation de la présence de ripisylve (ou d'un cordon rivulaire)	55
Figure 31 : Représentation de la ripisylve et du réseau écologique WWF.....	56
Figure 32 : Représentation des espèces intéressantes pour permettre une classification en SGIB	57
Figure 33 : Concentration d'espèces intéressantes pour la classification d'une zone en SGIB sur la commune de Lontzen	58
Figure 34 : Inventaire complet des cours d'eau non classés sur le bassin de la Gueule pour la lutte contre les inondations et le maintien de la biodiversité.....	59
Figure 35 : Identification de la présence de cigogne noire sur le territoire de la zone d'étude (entouré en rouge)	60
Figure 36 : Première zone d'intérêt (entourée en rouge)	61
Figure 37 : Zoom sur la zone intéressante avec les secteurs qui ont été inondés en juillet 2021(en bleu).....	62
Figure 38 : Seconde zone d'intérêt (entourée en rouge).....	62
Figure 39 : Zoom sur la zone d'intérêt contenant 2 zones humides (en bleu hachuré vert)	63
Figure 40 : Troisième zone d'intérêt (entourée en rouge)	63
Figure 41 : Zoom sur la zone en amont du village de Eynatten	64
Figure 42 : Quatrième zone d'intérêt (entourée en rouge).....	65
Figure 43 : Zoom sur l'ancienne carrière de Rotsch	65
Figure 44 : Représentation des sous-ensembles des corridors écologiques ainsi que les km de haies à planter pour atteindre 65m/ha.....	67
Figure 45 : Zone canalisée en amont du village d'Eynatten.....	69
Figure 46 : Coupe transversale d'une plaine alluviale utilisée comme plaine inondable	70
Figure 47 : Zones impactées par les inondations de 2021 (en bleu) aux alentours des zones humides intéressantes.....	71
Figure 48 : Analyse FFOM de l'inventorisation et de la mise en place de NBS.....	75

Table des abréviations :

NBS	Nature Based Solution
SBN	Solution Basée sur la Nature
CRMA	Contrat Rivière Meuse Aval et ses affluents
IWEPS	Institut Wallon de l'évaluation, de la prospection et de la statistique
Cemagref	Centre d'Étude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et des Forêts
AREAS	Association de recherche sur le Ruissellement, l'Érosion et l'Aménagement du Sol
CVP	Couvert végétal permanent
MAEC	Méthode agro-environnementale
RHW	Réseau hydrographique wallon
SGIB	Site de grand intérêt biologique
SEP	Structure écologique principale
DEMNA	Département de l'étude du milieu naturel et agricole
SAU	Surface agricole utilisée
ZIT	Zone d'immersion temporaire
WWF	World Wild Fund for Nature

Table des matières

Remerciements :	4
Résumé	5
Abstract	5
1. Introduction :	12
1.1 Présentation de l'étude :	12
1.2 Contexte des inondations en 2021	13
1.3 Les solutions basées sur la nature	13
2. Etat de l'art	14
2.1 Définition des cours d'eau non classés et leur intérêt.....	14
2.2 Choix des caractéristiques du cours d'eau qui ont été observées sur le terrain	
16	
2.2.1 L'occupation du sol et son impact sur le cours d'eau.....	16
2.2.2 La présence de canalisation et son impact sur le cours d'eau	18
2.2.3 La présence de CVP et son impact sur le cours d'eau	20
2.2.4 L'accès au cours d'eau par le bétail et son impact sur le cours d'eau	23
2.2.5 La présence de ripisylve et son impact sur le cours d'eau	25
2.2.6 La présence d'une zone humide et son impact sur le cours d'eau.....	28
3. Les formes de protection de la biodiversité	31
3.1 SGIB	31
3.1.1 Définition	31
3.1.2 Intérêt et mise en place.....	31
3.2 Natura 2000	33
3.2.1 Définition	33
3.2.2 Intérêt.....	33
3.3 Réseau écologique WWF	34
3.3.1 Les corridors écologiques	34
3.3.2 La plantation de haies.....	37
3.3.3 Le creusement de mares.....	38
4. Cas d'étude :	40
5. Matériel et méthode	41

5.1	Préparation :	41
5.2	Configuration de Qfield :	42
5.3	Inventaire de terrain :	42
5.3.1	Encodage des caractéristiques du tronçon :	42
5.3.2	Numérotation :	43
5.3.3	Métadonnées des champs :	43
5.3.4	Encodage de nouveaux tracés :	45
5.3.5	Encodage d'une zone humide :	46
5.3.6	Végétation des zones humides :	46
5.3.7	Sauvegarde des modifications :	46
5.3.8	Attitude de terrain :	47
5.4	Le traitement des données :	48
5.4.1	Transformation du ponctuel au linéaire :	48
5.4.3	Ajout des espèces intéressantes (SGIB).	48
5.4.4	Ajout de la trame écologique WWF :	49
5.4.5	Zones complexes (optionnel) :	49
6.	Résultats de l'inventaire :	50
6.1	Cartographie	50
6.1.1	Carte générale	50
6.1.2	L'occupation du sol	51
6.1.3	La présence de canalisations	53
6.1.4	La présence d'un cordon rivulaire	54
6.1.5	Les espèces menacées	56
6.1.6	Description générale de la zone d'étude	58
6.2	Identification des zones intéressantes	60
6.2.1	Zone riche en biodiversité (carrière de chaux et dolomite à Rabotrath) ..	60
6.2.2	Zone humide (Bois communautaire de la Calamine)	62
6.2.3	Village de Eynatten	63
6.2.4	Ancienne carrière Rotsch à Walhorn	64
7.	Propositions de projets (Nature Based Solutions)	66
7.1	Renaturation du bocage	66
7.2	Mise en place d'un SGIB	67

7.3	Décanalisation d'un cours d'eau.....	68
7.4	Mise en place d'une ZIT (Zone d'Immersion Temporaire) dans la plaine alluviale 69	
7.5	Maintien ou renaturation d'une zone humide	70
	Discussion	72
	Conclusion	74
	Bibliographie.....	76
	Annexes	79

1. Introduction :

1.1 Présentation de l'étude :

Depuis 2021, la manière de voir les inondations a changé dans l'imaginaire de la population étant donné la gravité des événements qui ont frappé la Belgique. En effet, elles occupent dorénavant un espace médiatique beaucoup plus important et sont considérées comme une calamité naturelle qui peut surgir n'importe quand. De plus, j'ai pu observer quelques heures avant les inondations du bassin de la Vesdre l'impact des cours d'eau de plus petite taille. Cela a fait naître la conviction que travailler le plus tôt possible peut améliorer les choses et même à petite échelle. J'ai eu l'opportunité de pouvoir réaliser mon stage dans le domaine de la gestion des cours d'eau en Wallonie au sein de l'ASBL Contrat Rivière Meuse-Aval et ses affluents (CRMA). Le maître de stage m'a proposé de réaliser un inventaire des cours d'eau non classés sur les communes de Dalhem, Aubel, Plombières, Raeren, Welkenraedt, Lontzen et La Calamine ce qui m'a permis d'avoir toutes les cartes en main pour réaliser cette étude. Le choix de ces communes n'est pas anodin car soit elles ont été touchées par les inondations de 2021, soit elles se trouvent dans un bassin versant où les dégâts ont été très importants à l'aval (aux Pays-Bas et à Dalhem). L'objectif de travailler avec des solutions basées sur la nature s'inscrit dans le but d'augmenter la résilience de nos cours d'eau de manière durable avec des projets qui s'inspirent de la nature tout en la respectant. De plus, les NBS sont diverses et variées mais également reproductibles sur d'autres bassins versants. L'abondance de biodiversité dans la zone d'étude a induit le choix de travailler sur le thème des inondations en parallèle avec celui de la biodiversité. Elle est traversée par plusieurs corridors écologiques et possède plusieurs sites Natura 2000 et SGIB, ce qui traduit la présence d'une faune et d'une flore remarquables et à protéger.

L'étude se base sur un inventaire de terrain des cours d'eau non classés qui a été réalisé lors de mon stage. Il s'agissait de se déplacer le long des cours d'eau et d'encoder les différentes caractéristiques et ensuite les traiter afin d'obtenir une cartographie représentative de l'état des cours d'eau non classés.

Cette étude va être divisée en différentes parties : une présentation théorique des éléments observables sur le terrain et de leurs impacts en termes de lutte contre les inondations et de maintien de la biodiversité afin de comprendre au mieux les rôles de ces derniers et de permettre d'identifier les zones où des choses peuvent être mise en place.

Une présentation de la méthodologie d'inventaire afin de comprendre le travail qui a été réalisé sur le terrain et pour permettre une reproduction de ce dernier sur d'autres bassins versants.

Une présentation du résultat de l'inventaire sous la forme d'une carte de la zone d'étude afin de pouvoir réaliser une identification sur la carte des zones d'intérêt. L'identification de ces zones intéressantes se basera uniquement sur les caractéristiques observées sur le terrain et sur quelques éléments pertinents ajoutés pour renforcer cette étude (principalement en termes de biodiversité).

Enfin des propositions de solutions basées sur la nature dans certaines des zones intéressantes identifiées afin de proposer des solutions concrètes pour appuyer les propos de cette étude.

L'objectif est donc de dégager des pistes de solutions simples faces aux phénomènes des inondations tout en ayant une vision plus globale plutôt que de se concentrer uniquement sur les zones les plus impactées.

1.2 Contexte des inondations en 2021

En juillet 2021, la Belgique a été victime d'inondations sur l'ensemble du pays à la suite de fortes précipitations. Ces dernières ont entraîné des pertes matérielles très importantes et même des pertes humaines. Il s'agit du plus gros épisode d'inondations de la Wallonie à l'époque moderne : 209 communes sur 262 ont été touchées, 100 000 personnes ont été sinistrées, 48 000 bâtiments ont été touchés par l'évènement (dont 45 000 logements) et malheureusement 39 personnes sont décédées à la suite de ces inondations. Le coût pour la région Wallonne a été estimé à 2,8 milliards d'euros (SPW, 2022). Ces évènements dramatiques ont complètement changé les mentalités et les visions des inondations en rendant la lutte contre les inondations prioritaire dans l'esprit collectif.

Les inondations de juillet 2021 sont considérées comme un évènement exceptionnel avec une période de retour de 200 ans (Vilmos, (R. s.d.)).

La zone d'étude a également été touchée par les inondations de 2021 mais de manière un peu particulière car si les dégâts ne sont pas aussi importants que dans d'autres communes (à l'exception de Raeren) le bassin de la Gueule se déverse en direction des Pays-Bas qui ont été beaucoup plus impactés.

1.3 Les solutions basées sur la nature

La rapide urbanisation ainsi que les changements climatiques posent des menaces significatives aux écosystèmes et à la qualité de vie des populations (Agence européenne pour l'environnement, 2012). Les effets combinés de l'urbanisation et des changements climatiques entraînent divers défis environnementaux et sociétaux, tels que l'augmentation de la pollution atmosphérique, les inondations, la perte de biodiversité et les vagues de chaleur (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Face à ces défis croissants, les solutions basées sur la nature (SBN) ont été largement discutées dans la littérature comme des réponses potentielles (Cohen-Shacham et al., 2016, Palomo et al., 2021). La Commission européenne définit les solutions fondées sur la nature comme des solutions inspirées et appuyées par la nature, qui présentent un bon rapport coût-efficacité, apportent à la fois des avantages environnementaux, sociaux et économiques, et contribuent à renforcer la résilience. Elle indique que ces solutions augmentent la présence et la diversité de la nature, et de caractéristiques et processus naturels dans les villes, les paysages et les paysages marins grâce à des interventions adaptées au niveau local, économes en ressources et systémiques (Commission Européenne, 2015). Les solutions basées sur la nature sont diverses et variées en fonction de leurs objectifs, on retrouve par exemple : la purification de l'eau, la réduction des risques d'inondation (comme les Keyline Design dans la Figure 1) ou bien encore des initiatives pour diminuer les températures et améliorer la qualité de l'air (Sarabi et al, 2020).

Les solutions basées sur la nature sont une excellente alternative pour lutter contre le réchauffement climatique et développer une forme de résilience contre ce dernier. Elles sont également une excellente solution pour travailler au maintien de la biodiversité conjointement avec la lutte contre le réchauffement climatique selon l'un des rapport du GIEC de 2021. De plus, dans le cadre de cette étude, elles y trouvent une place toute particulière : il s'agit de travailler sur l'ensemble des petits affluents afin de ralentir au maximum l'eau et ainsi d'augmenter son infiltration et de diminuer son débit. De plus, ces projets sont moins contraignants et moins coûteux que des projets de grande

envergure sur les grands cours d'eau. Les solutions basées sur la nature ont également une certaine importance afin de conserver le paysage particulier et protégé dans la zone d'étude.



Figure 1 - Exemple de nature based solution avec la mise en place de Keyline Design

2. Etat de l'art

2.1 Définition des cours d'eau non classés et leur intérêt

Les cours d'eau non classés sont des cours d'eau qui possèdent un bassin versant de moins de 100 ha. Il s'agit de la plus petite catégorie de cours d'eau et leur gestion est privée, elle est à la charge du propriétaire de la parcelle traversée ou aux abords du cours d'eau.

Pour comprendre le rôle de ces cours d'eau lors d'inondations, il faut comprendre la forme d'un bassin versant et comment cette forme est répartie en 3 zones formant un entonnoir (GISER SPW, 2009 ; Amassou, 2010) :

Une zone de production, représentée par cône de l'entonnoir, intercepte un maximum de pluie. Dans cette zone, les écoulements sont diffus, dispersés et puis progressivement, ces écoulements vont se concentrer, s'organiser, accélérer et à ce moment-là, on se trouve dans la zone de transfert.

Dans la zone de transfert, représentée par le tube de l'entonnoir, le ruissellement va rapidement vers l'aval.

Enfin, on arrive dans la troisième zone, la zone de dépôt : la zone où les ruissellements vont ralentir, de nouveau se disperser et provoquer de l'accumulation et éventuellement de la sédimentation.

L'ensemble des trois zones forment un bassin versant et à chaque zone correspond un type de mesure adaptée.

Dans la zone de production, il faut favoriser au maximum l'infiltration, on va favoriser le ralentissement des écoulements par tous types de mesures possibles pour limiter la quantité d'eau qui va rentrer dans la zone de transfert.

Une fois dans la zone de transfert, il n'est plus question d'essayer de ralentir les flux, ils sont beaucoup trop rapides, beaucoup trop puissants et on va plutôt essayer de diriger l'eau : en la conduisant là où elle causera le moins de dégâts. De plus, il est possible de mettre en place des

moyens afin de dissiper son énergie en installant des chutes ou tous types d'obstacles qui peuvent lui permettre de diminuer son énergie et sa force érosive.

Dans la zone de dépôts, là il n'est plus question de ralentir l'écoulement, au contraire, il faut faire en sorte que l'inondation dure le moins longtemps possible et donc on va évacuer le plus vite possible l'eau vers l'aval.

Si la zone de dépôt ne peut pas recevoir les masses d'eau évacuées parce qu'à l'aval, le milieu est vulnérable (habitations, ...) et bien c'est le royaume des bassins d'orages, c'est là qu'on va créer des zones de stockage spécifiques qui vont temporiser les flux d'eau avant qu'on puisse les larguer vers l'aval (GISER SPW, 2009 ; Imesch, 2021).

Les cours d'eau non classés ($< 1\text{km}^2 = 100\text{ ha}$) sont souvent moins problématiques lors d'épisodes d'inondations aux abords de leurs lit majeurs. En effet, leur positionnement souvent moins proche de constructions ou leurs faibles débits les rendent généralement moins affectés par les inondations. Il ne s'agit pas d'une généralité et certains cours d'eau non classés peuvent engendrer des gros problèmes lors d'épisodes de fortes pluies. Toutefois, ils jouent un rôle essentiel lors de ces inondations. L'ensemble de ces petits bassins versants captent les pluies car ils se trouvent majoritairement dans la zone de production et amènent ces dernières vers l'aval où les débits vont augmenter très rapidement et causer des dégâts plus importants. Le plus important lors de crues intenses est de ralentir la courbe de débit en fonction du temps en infiltrant l'eau ou en la faisant ralentir (avec des zones inondables naturelles par exemple). La courbe de débit correspond à un graphique de l'évolution du débit en fonction du temps (Hydrogramme). Il s'agit d'observer l'évolution du débit d'un cours d'eau lors d'épisodes de fortes pluies (crues). Lorsque l'on parle de ralentir la courbe, il est question de diminuer le pic de crue afin de diminuer la hauteur de débit et de l'aplatir pour l'étendre sur une plus grande durée afin de diminuer son intensité (Figure 2)

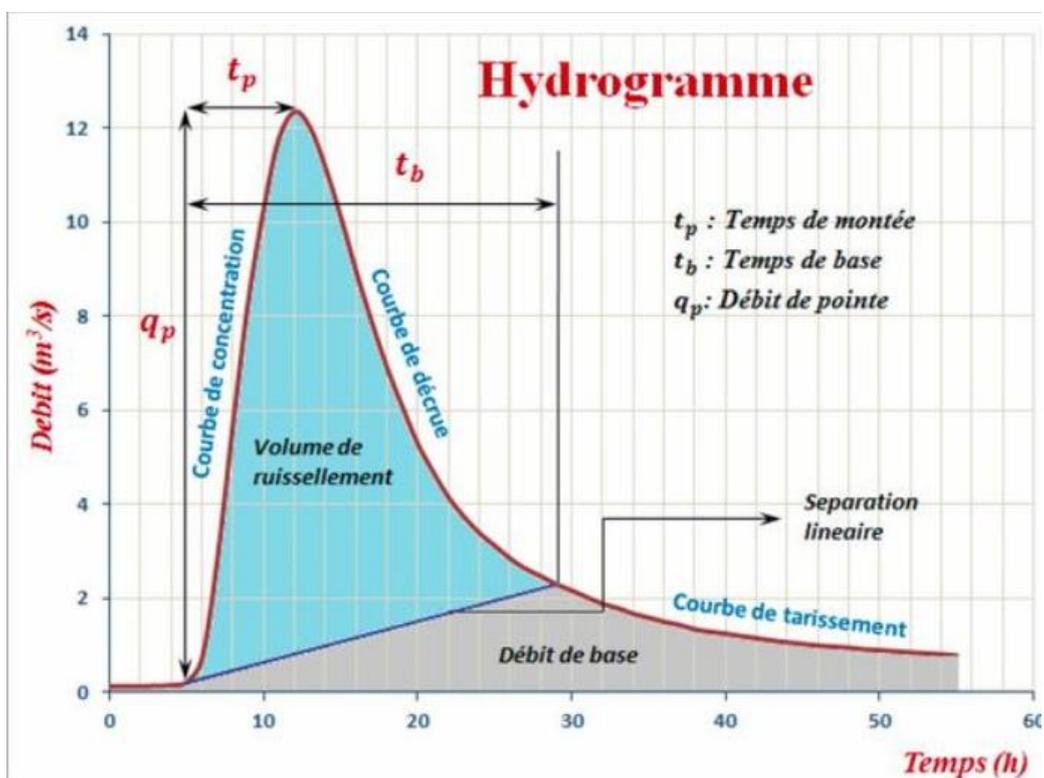


Figure 2 : Hydrogramme de crue avec les différentes grandeurs remarquables

2.2 Choix des caractéristiques du cours d'eau qui ont été observées sur le terrain

Lors de l'inventaire de terrain, différentes caractéristiques du cours d'eau ont été observées. Le choix de ces caractéristiques n'a pas été fait au hasard, il s'agit des propriétés qui ont le plus d'impact sur les inondations et la biodiversité.

2.2.1 L'occupation du sol et son impact sur le cours d'eau

2.2.1.1 Définition de l'occupation du sol :

Selon l'IWEPS (l'institut wallon de l'évaluation, de la prospection et de la statistique), l'occupation du sol correspond à : " ce qui recouvre le sol, ce qu'on y trouve : un bois, une culture, une maison, un édifice public. Il s'agit des caractéristiques biophysiques du sol" (Utilisation du Sol En Wallonie - IWEPS, 2024).

2.2.1.2 Les impacts de l'occupation du sol

Les principaux impacts de l'occupation du sol concernent les inondations et la qualité de l'eau.

L'influence de l'occupation du sol sur les inondations peut être divisé en 3 parties (Besème, 1995) : l'influence de la ripisylve et du couvert végétal en général, l'influence des cultures et l'influence des milieux artificiels urbanisés.

L'influence du couvert végétal est primordiale dans la lutte contre les inondations, ce dernier permet d'évacuer une grande quantité d'eau lors de crues notamment grâce à l'évapotranspiration des végétaux et en favorisant l'infiltration, ce qui crée un stockage temporaire. Ces actions du couvert végétal permettent ainsi de diminuer la quantité d'eau qui ruisselle en aval et limite les débits des cours d'eau plus grands. L'impact du couvert végétal est plus faible lors d'évènements exceptionnels (au-delà du décennal) car tout l'excédent de pluie ruisselle (Besème, 1995). L'impact de la ripisylve sera expliqué en détails à la section 2.2.5.

L'influence des cultures est également importante dans le cadre de risque d'inondations, mais avec plutôt un effet négatif. D'ailleurs, les cultures sont souvent considérées comme une des causes d'inondations et de dégâts liés aux inondations avec les coulées de boues par exemple (Besème, 1995).

Il est vrai que la capacité de rétention des sols cultivés est moins grande que celle d'un sol couvert par de la végétation. Selon le Cemagref (Centre d'Etude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts), les sols cultivés retiennent entre 10 et 60 mm d'eau tandis que les sols des prairies recouvertes de végétation de manière permanente retiennent entre 40 et 100 mm. De plus, en termes de ruissellement, les sols cultivés sont plus favorables à l'apparition d'épisodes de ruissellement plus important notamment en hiver lorsqu'ils sont complètement nus (Besème, 1995) (Figure 3).

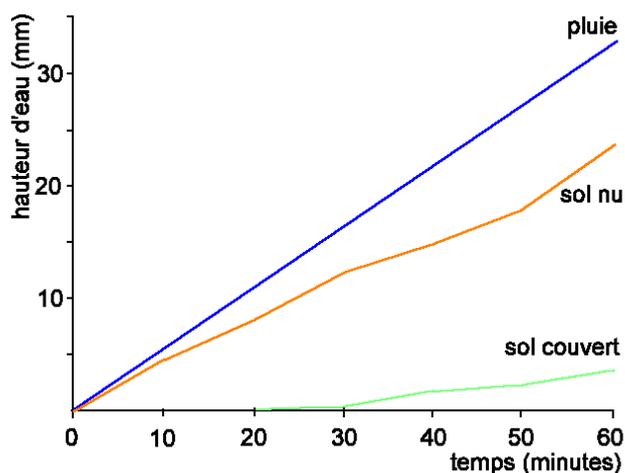


Figure 3 : Variation de la hauteur d'eau qui ruisselle en fonction de la présence d'un couvert végétal

En outre, les terres agricoles ont subi un remembrement important de 1960 à 1980 (Méganck, 2013). C'est une pratique agricole qui consiste en un regroupement des parcelles agricoles plus petites en grands champs afin d'augmenter la productivité et de faciliter l'utilisation des engins agricoles (Besème, 1985 ; Méganck, 2013). Cette pratique de remembrement s'est accompagnée d'autres mesures convexes (l'arrachage des haies et la pose de drains) avec les mêmes objectifs d'augmentation des rendements agricoles et de faciliter le passage des engins.

Historiquement, les haies possèdent une origine particulière dans la région du Pays de Herve. En effet, elles témoignent de la transformation du paysage principalement composé de culture vers un paysage composé d'élevage. Cette transformation a lieu à cause de deux éléments : l'interdiction par Charles Quint (catholique) d'exporter des céréales vers les pays du nord protestant et d'autre part le fait que la dîme qui est une taxe perçue par l'église sur les revenus agricoles ne s'appliquait pas aux produits de l'herbage. La région va se tourner vers l'élevage et l'arboriculture et les haies vont servir de clôture naturelle pour contenir le bétail. Les haies vont également fournir du bois de chauffage comme elles sont aussi composées avec des arbres et que la région ne comporte pas beaucoup de forêts (A, N. (1992). Genèse d' un paysage : Le bocage du pays de Herve. Parcs Nationaux, 47). Les haies vont ensuite peu à peu disparaître suite aux opérations d'arrache de ces haies encouragée par la Commission des Communautés Européennes. Les haies qui étaient un obstacle au passage des machines ont été arrachées, des drains ont été posés dans des zones humides/marécageuses afin de les rendre propice à l'exploitation. Les haies freinent le ruissellement et augmente l'infiltration (jusqu'à 38% de ruissellement en moins selon une étude réalisée sur le bassin versant de la Vesdre) mais elles retiennent également les particules qui seraient emportées par le courant (Degré & al., 2024)

Le drainage quant à lui a un rôle controversé dans les inondations : certains le considère comme bénéfique pour lutter contre les inondations tandis que d'autres pensent qu'il accentue les inondations (Besème, 1985). Le drainage est un système qui évacue l'eau des sols fortement chargés afin de permettre leur exploitation. Il diminue donc le ruissellement en évitant aux sols d'être saturés trop vite en eaux, mais augmente la quantité d'eau qui est évacuée (Besème, 1985). Lors d'événements exceptionnels, l'impact du drainage est négligeable. En effet, une étude réalisée sur le bassin versant de la Vesdre indique qu'une bouchage des drains entraîne une faible réduction de débit (Degré, & al., 2024).

Il reste maintenant l'influence des milieux artificiels urbanisés : l'urbanisation ne cesse de s'étendre depuis des dizaines d'années et entraîne un problème majeur : l'imperméabilisation des sols (Besème, 1985 ; Andrieu, 2017). Si l'on compare un sol artificialisé à un sol naturel, on obtient ceci : 50% d'infiltration, 40% d'évaporation et 10% de ruissellement pour un sol naturel tandis que pour un sol imperméabilisé, on obtient : 15% d'infiltration, 30% d'évaporation et 45% de ruissellement (Risque D'inondation : Sols Imperméabilisés Vs Sols Naturels, s. d.) (Figure 4).

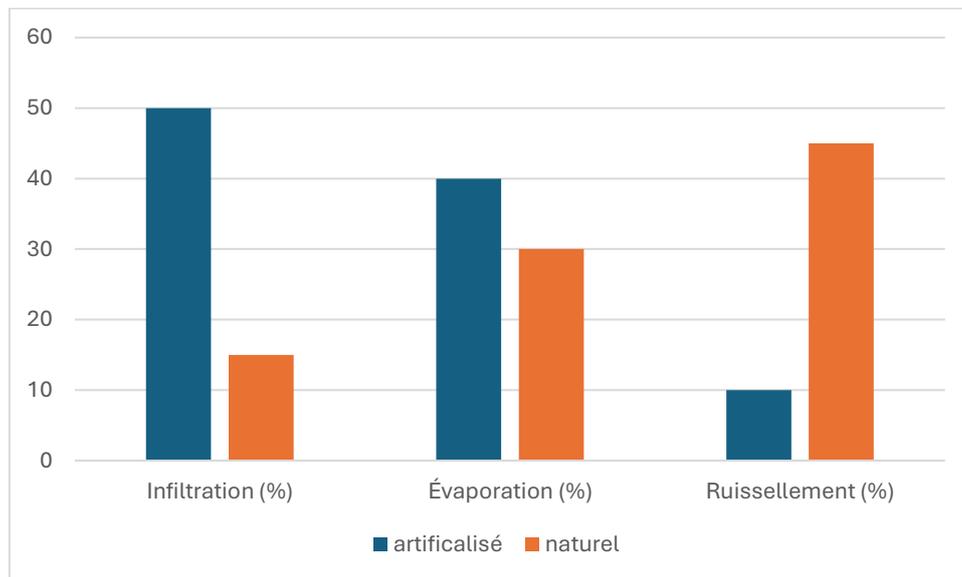


Figure 4 : Proportion de l'infiltration, de l'évaporation et du ruissellement en fonction de l'urbanisation

L'imperméabilisation va augmenter la quantité d'eau à l'aval : l'eau va principalement ruisseler sur ce type de sol et plus rapidement, elle empruntera le chemin le plus court, ce qui va entraîner un pic plus important à l'aval. En effet les installations artificielles prévues pour le passage de l'eau sont plus directes, plus linéaires et moins rugueuses que le milieu naturel (Besème, 1985 ; Zope, 2016). Les impacts de l'imperméabilisation ne sont pas les mêmes partout, ils varient en fonction du milieu qui a été urbanisé : si on passe d'une forêt par une surface urbanisée imperméable, on va augmenter le volume d'eau à l'aval (Besème, 1985). En effet, le milieu forestier permet d'augmenter l'infiltration et diminue le ruissellement, alors que le milieu imperméabilisé ne permet que très peu d'infiltration voire pas du tout. Il favorise le ruissellement à son maximum et augmente ainsi les volumes d'eau à l'aval.

