

## **Intégration des retenues d'eau pour l'irrigation dans les paysages du nord de la France. Cas d'étude sur le bassin versant de la Serre dans l'Aisne**

**Auteur :** Descamps, Timothée

**Promoteur(s) :** Dufrêne, Marc; Degré, Aurore

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master architecte paysagiste, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2021-2022

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/13898>

---

### *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.*

---

**INTÉGRATION DES RETENUES D'EAU POUR L'IRRIGATION  
DANS LES PAYSAGES DU NORD DE LA FRANCE.  
Cas d'étude sur le bassin versant de la Serre dans l'Aisne.**

**TIMOTHÉE DESCAMPS**

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER D'ARCHITECTE PAYSAGISTE**

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022.**

**CO-PROMOTEURS : AURORE DEGRÉ, MARC DUFRÊNE**

*Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être autorisée qu'avec l'autorisation de l'auteur·e et du Président ou de la Présidente du Comité de Gestion de la formation en Architecte Paysagiste.*

*Le présent document n'engage que son auteur.*

## A. REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord mes promoteurs Aurore Degré et Marc Dufrêne qui m'ont suivi tout au long de ce travail de fin d'études, pour leurs précieux conseils, leur aide et leur disponibilité. Leurs savoirs m'ont permis d'apporter rigueur et précision à mon travail.

Je remercie les spécialistes et experts liés à la problématique qui ont su répondre à mes questions et me permettre ainsi d'avancer et de développer la pertinence de cette étude.

Merci à Housseem Ezzeddine, conseiller en irrigation de la chambre d'agriculture de l'Aisne pour les informations qu'il m'a fournies sur le schéma d'irrigation de l'Aisne et ses conseils.

Merci à Florence Habets, directrice de recherche au CNRS, qui a pris le temps de répondre à mes questions sur l'impact des retenues.

Merci à Noé Hanciaux, doctorant au Département GxABT Échanges Eau - Sol - Plantes pour l'aide apportée lors de l'application de la méthodologie sur la partie hydrologie.

Je tiens également à remercier mes amis et camarades de promo qui m'ont conseillé et soutenu tout au long de la rédaction.

Mes parents et ma famille pour leurs relectures et pour leur soutien tout au long de ces études.



## B. RÉSUMÉ

Les retenues d'eau agricoles pour l'irrigation sont devenues une nouvelle source de discordes au sein des territoires ruraux. En partie contestées, mais jugées comme un élément de résilience face aux changements climatiques, des études sont menées quant aux impacts et aux bénéfices qu'elles peuvent produire.

La première partie du travail fait part de l'évolution du climat, des besoins de l'agriculture et son évolution. Elle détermine le type de retenue étudiée et mentionne les impacts connus de celle-ci. On retrouve l'exemple d'une retenue d'eau, des étangs de la réserve de Luchy qui sera utilisé comme le modèle de retenue d'eau concerné par la méthodologie.

Cette étude présente l'analyse du bassin versant de la Serre et détermine par différentes caractéristiques une zone d'étude favorable à l'implantation de retenue. Elle permet de mettre en avant des caractéristiques que l'on peut retrouver ailleurs dans la région, démontrant une reproductibilité de la méthode.

La suite de la méthodologie s'applique sur cette zone d'étude. Les résultats déterminent des emplacements candidats grâce à l'accumulation des ruissellements, à la concavité du terrain ainsi que différents critères d'exclusion pour limiter les impacts.

La seconde partie s'intéresse aux services écosystémiques dans un objectif de conciliation des usages. Le but étant de démontrer que l'implantation d'une retenue, du même type que l'exemple mentionné peut réunir de nombreux objectifs, que sont la disponibilité d'eau douce pour l'irrigation, le soutien d'une production alimentaire, la création de nouveaux milieux écologiques et l'offre de nouvelle activité pour les différents usagers de nos territoires ruraux.