2.2.2 La présence de canalisation et son impact sur le cours d'eau

2.2.2.1 Définition des canalisations étudiées

Dans le cadre de cette étude, une canalisation désigne une construction anthropologique qui encadre les abords d'un cours d'eau. Il peut s'agir d'une canalisation complète (tube bétonné) pour le passage souterrain du cours d'eau ou des chemins artificiels d'écoulement (canaux, ...) (Figure 5).



Figure 5 - Exemple de canalisation retrouvée lors de l'inventaire

La canalisation du cours d'eau a les objectifs suivants : " le gain de terre sur les terres inondables aux abords des cours d'eau (le lit majeur autrement dit) et la protection des crues des zones riveraines" (Imesch, 2011). Elle a donc un rôle de protection face aux crues et un rôle de production pour les parcelles agricoles ou fourragères le long d'un cours d'eau. Il est vrai qu'un cours d'eau qui traverse une parcelle crée à ses abords des zones non exploitables. Ces zones seront discutées i) dans le point 2.2.3 pour ce qui est du Couvert Végétal Permanent (CVP) obligatoire dans le cadre d'exploitations agricoles et ii) dans le point 2.2.4 pour ce qui est de la législation relative à l'accès au bétail dans le cadre du pâturage.

2.2.2.2 Impacts

La protection face aux crues est un sujet très important à l'heure actuelle à la suite des événements subis récemment. La canalisation du cours d'eau semble une bonne solution dans un premier temps pour se protéger face aux débordements de ce dernier et parfois même la seule solution notamment dans les zones fortement urbanisées comme les villages/villes. Toutefois, elle va reporter le problème en aval et va même l'accentuer. En effet, la canalisation va accentuer la linéarité du cours d'eau et diminuer sa rugosité naturelle, ce qui va augmenter la vitesse d'écoulement (Imesch, 2021).

De plus, la canalisation empêche toute interaction avec le lit majeur. Cela l'empêche de déborder lors de crues importantes. Lorsque qu'il déborde, il augmente sa largeur en même temps que le débit augmente. Le débit étant directement fonction de la section d'écoulement et de la vitesse d'écoulement, si la section est fixe, lorsque le débit augmente, la vitesse augmente. Un cours d'eau plus rapide entraîne plus de dégâts à l'aval (Imesch, 2021).

En termes de biodiversité, la canalisation va entraîner une rupture complète entre les biotopes qui se trouvent aux abords de ce dernier (Imesch, 2021). En effet, beaucoup de caractéristiques physiques des milieux aquatiques sont étroitement indépendantes comme la pente, la vitesse, le régime de débit, etc. Mais l'altération de ces caractéristiques physiques par la mise en place de canalisations va entraîner des pertes de biodiversité. Toutefois, il n'est pas question de disparition d'espèces de manière extrême mais plutôt une diminution quantitative de l'abondance absolue des populations spécifiques qui va entraîner une répercussion sur leur biomasse et productivité et sur celle de l'ensemble des communautés (Philippart, 2008).

2.2.2.3 La décanalisation

Pendant longtemps, on a pensé que se protéger des crues des cours d'eau passait forcément par la modification de la morphologie de ces derniers, par la mise en place d'ouvrages de protection et la mise en place d'endiguements. Mais aujourd'hui, la protection face aux inondations est synonyme de renaturation du cours d'eau (Imesch, 2021). La renaturation des cours d'eau amène plusieurs éléments positifs pour ces derniers : l'autoépuration des cours d'eau qui permet d'augmenter la qualité de l'eau, un enrichissement du paysage et de la dynamique géomorphologique, une diversification et un enrichissement des espèces présentes dans les cours d'eau, la restauration de milieux boisés en parallèle de la renaturation des cours d'eau qui sont des corridors écologiques essentiels, une résistance face aux inondations et enfin une valeur ajoutée non utilitaire en amenant des zones de mobilités douces, des zones de loisirs, un paysage attractif et des zones de détente. (Imesch, 2021). On est ici plus dans l'idée d'une décanalisation en milieu urbain, mais on retrouve également des canalisations qui traversent des prairies. Si ces cours d'eau ont été canalisés, c'était pour augmenter la production et faciliter le passage des engins agricoles. Mais une décanalisation de ces cours d'eau pourrait permettre lors d'épisodes de crues à la rivière de déborder et donc de diminuer sa vitesse. On pourrait même mettre en place des zones d'immersion temporaire comme on se trouve dans des prairies où les dégâts sont minimes. On peut retrouver un exemple de remise à ciel ouvert dans la Figure 6.



Figure 6 : Exemple de remise à ciel ouvert avec la situation initiale et la situation projetée

2.2.3 La présence de CVP et son impact sur le cours d'eau

2.2.3.1 Réglementation

Un couvert végétal permanent (CVP) désigne ici une bande herbacée longeant le cours d'eau lorsque ce dernier est bordé par une parcelle agricole. Elle va jouer le rôle de zone tampon entre le cours d'eau et la culture. Si la parcelle longe le cours d'eau, le couvert végétal doit avoir une largeur de 6 mètres à partir de la crête de berge. Si la parcelle est séparée par un élément (un chemin par exemple), la largeur du couvert doit être telle que lorsqu'elle est additionnée à la largeur de l'élément fasse un total de 6m depuis la crête de berge (Les Couverts Végétaux Permanents En Bord de Cours D'eau (CVP) | PROTECT'eau, s. d.). Le couvert peut être composé d'espèces ligneuses et/ou herbacées. Il peut être spontané en laissant la nature se développer naturellement sur la bande ou implanté en y plantant des espèces précises pour remplir un but défini. Le CVP est soumis à une législation stricte : le couvert doit être permanent et ne peut être renouvelé qu'en cas d'évènements

exceptionnels (coulées de boues, passage de sanglier, ...). Les espèces annuelles en pure n'y sont pas autorisées, on doit plutôt utiliser des espèces multi spécifiques et pérennes (Les Couverts Végétaux Permanents En Bord de Cours D'eau (CVP) | PROTECT'eau, s. d.). On ne peut pas y faire tout ce qu'on veut : le labour sur la bande est interdit, l'utilisation de produits phyto y est interdite, la fertilisation organique ou minérale est interdite, le pâturage est autorisé en suivant les législations concernant l'accès au cours d'eau par le bétail, la fauche du couvert herbacé est autorisée. Il est également possible de valoriser les couverts végétaux permanents via des MAEC (Méthodes Agro-Environnementales et Climatiques) (Les Couverts Végétaux Permanents En Bord de Cours D'eau (CVP) | PROTECT'eau, s. d.). Les MAEC sont des pratiques favorables à la protection de l'environnement (préservation de la biodiversité, de l'eau, du sol, du climat), à la conservation du patrimoine (animal ou végétal) et au maintien des paysages en zones agricoles. Elles sont proposées aux agriculteurs dans le programme d'action agro-environnemental par la région wallonne et l'Union européenne. Elles ne sont pas obligatoires mais sont mises en place sur base d'un engagement volontaire de l'exploitant et elles sont rémunérées.

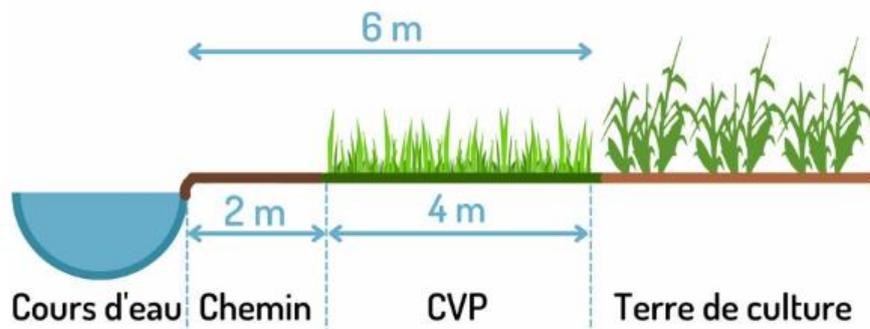


Figure 7 - Exemple de représentation d'un CVP (source : PROTECT'eau)

2.2.3.2 Impacts

En termes de maintien de la biodiversité, la zone tampon n'avait qu'une seule fonction lorsqu'elle a été mise en place : éloigner les épandeurs et les pulvérisateurs des eaux de surface (PROTECT'eau, 2021). Ensuite, il a été imposé de végétaliser ces zones tampons obligatoires. Cela va permettre au couvert végétal permanent de remplir de nouvelles fonctions : limiter le ruissellement et l'apport de matières en suspension, limiter le transfert des contaminants vers le cours d'eau, et enfin améliorer la biodiversité et la qualité biologique du cours d'eau (PROTECT'eau, 2021).

Les zones tampons jouent un rôle très important pour éviter le transfert de contaminants dans le cours d'eau. Il s'agissait de leur seul rôle lorsque ces dernières furent mises en place : être une zone qui capte les intrants pulvérisés et qui éloigne la rivière du pulvérisateur afin de réduire au maximum les risques que ces intrants finissent dans le cours d'eau. On retrouve 3 grands types de contaminants : le phosphore, l'azote et les produits phyto (PROTECT'eau, 2021).

Les produits phyto peuvent avoir un grand impact sur la faune et la flore aquatiques même en faible concentration. Le CVP comme expliqué précédemment va limiter la pulvérisation de produits phyto en jouant le rôle de zone tampon. De plus, si elle est composée d'arbres, cette zone tampon jouera un rôle d'écran de protection face aux retombées de produits contaminants (PROTECT'eau, 2021). Les

contaminants phyto peuvent également arriver dans la rivière par le biais des eaux de ruissellement. Le CVP va retenir les produits phyto et les micro-organismes du sol vont les dégrader. Ce processus est accentué lorsque la quantité de matière organique est plus importante (PROTECT'eau, 2021). Pour ce qui est des particules en suspension qui contiennent les produits actifs et qui sont érodées par le ruissellement, elles sont retenues par sédimentation comme expliqué précédemment.

Le deuxième type de contaminant que l'on peut retrouver sur les surfaces cultivées est l'azote. Ce dernier est problématique car il entraîne l'eutrophisation des eaux de surfaces (expliquée plus en détails dans le point 2.2.4.2). L'azote est faiblement retenu par les particules de sol, il est donc sensible à la pluie qui vont l'entraîner vers le cours d'eau sous sa forme dissoute. On appelle cela le lessivage (PROTECT'eau). Il peut également être retrouvé dans les matières en suspension emportées par le ruissellement. Le nitrate est naturellement dégradé par les micro-organismes présents dans les premières couches du sol par un phénomène de dénitrification. Remarque : le nitrate est différent de l'azote : il s'agit de la forme la plus oxydée de ce dernier que l'on retrouve dans la nature. L'azote est un élément chimique tandis que le nitrate est un anion essentiel pour le développement des végétaux. Ce phénomène est plus important en absence d'oxygène donc quand les sols sont saturés en eau ; typiquement aux abords du cours d'eau dans la zone tampon. La végétation présente dans le CVP peut également éliminer des nitrates pour l'utiliser pour sa propre croissance. Lors de l'entretien du CVP, il est conseillé de pratiquer une fauche avec exploitation plutôt que le broyage afin d'éviter le développement d'espèces nitrophiles et plutôt favoriser la dégradation de l'azote par les micro-organismes (PROTECT'eau, 2021).

Le dernier contaminant problématique est le phosphore. Ce dernier comme l'azote est responsable de l'eutrophisation des eaux de surface s'il est présent en quantité excessive dans l'eau. Le phosphore est très bien retenu par les particules de sol. C'est pourquoi, si on limite le transfert de matières en suspension vers le cours d'eau, on limite le transfert de phosphore vers le cours d'eau. Le phosphore peut quand même adopter une forme dissoute, mais il est retenu par infiltration et est dégradé par les micro-organismes ou être prélevé par les végétaux. Les matières en suspension au-delà de contenir du phosphore peuvent également dégrader les milieux aquatiques ; par colmatage, augmentation de la turbidité, support de différents polluants. Les matières en suspension sont retenues par la bande végétale qui va les faire sédimenter avant d'atteindre le cours d'eau (PROTECT'eau, 2021).

Le CVP ne joue pas qu'un rôle de protection, il joue également un rôle important au niveau de la biodiversité qui l'habite. Il peut servir de corridor écologique ou de refuge. Les espèces qui sont plantées peuvent également favoriser le développement d'autres espèces : la plantation de fleurs dans le couvert végétal va favoriser l'apparition de certains insectes pollinisateurs ou auxiliaires qui vont eux-mêmes attirer des espèces d'oiseaux. Ce rôle ne doit pas être mis de côté et la gestion des CVP doit être réalisée en fonction des espèces présentes (entretien, dates de fauches, ...) pour ne pas impacter la faune et flore présentes (PROTECT'eau, 2021). La présence de boisements aux abords du cours d'eau apporte également des bénéfices pour la biodiversité mais ils seront expliqués dans le point 2.2.5 sur le cordon rivulaire.

Pour ce qui est de la lutte contre les inondations, on va plutôt retrouver les impacts suivant. En cas de ruissellement, la végétation va ajouter de la rugosité, diminuer la vitesse des eaux de ruissellement et ainsi augmenter la sédimentation des particules en suspension provenant de la culture. Ces matières en suspension qui proviennent de la parcelle agricole et qui contiennent tous les contaminants

utilisés dans l'agriculture, vont être piégés dans la végétation sans rejoindre le cours d'eau et vont être ensuite dégradés par les micro-organismes présents dans le sol (PROTECT'eau, 2021). De plus, certains contaminants peuvent favoriser le développement de la végétation composant la zone tampon. L'efficacité de la zone tampon à ralentir les eaux de ruissellement dépend des espèces qui la composent ainsi que de la densité et de l'homogénéité de ces derniers. Les graminées au port dressé et aux tiges rigides sont les plus intéressantes pour éviter que la végétation ne plie au passage d'une lame d'eau importante (PROTECT'eau, 2021). Le ralentissement des eaux de ruissellement permet également de favoriser l'infiltration de l'eau et des éléments dissous dans le sol. En effet, l'infiltration est plus importante grâce à un système racinaire dense et l'activité de la microfaune (augmentation de la perméabilité) (PROTECT'eau, 2021) (Figure 8).

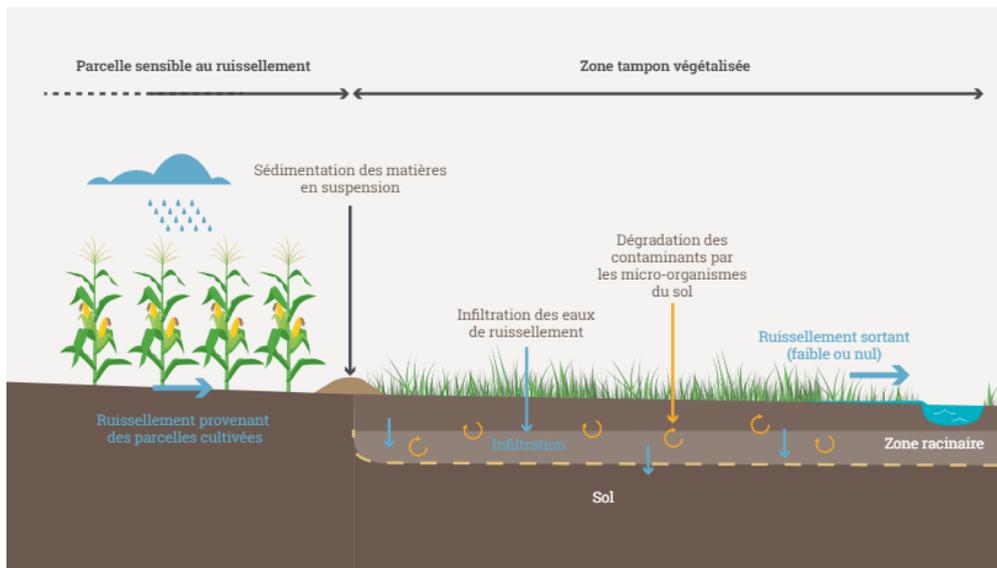


Figure 8 - Rôle du CVP face au ruissellement (source IRSTEA)

2.2.4 L'accès au cours d'eau par le bétail et son impact sur le cours d'eau

2.2.4.1 Réglementation

Selon le décret du code de l'eau, les dispositions sur la gestion de l'accès au cours d'eau par le bétail sont clairement définies : " Les terres situées en bordure d'un cours d'eau non navigables à ciel ouvert et servant de pâture, sont clôturées au plus tard le 1er janvier 2023 de manière à empêcher toute l'année l'accès du bétail au cours d'eau. La partie de la clôture située en bordure du cours d'eau se trouve à une distance minimale d'un mètre mesurée à partir de la crête de berge du cours d'eau vers l'intérieur des terres. Par dérogation, cette distance minimale est de 0,75 mètre pour les clôtures placées avant le 1er avril 2014. " (Décret 42, 04.10.2018, Code de l'eau). Ce décret s'applique aussi bien au cours d'eau classés que les cours d'eau non classés. Par ailleurs, une dérogation est possible uniquement pour les terres faisant l'objet d'un pâturage très extensif favorable à la biodiversité.

Toutefois, un assouplissement de ce décret est prévu et va permettre aux éleveurs de laisser un accès au bétail de 4 mètres par 100 mètres de rives au cours d'eau.

2.2.4.2 Impacts

L'accès au cours d'eau par le bétail est problématique car il entraîne des dégâts sur l'hydromorphologie du cours d'eau (érosion), la qualité chimique du cours d'eau (eutrophisation), la ripisylve et augmente le risque de transmissions de maladies.

Le premier impact lié à la dégradation de la biodiversité provient de l'eutrophisation qui est un processus qui résulte de l'accumulation trop importante de nutriments dans l'eau. On retrouve naturellement des nitrates et des phosphates dans l'eau, ils sont essentiels au développement de la faune et la flore aquatiques. Le traitement de ces nutriments fonctionne en cycle fermé : les micro-organismes présents dans le cours d'eau dégradent la matière organique (feuilles mortes, déjections, cadavres, ...) et libèrent des nutriments tout en consommant de l'oxygène. Les nutriments produits par les micro-organismes sont ensuite consommés par les végétaux qui vont produire de l'oxygène qui est lui-même utilisé par les micro-organismes. Les déchets de l'un sont les éléments vitaux de l'autre, le système fonctionne en cycle fermé (Figure 9) (De Vos & Petitfrère, 2008).

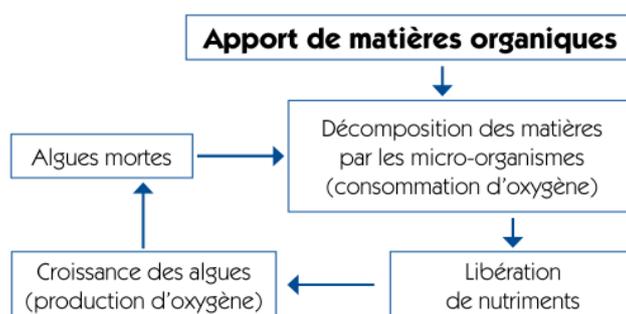


Figure 9 : Schéma de l'eutrophisation dans un milieu aquatique (De Vos & Petitfrère, 2008)

La capacité du milieu à capter les nutriments et à les traiter est appelée autoépuration. Ce dernier dépend de la nature du cours d'eau et de la quantité de nutriments qu'il reçoit (naturellement ou accidentellement). Les cours d'eau doivent également traiter des apports de nutriments qui ne sont pas naturels et qui proviennent des activités humaines (déversements d'égouts industriels ou ménagers, dépôts d'immondices ou de tontes de gazon dans le cours d'eau ou à proximité, apport de fertilisants et de déjections, ...) (De Vos & Petitfrère, 2008). Lorsque la capacité d'autoépuration est dépassée, on va observer un déséquilibre dans le cycle et une augmentation du nombre de micro-organismes décomposeurs comme la quantité de nutriments est plus importante. L'augmentation de l'activité microbienne va entraîner une diminution de la concentration en oxygène, qui va ensuite mener à la mort des organismes décomposeurs qui n'auront plus assez d'oxygène. La perte des organismes va elle entraîner une diminution de la vitesse de dégradation de la matière organique. On va obtenir un milieu pauvre en biodiversité avec la présence de boues flottantes et d'odeurs nauséabondes. Ce milieu ne permet le développement que de certaines espèces moins sensibles (moustiques, sangsues, ...) et favorise l'apparition d'agents pathogènes (salmonelle, bactéries, ...). L'apport de nutriments azotés et phosphorés par le bétail se fait par le biais des déjections (De Vos & Petitfrère, 2008).

Le bétail va également se nourrir des végétaux qui compose la ripisylve. L'impact de cette dernière (expliqué au point suivant) est primordial pour la biodiversité fluviale ainsi que pour le maintien des berges.

L'accès au cours d'eau du bétail peut être problématique en termes d'hygiène. En effet, le bétail peut être victime de maladies telles que la douve du foin en consommant des parasites que l'on retrouve aux abords des cours d'eau ou dans les zones humides (De Vos & Petitfrère, 2008).

Enfin le dernier impact du bétail sur le cours d'eau est le risque d'érosion, il s'agit plutôt d'un impact lié aux inondations. En effet, lorsque les animaux pâturent le long des berges, le piétinement favorise l'érosion et crée de la boue qui peut ensuite être emportée dans le cours d'eau et ajouter des matières en suspensions. Le piétinement peut même directement créer des effondrements de la berge dans le cours d'eau (Gringoire, 2005). L'érosion est problématique car elle modifie l'hydromorphologie du cours d'eau, en plus de diminuer la parcelle de pâturage, ce qui peut entraîner des pertes d'habitats pour certaines espèces ou diminuer la capacité d'autoépuration du cours d'eau (De Vos & Petitfrère, 2008). Un fois la berge érodée, le seul moyen pour revenir à son état initial naturellement est d'accumuler assez de sédiments pour se reconstruire (Gringoire, 2005).

2.2.5 La présence de ripisylve et son impact sur le cours d'eau

2.2.5.1 *Cordon rivulaire définition*

La ripisylve (ou cordon rivulaire) est : "une formation boisée qui occupe naturellement les espaces riverains des cours d'eau, à l'interface entre les lits majeur et mineur. Son fonctionnement est influencé par la proximité d'un cours d'eau, notamment à travers les processus d'inondation et d'érosion – déposition. De ce fait, sa composition en espèces est particulière" (Huylbroeck et al., 2019). La ripisylve est ce qu'on appelle un écotone, il s'agit d'une zone de transition entre deux écosystèmes (entre l'écosystème aquatique et l'écosystème forestier) (Collette et al., 2018). Le choix d'indiquer ou non la présence de ripisylve n'est pas anodin car cette dernière va créer des retombées positives pour l'activité humaine. On parle alors de services écosystémiques (Huylbroeck et al., 2019).

2.2.5.2 *Impacts*

Les rôles de la ripisylve sont assez nombreux, et les plus importants sont les suivants : contrôle de l'érosion, lutte contre les inondations, protection de la qualité de l'eau, biodiversité des zones riveraines, productivité et diversité de l'écosystème aquatique, attrait paysager, régulation de la température de l'eau, apport de bois mort (Philippart, J.C. (2008) ; PROTECT'eau, 2021 ; Huylbroeck et al., 2019 ; Gringoire, 2005 ; Collette et al., 2018).

La présence de végétaux sur le long des berges va contribuer à limiter l'érosion de ces dernières. D'une part, la végétation présente sur les berges accroît la rugosité et ralentit l'écoulement qui perd alors de son pouvoir érosif. D'autre part, les racines des arbres créent une structure qui renforce la cohésion et la stabilité des berges. Pour obtenir la meilleure protection face à l'érosion, il est important que la ripisylve soit composée de toutes les strates de végétation : herbacée, arbustive et arborée (Huylbroeck et al., 2019). Cette lutte contre l'érosion n'est possible qu'avec des végétations spécifiques (aulne, saule, baldingère, ...) et n'est pas possible avec certaines espèces (épicéas, douglas, peuplier) qui ne possèdent pas un enracinement suffisamment profond (Collette et al., 2018). En limitant l'érosion, elle limite le colmatage qui survient quand trop de matière en suspension se dépose au fond du cours d'eau. Cela entraîne une asphyxie de ce dernier, ce qui limite le développement de la biodiversité (Collette et al., 2018).

Dans le cadre de la lutte contre les inondations, la ripisylve et le bois mort ont également un rôle à jouer. Ils augmentent les forces de friction et encombrant le lit du cours d'eau, favorisant ainsi localement le stockage d'eau, le débordement et ralentissant l'écoulement. La diversification des flux et la dynamique des berges générées par la présence de bois mort encouragent également la formation d'annexes hydrauliques (Huylbroeck et al., 2019 ; Collette et al., 2018).

Comme le CVP, la ripisylve joue un rôle de protection de la qualité de l'eau. En effet, les arbres absorbent les polluants avec leurs racines profondes avant leur transfert vers la nappe (les nitrates plus particulièrement). La ripisylve joue également le rôle de filet à sédiments qui va limiter la quantité de matières en suspension contenant des polluants qui rentrent dans le cours d'eau (Huylbroeck et al., 2019 ; PROTECT'eau, 2021).

Le positionnement des cordons rivulaires, à la jonction entre le milieu aquatique et le milieu terrestre permet le développement d'une grande variété d'espèces dont certaines sont inféodées à ce milieu particulier. On y retrouve des espèces terrestres, aquatiques, ou inféodées à cette interface entre les deux milieux (Philippart, J.C. (2008) ; Huylbroeck et al., 2019). De plus, les zones riveraines possèdent une dynamique particulière qui est favorable au développement d'habitats particuliers : on peut citer les mégaphorbiaies, la forêt alluviale ou encore les bancs alluviaux fraîchement déposés. Ces habitats possèdent des espèces qui lors sont propres et en grande variétés. D'ailleurs, les forêts alluviales sont considérées comme des habitats prioritaires Natura 2000 et ils doivent être protégés (91E0 : Forêt alluviale) même lorsqu'il ne s'agit que d'un cordon rivulaire (Huylbroeck et al., 2019). La ripisylve constitue également un corridor écologique, il s'agit d'une zone qui relie différents habitats naturels essentiels pour certaines espèces (Collette et al., 2018) (Figure 10).



Figure 10 : Exemples d'espèces présentes dans les cordons rivulaires : Martin pêcheur (gauche) et odonate (droite)

La présence de bois mort, de racines, d'arbres sous-cavés, de buissons avec des branches basses ou de végétation aquatique sont des éléments favorables à une bonne productivité et une bonne diversité de la faune aquatique, aussi bien piscicole qu'invertébrée. Les éléments cités précédemment sont essentiels pour assurer une grande variété d'habitats différents pour des fonctions différentes : reproduction, alimentation, abri (Huylbroeck et al., 2019). Ils sont particulièrement importants pour les milieux où le fond de l'eau est graveleux ou sableux. Car en l'absence de blocs rocheux, ils sont les seuls à pouvoir remplir ces rôles de structuration (reproduction, alimentation, abri) (Huylbroeck et al., 2019). De plus, les apports de la canopée (feuilles, insectes, déjections, etc.) nourrissent la faune piscicole, surtout dans les parties supérieures des rivières (Huylbroeck et al., 2019).

L'attrait paysager n'est pas forcément un impact qui semble aussi important que les autres mais la présence de ripisylve ou même juste d'un simple cordon rivulaire large de seulement 1 ou 2 arbres peut souligner le cours d'eau dans un paysage ouvert et ainsi offrir une structuration du paysage (Huylbroeck et al., 2019).

La ripisylve va générer de l'ombre sur le cours d'eau, ce qui va permettre de réguler la température de ce dernier. Plus l'eau est froide, plus elle contient d'oxygène dissous et cet oxygène est primordial pour la vie aquatique. Une température trop élevée peut entraîner des effets néfastes sur le cours d'eau. En effet, cela augmente l'eutrophisation du cours d'eau (PROTECT'eau, 2021) et peut être problématique pour certaines espèces piscicoles (les salmonidés par exemple) (Philippart, J.C. (2008); Gringoire, 2005). Il faut toutefois conserver des zones sans ombre pour permettre le développement d'espèces qui ont besoin de lumière, notamment des algues et des bactéries qui pratiquent l'autoépuration. Il faut donc conserver/mettre en place des trouées (max 20 mètres) dans le cordon rivulaire afin de permettre une alternance d'ombre et de lumière pour permettre l'installation et le développement équilibré d'une faune et une flore aquatiques (Huylbroeck et al., 2019 ; Collette et al., 2018).

La ripisylve va inévitablement produire du bois mort dans le cours d'eau ou dans ses abords. Les impacts de ce dernier sont variables : il peut accentuer l'érosion ou l'atténuer en fonction de sa position, il augmente la friction, encombre le cours d'eau et favorise la création d'annexes hydrauliques lors d'inondation. De plus, dans les zones peu sensibles aux crues, il permet le débordement du cours d'eau, ce qui limite la violence des crues en aval. Il est également une plus-value pour la biodiversité. Toutefois, le bois mort n'apporte pas que des avantages, il peut également avoir des impacts négatifs. L'encombrement du lit et le ralentissement de l'écoulement facilitent les débordements locaux lors d'inondations de faible intensité. En cas de crues majeures, les embâcles peuvent être déplacés et s'accumuler près des ouvrages, causant des dommages (Huylbroeck et al., 2019 ; Collette et al., 2018). Il existe toutefois des solutions à ces embâcles avec la mise en place de pièges à embâcles en amont des zones problématiques (Figure 11).



Figure 11 : Exemple de piège à embâcles

2.2.6 La présence d'une zone humide et son impact sur le cours d'eau

2.2.6.1 Définition

Les définitions des zones humides sont variées et dépendent de l'intérêt qu'on leur porte. La définition la plus générale qui est souvent reprise est celle de la convention de Ramsar et est la suivante : « Au sens de la présente Convention, les zones humides sont des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres. » (Convention de Ramsar, 1993).

Les zones humides peuvent être catégorisées en différentes sortes de zones humides : les zones humides naturelles (marécages, marais, etc.) et les zones humides anthropogéniques qui elles ont été créés par l'homme.

Elles peuvent ensuite être catégorisées en fonction de l'eau qui les compose. Les zones humides qui ont été étudiées lors de cette étude sont les zones humides fluviales.



Figure 12 - Photo de jonc, massette et scirpe des bois (de gauche à droite)

2.2.6.2 Impacts

En termes de biodiversité, les zones humides sont un des écosystèmes les plus riches (Figure 12). On y retrouve un grand nombre d'espèces qui leur est inféodé mais pas uniquement. Elles jouent également de nombreux rôles pour la biodiversité (habitat, garde-manger, cachette). Les zones humides sont essentielles à la prospérité de l'homme et de la nature. On estime que dans le monde, environ 40% des espèces animales et végétales en dépendent. On a identifié plus de 100 000 espèces dans les zones humides d'eau douce et 200 sont découvertes chaque année. On y retrouve aussi beaucoup d'espèces menacées telles que des reptiles ou des amphibiens, elles sont également essentielles pour accueillir des espèces d'oiseaux migrateurs aquatiques (Maman & Vienne, 2010).

Les zones humides rendent de nombreux services pour l'humanité. On peut diviser ses services en trois niveaux hiérarchiques : la population (il s'agit de services d'approvisionnement), l'écosystème (il s'agit de services de régulation) et enfin un niveau global (il s'agit plutôt de valeurs à une échelle plus grande, comme les cycles de l'azote, du carbone ou du soufre par exemple) (Mitsch & Gosselink, 2015). Les services écosystémiques peuvent également être divisés en fonction de leur intérêt pour le bien être humain :

1. Les services écosystémiques d'approvisionnement qui concernent les ressources que l'écosystème fournit (nourriture, eau, bois, fibres, ...). Ils ne seront pas abordés car ils s'appliquent à des zones humides plus grandes que celles observée lors de cette étude.
2. Les services de régulation qui concernent la qualité de l'air, la purification de l'eau, les risques naturels, les maladies, ...
3. Les services écosystémiques culturels reprennent les avantages propres à l'enrichissement spirituel, aux loisirs, à l'écotourisme, à l'esthétique, ...

Les services d'approvisionnement ne seront pas expliqués ici, car ils sont moins intéressants pour cette étude.

L'impact le plus intéressant est celui de la régulation des écosystèmes, notamment l'influence des zones humides dans la lutte contre les inondations. En effet, ces dernières vont capter les eaux de ruissellement produites par les pluies et les stocker, ce qui va diminuer les pics de débit (Figure 13) qui sont souvent responsables des dégâts lors des inondations (Mitsch & Gosselink, 2015). Des études réalisées au Massachusetts sur la rivière Charles ont prouvé que si l'on retirait les 3 400 ha de zones humides aux abords de la rivière, les dommages dus aux inondations augmenteraient de 17 millions de dollars par an (Mitsch & Gosselink, 2015). Des modèles de simulations ont mis en avant l'impact des zones humides en amont sur les inondations en aval : pour les événements rares (tous les 100 ans ou plus), on observe des augmentations de débit de pointe pour les endroits où les zones humides ont été supprimées (Ogawa & Malé, 1986). La simulation a également mis en avant que l'utilité des zones humides face aux inondations augmente avec différents éléments : l'augmentation de la surface des zones humides, la taille de l'inondation, la proximité d'un milieu humide en amont ou l'absence d'autres zones de stockage en amont telles que des réservoirs (Ogawa & Malé, 1986).

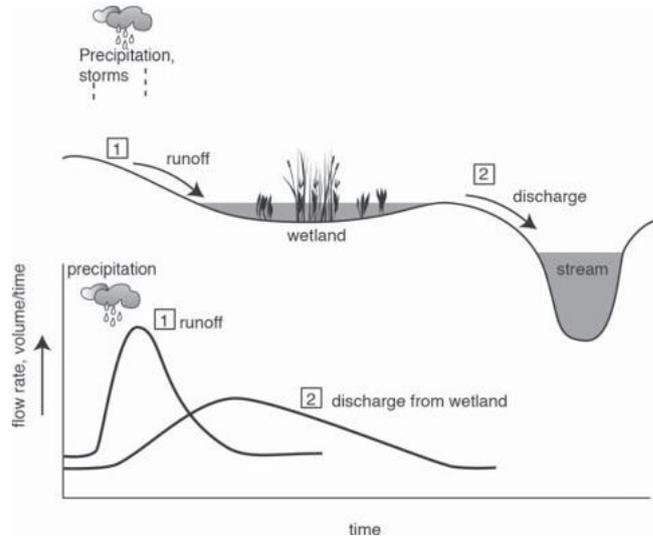


Figure 13 : Impact des zones humides sur l'écoulement des eaux de pluies (Mitsch & Gosselink, 2015).

Les zones humides jouent également un rôle important dans la régulation climatique notamment au niveau des cycles mondiaux tels que le carbone, l'azote ou le soufre. L'azote que l'on retrouve naturellement dans la nature provient de la fixation de l'azote atmosphérique gazeux (N_2) par des plantes et des micro-organismes qui l'utilisent pour le transformer en sa forme organique. De plus, on peut rajouter à cette fixation naturelle, l'ammoniac qui est présent dans les engrais qui vient ajouter un apport en plus d'azote. Les zones humides peuvent permettre d'éliminer l'azote excédentaire qui provient des engrais en le renvoyant dans l'atmosphère par un processus de dénitrification (Mitsch & Gosselink, 2015). Ce processus de dénitrification a besoin de micro-organismes aérobies, d'un environnement réducteur (comme un marais par exemple) et d'une source importante de carbone organique, que l'on retrouve dans la plupart des zones humides (Mitsch & Gosselink, 2015). Les zones humides récupèrent également les eaux de ruissellement agricoles chargées en azote qu'elles vont dénitrifier grâce à leur environnement idéal pour ce processus. Les zones humides permettent également de stocker du carbone en leur sein.

Un autre rôle des zones humides est celui de recharger l'aquifère souterrain. Toutefois, il s'agit d'une minorité des zones humides qui peuvent recharger l'aquifère car les sols des zones humides sont imperméables. La recharge se fait donc principalement à la frontière de la zone humide et de manière plus importante dans des plus petites zones humides comme des prairies aux abords du cours d'eau contenant des fondrières (Mitsch & Gosselink, 2015).

Les zones humides peuvent dans des conditions favorables, éliminer les nutriments organiques et inorganiques ainsi que certaines matières toxiques de l'eau qui les traversent (Mitsch & Gosselink, 2015).

Enfin, le dernier service des zones humides est d'ordre culturel : on parle ici de valeurs d'utilisation non-consommatrices des zones humides, cela veut dire que les gens aiment être dans les zones humides (Mitsch & Gosselink, 2015). Les zones humides sont d'excellents endroits pour apprendre notamment grâce à leur grande diversité écologique qui offre un environnement riche de manière visuelle et éducative. Cette diversité et leur complexité en font des « laboratoires » de recherche très prisés.

3. Les formes de protection de la biodiversité

Des données supplémentaires ont été ajoutées à celles obtenues lors de l'inventaire de terrain, il s'agit principalement d'éléments en lien avec la biodiversité mais il est intéressant de comprendre leur rôle ainsi que leur fonctionnement. La classification en SGIB et en Natura 2000 jouent plutôt un rôle de protection tandis que le réseau écologique WWF possède un rôle indicateur des endroits plus importants en terme de biodiversité ainsi que les restaurations possibles pour améliorer la biodiversité.

3.1 SGIB

3.1.1 Définition

Le terme SGIB signifie : Site De Grand Intérêt Biologique. Ces sites abritent des populations d'espèces et des biotopes, protégées, rares ou menacées. La définition de la région Wallonne est la suivante : « Un SGIB correspond à unité géographique englobant un ensemble d'unités d'habitat ou de biotopes homogènes adjacents ou relativement proches (de l'ordre de 500 à 600 m maximum, pour autant que la réalité de terrain assure une certaine « continuité », par exemple, des sites localisés dans un même bassin versant, sites ouverts non isolés les uns des autres par une matrice difficilement pénétrable par les espèces, ...) » (Présentation de L'inventaire des SGIB | Sites | la Biodiversité En Wallonie, 2024). Ils possèdent une diversité biologique importante ou un très bon état de conservation. Ils sont essentiels pour la mise en place du réseau écologique. L'objectif de la mise en place de SGIB est de protéger des zones intéressantes en évitant le cadre limité des zones protégées (ZPS, ...).

3.1.2 Intérêt et mise en place

Les SGIB jouent un rôle essentiel dans la mise en place de la Structure Écologique Principale (SEP) en Wallonie. La SEP est un ensemble d'écosystèmes naturels et semi-naturels ainsi que des habitats de substitution qui permettront d'assurer une survie à long terme d'espèces sauvages. Elle est composée de plusieurs réseaux écologiques qui se superposent : le réseau Natura 2000 ainsi que des zones complémentaires proposées par le Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (DEMNA) dans le cadre de la mise en place du réseau Natura 2000 mais qui n'ont pas été retenues par le Gouvernement wallon et les Sites de Grand Intérêt Biologique (Figure 14) (Dufrière et al., 2009). La SEP couvre près de 300 000 hectares, ce qui correspond à 17,7% du territoire wallon.

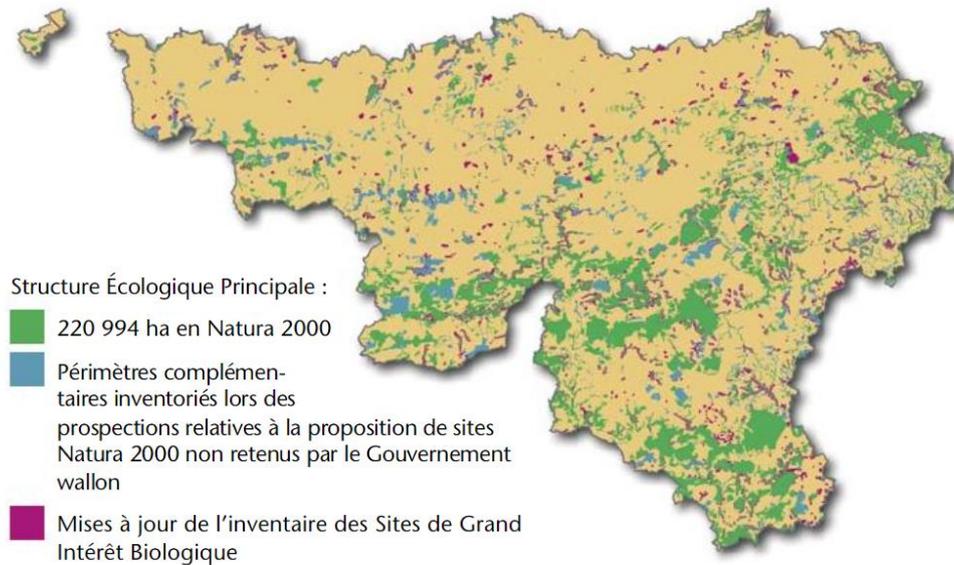


Figure 14 : Délimitation de la Structure Écologique Principale en région Wallonne (source : DEMNA)

L'inventaire des SGIB a commencé en 1993 et avait pour but de recenser les espaces naturels remarquables en Wallonie et ainsi de structurer les données biologiques relatives à la faune, la flore et l'habitat qui sont très nombreuses afin de permettre au mieux leurs utilisations.

Toutefois, il est important de comprendre que la désignation d'un site en SGIB n'a aucune valeur juridique directe, elle est purement descriptive (Dufrêne et al., 2009). Cette désignation permet une meilleure prise en compte de la grande richesse patrimoniale de certaines zones lors de la mise en place de projets qui peuvent avoir un impact sur le milieu naturel. Les SGIB n'ont pas de statut de protection automatique mais tous les sites protégés (réserves naturelles, réserves forestières, Cavités Souterraines d'Intérêt Scientifiques, Zones Humides d'intérêt Biologique, ...) sont repris en SGIB (Dufrêne et al., 2009). Malgré le fait qu'elle ne possède pas de protection immédiatement après sa désignation, c'est la facilité d'accès aux conditions de désignations qui la rend si intéressante comme mesure de conservation de la nature et le fait que sa présence soit prise en compte par les gestionnaires.

Les Sites de Grand Intérêt Biologique ne sont donc pas contraignants et n'obligent pas forcément des mesures particulières mais leur présence est non négligeable et est prise en compte lors de réflexion sur la mise en place de projets aux abords de ces derniers par les gestionnaires du territoire (Dufrêne et al., 2009).

Pour ce qui est de la mise en place de la classification d'un site en SGIB, il suffit que ce dernier abrite au moins une espèce rare, menacée ou protégée et/ou un habitat rare, menacé ou protégé pour être classifié comme Site de Grand Intérêt Biologique (Dufrêne et al., 2009). Les espèces concernées par la classification sont celles dont l'habitat est protégé par la Loi sur la Conservation de la Nature (annexe 2a, 2b, 6a et 6b du Décret relatif à la conservation des sites Natura 2000, ainsi que de la faune et la flore sauvage, du 6 décembre 2011). Il existe une liste synthétique qui regroupe les espèces des groupes taxonomiques les plus importants ainsi que les habitats remarquables afin de faciliter la classification de site en SGIB (on peut la retrouver au lien suivant : https://biodiversite.wallonie.be/servlet/Repository/liste_especes_interessantes.doc?ID=3075&saveFile=true).

3.2 Natura 2000

3.2.1 Définition

Le réseau Natura 2000 est un réseau écologique européen des zones protégées naturelles (forêts, tourbières, rivières, grottes, ...), semi-naturelles (prairies fleuries, pelouses sèches, ...) ou servant d'habitat particulier à certaines espèces animales ou végétales. L'objectif du réseau est de définir un cadre commun de conservation des habitats naturels, de la faune et de la flore sauvages afin de maintenir la biodiversité dans l'ensemble des territoires des États membres (Réseau Natura 2000 En Vigueur - Série, s. d.).

Ce sont les États membres qui proposent la classification de sites en Natura 2000 en se basant sur la Directive "Oiseaux (2009)" et la Directive "Habitats (1992)". Le réseau Natura 2000 wallon compte 240 sites, ce qui correspond à 220 943,89 ha (soit 13% du territoire wallon) (Figure 14).

Les sites protégés du réseau Natura 2000 vont porter des désignations différentes en fonction des Directives auxquelles elles font références : on parle de Zones de Protection Spéciale (ZPS) pour la Directive "Oiseaux", on parle de Zones Spéciales de Conservation (ZSC) pour la Directive "Habitats" et lorsque ces zones se superposent, il est question de Site d'Importance Communautaire (SIC) (Réseau Natura 2000 En Vigueur - Série, s. d.). Le réseau Natura 2000 couvre trois-quarts de la SEP et est composé par des sites de taille moyenne de 900 ha. Il est fortement lié au réseau orohydrographique qui peut potentiellement lui offrir une grande connectivité. Notamment au travers des zones humides (sols alluviaux, sources, massifs tourbeux, ...) et des zones de reliefs (rochers, ...) qui sont formés par les cours d'eau et qui abritent une grande diversité de biodiversité.

3.2.2 Intérêt

L'intérêt principal de classer un site en Natura 2000 est de protéger ce dernier afin de maintenir les espèces qui y vivent ou leurs habitats. Le niveau de protection est assez élevé et est détaillé dans l'arrêté du gouvernement wallon, il consiste en une liste d'interdictions et d'actes qui nécessitent une autorisation. On y retrouve par exemple les mesures suivantes : l'interdiction de labour de terres agricoles à moins d'un mètre des crêtes de berge des fossés, l'interdiction de plantation de résineux et la sylviculture favorisant les semis naturels de résineux à moins de douze mètres des crêtes de berges des cours d'eau et plans d'eau, Dès que les sites sont sélectionnés pour faire partie du réseau Natura 2000, ils possèdent un premier niveau de protection semblable aux sites faisant déjà partie du réseau. Certaines interdictions ne sont pas catégoriques et des dérogations peuvent être accordées dans certains cas. Toutefois, ces demandes de dérogations doivent être accompagnées d'une notice d'évaluation d'incidences sur l'environnement (Le Réseau Natura2000 | Natura 2000 | la Biodiversité En Wallonie, s. d.).

Il est important de comprendre que les sites Natura 2000 ne sont pas des réserves fermées. Les activités humaines y sont permises tant qu'elles ne mettent pas en danger le maintien dans un état de conservation favorable des habitats et des espèces présentes dans la zone. Les règles relatives à la classification en Natura 2000 reviennent à la personne ou à l'organisme gestionnaire du terrain même si les Directives impliquent que les États membres prennent les mesures adéquates pour la restauration ou la conservation des habitats et/ou des espèces concernées.

3.3 Réseau écologique WWF

Le WWF Belgique a réalisé une étude afin d'observer les freins et les leviers à la mise en place d'une trame verte et une trame bleue dans l'Eurorégion Meuse-Rhin (aussi appelée Euregio) qui se situe entre les villes d'Aix-la-Chapelle, Liège, Hasselt et Maastricht (Figure 15). Dans cette région (où se trouve la zone d'étude), on retrouve une densité de population ainsi qu'une activité industrielle importante, ce qui entraîne des menaces sérieuses pour la biodiversité (urbanisation, intensification agricole et développement industriel notamment) (Dubois & Kaiser, 2020).

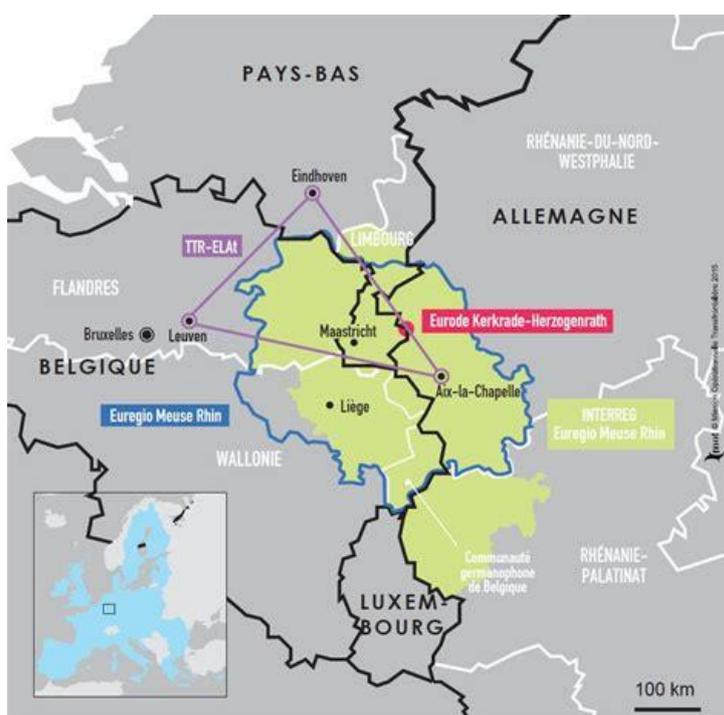


Figure 15 : Représentation de l'Euregio Meuse-Rhin

La position de cette région est essentielle car elle permet de relier les populations entre les pays, notamment grâce à la Meuse qui sert de corridor naturel (pour la loutre par exemple). Les espèces principales qui sont le plus concernées par cette étude sont la loutre et le chat sauvage. L'étude met en avant beaucoup d'éléments pour expliquer tous les éléments essentiels à la bonne mise en place des corridors écologiques mais dans le cadre de ce projet, seulement certains éléments ont été utilisés : la trame générale des corridors écologiques (uniquement les corridors qui se trouvent sur la zone d'étude) et les mesures de restauration (creusement de mares et plantations de haies).

3.3.1 Les corridors écologiques

L'ensemble du réseau écologique a été divisé en différents grands corridors qui ont ensuite été divisés en éléments spatialement cohérents (une vallée spécifique par exemple). On retrouve 14 corridors en tout dans le réseau écologique et ceux qui nous intéressent pour ce projet sont le 2 et le 3 ainsi qu'une faible partie dans le corridor 4 (Figure 16).

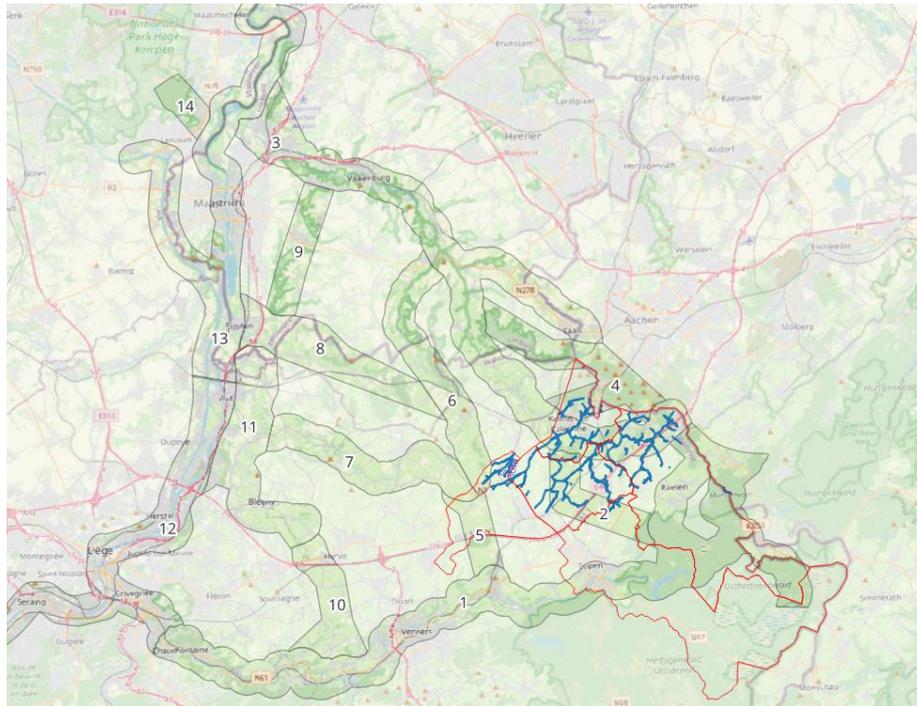


Figure 16 : Représentation des communes de la zone d'étude (en rouge) et les cours d'eau étudiés superposés au réseau écologique

Le corridor n°2 est nommé "Osthertogenwald – Kelmis", il fait approximativement 9 km de long et est principalement occupé par des surfaces agricoles (65%). Il est traversé par l'autoroute E40 et une ligne ferroviaire de train à grande vitesse qui peuvent être une barrière au passage des animaux mais dans le cadre de ce projet qui est plus centré sur les cours d'eau, cela ne posera pas de problème comme la quasi-totalité des cours d'eau présents dans le corridor se trouve sur le haut du corridor et aucun ne traverse l'autoroute (du moins pas dans le corridor) (Figure 17).

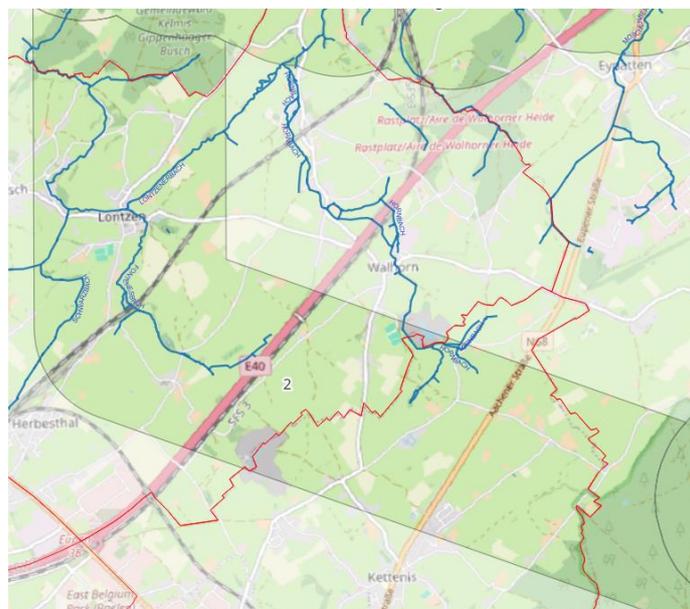


Figure 17 : Représentation du corridor Ostherthogenwald - Kelmis

Le corridor n°3 est nommé "vallée de la Gueule", il fait environ 40 km de long est également occupé en majorité par des surfaces agricoles (54%). Toutefois, seule une partie de ce dernier se trouve dans

la zone d'étude. On ne retrouve dans cette zone que 3 obstacles majeurs au passage des animaux : l'autoroute E40 qui est traversée plusieurs fois par des cours d'eau dans le corridor, la route N68 qui n'est traversée qu'une seule fois par un cours d'eau au même endroit que l'autoroute et la route N3 qui n'est traversée par aucun cours d'eau (Figure 18).

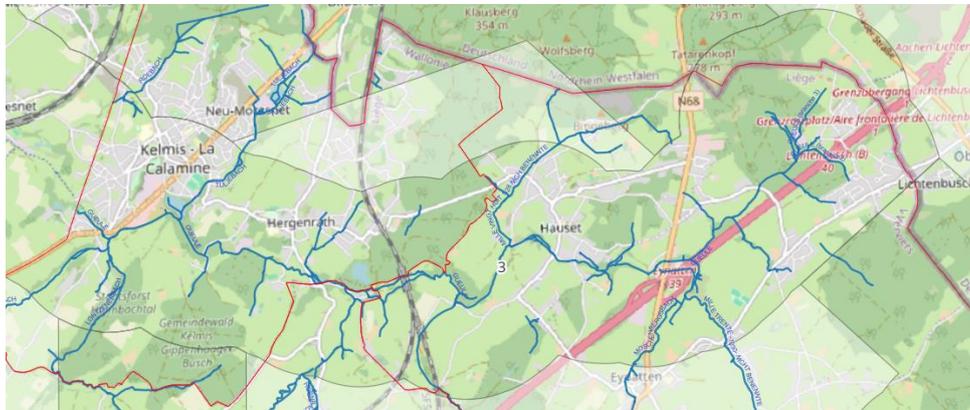


Figure 18 : Représentation du corridor vallée de la Gueule dans la zone étudiée

Le corridor n°4 est nommé "sud d'Aachen", il fait environ 13.5 km de long et est contrairement aux deux précédents occupés en majorité par des bois et des forêts. On ne retrouve aucun obstacle majeur (Figure 19)(Dubois & Kaiser, 2015).

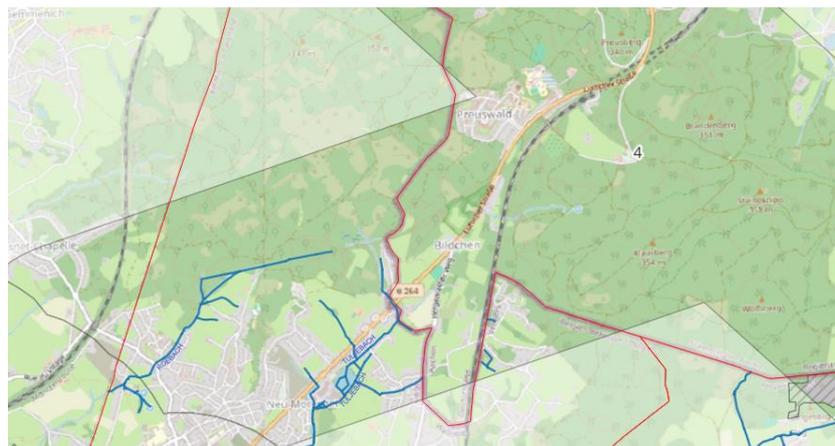


Figure 19 : Représentation du corridor sud d'Aachen dans la zone étudiée

Les corridors ont ensuite été divisés en des échelles plus petites selon la méthode du diagramme de Voronoï afin de faciliter l'identification des zones prioritaires pour la mise en place des plantations de haies et des creusements de mares (figure 20).

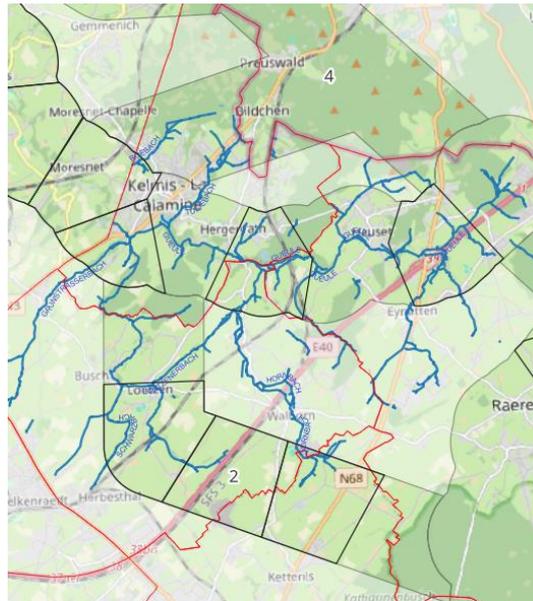


Figure 20 : Représentation des sous-ensembles du réseau écologique dans la zone étudiée

3.3.2 La plantation de haies

L'étude va proposer différentes actions de restauration. Il a été choisi de conserver la plantation de haies car ces dernières ont un impact positif autant sur la biodiversité que dans la lutte contre les inondations. D'autant plus que la zone d'étude est une région bocagère ou cette représentation de pays du bocage est ancrée et très importante. Ce sont d'ailleurs des mesures qu'il est conseillé, dans l'étude WWF, de mettre en place dans les différents corridors présents dans la zone étudiée.

La plantation de haies est une mesure de restauration très intéressante pour les zones agricoles dans lesquelles la restauration de forêts naturelles est impossible (rappelons que l'occupation des corridors présents dans la zone d'étude est majoritairement agricole). Les haies permettent d'augmenter la quantité d'habitats forestiers et la continuité écologique. En effet, les haies créent des habitats diversifiés par "l'effet de lisière" (transition entre la forêt et un écosystème plus ouvert comme une prairie ou une clairière) et permettent de créer des connexions entre les parcelles boisées (Dubois & Kaiser, 2020).

Un autre élément important dans l'impact des haies sur la biodiversité locale est la gestion de ces dernières : les haies les plus susceptibles d'abriter un grand nombre d'espèces sont celles qui sont diversifiées dans les espèces qui les composent et dont la gestion est respectueuse de la vie sauvage (pas de pulvérisation, réduction de la fréquence des coupes) (Dubois & Kaiser, 2020). De plus, les plantations de haies n'engendrent que des faibles coûts et elles peuvent permettre d'obtenir des subventions.

L'étude a ensuite identifié les densités de haies présentes sur chaque sous-ensembles des corridors. Elle a ensuite classé les différents sous ensemble en fonction de leur densité et leur a attribué des appellations en fonction de leur densité :

- 0 – 30 m/ha : paysage ouvert
- 30 – 65 m/ha : bocage dégradé
- > 65 m/ha : bocage

Les sous-ensembles qui font parties des catégories bocage dégradé ou paysage ouvert sont celles où des améliorations sont possibles (remarque : sur l'ensemble du réseau, aucun sous-ensemble n'est classé comme bocage). L'étape suivante a été de calculer la quantité d'éléments linéaires (en km) qui serait nécessaire pour atteindre la qualité supérieure et la quantité d'éléments linéaires pour atteindre l'état de bocage pour les sous-ensembles qui sont classés comme paysage ouvert.

On obtient sur la totalité des sous-ensembles qui se trouvent sur les communes concernées par la zone d'étude, 8 qui peuvent être améliorés en termes de densité de haies. Un des sous-ensembles se trouvant dans la commune de Raeren et n'étant pas dans le bassin de la Gueule, il a été décidé de ne pas le prendre en compte dans les différentes analyses et prises en compte de cette étude car même s'il reste intéressant d'y mettre en place des mesures, cela s'éloigne du sujet. Il en va de même pour le sous-ensemble sur la commune de Welkenraedt. Pour les sous-ensembles sur la zone d'étude, la densité moyenne d'éléments linéaire est de 28,42m/ha. On en retrouve 3 classés comme bocage dégradé et 3 comme paysage ouvert (Figure 21).

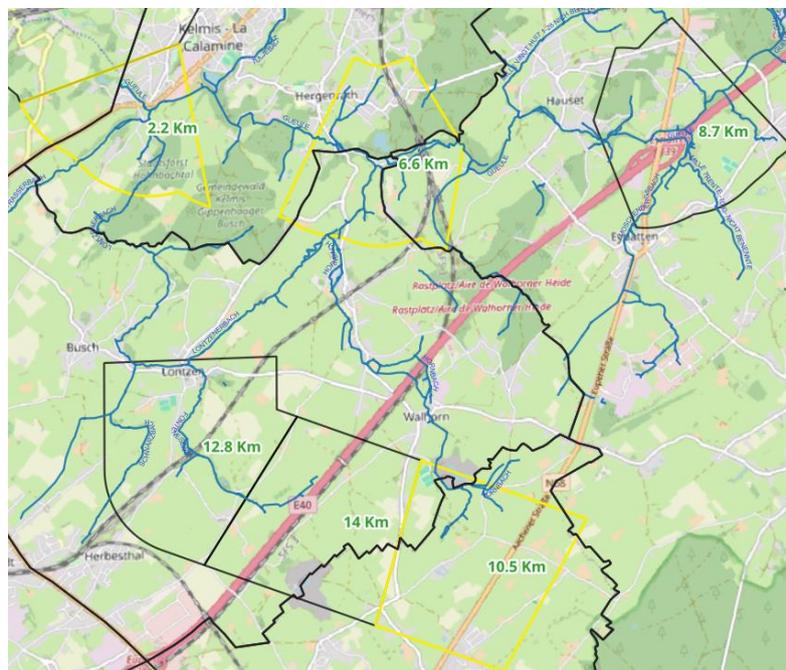


Figure 21 : Représentation de chacun des sous-ensembles où des améliorations sont possible ainsi que le nombre de km de haies à planter dans ces derniers pour atteindre un état de bocage (65m/ha) (avec en jaune les bocages dégradés)

3.3.3 Le creusement de mares

Une autre des propositions de restauration que l'étude fournit est le creusement de mares. Cette action de restauration est intéressante pour le projet, au même titre que la plantation de haies, car l'augmentation du nombre de mares sur le territoire permettra d'améliorer la connectivité des zones humides en générant des habitats aquatiques de tailles différentes (Dubois & Kaiser, 2020). Il est ici question de mares de petites et moyennes tailles (de 200 à 500 m² (Oldham et al. (2000)) qui profiteront aux espèces d'intérêt communautaire comme le crapaud accoucheur ou le triton crêté qui voient leurs habitats menacés par l'urbanisation et l'agriculture intensive (Dubois & Kaiser, 2020). Le creusement de mares est subventionné comme la plantation de haies.

L'étude va également plus loin que le creusement de mares en proposant la restauration des zones humides à plus grande échelle. Cela permettrait d'obtenir des habitats variés en taille (de la petite mare au grand marais) et ainsi d'augmenter la diversité d'habitats (Dubois & Kaiser). En effet, ces zones humides représentent un lieu important pour de nombreuses espèces, que ce soit comme habitat pour vivre, lieu de reproduction, lieu de ponte ou encore comme lieu de halte pour les oiseaux migrateurs par exemple.

L'étude a ensuite recensé le nombre de mares présentes dans les différents sous-ensembles et calculé la densité des mares (en mare/km²). La valeur de 4 mares/km² a été choisie comme valeur seuil. Elle représente la densité minimale optimale de mares pour le triton crêté. L'étude a ensuite recensé les sous-ensembles où la densité de mares est plus faible que 4 mares/km² et le nombre de mares à rajouter dans chaque sous-ensemble pour obtenir la valeur seuil (Figure 22).

Sur la zone d'étude, on retrouve 5 sous-ensembles qui doivent augmenter leur nombre de mares pour atteindre la valeur seuil. Parmi les 5 sous-ensembles, l'un d'entre eux se trouve en dehors du bassin de la Gueule et il ne sera donc pas pris en compte comme pour les haies (il est situé dans la commune de Raeren). La densité moyenne de mares qui doivent augmenter leur nombre de mares est de 3,0 mares/km².

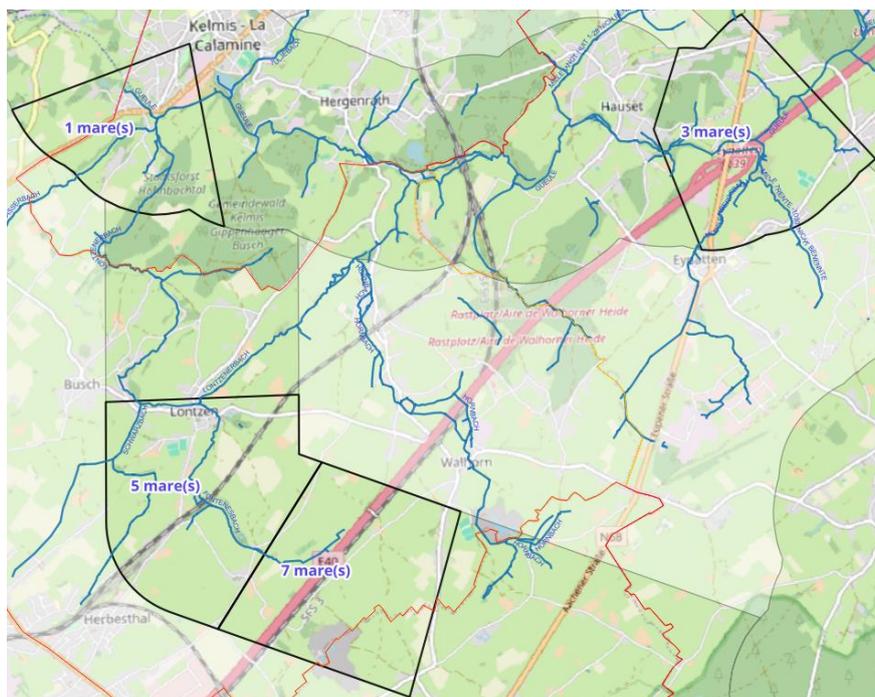


Figure 22 : Représentation des sous-ensembles où des améliorations sont possibles et le nombre de mares à creuser pour atteindre 4 mares/km²

4. Cas d'étude :

La région qui a été étudiée est située dans le nord-est de la Wallonie, dans le bassin versant de la Gueule (Figure 23). Ce bassin versant fait environ 111 km², la Gueule prend sa source dans la commune de Raeren en communauté Germanophone et se jette dans la Meuse dans la province du Limbourg, aux Pays-Bas. La région a été touchée lors des inondations de 2021. Mais il s'agit d'un contexte particulier : comme la Gueule a son confluent aux Pays-Bas, c'est là qu'on eut lieu les inondations les plus importantes. En effet, l'eau ne connaît pas de frontières, même si elle prend sa source en Belgique, c'est au Pays-Bas dans la province du Limbourg néerlandais que les dégâts furent les plus importants. La zone d'étude n'a pas été choisie au hasard : elle possède des possibilités d'améliorations, elle a été victime d'inondations et il existe des organismes publics et privés prêts à réaliser des projets et des études pour lutter contre les inondations. De plus, au-delà du soutien des Pays-Bas, il existe une solidarité de l'amont vers l'aval : ce n'est pas parce que nous avons été faiblement touchés par les inondations que nous ne devons rien faire. Nous sommes "responsables" de l'eau qui se dirige vers l'aval. Cette solidarité de l'amont vers l'aval se traduit par l'existence d'un grand nombre de projets internationaux tels que : AQUADRA, Interreg ainsi qu'une collaboration entre le WRL (Waterveiligheid en Ruimte Limburg) et les communes de la Gueule. D'ailleurs, les Pays-Bas ont débloqué des fonds pour mettre en place des solutions en Wallonie pour ralentir l'eau qui arrive au Pays-Bas avec la mise en place de solutions basées sur la nature.

Lors de cette étude, il a été choisi de travailler sur une partie du bassin versant afin de ne pas trop charger la carte des résultats et rendre sa visibilité la plus claire possible. La partie choisie est celle en amont, à partir de la source de la Gueule.

De plus, la région de Dalhem qui se trouve à proximité du bassin versant de la Gueule, et déjà impactée en 2021, a été victime d'inondations en mai 2024. Ces événements confirment l'importance de la lutte contre les inondations comme une priorité.

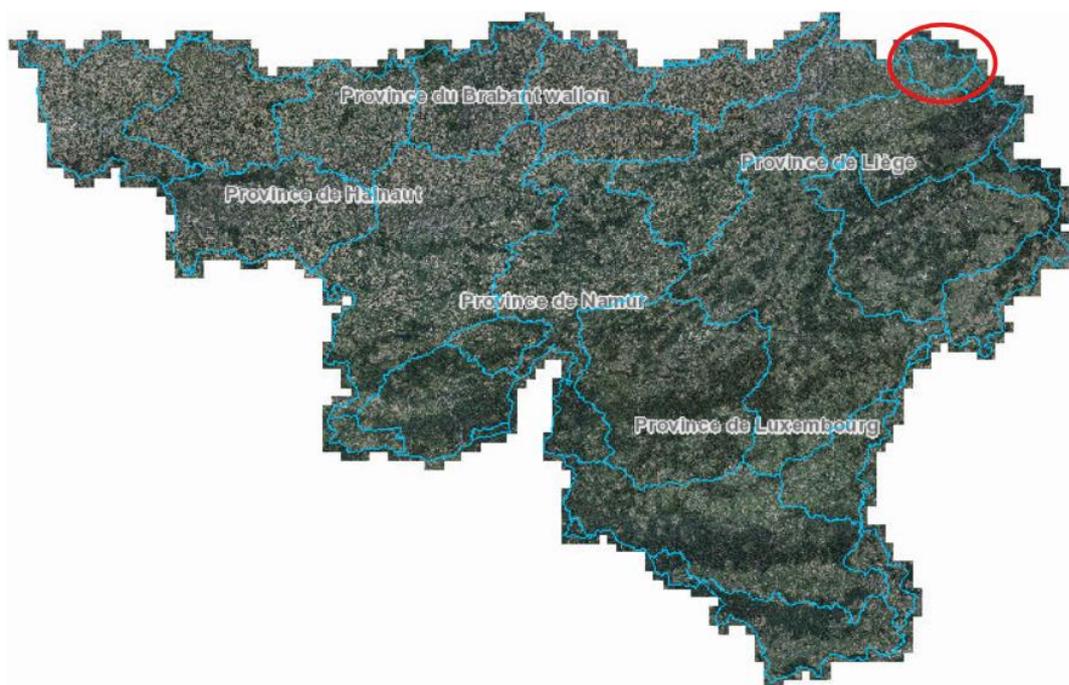


Figure 23: Carte de l'ensemble des bassins versants principaux de Wallonie (avec le bassin de la Gueule entouré en rouge) (WalonMap)

5. Matériel et méthode

L'objectif de l'inventaire des cours d'eau non classés est de caractériser et de mettre en avant les zones les plus intéressantes pour la mise en place de projets pour améliorer la résilience face aux inondations et maintenir la biodiversité. Cette méthodologie d'inventaires des cours d'eau sera divisée en 4 parties :

1. Préparation
2. Configuration de Qfield
3. Inventaire de terrain
4. Traitement des données

5.1 Préparation :

Avant d'aller sur le terrain, il est nécessaire de rechercher les couches utiles pour l'ensemble de l'inventaire (terrain et traitement).

On commence par créer un projet Qgis (en Belgian Lambert 72) sur lequel on ajoute différentes couches à configurer en L72 également :

- Des fonds de carte (couches rasters) :
 - CartoWeb-GREY en nuance de gris : IGN WMS : (<https://cartoweb.wms.ngi.be/service?version=1.3.0>).
 - OpenStreetMap WMS (<https://tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png>).
 - Le Réseau Hydrographique Wallon (RHW) (couche vecteur), uniquement sur la zone d'étude pour ne pas surcharger le projet (https://geoservices.wallonie.be/arcgis/services/EAU/ATLAS_HYDRO/MapServer/WMSServer?request=GetCapabilities&service=WMS).
- Les données encodées sur le terrain lors de l'inventaire (couches vecteurs) : composées de 3 couches de types d'entités géographique différentes :
 - Caractéristiques de l'inventaire : entités géographiques ponctuelles qui permettent l'encodage des caractéristiques des tronçons du cours d'eau (les champs sont décrits au chapitre 1.3 dans l'inventaire de terrain)
 - Nouveaux tracés : entités géographiques linéaires qui permettent l'encodage de nouveaux tracés de cours d'eau non classés différents du RHW.
 - Zones humides : entités géographiques polygonales, c'est dans cette zone que sera encodée l'ensemble des informations relatives aux zones humides.

Les 3 couches sont enregistrées au format Géopackage (GPKG)

- Un découpage de la zone d'étude (Welkenraedt, Raeren, La Calamine) (couche vecteur).

5.2 Configuration de Qfield :

Qfield est une application mobile dérivée de Qgis qui a été utilisée pour l'encodage des données sur le terrain. Il ne sera choisi d'y afficher qu'un certain nombre de données qui sont nécessaires sur le terrain.

Sur le terrain, il n'est nécessaire d'afficher que les couches suivantes :

- Le groupement de couches modifiables : "Modifiables". On parle ici des données que l'on va encoder sur le terrain : Caractéristiques de l'inventaire, Nouveaux tracé et Zones humides.
- Le fond de carte OpenStreetMap qui devra être chargé à l'avance avec un accès internet (ouverture de l'application Qfield et zoom sur la zone qui va être parcourue lors de l'inventaire).
- Le Réseau Hydrographique Wallon.

L'utilisation de Qfield sur le terrain ne nécessitera pas une connexion internet mais cette dernière sera essentielle pour "pousser" les modifications qui seront faites dans les couches modifiables.

5.3 Inventaire de terrain :

La procédure sur le terrain est très précise et doit être respectée à chaque fois afin de bien attribuer les données au tronçon qui leur correspond et éviter des confusions lorsque l'on va passer du ponctuel au linéaire.

5.3.1 Encodage des caractéristiques du tronçon :

- a) Premier point à l'amont du tronçon non classé qui va être parcouru. Pour cet inventaire, on commencera toujours par l'amont, les caractéristiques du tronçon en aval sont donc encodées dans ce point.
- b) Dès l'observation de changements d'une ou de plusieurs caractéristiques du cours d'eau, un nouveau point est encodé.
 - Encodage d'un nouveau point pour caractériser le tronçon suivant.
- c) Si présence d'une zone humide :
 - Voir encodage des zones humides (chapitre 4.3.5)

Lorsque l'on ne voit aucune trace du cours d'eau ou qu'il est impossible d'accéder, on l'indique dans les commentaires et on ne remplit pas les champs. Il faut se renseigner sur la partie qui n'a pas été réalisée par après. Si absence de cours d'eau, cocher la case "absence de cours d'eau" et observer si on se trouve en zone complexe (https://geoservices.wallonie.be/arcgis/services/EAU/ATLAS_HYDRO/MapServer/WMServer?request=GetCapabilities&service=WMS).

5.3.2 Numérotation :

Chaque point désigne le tronçon du cours d'eau en aval. La numérotation et l'ajout de nouveaux points se réalisent dans le sens d'écoulement du cours d'eau (de l'amont vers l'aval) pour la biosécurité et pour une question pratique, afin de garder toujours le même sens.

5.3.3 Métadonnées des champs :

5.3.3.1 *Nom/identifiant :*

Ce champ contient le numéro qui va être attribué à chaque point représentant la section du cours d'eau qui le suit (de l'amont vers l'aval). Il est attribué à chaque tronçon une suite de numéros après le nom du cours d'eau (ou le nom du cours d'eau dans lequel l'affluent se jette) pour l'identifier facilement (exemple : Berwinne 1.4, Soue 2.6, ...).

5.3.3.2 *La date d'encodage*

5.3.3.3 *La commune*

5.3.3.4 *La catégorie (NC/ND/NR) :*

Ce champ contient les différents types d'appellations que l'on donne à des cours d'eau non classés. Les catégories sont reprises telles que dans le Réseau Hydrographique Wallon. Ils sont juridiquement tous considérés comme non classés s'ils correspondent à la définition d'un cours d'eau selon le code de l'eau : " surface du territoire qui est occupée par des eaux naturelles s'écoulant de façon continue ou intermittente dans le lit mineur, à l'exclusion des fossés d'écoulement des eaux de ruissellement ou de drainage ".

A titre informatif, les explications des noms des couches sont les suivantes (source Xavier Legall, SPW) :

- Les non classés (NC) : sont donc bien définis par la législation et font partie d'une catégorie légale à part entière (< 100 hectares de bassin versant).
- Les non répertoriés (NR) : sont des « tracés » repris dans les planches de l'atlas papier, mais classés (uniquement en province de Liège) en NR dans les planches atlas papier. Cependant, cette catégorie de cours d'eau n'existe pas dans la législation. Ils doivent être considérés comme non classés s'ils respectent la définition de cours d'eau du Code de l'Eau.
- Les non définis (ND) : correspondent à de nombreux arcs issus de la fusion des différents jeux de données dont la catégorie n'est pas définie (non classé ou pas).

Ceci explique les différentes dénominations que l'on retrouve dans la couche Réseau Hydrographique Wallon.

5.3.3.5 *Occupation du sol berge gauche :*

Ce champ reprend les principales occupations du sol que l'on peut retrouver. Si l'occupation est différente entre la berge gauche et la berge droite (dans le sens d'écoulement), ce champ reprend l'occupation de la berge gauche. Sinon, il reprend l'occupation du sol lorsqu'elle est la même pour les deux berges. Les différentes occupations du sol sont les suivantes :

Prairie, Culture, Feuillus, Résineux, Verger, Etang (le cours d'eau traverse un étang), Revêtement artificiel (béton, route, parking, jardin tondu, ...), zone humide (pour l'identification des zones humides, voir point 4.3.5), Autres (aire de repos (plaine de jeu/parc communal), golf, CET)

5.3.3.6 Occupation du sol berge droite (remplir si différent de berge gauche) :

Il s'agit de l'occupation de la berge droite. Le champ ne doit être rempli que lorsque l'occupation du champ est différente entre les berges gauche et droite.

5.3.3.7 Absence de CVP

Pour l'encodage du CVP, il s'agit juste d'une case à cocher si le CVP n'est pas respecté sinon on considère qu'il est respecté.

Un couvert végétalisé permanent (CVP) de 6 mètres doit être maintenu le long des cours d'eau bordant une terre de culture (y compris les prairies temporaires) situées à moins de 6 mètres de la crête de berge d'un cours d'eau, sauf si celles-ci sont en culture biologique. Cette végétalisation permettra à la zone tampon, déjà imposée pour limiter la contamination de l'eau par la dérive de pulvérisation et les fertilisants, de remplir de nouvelles fonctions environnementales essentielles à l'amélioration de la qualité de nos cours d'eau.

5.3.3.8 A sec ou non :

Il s'agit d'une case à cocher si le cours d'eau est à sec lors de l'inventaire.

5.3.3.9 Canalisation :

- Canalisé fermée :

Le cours d'eau est canalisé par l'homme (et non naturel) que ce soit dans un tuyau ou dans un voutement sous-terrain.

- Canalisé ouverte :

Présence d'une canalisation ouverte anthropique.

- Null : cette valeur est encodée lorsque le cours d'eau n'est pas canalisé.

5.3.3.10 Présence d'un cordon rivulaire :

Il s'agit d'une case à cocher lorsqu'il y a présence d'un cordon rivulaire.

Un cordon rivulaire, ou ripisylve, est défini comme une haie ou un alignement d'arbres le long d'un cours d'eau en milieu agricole. Sa largeur peut varier d'un simple alignement d'arbres à un fragment forestier large de plusieurs mètres. Il s'agit d'un fragment linéaire de forêt alluviale, un habitat prioritaire au niveau européen (HIC 91E0*) (Plantons des cordons rivulaires. (s. d.). Natagriwal).

Un arbre isolé le long du cours d'eau n'est pas considéré comme ripisylve, il faut au moins 3-4 arbres groupés pour l'encoder. Des trouées peuvent être observées le long de la ripisylve mais on continue d'indiquer qu'elle est continue. On considère qu'elle n'est plus continue lorsque la trouée est plus grande que 10 m.

Remarque : les arbustes et buissons sont considérés comme de la ripisylve.

Il est important de relever que parfois l'utilisation d'ortho photoplans peut être utile pour l'encodage de la ripisylve afin de ne pas devoir retourner sur le terrain.

5.3.3.11 Non clôturé avec présence d'animaux :

Il s'agit d'une case à cocher lorsque l'on observe des traces ou la présence d'animaux qui pourraient avoir une atteinte sur le cours d'eau (vaches, chevaux, moutons, ânes, ...) et que ces derniers ont accès au cours d'eau.

L'absence de clôtures ne fait pas de distinction entre la rive gauche et la rive droite. Dès qu'il y a un accès avec des traces d'animaux, il faut cocher la case. La clôture doit être située à au moins 1 mètre du cours d'eau si on considère que les animaux peuvent avoir un impact sur ce dernier.

5.3.3.12 Présence d'une étendue d'eau à proximité :

Case à cocher lorsque l'on retrouve une étendue d'eau à proximité du cours d'eau, comme une mare par exemple.

5.3.3.13 Absence de cours d'eau :

Case à cocher lorsque le cours d'eau n'est pas présent ou lorsqu'il s'éloigne fortement du tracé renseigné par le RHW.

5.3.3.14 Commentaire :

Des éléments importants comme un danger/atteinte ou l'impossibilité de se rendre aux abords du cours d'eau par exemple, un propriétaire sensible. Lors d'une rencontre avec un propriétaire, si ce dernier est intéressé et désireux de mettre en place des projets, il est important de prendre ses coordonnées et de les rassembler dans un tableau. Cela permet d'avoir un élément important pour la faisabilité d'un projet.

5.3.4 Encodage de nouveaux tracés :

Il arrive parfois que le tracé du cours d'eau décrit sur la carte par le Réseau Hydrographique Wallon soit différent de celui que l'on retrouve sur le terrain. Lorsque c'est le cas, on utilise l'entité géographique linéaire "Nouveaux tracés" pour indiquer le tracé observé sur le terrain. Il arrive que le tracé cartographique soit différent de 1 ou 2m, on ne note pas un nouveau tracé dans ce cas-là mais plutôt lorsqu'il est très différent (une dizaine de mètre, voire même inexistant sur la carte).

a) On encode le nouveau tracé.

B) On remplit les champs reprenant les caractéristiques du tronçon comme pour les entités ponctuelles.

5.3.5 Encodage d'une zone humide :

Les milieux humides sont des zones de transition entre la terre et l'eau où se note une capacité à conserver l'eau dans le sol ou à la surface. Une zone humide possède soit une végétation hygrophile, soit une morphologie des sols liée à la présence prolongée d'eau, soit les deux.

Pour déterminer une zone comme zone humide, il faut :

- La présence d'espèces hygrophiles (scirpe des bois, massette, jonc, ...) (Figure 8).
- Un nombre suffisant d'individus d'une espèce hygrophile (au moins 5-6 individus).
- Une morphologie de sol gorgé d'eau (optionnel).

Pour l'encodage d'une zone humide, il faut utiliser la couche "Polygones modifiables", pour délimiter la zone humide de manière grossière. Il n'y a pas besoin d'être trop précis lors de la délimitation, il s'agit d'une estimation et le but principal lors de l'inventaire de terrain est de relever la présence des zones humides. La géométrie du polygone sera déterminée de manière précise par utilisation d'orthophotoplans ou par revisite des zones humides.

L'encodage d'une zone humide s'accompagne également d'une photo pour conserver une trace de la représentation de la zone humide. Il faut activer la fonction de géolocalisation dans les paramètres du téléphone, ce qui nous permettra d'indiquer la localisation de la zone humide avec précision. Les photos seront ensuite compilées dans un dossier.

5.3.6 Végétation des zones humides :

Il s'agit d'un champ de la couche "Zones humides" à remplir pour indiquer les espèces présentes que l'on a identifiées avec certitude et qui nous ont permis d'identifier la zone humide (espèces hygrophiles).

5.3.7 Sauvegarde des modifications :

- a) Synchroniser le projet sur Qgis du local (ordinateur) vers le cloud.
- b) Réaliser des modifications (ajout d'un point par exemple).
- c) Pousser les modifications de Qfield vers le cloud.
- d) Synchroniser les données du cloud vers le local.
- e) Réaliser des modifications sur le local si nécessaire.
- f) Sauvegarder le projet.
- g) Synchroniser le projet du local vers le cloud.

5.3.8 Attitude de terrain :

Voici quelques marches à suivre sur le terrain pour que tout se passe au mieux :

- Lors d'un contact avec un propriétaire, toujours commencer par se présenter ainsi que l'inventaire qui est réalisé. Toujours bien expliquer qu'il ne s'agit pas d'un contrôle mais d'un travail bien général qui a pour but de travailler en collaboration avec le propriétaire et pas contre lui.
- Si un propriétaire refuse que l'on accède à sa parcelle, partir sans discuter et indiquer dans le commentaire du dernier point que l'on n'a pas pu réaliser l'inventaire.
- Toujours faire attention aux clôtures lorsque que l'on doit les franchir et si c'est trop compliqué de les traverser sans les abîmer, il vaut mieux les contourner en passant par un accès plus éloigné du cours d'eau.
- Pour respecter la biosécurité (risque de transmission d'un cours d'eau à l'autre de micro-organismes infection ou de graines de plantes invasives), il est important de nettoyer ses bottes/waders avec de l'éthanol lorsque l'on est passé dans un cours d'eau.
 - 1) Commencer par frotter les bottes/waders avec une brosse.
 - 2) Rincer avec de l'eau claire.
 - 3) Désinfecter le matériel qui a été en contact avec de l'eau et avec de l'éthanol
- La sécurité passe toujours en priorité lors de l'inventaire.
 - Lorsque l'accès aux abords du cours d'eau est dangereux ou trop difficile d'accès, il ne faut pas insister et l'écrire en commentaire.
 - Il est important qu'au moins une personne soit informée du lieu où l'inventaire est réalisé et que cette dernière possède toutes les informations pour contacter les responsables du Contrat Rivière.
 - Toujours avoir la trousse de secours avec soi.
 - Toujours porter le gilet fluorescent du CRMA lorsque l'on se trouve aux abords du cours d'eau.

5.4 Le traitement des données :

La dernière étape de l'inventaire consiste à traiter l'ensemble des données qui ont été observées sur le terrain et de les coupler avec d'autres données intéressantes.

5.4.1 Transformation du ponctuel au linéaire :

Afin d'identifier de manière plus facile les différentes informations qui ont été observées sur le terrain, les entités ponctuelles ("Caractéristiques de l'inventaire") vont être transférées sur des données linéaires. Les données vont être inscrites sur une couche dérivée du Réseau Hydrographique Wallon. Cette couche dérivée sera une exportation de la couche d'origine en ne gardant que les cours d'eau non classés (uniquement sur les communes étudiées). Dans cette couche, on va rajouter les champs suivants étudiés sur le terrain :

- Occupation du sol (berge gauche).
- Occupation du sol (berge droite).
- La présence de canalisation (aérien, souterrain).
- L'absence de clôture avec présence animale.
- L'absence de CVP.

On remplit ensuite les champs avec les informations qui correspondent et décrites dans les entités ponctuelles.

Lors de la mise en place des tronçons, il est possible que certains tronçons doivent être unis : on utilise l'outil Qgis "Editer -> Editer les géométries -> Fusionner les entités sélectionnées".

Il est également possible que l'on doive diviser une entité linéaire de la couche pour qu'elle corresponde à la bonne taille du tronçon : on utilise l'outil Qgis "Editer -> Editer les géométries -> Séparer les entités".

5.4.2 Mise en place d'une symbologie.

Une bonne symbologie est essentielle pour mettre en avant les informations importantes. Il faut qu'elle soit claire, représentative de ce qu'elle décrit et qu'elle ne soit pas trop chargée pour que tous les éléments soient visibles.

5.4.3 Ajout des espèces intéressantes (SGIB).

On va rajouter les espèces qui peuvent potentiellement justifier une classification d'une zone en Site de Grand Intérêt Biologique (SGIB). Il s'agit d'espèces qui sont rares ou qui sont en danger d'extinction et dont la protection est primordiale. Pour cela, on va utiliser la couche fournie par Natagora et sélectionner les espèces intéressantes :

- Simplifier la couche des espèces à la zone étudiée pour ne pas surcharger le projet (outils de géotraitement -> couper).
- Sélectionner l'ensemble des données dans le champ nom_sci (nom scientifique) et coller la colonne dans le fichier Excel "ListeSGIB".

- Suivre les instructions indiquées dans le fichier Excel pour sélectionner les espèces correspondantes.
- Une fois les espèces intéressantes présentes sur la zone d'étude identifiées, les sélectionner dans Qgis. Utiliser l'outil "Sélectionner en utilisant une expression" et introduire le code suivant : « CASE WHEN "nom_sci" IN ('valeur_cible_1', 'valeur_cible_2', 'valeur_cible_3') THEN 1 ELSE 0 END ». Remplacer les valeurs cibles par les noms scientifiques des espèces identifiées dans le fichier Excel.
- Utiliser une symbologie permettant de mettre en avant la menace d'extinction que subit chaque espèce (dégradé de couleurs vers le rouge).

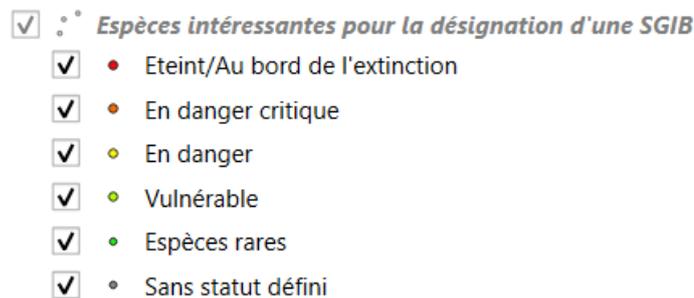


Figure 24 : Légende de la classification des espèces permettant la classification en SGIB en fonction de leur degré d'extinction

5.4.4 Ajout de la trame écologique WWF :

L'ajout de la trame écologique va permettre d'indiquer la présence de corridors écologiques et de différents éléments :

- Le corridor écologique
- Le nombre de mares à rajouter dans chaque unité (division du corridor) pour atteindre une densité de 4 mares/km². (source WWF).
- Le nombre de km de haies à implanter dans l'unité pour atteindre une densité d'éléments linéaires arborés de 30 m/ha dans le cas d'une unité en paysage ouvert, ou de 65 m/ha dans le cas d'une unité en bocage dégradé. (Unité en paysage ouvert = <30m/ha, unité en bocage dégradé = entre 30m/ha et 65m/ha, unité en bocage = >65m/ha).

Les données exactes de la trame écologique sont reprises dans le point 5.3

5.4.5 Zones complexes (optionnel) :

Les zones d'imprécision ou d'incertitude ont été mises en évidence par la création de "Zones complexes" (ZC). Les problèmes relevés sont divers. Certains concernent la continuité du réseau hydrographique, d'autres le classement du cours d'eau ou d'autres encore l'existence réelle de certains arcs. Le problème le plus souvent rencontré concerne la géométrie des cours d'eau. Un problème de géométrie signifie que le tracé numérisé ne correspond pas exactement au tracé réel du cours d'eau.

6. Résultats de l'inventaire :

6.1 Cartographie

6.1.1 Carte générale

L'ensemble de l'inventaire (observations de terrain + traitement des données) a permis d'obtenir une grande carte qui réunit la majorité des informations. On retrouve sur cette carte : les cours d'eau (classés et non classés), l'occupation du sol aux abords des cours d'eau, la présence de canalisations, la présence d'un cordon rivulaire, l'absence de clôture avec présence de bétails, la présence d'une zone humide, la présence d'un SGIB, la présence d'une réserve Natura 2000, le réseau écologique WWF avec les différents sous-ensembles ainsi que les différentes valeurs qui s'y rapportent et les espèces susceptibles de permettre la désignation d'une zone en SGIB (Figure 25).

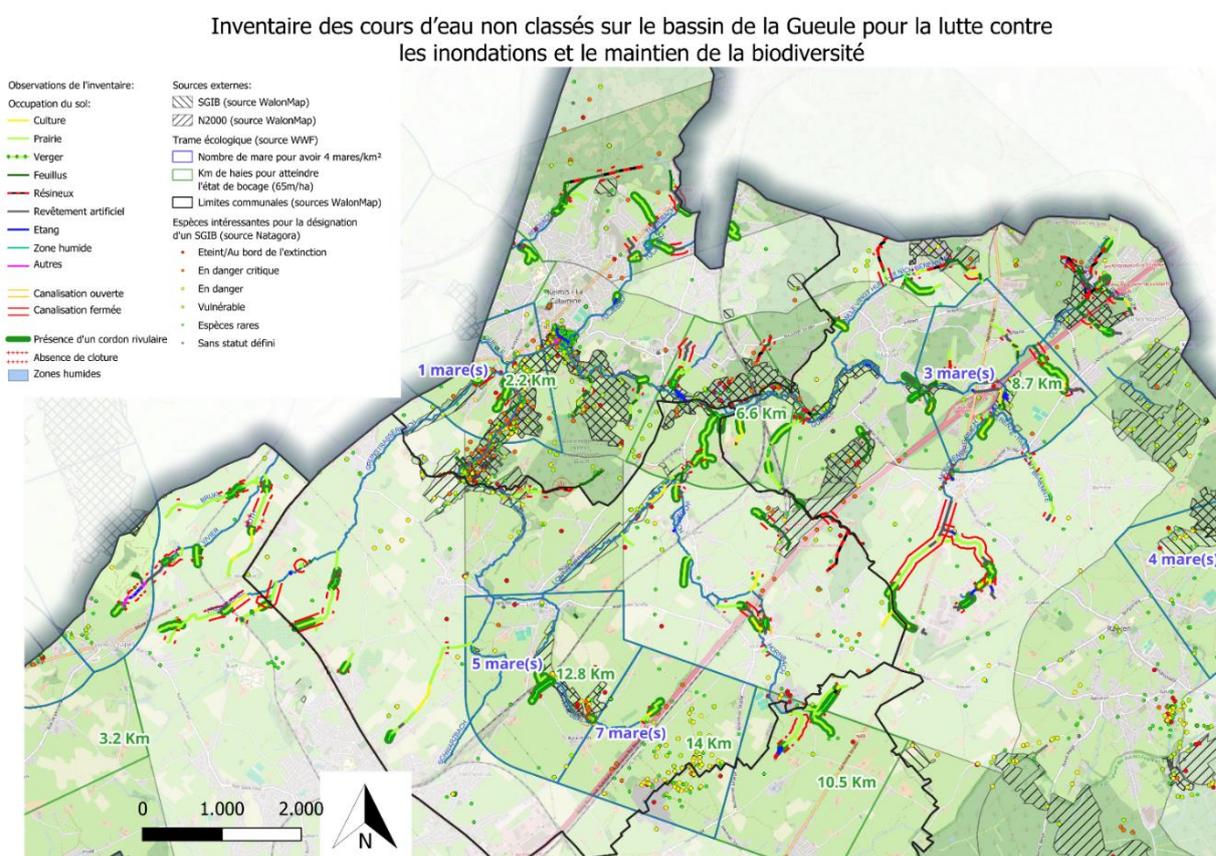


Figure 25 : Inventaire des cours d'eau non classés sur le bassin de la Gueule pour la lutte contre les inondations et le maintien de la biodiversité

D'un premier abord, certains éléments nous frappent plus que d'autres. Notamment la présence des corridors écologiques qui constituent le réseau écologique WWF, on peut observer qu'ils traversent le bassin de la Gueule tout en suivant les cours d'eau principaux. On observe également un grand nombre de sites classifiés en Natura 2000 ainsi qu'en SGIB. Ils se situent en majorité le long de la Gueule et du Lontzenerbach.

Cette carte nous permet d'avoir une vue d'ensemble sur l'entièreté de la zone qui a été étudiée, mais rend difficile de voir tous les éléments dans les moindres détails ou bien d'avoir une vue d'ensemble d'une seule catégorie de données. Les éléments majoritaires vont être revus un à un avec une carte qui leur est propre afin de saisir l'ensemble des informations et pouvoir proposer au mieux des pistes de solutions avec les solutions basées sur la nature. Chaque carte sera accompagnée de commentaires qui décrivent cette dernière.

6.1.2 L'occupation du sol

Le premier élément est celui de l'occupation du sol. En réalité, il est question de l'occupation du sol aux abords du cours d'eau, mais cela a été simplifié pour faciliter la compréhension (Figure 26). Remarque : il existe une légende plus détaillée de l'occupation du sol à l'annexe 1, cette dernière reprend notamment les occupations des berges lorsqu'elles sont différentes, mais elles ne sont pas affichées sur la légende générale, pour faciliter la lisibilité et la clarté.

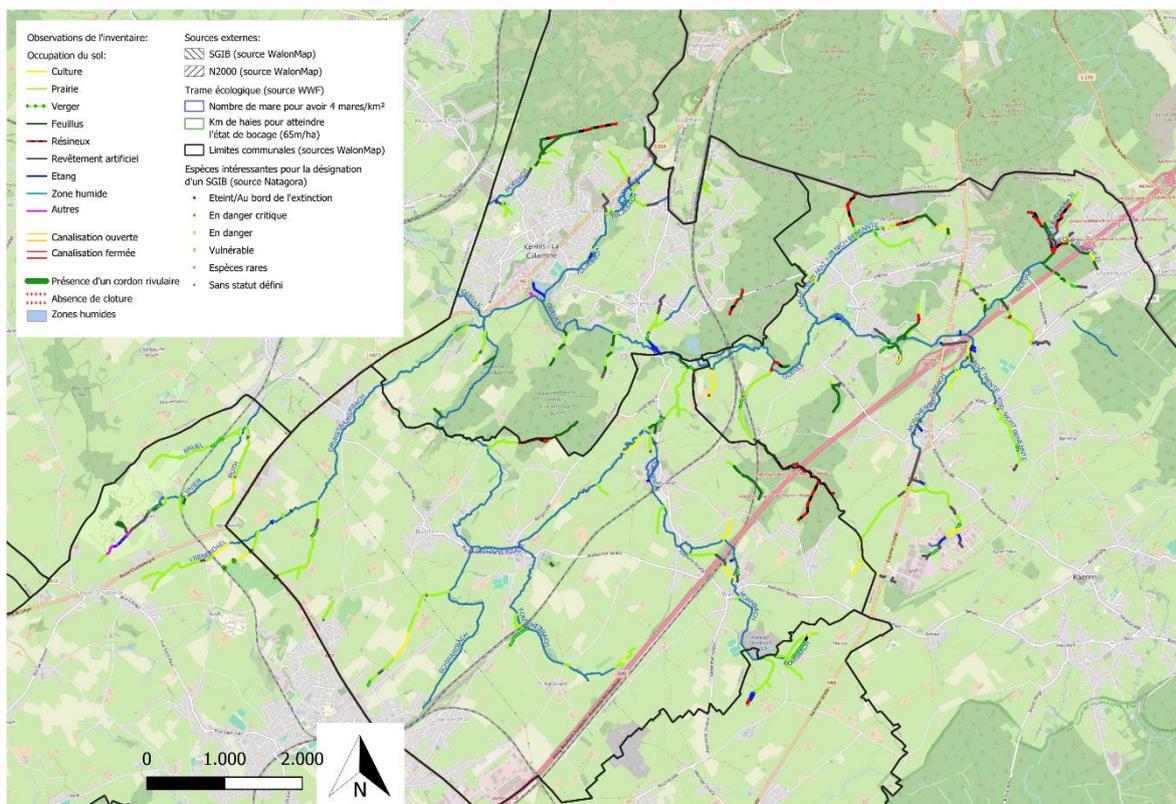


Figure 26 : Représentation de l'occupation du sol des cours d'eau non classés sur le bassin de la Gueule

On observe que l'occupation est principalement attribuée à des prairies et des cultures, ce qui est cohérent, car ce sont les occupations les plus importantes sur l'ensemble du territoire de la zone étudiée. On retrouve très peu de revêtement artificiel, ce qui est une bonne chose car il est souvent compliqué de mettre en place des projets dans des zones urbanisées et encore plus des NBS. On retrouve également des boisements (résineux et feuillus) dans la commune de la Calamine et au nord de Raeren.

Le grand nombre de prairies est idéal pour lutter contre les inondations car ces dernières ont une meilleure rétention que les cultures. Le grand nombre de cultures peut quant à lui entraîner des problèmes car comme il a été expliqué précédemment, ces dernières ont une capacité de rétention qui est moindre et elles favorisent le ruissellement.

Les zones urbanisées peuvent être problématiques car elles sont fortement imperméabilisées et les conséquences d'une augmentation du débit dans ces zones peut entraîner des dégâts (c'est forcément plus dérangeant si le cours d'eau déborde dans un village que dans un fond de prairie). Toutefois, il est important de comprendre que la plupart des cours d'eau non classés qui ont été observés se trouvent dans la zone de production plus en amont et que les débits seront moins importants que ceux du cours d'eau distributaire donc on risque d'être moins impacté par des épisodes de fortes pluies, même si cela reste possible. Il est vrai que ces zones peuvent également être victimes d'inondations comme lors des épisodes de juillet 2021, ce fut le cas pour le village d'Eynatten (entouré sur la Figure 27) et comme on peut le voir sur la carte des zones inondées en juillet 2021.

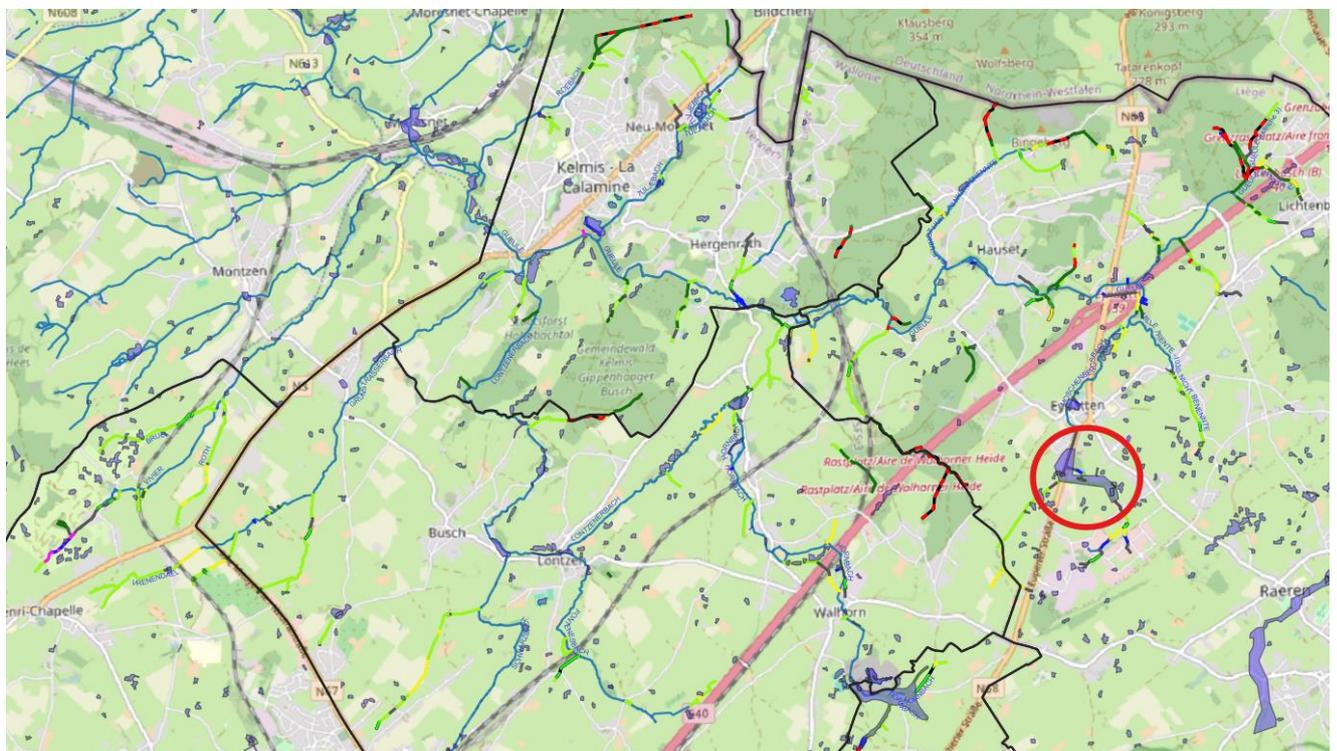


Figure 27 : Représentation des zones inondées (en bleu) lors des événements de juillet 2021

Remarque : il est important de rappeler que l'objectif de ce projet est de diminuer les débits des cours d'eau de plus petite taille afin d'entraîner une diminution des débits des cours d'eau plus importants dans lesquels ils se jettent, il s'agit d'avoir une vision plus globale des inondations. En effet, il ne faut pas perdre cela de vue et donc ne pas se concentrer que sur les zones qui ont été touchées, même s'il est évident que les mesures proposées leur seront bénéfiques de manière générale.

6.1.3 La présence de canalisations

Le second élément qui a été observé sur le terrain est si le cours d'eau est canalisé ou pas. La présence d'une canalisation peut entraîner une rupture avec les biotopes aux abords du cours d'eau et cette dernière accélère la vitesse d'écoulement, ce qui peut augmenter les dégâts des inondations à l'aval lors de fortes pluies (comme expliqué dans le point 2.2.2). La carte reprenant l'ensemble des cours d'eau canalisés est la suivante (Figure 28)

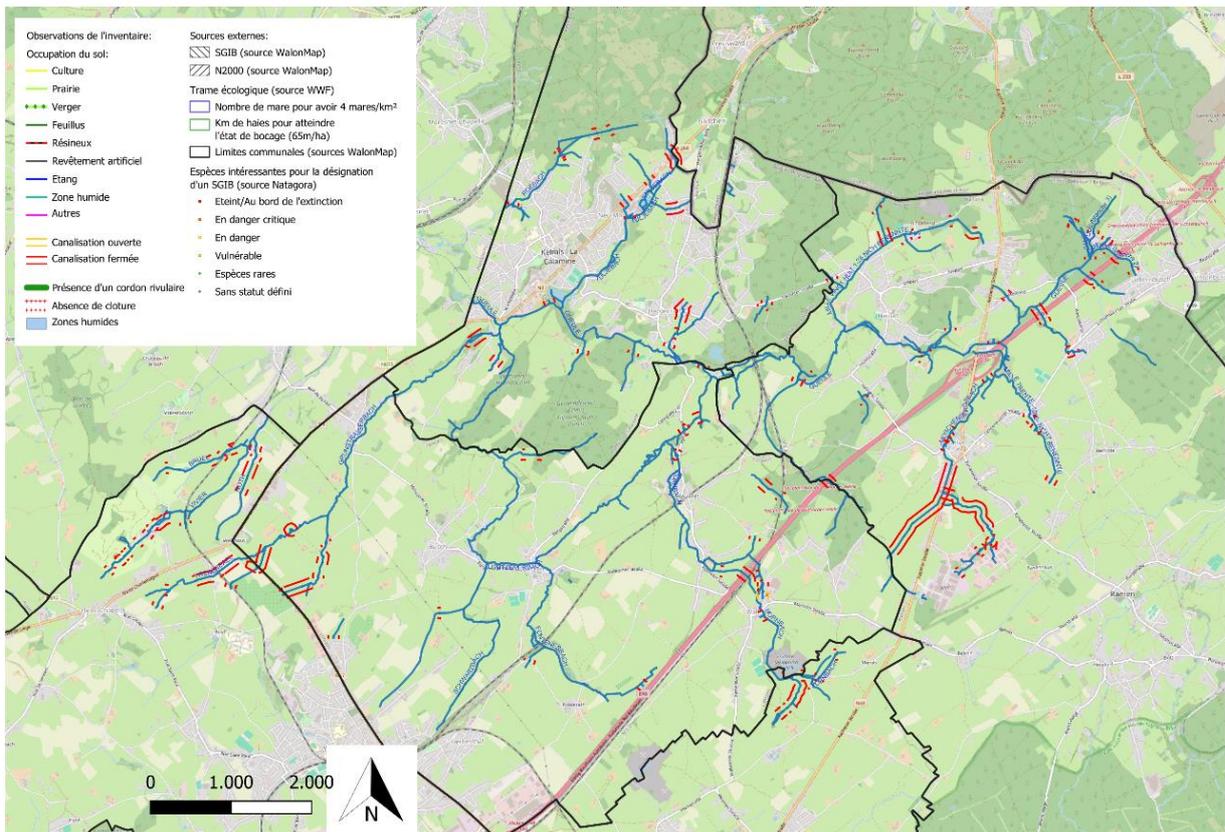


Figure 28 : Représentation des cours d'eau canalisés sur le bassin de la Gueule

On peut observer plusieurs éléments sur cette carte. Tout d'abord, on ne retrouve quasiment que des canalisations souterraines (fermées) sur la zone d'étude (12,3%) et seulement une seule canalisation ouverte (0,076%). On retrouve des grandes différences parmi toutes les canalisations, celles-ci sont principalement liées à la taille et à la fonction des canalisations. En effet, on retrouve des canalisations de petites tailles (10 mètres maximum) qui sont généralement mises en place pour permettre au cours d'eau de traverser un obstacle généralement d'origine anthropique (route, chemin, autoroute, voie ferrée, ...), elles vont être appelées des canalisations de passage (Figure 25). On retrouve également des canalisations de plus grandes tailles dont l'installation peut sembler évidente notamment pour les cours d'eau qui traversent des grandes surfaces urbanisées comme des villages, elles vont être appelées des canalisations urbaines (Figure 29). Mais cela semble plus étonnant lorsque le cours d'eau traverse des grandes étendues comme des cultures ou des prairies (Figure 29). La raison derrière cette canalisation du cours d'eau en prairie ou en culture est liée à un objectif de production toujours plus importante : le cours d'eau étant un obstacle aux engins agricoles, il fut plus simple de le canaliser et de passer par-dessus que de le contourner à chaque fois.

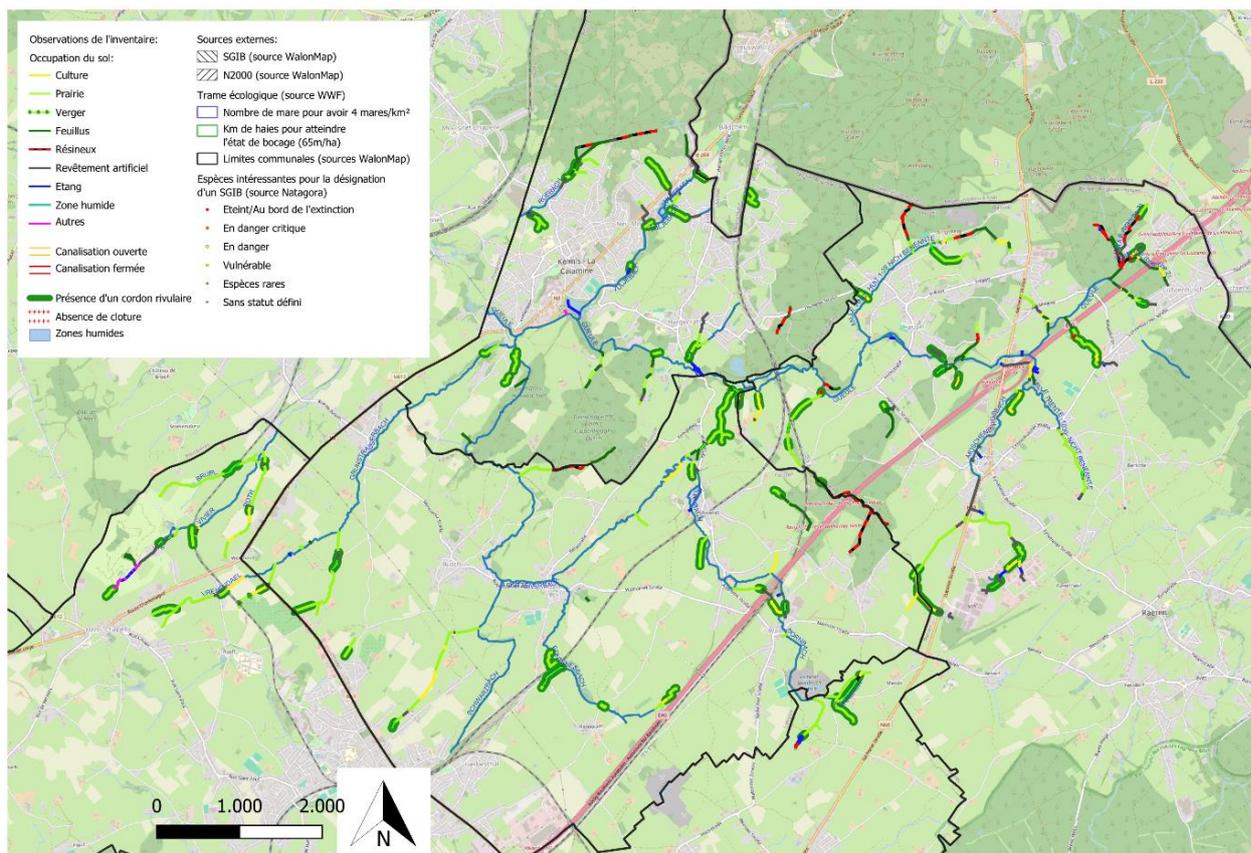


Figure 30 : Représentation de la présence de ripisylve (ou d'un cordon rivulaire)

Avant d'analyser la carte que l'on a obtenue avec la réalisation de l'inventaire, il est important de bien comprendre ce qu'il a été décidé de représenter comme ripisylve. Il a été choisi d'indiquer la présence de ripisylve en même temps que l'occupation du sol car lors de la réalisation de l'inventaire, lorsque l'occupation du sol aux abords du cours d'eau était un boisement de résineux ou de feuillus, la présence de ripisylve n'a pas été indiquée car elle semblait évidente. De plus, le fait d'afficher la présence de ripisylve ainsi que l'occupation du sol, permet de mettre en avant le rôle de la ripisylve comme connecteur entre les différents biotopes.

De manière générale, on observe la présence d'un bon nombre de cours d'eau bordés par une ripisylve (20,45%). Ils se trouvent principalement au nord et au centre de la zone d'étude, ce qui est très intéressant car ils vont pouvoir jouer le rôle de connecteur entre les boisements qui sont plus importants dans ces localisations (dans la commune de La Calamine et sur le nord-Ouest de la commune de Raeren). De plus, si on compare les données de présence de ripisylve avec les corridors écologiques qui traversent la zone d'étude, on remarque bien que les cours d'eau non classés présents dans ces corridors sont en grande majorité accompagnés de ripisylve ou bien ils possèdent des occupations de boisement (résineux ou feuillus) (Figure 31).

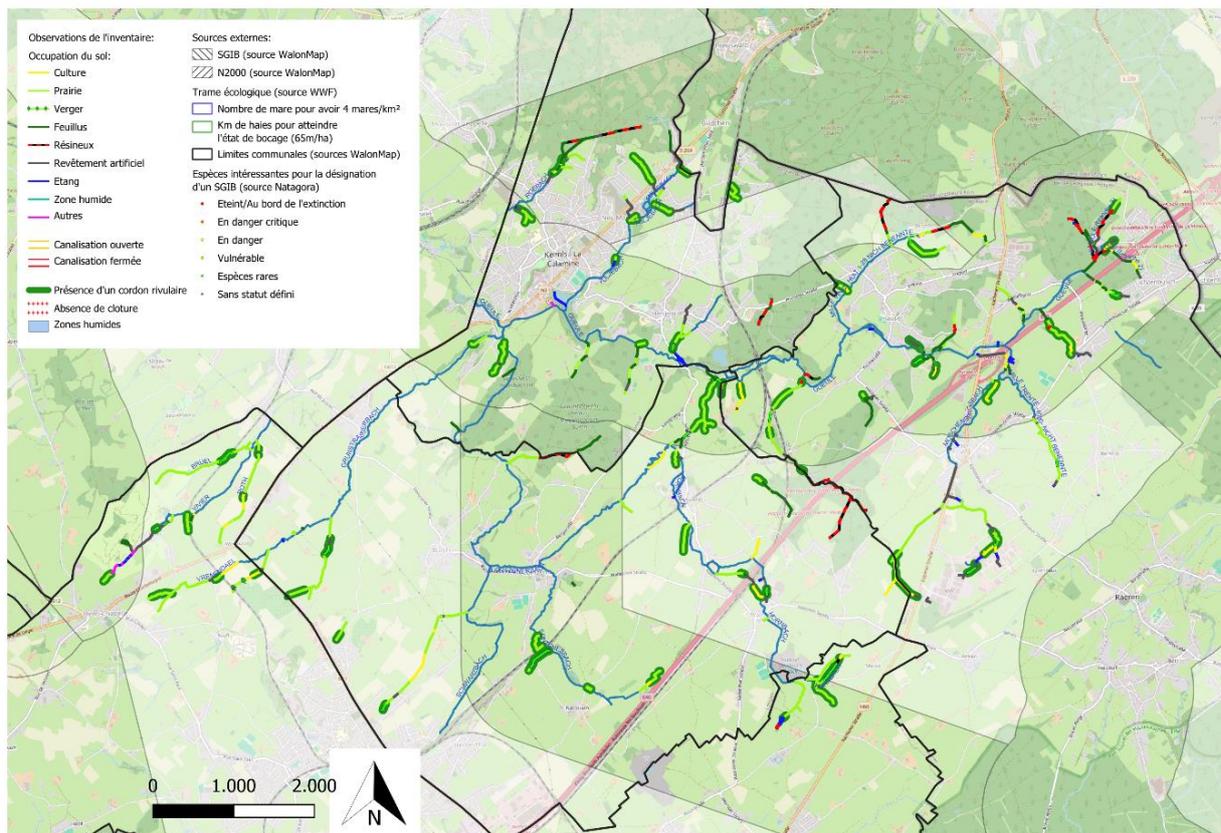


Figure 31 : Représentation de la ripisylve et du réseau écologique WWF

On observe également que dans la commune de Welkenraedt et à l'est de la commune de Lontzen, on retrouve plus de cours d'eau non classés sans ripisylve. Cela s'explique car on se trouve dans une zone qui est plus agricole (prairies et cultures) contrairement à la zone expliquée précédemment qui était plus boisée. Dans cette zone (Welkenraedt et Lontzen), la ripisylve est présente de manière discontinue et ne forme pas des longs cordons qui traversent plusieurs parcelles comme on peut le voir dans la région de Raeren, par exemple.

6.1.5 Les espèces menacées

La présence d'espèces menacées n'est pas une donnée qui a été observée sur le terrain, mais elle a été ajoutée à l'inventaire à partir des données fournies par le DEMNA (Département de l'Etude du Milieu et Agricole) et Natagora. Elle permet de mettre en avant les zones où la concentration d'espèces intéressantes est la plus grande (Figure 32).

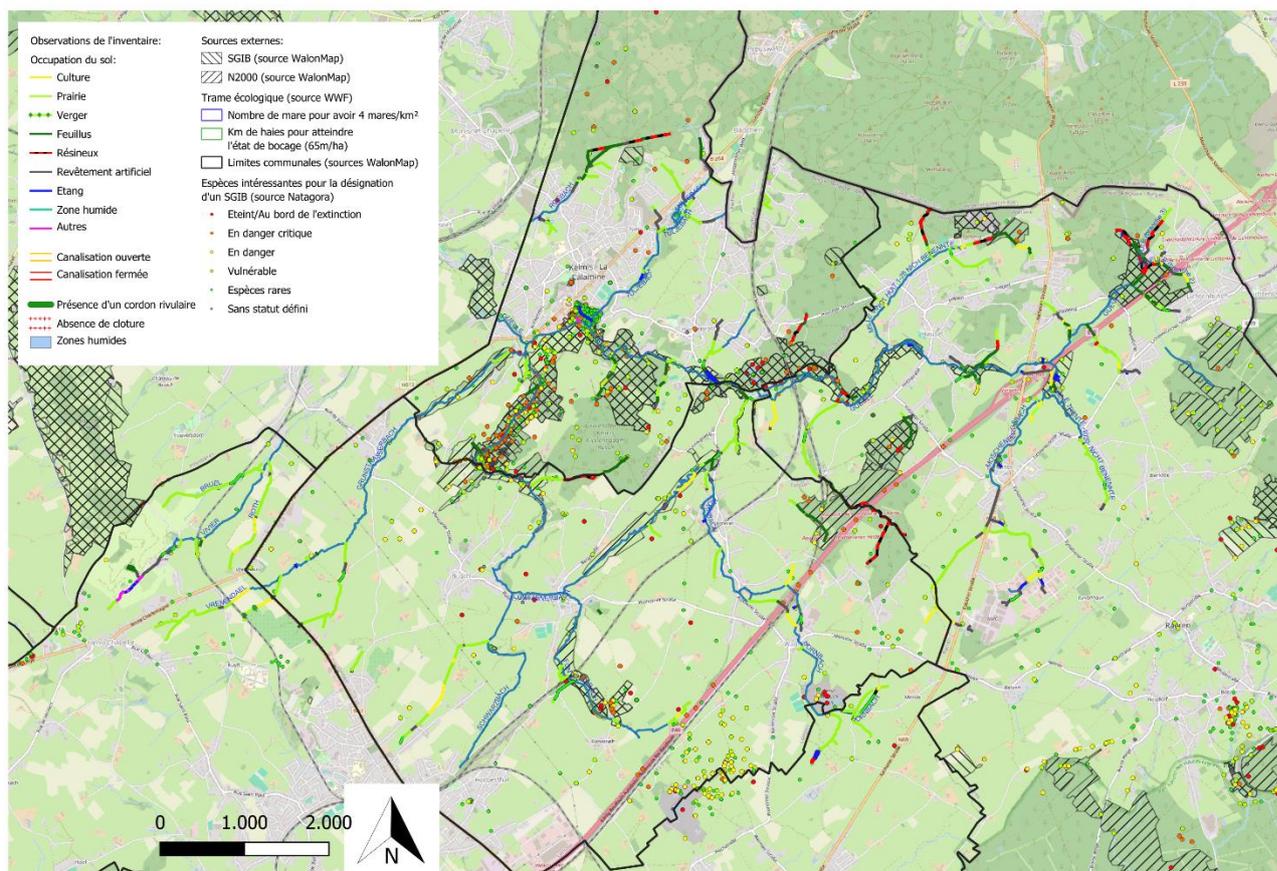


Figure 32 : Représentation des espèces intéressantes pour permettre une classification en SGIB

La présence des espèces est représentée avec l'occupation du sol afin de comprendre le milieu dans lequel on se trouve. Elle est également représentée avec les zones classées en SGIB et en Natura 2000 afin d'identifier les zones qui sont déjà protégées. Il est important de comprendre qu'une entité sur la carte correspond à une observation d'individu et pas à une espèce spécifique. On peut donc avoir une concentration d'entités qui correspond à l'identification de plusieurs individus d'une même espèce voire même à l'identification du même individu, mais à des endroits ou à des moments différents. L'objectif de cette carte n'est donc pas de dénombrer les espèces menacées, mais de mettre en évidence leurs habitats et les lieux où elles sont le plus présentes.

Remarque : les espèces sont classées en fonction de leur degré d'extinction, mais toutes peuvent permettre la classification en SGIB d'un territoire sur lequel on les retrouve. Il est évident que la présence d'espèces en danger d'extinction va plus facilement entraîner une classification en SGIB que des espèces rares, mais elles ont toutes la possibilité de justifier cette classification en SGIB.

De manière générale, on peut déjà observer que la vallée de la Gueule est plutôt bien protégée en termes de biodiversité. Les principales réserves Natura 2000 se trouvent le long de la Gueule et elles sont pour la plupart également classées comme SGIB. On retrouve la plus grande concentration d'espèces en danger dans ces zones protégées, mais ce n'est pas le seul endroit où l'on peut en retrouver. Il est normal de retrouver des grandes concentrations d'espèces menacées dans les zones Natura 2000 et SGIB déjà existantes car c'est leur présence qui a dû justifier la mise en place de ces éléments de protection. De plus, on retrouve une grande concentration d'entités car ces zones sont

surveillées, donc on y réalise un plus grand nombre d'observations de manière régulière. On retrouve également des entités en dehors de ces zones protégées, même si c'est en moins grand nombre ou bien de manière plus dispersée. On peut observer la plus grande concentration d'entités hors zone protégée à côté de la E40 dans la commune de Lontzen juste en dessous du village de Walhorn. (Figure 33).

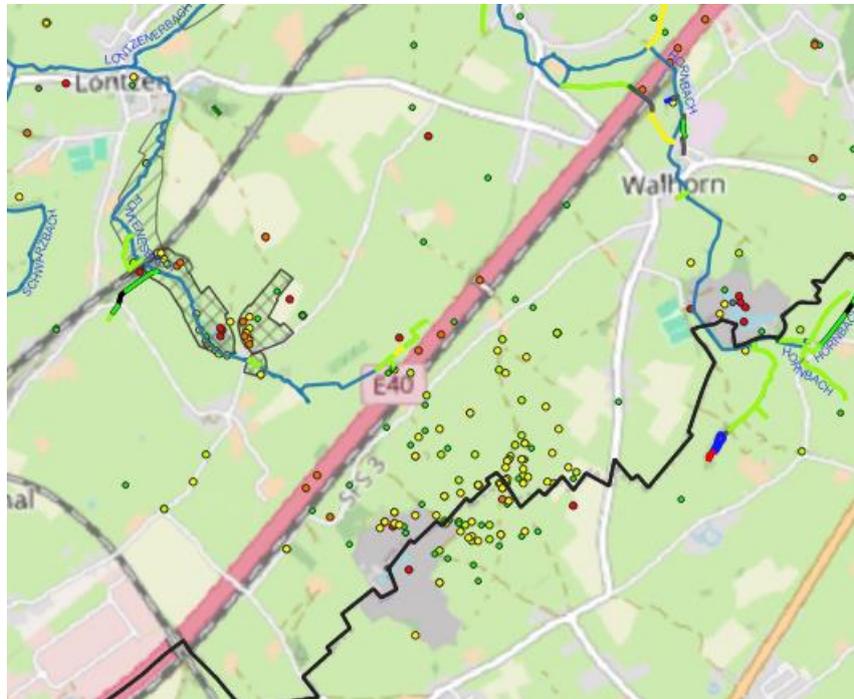


Figure 33 : Concentration d'espèces intéressantes pour la classification d'une zone en SGIB sur la commune de Lontzen

Cette zone intéressante pour la mise en place d'une protection sera mieux commentée dans la désignation des zones intéressantes.

6.1.6 Description générale de la zone d'étude

L'observation du bassin de la Gueule avec chacun des éléments est intéressante et met en avant, pour chacune des cartes, des éléments qui leur sont propres, mais ce qui permet réellement d'identifier les zones intéressantes c'est la mise en commun de toutes ces caractéristiques. Il s'agit en quelque sorte de croiser les données entre elles pour mettre en avant les lieux propices à l'amélioration tout en prenant en compte chaque composante du paysage. Il y a déjà eu une mise en commun avec certaines cartes comme la présence de canalisations qui a été représentée de pair avec l'occupation du sol pour mieux comprendre les objectifs derrière la mise en place des canalisations (urbanisé, de passage ou agricole) (Figure 34). La ripisylve a également été présentée de pair avec l'occupation du sol pour mettre en avant son rôle de lien entre les biotopes. Elle est également à mettre en lien avec le réseau écologique car elle constitue un élément majeur de continuité pour les espèces qui empruntent les corridors écologiques.

Inventaire des cours d'eau non classés sur le bassin de la Gueule pour la lutte contre les inondations et le maintien de la biodiversité

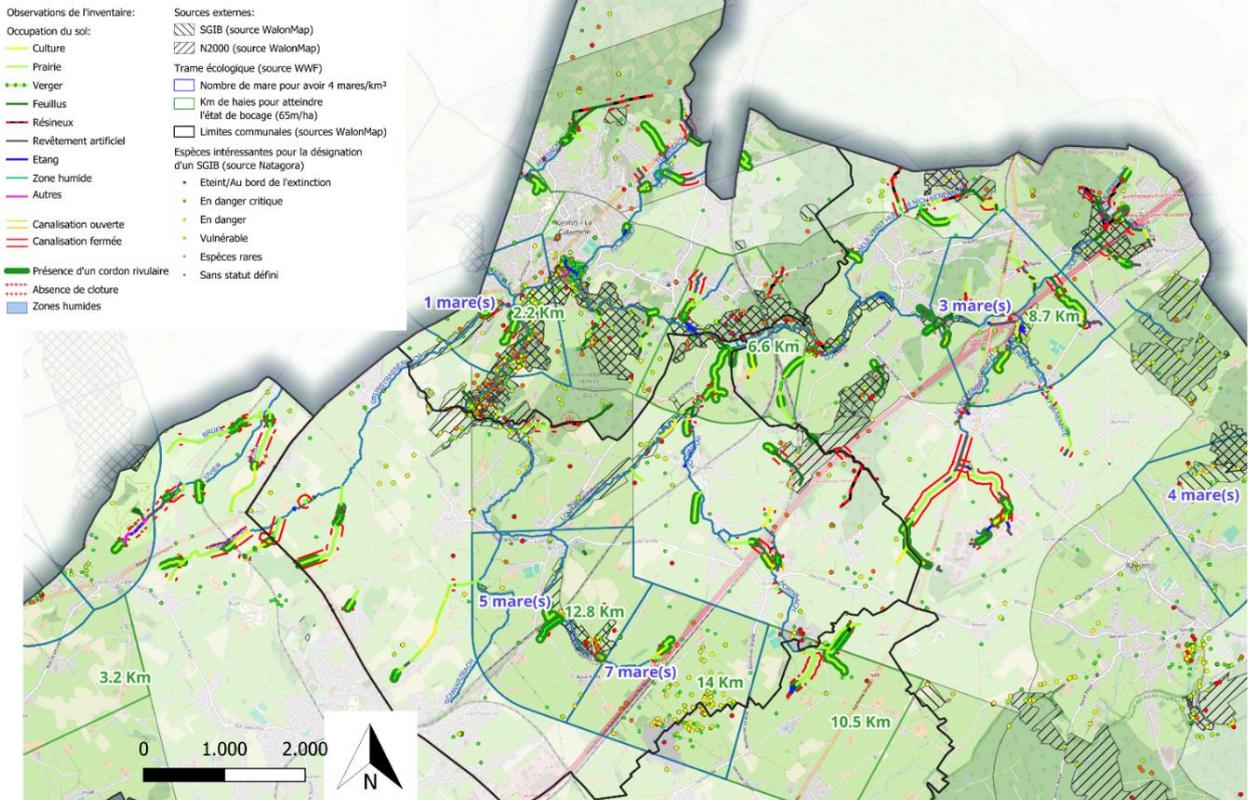


Figure 34 : Inventaire complet des cours d'eau non classés sur le bassin de la Gueule pour la lutte contre les inondations et le maintien de la biodiversité

Si on continue cette mise en commun des éléments, on peut observer que la majorité des espèces intéressantes pour la classification d'une zone en SGIB présentes dans la zone d'étude, se trouvent dans un corridor écologique, ce qui renforce l'idée que des zones de protection doivent être mises en place et que celles qui existent déjà remplissent un rôle important. On peut prendre l'exemple de la cigogne noire qui a été observée à différents endroits du territoire et qui est une espèce grandement menacée. On la retrouve à différents endroits de la zone étudiée mais on peut facilement déduire que la cigogne noire qui est observée se déplace en parcourant le corridor du réseau écologique (Figure 35).

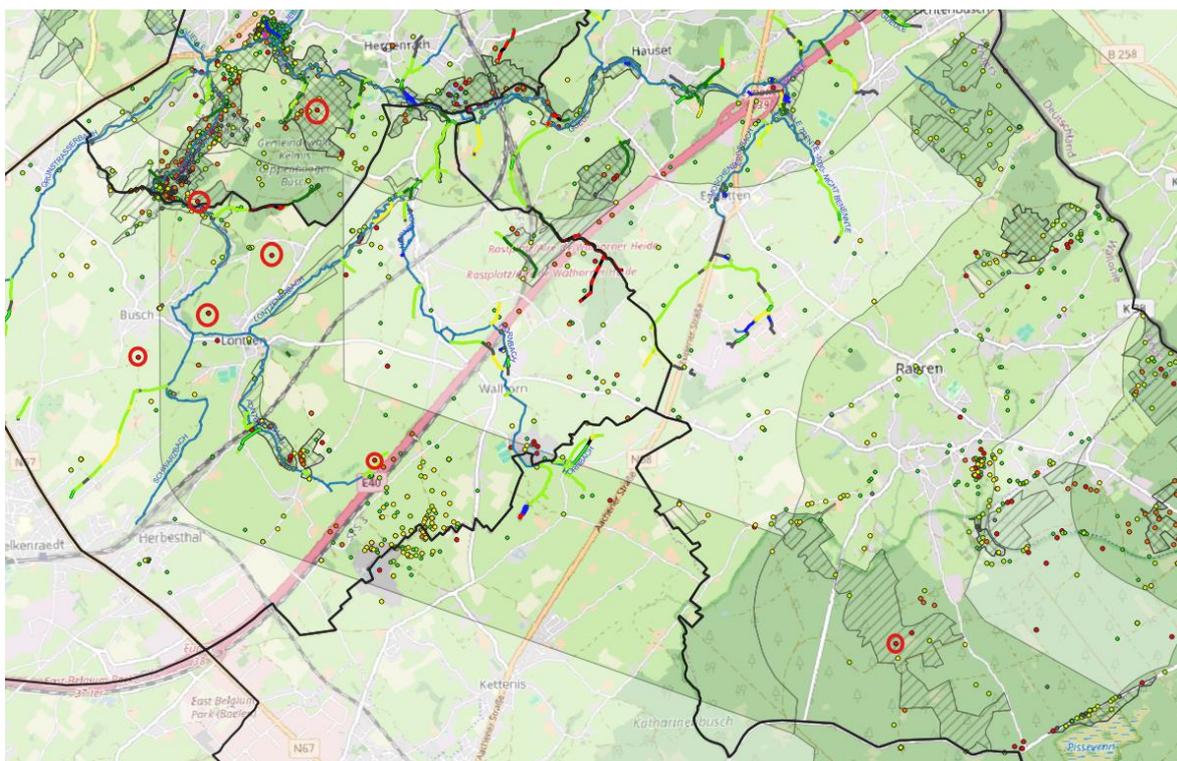


Figure 35 : Identification de la présence de cigogne noire sur le territoire de la zone d'étude (entouré en rouge)

On la retrouve dans le sud de la commune de Raeren, elle traverse la commune de Lontzen par le corridor 'Osthertogenwald – Kelmis' (n°2) et on la retrouve également dans la réserve Natura 2000 dans la commune de La Calamine. De plus, ce n'est pas représenté sur la Figure 31, mais on observe également des entités aux alentours du village de Moresnet qui se trouve dans la continuité du corridor de la vallée de la Gueule (n°3).

6.2 Identification des zones intéressantes

L'identification des zones intéressantes se fait uniquement à partir du résultat de l'inventaire, donc des données de terrain en plus de celles qui ont été ajoutées lors du traitement des données (SGIB, Natura 2000 et le réseau écologique). Il est également intéressant d'ajouter la carte des zones inondées en juillet 2021 afin de voir les endroits qui ont été les plus impactés. L'identification de ces zones intéressantes a pour but d'identifier les zones où des améliorations sont possibles tout en gardant bien en tête l'idée de lutter contre les inondations et de maintenir la biodiversité.

6.2.1 Zone riche en biodiversité (carrière de chaux et dolomite à Rabotrath)

La première zone d'intérêt se situe à proximité d'une carrière de chaux et de dolomites entre la commune de Lontzen et celle d'Eupen (Figure 36), à la limite du bassin versant de la Gueule.

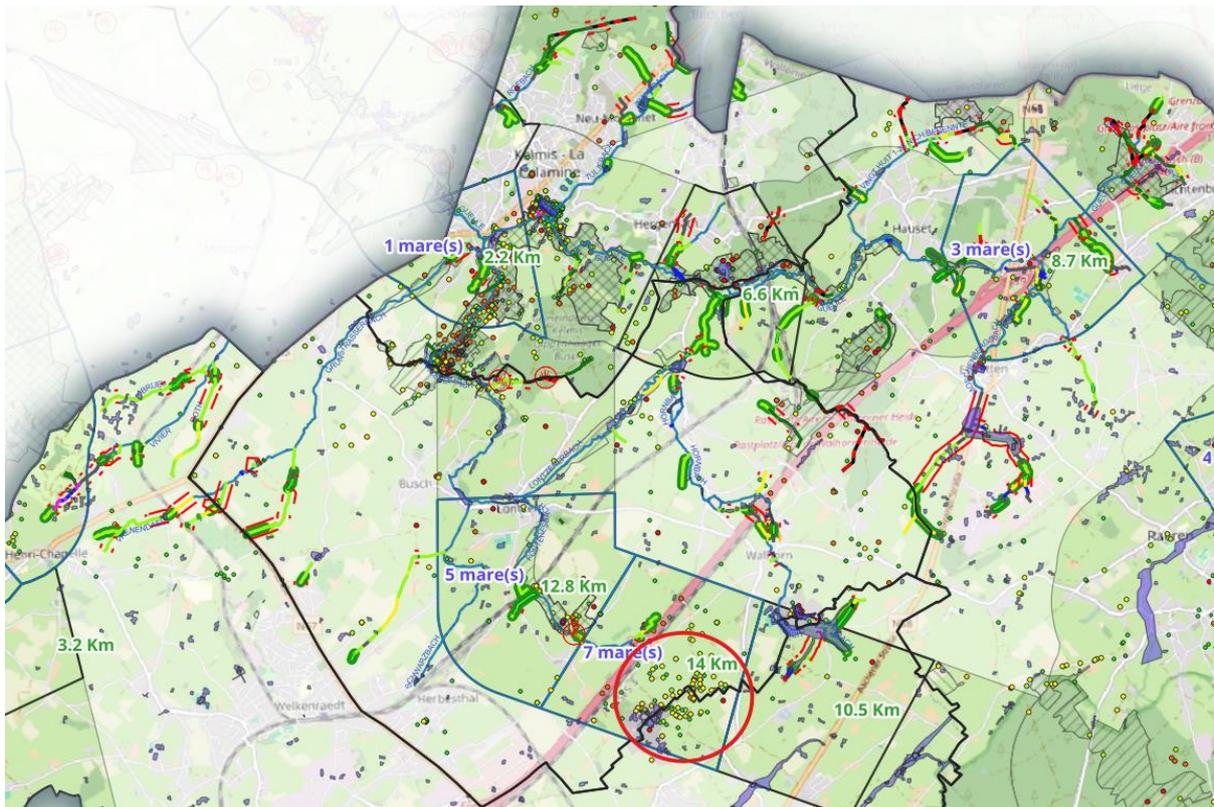


Figure 36 : Première zone d'intérêt (entourée en rouge)

Elle est surtout intéressante pour sa richesse en biodiversité. En effet, on y retrouve un grand nombre d'espèces rares (une dizaine) qui peuvent permettre la classification de la zone en SGIB. Elle se trouve dans un corridor écologique et donc elle mérite une attention particulière en termes de biodiversité. Elle se trouve à proximité de l'autoroute E40 qui peut être un problème notamment en termes de passage pour suivre le corridor. On remarque également que l'on se trouve dans un des sous-ensembles du corridor la densité de haies et le nombre de mares est insuffisant pour avoir un bon état écologique. En termes d'inondations, on peut observer sur la Figure 37 que la zone entière de la carrière a été touchée par les inondations de juillet 2021, sous la forme de plusieurs petits bassins. En effet, la carrière a sûrement dû jouer le rôle de bassin en accumulant de l'eau de pluie. Les possibilités d'améliorations dans cette zone sont principalement des mises en place de protection, mais elles seront discutées dans le point suivi qui propose des pistes de solutions avec la mise en place de Nature Based Solutions.

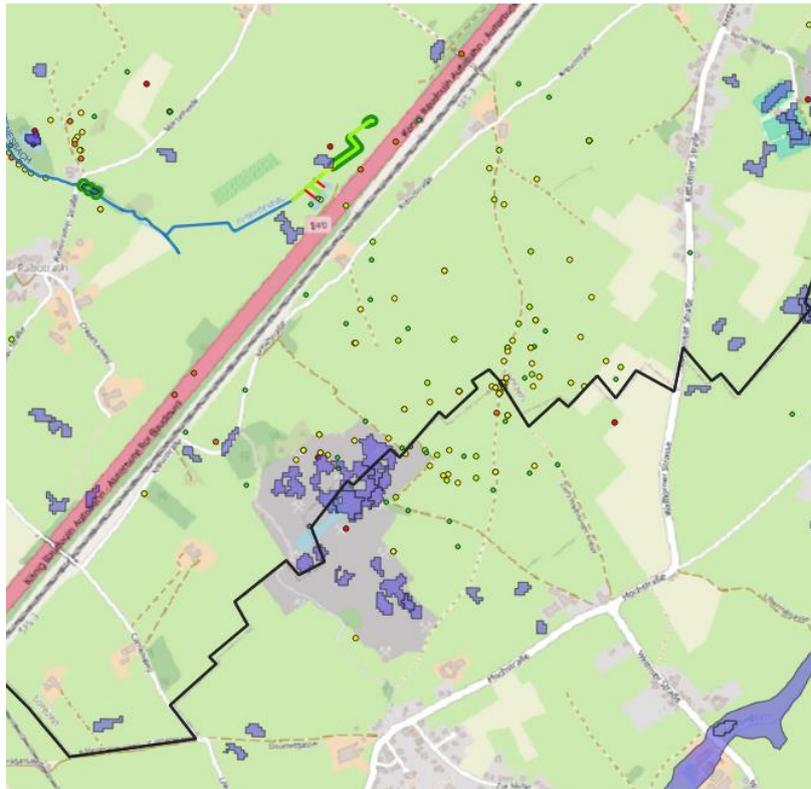


Figure 37 : Zoom sur la zone intéressante avec les secteurs qui ont été inondés en juillet 2021 (en bleu)

6.2.2 Zone humide (Bois communautaire de la Calamine)

La seconde zone est située dans le bois communautaire Gippenhaager dans la commune de la Calamine (Gemeindewald Kelmis Gippenhaager Busch) (Figure 38).

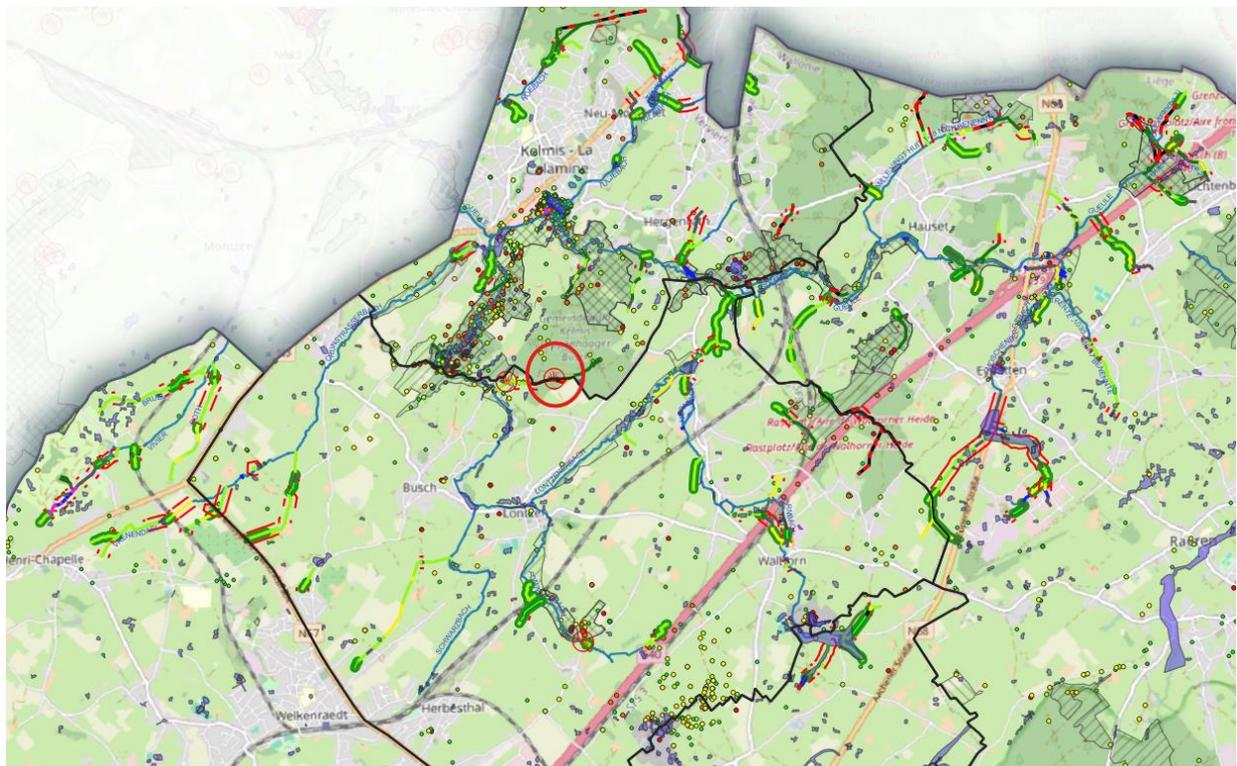


Figure 38 : Seconde zone d'intérêt (entourée en rouge)

L'élément le plus intéressant dans cette zone n'a pas encore été abordé dans l'analyse du résultat de l'inventaire, car il n'est pas présent en grand nombre sur la cartographie et donc moins évident à observer que les autres composantes mais n'est pas moins important, au contraire. Il s'agit de la présence d'une zone humide à proximité du cours d'eau. Les impacts des zones humides sont nombreux que ce soit par la grande biodiversité qu'elles abritent ou par leur rôle de bassin d'orage naturel lors d'épisodes de fortes pluies. On retrouve peu de zones humides sur la zone d'étude, mais le positionnement de celle-ci est particulièrement intéressant, en effet elle se trouve dans le corridor du réseau écologique et à proximité d'une zone Natura 2000. De plus, elle se trouve en amont d'une seconde zone humide (Figure 39). Les possibilités d'améliorations dans cette zone sont plutôt de l'ordre de la protection pour maintenir la zone humide.



Figure 39 : Zoom sur la zone d'intérêt contenant 2 zones humides (en bleu hachuré vert)

6.2.3 Village de Eynatten

La zone d'intérêt suivant se situe en amont du village d'Eynatten dans la commune de Raeren (Figure 40).

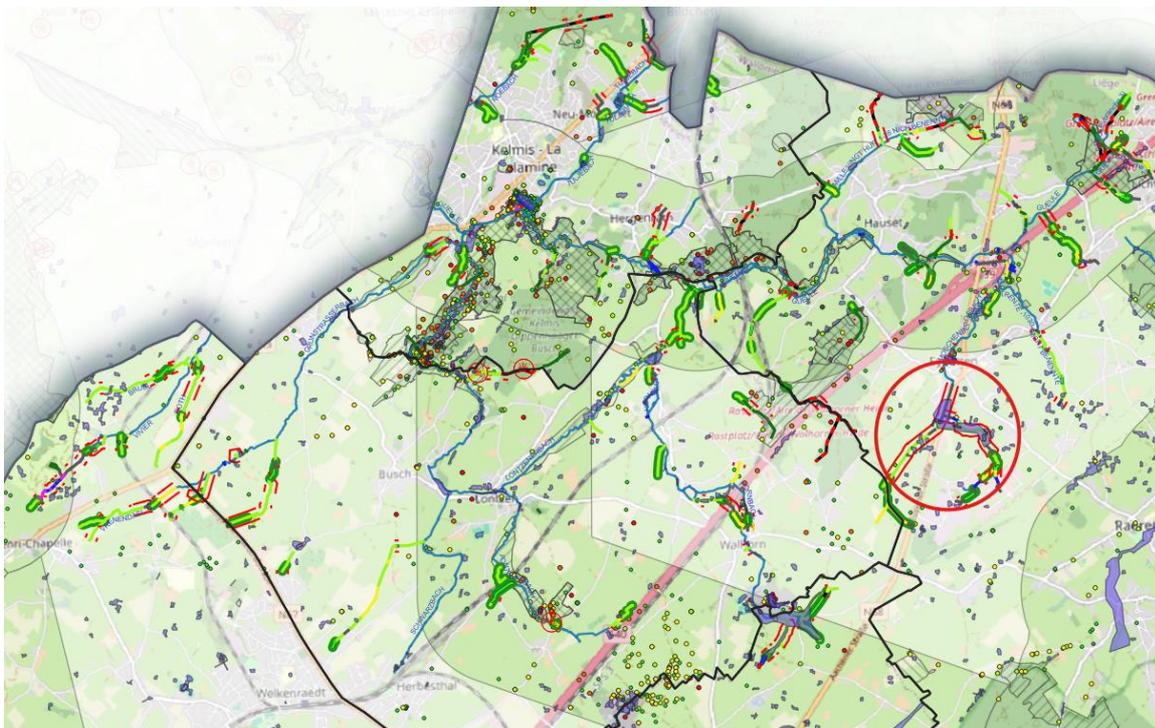


Figure 40 : Troisième zone d'intérêt (entourée en rouge)

La zone est cette fois intéressante pour la marge de progression qu'elle possède. En effet, la zone a été fortement touchée lors des inondations de 2021 comme on peut le voir sur la Figure 37. On observe une grande surface du cours d'eau qui est canalisée juste avant d'arriver dans le village de Eynatten. Ces canalisations sont surprenantes comme elles se trouvent toutes les deux en prairie mais ont pour but d'augmenter la production agricole (comme expliqué dans le point 6.1.3). Les canalisations accélèrent la vitesse du cours d'eau et l'empêchent de déborder de son lit mineur pour prendre de la place dans son lit majeur (ce qui diminuerait sa vitesse d'écoulement), cela peut être une raison qui explique la cause des inondations en 2021. Les mesures d'améliorations seront principalement liées aux canalisations en amont du village, car il est compliqué de travailler sur celles présentes en zone urbaine.



Figure 41 : Zoom sur la zone en amont du village de Eynatten

6.2.4 Ancienne carrière Rotsch à Walhorn

La dernière zone d'intérêt se trouve à proximité de l'ancienne carrière de Rotsch dans la commune de Lontzen, à la frontière de la commune d'Eupen (Figure 42).



Figure 42 : Quatrième zone d'intérêt (entourée en rouge)

Cette zone d'intérêt ne met pas un élément particulier en avant comme les trois zones précédentes, mais c'est plutôt l'ensemble des éléments qui la rendent intéressante comme on peut l'observer sur la figure 39. En effet, la zone se trouve dans le corridor écologique, on y retrouve des espèces pouvant permettre la classification en SGIB, elle a été victime d'inondations en 2021 et enfin, on retrouve une partie du cours d'eau qui est canalisé en amont. Les mesures possibles sont nombreuses et seront discutées dans la partie suivante

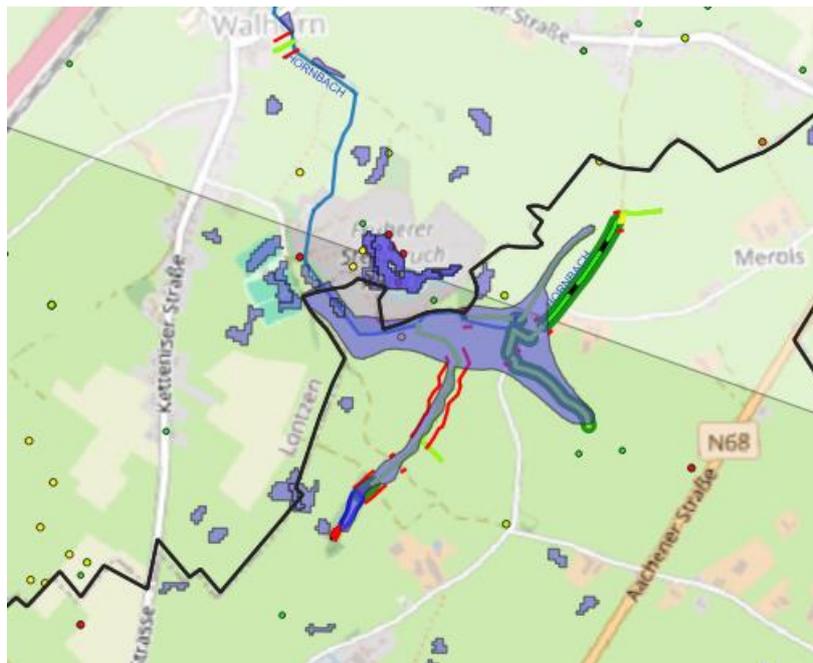


Figure 43 : Zoom sur l'ancienne carrière de Rotsch

7. Propositions de projets (Nature Based Solutions)

L'objectif de cette partie est de proposer des solutions basées sur la nature pour lutter contre les inondations et maintenir la biodiversité. Les propositions ne seront justifiées qu'à partir des résultats de l'inventaire et de quelques données externes, mais uniquement pour compléter ce qui n'a pas été observé sur le terrain. Il est important de comprendre que le projet n'est pas orienté que sur les Nature Based Solutions, mais celles-ci favorisent la mise en avant du résultat de l'inventaire. C'est pourquoi, il s'agit de propositions de mise en place, et la réalisation des projets demanderait des études plus poussées propres à chacun des projets. La plupart des projets proviennent d'études qui ont été réalisées sur le bassin de la Gueule par la fondation Natuurkracht (Natuurmonumenten, ARK Rewilding Nederland, Natuur- en Milieufederatie Limburg, Het Limburgs Landschap et WWF Netherlands) (Meertens & al, 2023) ou d'une étude de modélisation de différents scénarios sur la vallée de la Vesdre (Degré, & al., 2024).

7.1 Renaturation du bocage

Le premier projet est la renaturation du bocage dans l'ensemble de la zone d'étude. Une étude a été réalisée sur le bassin versant de la Vesdre pour modéliser la mise en place de différentes mesures de restauration hydraulique afin de limiter les effets de ruissellement. Dans cette étude, l'un des scénarios consistait en la restauration d'une trame bocagère dense. Cette étude a déduit que la restauration de la trame bocagère entraînerait une diminution du ruissellement de 38% pour des épisodes de pluies semblables à juillet 2021, notamment grâce à une augmentation de la capacité d'infiltration et une augmentation de l'évapotranspiration. L'étude réalisée par WWF Belgique s'est concentrée sur la densité des haies dans les sous-ensembles composants les corridors écologiques. Cela permet directement d'identifier les zones où des mesures peuvent être prises. Une grande campagne de plantation de haies peut avoir un impact significatif pour lutter contre les inondations, avec une concentration des efforts sur les sous-ensembles des corridors écologiques où les km de haies à planter pour atteindre l'état de bocage (65m/ha) est connu (Figure 44).

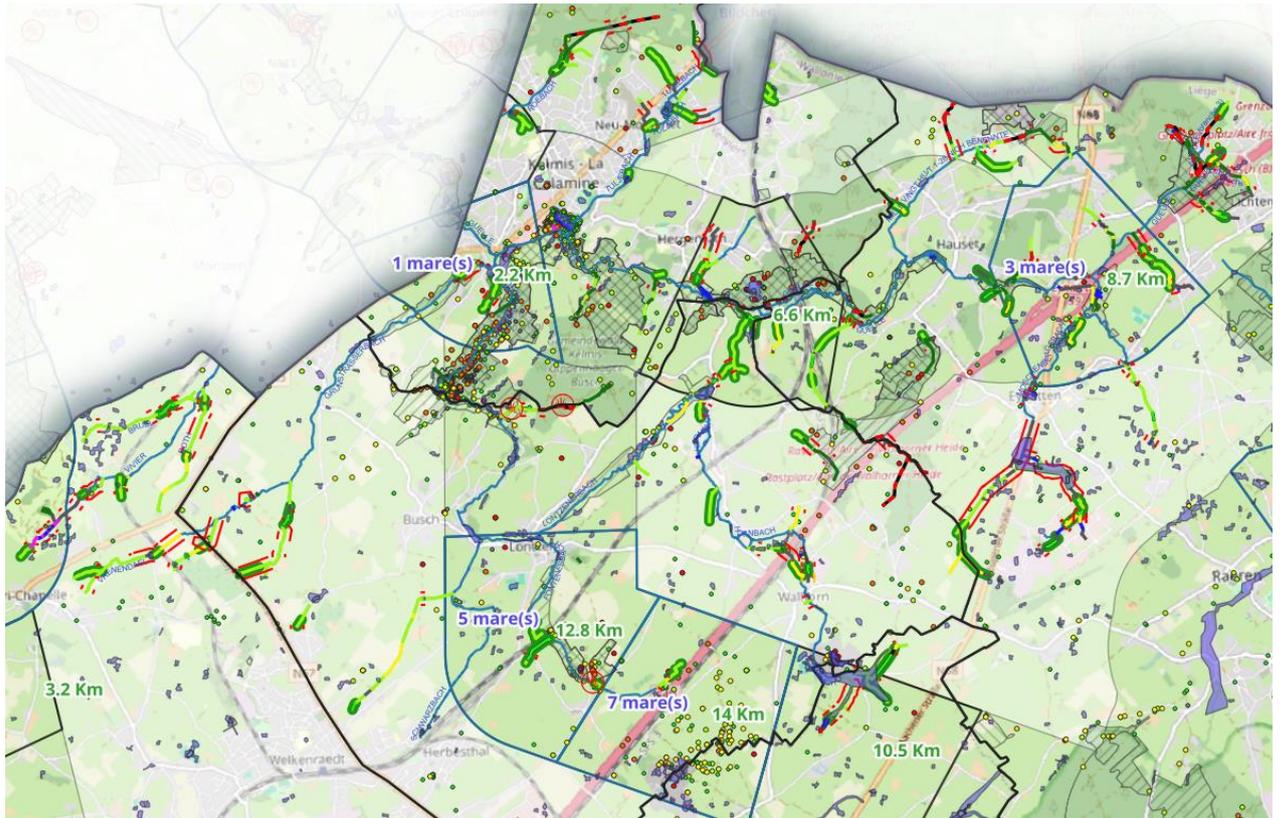


Figure 44 : Représentation des sous-ensembles des corridors écologiques ainsi que les km de haies à planter pour atteindre 65m/ha

Il est important de mettre en avant que les cours d'eau non classés sont déjà très bien fournis en ripisylve, donc il s'agit d'une mesure générale qui s'applique à l'ensemble du territoire et qui s'éloigne un peu de l'étude, mais il est important de la considérer car les bénéfices seront primordiaux sur la lutte contre les inondations et pour le maintien de la biodiversité.

Il est également intéressant de suggérer l'idée que des plantations de haies auraient également leur place sur les zones qui sortent un peu du réseau écologique notamment en zone agricole, étant donné que les haies permettent une bonne retenue des terres et une bonne infiltration (principaux problèmes des terres agricoles en cas de fortes pluies) et qu'il s'agit d'une action subventionnée, cela semble une bonne solution pour les exploitants. Toutefois, les surfaces agricoles possèdent déjà une très bonne densité de haies sur leurs surfaces agricoles. En effet, les communes de Raeren et de Lontzen possèdent respectivement des densités de 118 m de haies/ha de surface agricole utilisée et 77 m/ha SAU.

7.2 Mise en place d'un SGIB

La seconde proposition est la mise en place d'un Site de Grand Intérêt Biologique dans une zone où l'on retrouve un grand nombre d'espèces rares. Le site idéal pour cela est évidemment la zone située à proximité de la carrière de chaux et de dolomites dans la commune de Raeren (Figure 36).

On retrouve une dizaine d'espèces avec des degrés d'extinction différents, "d'espèces rares" à " au bord de l'extinction ". La classification en SGIB est une mesure qui est simple et qui ne requiert pas beaucoup de moyens. Alors, même si elle ne possède pas de statut juridique, elle permet de mettre l'accent sur l'importance de la zone et peut permettre de faciliter la mise en place d'autres projets ou le maintien du milieu tel qu'il est actuellement. Si la zone présente des caractéristiques en termes de biodiversité exceptionnelle, elle peut également être classée en zone Natura 2000 mais commencer par une classification en SGIB est un bon début.

La classification en SGIB pourrait s'accompagner de creusements de mares aux alentours de la zone pour favoriser encore plus le développement de la biodiversité mais également essayer d'atteindre l'objectif de 4 mares/km² proposé par l'étude WWF qui pourrait être atteint avec le creusement de 7 mares sur la totalité du sous-ensemble.

Toutefois, la proximité avec la carrière de pierres qui est toujours en activité peut être un frein à la mise en place de toutes ces mesures. En effet, les carrières sont des exploitations assez polluantes qui nécessitent des permis d'environnement. Des études d'incidences seront nécessaires avant le creusement des mares pour vérifier que le projet est réalisable.

7.3 Décanalisation d'un cours d'eau

La proposition de solution basée sur la nature suivante consiste en la décanalisation d'un cours d'eau (2 cours d'eau en réalité). Il s'agirait de travailler sur les deux branches non classées du cours d'eau nommé le Morschenbergsbach en amont du village d'Eynatten qui a été touché par les inondations en juillet 2021 (Figure 45).

On observe deux cours d'eau non classés qui sont canalisés en prairie avant de rejoindre la canalisation qui se trouve sous la zone urbanisée du village d'Eynatten. Les canalisations ont été mises en place vraisemblablement pour augmenter la production agricole des prairies concernées. Il est évident que la décanalisation du cours d'eau se trouvant en zone urbanisée est impossible. Mais la décanalisation des cours d'eau non classés en amont du village pourrait permettre lors d'épisodes de pluies importantes au cours d'eau de quitter son lit mineur pour déborder dans son lit majeur. Lorsque l'eau se trouve dans son lit majeur, sa section augmente donc sa vitesse d'écoulement diminue comme le débit est fixe ($Q = V \times S$). Une vitesse d'écoulement plus faible signifie une moins grande érosion des sols, une meilleure infiltration de l'eau dans le sol (de plus, la surface d'infiltration est plus grande dans le lit majeur) et des dégâts diminués en termes d'inondations.



Figure 45 : Zone canalisée en amont du village d'Eynatten

Toutefois, la gestion des cours d'eau non classés revient au propriétaire de la parcelle qui est traversée par le cours d'eau. Il faudra donc convaincre le propriétaire, ce qui peut être compliqué si la parcelle est exploitée, car il perdrait beaucoup de surface exploitable (12 m de part et d'autre du cours d'eau). Cependant, il pourrait valoriser sa parcelle en la transformant en prairie rivulaire par exemple (mise en place d'un cordon rivulaire) afin d'obtenir une subvention qui pourrait compenser une partie du manque à gagner que la décanalisation risque d'entraîner.

7.4 Mise en place d'une ZIT (Zone d'Immersion Temporaire) dans la plaine alluviale

Juste en amont du village d'Eynatten, se trouvent deux bras qui sont canalisés en traversant deux plaines alluviales. L'idée est que suite à la décanalisation des deux branches du Morschenbergsbach, les plaines soient adaptées pour assurer la fonction de stockage d'eau. Ça a été le cas pour le cours d'eau non classé qui est entouré par des zones urbaines (noté 2 dans la figure 41): il s'est rempli d'eau lors de l'épisode de juillet 2021 mais cela a entraîné de nombreuses inondations.

L'objectif serait de transformer les deux prairies en zones d'immersion temporaire optimales pour permettre lors d'épisodes de pluies importantes au cours d'eau de sortir du lit mineur et de prendre de la place dans son lit majeur. Il diminuerait ainsi sa vitesse d'écoulement et augmenterait l'infiltration. Cette mesure est plus difficile à mettre en place dans le cours d'eau n°2 (Figure 45) car il se trouve à proximité de bâtiments et d'objets vulnérables étant donné qu'il est entouré par des habitations et des routes. Mais commencer par une décanalisation comme expliqué à la proposition précédente est déjà un bon début.

Le cours d'eau n°1 est quant à lui un lieu idéal pour la mise en place d'une ZIT. On y retrouve quelques bâtiments en bordure de prairie mais on peut utiliser le développement de la végétation afin de ralentir le flux à travers la plaine alluviale. Il est ici question de mise en place mais l'objectif est que

les travaux soient le moins impactant possible sur la plaine alluviale, elle va jouer le rôle de ZIT naturellement. Il n'est pas question de creuser dans la prairie mais plutôt de légèrement relever les merlons des habitations à proximité de la plaine et de la laisser se remplir lors d'épisodes de fortes pluies. Il est également question d'entretenir (ou plutôt de laisser la diversité de la biodiversité s'installer) la végétation de la prairie naturelle. Il est également intéressant de réinstaller une ripisylve le long du cours d'eau décanalisé car elle s'inscrit dans la continuité de la ripisylve déjà existante (Figure 41). On peut observer un exemple de représentation de plaine alluviale utilisée comme zone inondable qui provient d'une étude réalisée sur la Gueule par la fondation Natuurkracht (Natuurmonumenten, ARK Rewilding Nederland, Natuur- en Milieufederatie Limburg, Het Limburgs Landschap et WWF Netherlands) (Meertens & al, 2023) (Figure 46).

Cette mesure s'inscrit dans la continuité de la précédente car la décanalisation est la première étape de la création d'une zone d'immersion temporaire naturelle dans cette zone d'intérêt.

Toutefois, la proximité avec les habitations peut être un frein à la mise en place de ce projet notamment pour le cours d'eau n°2.

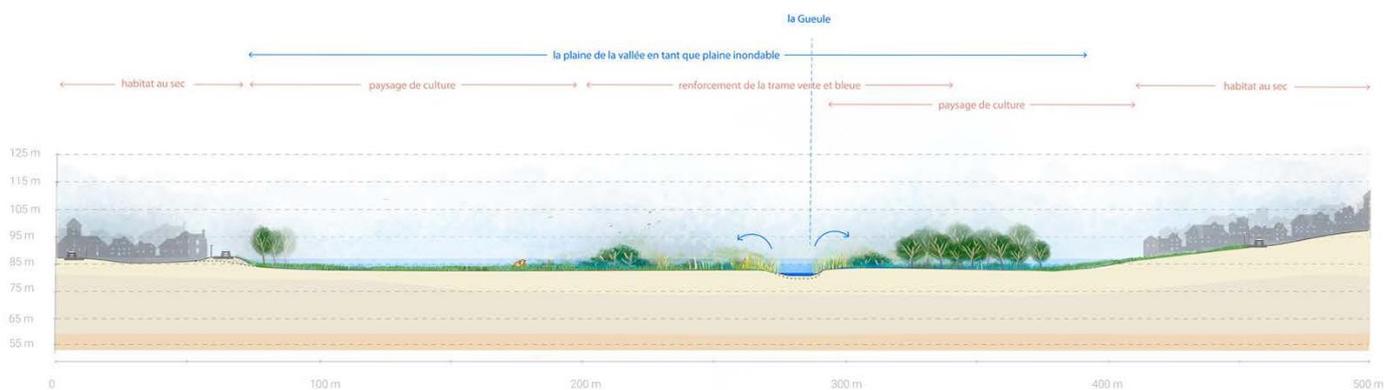


Figure 46 : Coupe transversale d'une plaine alluviale utilisée comme plaine inondable

7.5 Maintien ou renaturation d'une zone humide

La dernière proposition de projet est le maintien d'une zone humide. La zone humide dans le bois de La Calamine est très intéressante car elle se trouve à proximité d'une zone Natura 2000 donc il est fort peu probable que des projets pouvant entraîner une dégradation de la zone humide voient le jour. On peut voir cela comme une forme de protection passive dont bénéficie la zone humide grâce à la zone Natura 2000. On peut observer sur la Figure 39, qui représente la zone intéressante du bois communautaire de La Calamine, que l'on retrouve deux zones humides proches l'une de l'autre. Le maintien des deux zones est intéressant mais l'une d'entre elle se trouvant déjà dans la zone Natura 2000, elle possède déjà un statut de protection important. Les zones humides n'ont pas été fortement impacté lors des inondations de 2021 comme le montre la Figure 43 mais on peut observer sur cette même figure qu'elles se trouvent en amont du village de La Calamine qui est une zone plus urbanisée. La Figure 47 nous montre que le village de La Calamine a été impacté dans une moindre mesure en 2021, la zone la plus touchée dans le village se trouvant dans une prairie en périphérie du village. Cependant, si on observe la carte des zones inondées en 2021 (dans l'annexe III), on peut voir que le village de Moresnet sur la commune de Plombières a été inondé. L'objectif de cet étude étant de travailler de manière plus globale, le plus en amont possible, il est clair que le maintien des zones humides est bénéfique en terme de lutte contre les inondations.

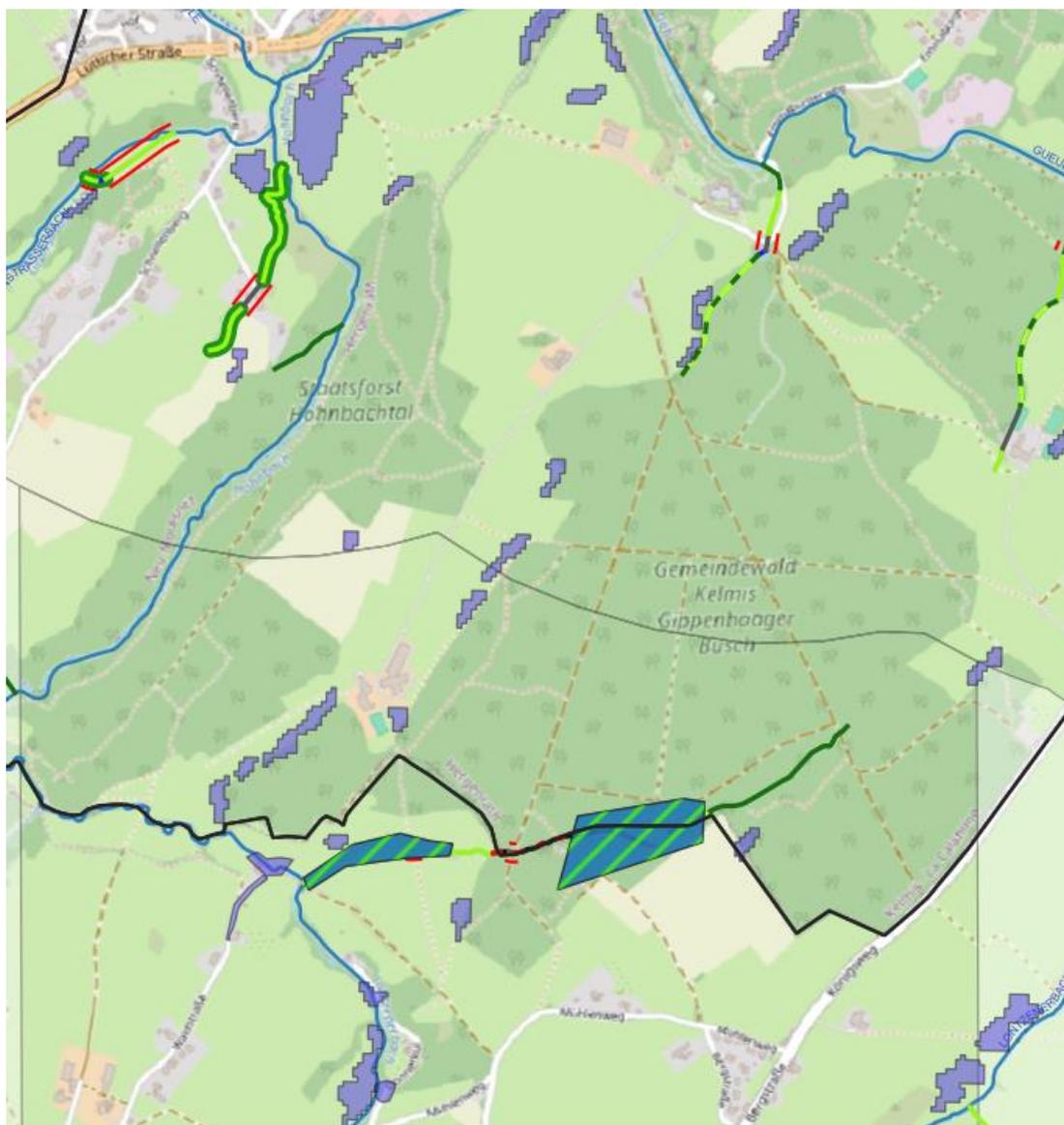


Figure 47 : Zones impactées par les inondations de 2021 (en bleu) aux alentours des zones humides intéressantes

Comme expliqué dans le point 2.2.6.2, les zones humides sont des milieux extrêmement riches en termes de biodiversité. Le maintien des deux zones humides est donc essentiel pour permettre à cette dernière de proliférer. De plus, les zones se retrouvent dans le corridor écologique.

Pour renaturer les zones humides, il n'est pas question de réaliser des travaux mais plutôt à l'inverse de maintenir la zone dans l'état actuel et de la protéger. Il est important de laisser le cours d'eau qui alimente la zone humide à l'air libre. Il n'est pas nécessaire d'entreprendre des grands travaux d'ingénierie mais plutôt de laisser le milieu s'autoréguler de manière naturelle. Il pourrait être intéressant d'aller observer les espèces présentes dans les alentours des zones humides, cela pourrait entraîner sa classification en SGIB si il s'y trouve des espèces intéressantes.

Discussion

La question de la lutte contre les inondations est primordiale suite aux différents événements qui ont frappé la Belgique ces dernières années. D'autant plus dans la région qui a été étudiée et ses alentours au vu des inondations de Dalhem en 2024 et des importants dégâts en 2021 aux Pays-Bas.

Cette étude a permis de mettre en évidence les zones intéressantes sur une partie du bassin de la Gueule en terme de lutte contre les inondations et de maintien de la biodiversité de manière assez claire avec l'aide de la carte qui synthétise l'ensemble des résultats. Il en est ressorti 4 zones intéressantes pour mettre en place des projets, mais il est certain que d'autres zones peuvent être identifiées soit pour mettre en place des NBS différentes soit pour mettre des projets qui sont peut-être moins centrés sur les NBS mais toujours pour lutter contre les inondations ou le maintien de la biodiversité (bassin d'orage, ...).

Il est important de souligner qu'aucune solution n'a été amenée pour la 4^{ème} zone qui a été identifiée, mais cela n'est en rien lié au potentiel de cette zone. Au contraire, plusieurs choses peuvent être mises en place mais il s'agirait de répétition de NBS proposées dans les autres zones intéressantes. Il est vrai qu'une décanalisation est possible ainsi qu'une classification en SGIB. Toutefois, comme il s'agit de répétitions, il a été décidé de ne pas en parler.

Il est également intéressant de remarquer qu'on n'a pas retrouvé la totalité des éléments abordés lors de la présentation des éléments théoriques notamment l'absence de CVP ou l'absence de clôtures sur la cartographie finale. Cela s'explique tout simplement parce qu'il s'agit de cas plus spécifiques (absence de clôtures avec présence d'animaux et absence de CVP quand le cours d'eau est bordé par une culture) et donc moins courants. De plus, il n'a été observé aucune de ces situations mais leur résolution semble plutôt simple (mise en place d'un CVP et mise en place d'une clôture). Cependant, ces deux situations peuvent jouer un rôle important, en terme de qualité de l'eau notamment et donc de biodiversité, dans l'évolution du cours d'eau et ne sont pas à négliger.

En termes de lutte contre les inondations, l'étude a permis d'identifier des endroits où des améliorations sont possibles à l'aide de NBS de manière locale sur des zones plus spécifiques comme le village d'Eynatten. Elle a également fourni une carte qui permet d'avoir une vision d'ensemble du bassin versant (dans la zone d'étude) afin de prendre une approche plus globale des inondations sur le bassin versant ainsi que la perspective de travail en amont pour atténuer les dégâts à l'aval. La restauration du bocage est un bon exemple de solution pour lutter contre les inondations de manière importante sur l'ensemble du bassin et il s'agit de la mesure étudiée lors de l'étude sur le bassin de la Vesdre qui lors de simulations permettaient les meilleures atténuations des ruissellements lors d'épisodes de fortes pluies. D'autant plus que la restauration de la trame bocagère possède également une dimension historique avec le Pays de Herve qui est souvent désigné comme un pays de bocage de par ses nombreux paysages bocagers historiques.

Le maintien de la biodiversité est également mis en avant lors de la représentation cartographique notamment au travers des corridors écologiques et des espèces observées. Il ne s'agit pas ici de découverte d'un nouvel élément comme les données proviennent de l'étude réalisée par la WWF et des observations du DEMNA. Tout comme les inondations, des propositions de projets (essentiellement de protection) ont été faites localement avec la proposition des classifications en SGIB mais également plus globalement. En effet, la restauration de la trame bocagère sur l'ensemble

de la zone d'étude permettrait de favoriser la circulation des différentes espèces sur l'ensemble du territoire et plus particulièrement au travers des corridors écologiques.

Toutefois, cette étude possède des limites. En effet, les propositions de solutions basées sur la nature servent à mettre en avant la faisabilité des projets dans les zones intéressantes et n'ont pas été beaucoup développées. Elles ont été imaginées de manière très favorable et nécessitent des études qui leur sont propres avant de pouvoir espérer voir le jour de manière plus concrète. De plus, cette étude ne travaille qu'aux abords des cours d'eau non classés, pour avoir une vision globale vraiment intéressante de la lutte contre les inondations et le maintien de la biodiversité, il auraient fallu travailler sur les cours d'eau classés également afin d'avoir une vision de l'ensemble de l'état du bassin. Il est intéressant de reproduire cette étude sur d'autres cours d'eau et sur d'autres bassins versants. Il serait également intéressant de la reproduire avec d'autres caractéristiques des cours d'eau pour mettre en avant d'autres impacts des cours d'eau en termes d'inondations et de biodiversité.

Afin de synthétiser, les apports de l'inventorisation des cours d'eau non classés à la lutte contre les inondations et au maintien de la biodiversité, une analyse FFOM (Forces, Faiblesses, Menaces et Opportunités) a été réalisée. Le résultat est le suivant :

En terme de forces de l'inventaire, on retrouve : la facilité de réalisation des projets comme ils sont moins coûteux et de moins grande envergure, le travail de terrain a rendu les résultats très précis, les résultats vont tous dans le même sens et bénéficient d'une représentation de bon sens notamment grâce aux solutions basées sur la nature qui tendent à un retour vers des éléments plus simples et plus naturels.

En termes de faiblesses, il a été identifié : que le travail de terrain demande un certain temps ainsi que le traitement des données, les cours d'eau non classés se trouvent sur des terrains privés donc l'accès n'est pas autorisé sans l'accord du propriétaire.

En termes d'opportunités : l'étude est facilement reproductible sur d'autres bassins ou sur d'autres catégories de cours d'eau, les éléments de la carte peuvent être repris dans le cadre d'autres projets que ce soit toujours pour la lutte contre les inondations et pour le maintien de la biodiversité, mais avec des projets qui ne sont pas basés sur la nature ou que les objectifs soit différents mais qu'ils utilisent des éléments qui ont été observés dans cet étude.

Enfin en termes de menaces : la gestion des cours d'eau étant privée, la mise en place de projets peut être difficile. Les projets ont été imaginés ici de manière très générale mais leur faisabilité dépendra de beaucoup de facteurs et notamment de l'accord du ou des propriétaires. De plus, comme c'est un travail qui est assez long à réaliser sur tout un bassin versant, l'ajout d'une caractéristique à observer sur le terrain nécessite de reproduire l'inventaire dans son intégralité.

Conclusion

Suite aux inondations de 2021 et plus récemment de 2024, la lutte contre les inondations est au centre des préoccupations d'une grande partie de la population. Cette préoccupation pousse à entreprendre des études ou mettre en place des solutions de lutte contre les inondations. Cette étude va dans ce sens et permet de proposer une inventurisation des cours d'eau non classés qui n'était jusque-là pas encore réalisée et des pistes de projets qui les placent au centre de la discussion.

L'objectif de cette étude était d'analyser comment l'inventurisation des cours d'eau non classés permettrait de répondre aux attentes de lutte contre les inondations et de maintien de la biodiversité en mettant en place des solutions basées sur la nature.

En termes d'identification de zones intéressantes, l'inventaire a permis de ressortir 4 grandes zones principales de manière assez claire et de rendre évidente les éléments sur lesquels des améliorations sont possibles.

Les attentes en termes de lutte contre les inondations sont également claires grâce au résultat cartographique notamment lorsqu'il est mis en parallèle avec la carte des zones inondées en 2021. Le village d'Eynatten et la carrière Rotsch à Walhorn sont deux endroits où des améliorations peuvent être faites de manière plus locale avec la mise en place d'une remise à ciel ouvert des canalisations souterraines et la mise en place d'une ZIT. De manière plus générale, la restauration du bocage sur l'ensemble du territoire permettra de diminuer les impacts des inondations et le maintien des zones humides dans le bois communautaire de La Calamine aura lui un action préventive de diminution des débits à l'aval.

Pour ce qui est des attentes en termes de maintien de la biodiversité, la zone d'étude bénéficie de beaucoup d'éléments qui mettent en avant la biodiversité : la présence d'un corridor écologique, les sites Natura 2000 et les sites SGIB. Néanmoins, certaines zones ont été identifiées comme intéressantes et à maintenir. C'est le cas pour le bois communautaire de La Calamine et de la zone riche en biodiversité à proximité de la carrière de chaux et de dolomites à Rebotrath qui peuvent prétendre à une protection de Site de Grand Intérêt Biologique (voire plus). La renaturation du bocage aura elle, comme pour la lutte contre les inondations, un impact plus global sur l'ensemble de la zone d'étude et plus particulièrement dans les corridors écologiques.

Il est important de noter que les propositions de solutions basées sur la nature, même si elles sont censées et adaptées à la zone identifiée précédemment, restent au stade de proposition et, même si elles ont été considérées comme les meilleures solutions, il s'agit d'une interprétation personnelle et que leur mise en place comme solution idéale nécessiterait des recherches plus approfondies et plus spécifiques. De plus, leur faisabilité dépend de beaucoup de facteurs qui n'ont pas été abordés dans cette étude.

Afin de conclure cette étude et d'avoir une vision plus critique de cette dernière, l'analyse FFOM va être représentée ici sous forme de tableau dans l'objectif de bien comprendre les avantages et désavantages de l'inventurisation des cours d'eau non classés:

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> • Précision des résultats de l'inventaire • Facilité de mise en place des NBS 	<ul style="list-style-type: none"> • Les cours d'eau non classés se trouvent sur des terrains privés • Le temps nécessaire pour réaliser l'inventaire de terrain et traiter les données
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> • Reproductibilité de l'étude sur d'autres cours d'eau • Réutilisation de la carte dans d'autres domaines 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion privée pouvant rendre la mise en place de projets difficile • Risque de devoir tout recommencer pour ajouter un seul élément

Figure 48 : Analyse FFOM de l'inventorisation et de la mise en place de NBS

Comme expliqué lors de l'analyse FFOM, la facilité de reproductibilité de l'étude ouvre la porte à plusieurs opportunités d'améliorer cette étude. Il est possible de réaliser cette étude sur le reste des cours d'eau du bassin versant pour avoir une vision d'ensemble des possibilités d'améliorations ou des éléments à maintenir. Il est également possible d'appliquer cette étude à d'autres bassins versants (notamment à la suite du bassin versant de la Gueule) comme elle permet d'identifier des zones propices à la mise en place d'améliorations. Elle pourrait également se concentrer sur d'autres caractéristiques du cours d'eau afin d'être la plus robuste possible, mais cela entraînerait un deuxième passage le long de cours d'eau qui ont déjà été visités.

Toutes ces observations mettent en évidence que beaucoup de choses sont encore à faire, autant en termes de lutte contre les inondations qu'en termes de maintien de la biodiversité, mais elles sont encourageantes grâce à toutes les possibilités qu'elles ouvrent et que l'on peut croire à la possibilité de rendre nos territoires plus résilients tout en gardant leurs paysages intacts.

Bibliographie

- A, N. (1992). Genese d' un paysage : Le bocage du pays de Herve. Parcs Nationaux, 47. <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/64736157e17b74d2225375a4>
- Amoussou, E. (2010). Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'ouest) [Phdthesis, Université de Bourgogne]. <https://theses.hal.science/tel-00493898>
- Andrieu, H., Berthier, E., Rodriguez, F., Ruban, V., & Wery, C. (2017). Chapitre 5. Impact de l'urbanisation sur l'hydrologie urbaine et la gestion des eaux pluviales. In Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : Déterminants, impacts et leviers d'action— Rapport d'ESCO INRA- IFSTTAR (p. 450-504). INRA. <https://hal.science/hal-01930668>
- BESEME, J. (1995). Influence de l'occupation des sols sur les inondations. Sciences Eaux & Territoires, (Spécial Ingénieries-EAT-02), 17–24.
- Cohen-Sacham, E., Janzen, C., Maginis, S., Walters, G. Nature-based solutions to address global societal challenges. (2016). <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2016.13.en>
- Collette, O., Davreux, T., Bauffe, C., Dancart, D., & Dumont, S.-P. (2018). La ripisylve : Intérêts et particularités, travaux, gestion. Dans crsambre.be. <https://www.crsambre.be/wp-content/uploads/2018/01/Dossier-ripisylve-Silva1-2018-web.pdf>
- De Vos, L., & Petitfrère, P. (2008, 1 juillet). Les livrets de l'Agriculture No 16. L'accès du bétail aux cours d'eau. EDIWALL, 7-21. <https://ediwall.wallonie.be/les-livrets-de-lagriculture-no-16-lacces-du-betail-aux-cours-deau-numerique-080860>
- Degré, A., Guillaume, B., Michez, A., Bonaventure, N., Leyh, E., di Maggio, L., & Rabouli, S. (2024). Modélisation hydrologique du bassin versant de la Vesdre—Projet ModRec. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/314437>
- Dubois, Q., & Kaiser, A. (2020). Recherche sur la restauration du réseau écologique dans l'Euregio Meuse-Rhin et la quantification des actions de restauration en Wallonie. <https://drielandenpark.info/drielandenpark-wAssets/docs/projektergebnisse/RAUM-GI/WWF-Ecological-connectivity-in-the-Euregio.pdf>
- Dufrêne, M., Bisteau, E., Bagnée, J.-Y., & Mahy, G. (2009, novembre). L'inventaire des sites de grand intérêt biologique en région wallonne. Forêt Wallonne, 103, 31-40.
- GISER SPW. (2019, 7 février). Lire un bassin versant [Vidéo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=tqV6PWm_NvQ
- Gringoire, C. (2005). LES IMPACTS DU PIÉTINEMENT DU BÉTAIL SUR LE FONCTIONNEMENT DES COURS D'EAU. ÉTAT DES LIEUX ET PROPOSITIONS D'AMÉLIORATION. [Mémoire, Université de Tours]. http://memoires.scd.univ-tours.fr/EPU_DA/LOCAL/2005%20IMACOF%20IUP%20GRINGOIRE-Carole.pdf.pdf
- Hugtenburg, J., Kreulen, M., Hartveld, F., De Bijl, J., Van Winden, A., De Waterloo, M., Meertens, H., & Rademakers, J. (s. d.). Water vast-hou-den en ver-tra-gen in het Geuld-al |

Natuurkracht.org. Natuurkracht. Consulté 2 août 2024, à l'adresse
<https://natuurkracht.org/rapport/2024/water-vasthouden-en-vertragen-in-het-geuldal>

- Huylenbroeck L., Michez A., Claessens H. (2019). Guide de gestion des ripisylves. SPW, DGARNE, DCENN, Namur, 80 p
- Imesch, J. (2011). LES ARRANGEMENTS LOCAUX ET LA DURABILITÉ DE NOUVELLES ACTIVITÉS RURALES : LE CAS DE LA RENATURATION DE LA HAUTE-SEYMAZ (. IDHEA, Chaire Politiques Publiques et Durabilité, 60-64).
- Inondations de juillet 2021 : Bilan et perspectives. (SPW 2022, 4 juillet).
<https://www.wallonie.be/fr/acteurs-et-institutions/wallonie/gouvernement-de-wallonie/communiqués-presse/2022-07-04#header>
- Konin, N. J. C., N'Go, Y. A., Soro, E., & Ya, K. F. (2021). INFLUENCE DES FACTEURS HYDRO-MORPHOSTRUCTURAUX SUR LES INONDATIONS DU BASSIN VERSANT DU FLEUVE SAN-PEDRO, CÔTE D'IVOIRE.
- Le réseau Natura2000 | Natura 2000 | La biodiversité en Wallonie. (s. d.).
<https://biodiversite.wallonie.be/fr/le-reseau-natura2000.html?IDD=1168&IDC=834>
- Les couverts végétaux permanents en bord de cours d'eau (CVP) | PROTECT'eau. (s. d.).
<https://www.protecteau.be/fr/les-couverts-vegetaux-permanents-en-bord-de-cours-deau-cvp>
- Lucien Maman, Laurent Vienne. Les zones humides, un patrimoine remarquable. Géosciences, 2010, 12, pp.68-77. <hal-00663290>
- Méganck, É. (2013). Un outil foncier à (re)découvrir : le remembrement agricole. Les Cahiers Nouveaux, 85, 36-39.
https://docum1.wallonie.be/DOCUMENTS/CAHIERS/CN85/C3A1_Meganck.pdf
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). Wetlands. John Wiley & Sons.
- Ogawa, H., and J. W. Male. 1986. Simulating the flood mitigation role of wetlands. Journal of Water Resource Planning and Management 112: 114–128.
- Oldham RS, Keeble J, Swan MJS & Jeffcote M (2000) Evaluating the suitability of habitat for the great crested newt (*Triturus cristatus*). Herpetological Journal, 10(4), pp. 143-156.
- Palomo, I., Locatelli, B., Otero, I., Colloff, M., Crouzat, E., Cuni-Sanchez, A., Gómez-Baggethun, E., González-García, A., Grêt-Regamey, A., Jiménez-Aceituno, A., Martín-López, B., Pascual, U., Zafra-Calvo, N., Bruley, E., Fischborn, M., Metz, R., & Lavorel, S. (2021b). Assessing nature-based solutions for transformative change. One Earth, 4(5), 730-741.
<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.04.013>
- Philippart, J.C. (2008). Biodiversité et caractéristiques physiques des cours d'eau.
- Plantons des cordons rivulaires. (s. d.). Natagriwal. Consulté 13 août 2024, à l'adresse
<https://www.natagriwal.be/projet/cordons-rivulaires/>

- Présentation de l'inventaire des SGIB | Sites | La biodiversité en Wallonie. (2024, 6 avril). <https://biodiversite.wallonie.be/fr/presentation-de-l-inventaire-des-sgib.html?IDD=1139&IDC=824>
- PROTECT'eau (Éd.). (2021, juillet). LE MAG' n°8 - Dossiers sur la végétalisation des zones tampon, les cultures BNI, la herse étrille en froment d'hiver, l'adaptation du pulvérisateur pour un nettoyage au champ et le diagnostic des captages par l'identification de traceurs, mais aussi des interviews du concours CIPAN ou encore la présentation du projet Terres de Sources. <https://www.protecteau.be/fr/le-mag>.
<https://www.protecteau.be/sites/default/files/uploads/MAG/mag08.pdf>
- Réseau Natura 2000 en vigueur - Série. (s. d.). Géoportail de la Wallonie. <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/80a837d8-2c0b-4f77-b5d5-824e9780a4ae.html>
- Risque d'inondation : sols imperméabilisés vs sols naturels. (s. d.). SOCOTEC France. <https://www.socotec.fr/le-blog/risque-inondation-sols-impermeabilises>
- Sarabi, Han, Romme, Vries, & Wendling. (2019). Key Enablers of and Barriers to the Uptake and Implementation of Nature-Based Solutions in Urban Settings: A Review. *Resources*, 8(3), 121. <https://doi.org/10.3390/resources8030121>
- Sarabi, S., Han, Q., Romme, A. G. L., de Vries, B., Valkenburg, R., & den Ouden, E. (2020). Uptake and implementation of Nature-Based Solutions: An analysis of barriers using Interpretive Structural Modeling. *Journal of Environmental Management*, 270, 110749. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110749>
- Utilisation du sol en Wallonie - Iweps. (2024, 6 juin). Iweps. <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/utilisation-du-sol/>
- Vilmos, R. (s. d.). Météo en Belgique - Les inondations catastrophiques de juillet 2021. <https://www.meteobelgique.be/article/nouvelles/la-suite/2449-les-inondations-catastrophiques-de-juillet-2021>
- Zope, P. E., Eldho, T. I., & Jothiprakash, V. (2016). Impacts of land use–land cover change and urbanization on flooding : A case study of Oshiwara River Basin in Mumbai, India. *CATENA*, 145, 142-154. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.009>

Annexes

Annexe I : Légende détaillée de l'occupation du sol

- Occupation du sol:
-  Culture
 -  Prairie
 -  Verger
 -  Feuillus
 -  Résineux
 -  Revêtement artificiel
 -  Etang
 -  Zone humide
 -  Revêtement artificiel et prairie
 -  Feuillus et prairie
 -  Revêtement artificiel et feuillus
 -  Revêtement artificiel et culture
 -  Culture et prairie
 -  Culture et Feuillus
 -  Résineux et prairie
 -  Résineux et culture
 -  Résineux et feuillus
 -  Autres

Annexe II : Exemple de la table d'attribut des cours d'eau non classés de l'inventaire

COM1	NEWCOM2	ID_BASSIN	NOM_BASSIN	ID_BASSI00	NOM_BASSI00	Canalisation	Occupation du sol	Occupation (BD)	Ice d'un cordon riv.	Absence de cloture	Absence de CVP	Assec	Autres
NRAEDT	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	<NULL>	NULL	false	0	false		NULL
NRAEDT	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	Canalisé fermée	Prairie	NULL	false	false	false		NULL
EN	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Culture	NULL	false	false	false	vrai	NULL
EN	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Prairie	NULL	vrai	false	false		NULL
EN	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	Canalisé fermée	Culture	NULL	false	false	false		NULL
EN	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Culture	NULL	false	false	false		NULL
EN	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Prairie	NULL	false	false	false		NULL
/LA CAL...	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	<NULL>	NULL	0	0	0		NULL
/LA CAL...	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	<NULL>	NULL	0	0	0		NULL
/LA CAL...	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	<NULL>	NULL	0	0	0		NULL
/LA CAL...	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	<NULL>	NULL	0	0	0		NULL
EN	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Feuillus	Prairie	false	false	false		NULL
/LA CAL...	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Prairie	Revetement artificiel	vrai	false	false		NULL
/LA CAL...	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Prairie	NULL	false	false	false		NULL
/LA CAL...	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Prairie	NULL	vrai	false	false		NULL
/LA CAL...	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Prairie	Feuillus	vrai	false	false		NULL
/LA CAL...	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Prairie	Feuillus	vrai	false	false		NULL
/LA CAL...	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Feuillus	NULL	false	false	false		NULL
EN	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	Canalisé fermée	Revetement artificiel	NULL	false	false	false		NULL
EN	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Prairie	NULL	false	false	false		NULL
NRAEDT	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	<NULL>	Prairie	NULL	false	false	false		NULL
NRAEDT	NULL	BE_MEUSE_RW...	Meuse aval	BE_MEUSE_RW...	Gueule	Canalisé fermée	Revetement artificiel	NULL	false	false	false		NULL

Annexe III : Carte des zones inondées en 2021 (en bleu) dans la zone d'étude ainsi quand dans les alentours