Cette étude identifie et met en application une méthode d'analyse des territoires et d'identification des bénéfices et pertes. Elle permet de justifier l'emplacement de retenues pour en limiter ses externalités négatives. La finalité étant de produire un aménagement aux multiples bénéfices pour en faire un projet de territoire concerté.

**Mots clés :** Gestion des eaux, changements climatiques, services écosystémiques, retenue d'eau, agriculture, recommandation d'implantation.

## C. ABSTRACT

Agricultural water reservoirs for irrigation have become a new source of contention in rural areas. Partly contested, but considered as an element of resilience in the face of climate change, studies are being carried out on the impacts and benefits they can produce.

The first part of the work describes the evolution of the climate, the needs of agriculture and its evolution. It determines the type of reservoir studied and mentions its known impacts. The example of a water reservoir, the Luchy reservoir ponds, is used as a model for water reservoirs.

This study presents an analysis of the Serre catchment area and determines a study area favourable to the implementation of a reservoir, based on various characteristics. It highlights characteristics that can be found elsewhere in the region, demonstrating the reproducibility of the method.

The rest of the methodology is applied to this study area. The results identify candidate locations based on runoff accumulation, terrain concavity and various exclusion criteria to limit impacts.

The second part focuses on ecosystem services with a view to reconciling uses. The objective is to demonstrate that the implementation of a reservoir, of the same type as the example mentioned, can meet numerous objectives, such as the availability of fresh water for irrigation, the support of food production, the creation of new ecological environments and the provision of new activities for the various users of our rural territories.

This study identifies and applies a method for analysing territories and identifying benefits and losses. It allows the location of reservoirs to be justified in order to limit their negative externalities. The objective is to produce a project with multiple benefits to make it a concerted territorial project.

**Key words:** water management, climate change, ecosystem services - water retention, agriculture, siting recommendation.

## D. TABLE DES FIGURES

Figure 1 Volume d'eau consommé par personne et empreinte sur l'eau par pays. Les volumes d'eau représentent les volumes non restitués aux milieux aquatiques (Source : Eau et milieux aquatiques Les chiffres clés Édition 2020)	5
Figure 2 comparatif du stockage des eaux par rapport à la ressource renouvelable entre la France et l'Espagne. (Source : FAO Aquastat)	5
Figure 3 apparitions des sécheresses au cours d'une année et influence de l'activité humaine sur celle-ci (source : « Drought in the Anthropocene », <i>Nature Geoscience</i> , volume 9, pages 89–91 (2016))	6
Figure 4 Besoins en irrigations des plantes au cours d'une année. (Conditions pédoclimatiques de Toulouse, 150 mm de réserve en eau) (source : Leenhardt, Delphine, Marc Voltz, et Olivier Barreteau. 2020. <i>L'eau en milieu agricole</i> .)	11
Figure 5 Station LILLE — LESQUIN Températures et précipitations (Source : Météo-France)	12
Figure 6 Émissions de gaz selon les différents scénarios (Source : Météo-France)	12
Figure 7 Évolutions des températures selon les différents scénarios climatiques par rapport à la référence 1976-2005 (Source : DRIAS, 2020)	13
Figure 8 cumuls des précipitations estimés par saison selon les différents scénarios par rapport à la référence 1976-2005 (source: DRIAS, 2020)	14
Figure 9 Humidités des sols selon les scénarios climatiques (source : ( <a href="https://meteofrance.com/climathd">https://meteofrance.com/climathd</a> ))	14
Figure 10 Typologie des retenues d'eau (Source : Les Rencontres n° 50, AFB, 11-2017)	20
Figure 11 Schéma de principe d'une retenue et de ses éléments. (Dessin personnel)	21
Figure 12 retenue d'eau agricole (Source : <a href="https://france3-regions.francetvinfo.fr">https://france3-regions.francetvinfo.fr</a> , 2017 © JM.Piron)	23
Figure 13 Étangs de Luchy (Source : cirkwi.com, crédit photo : OT Libramont.)	24
Figure 14 Localisation du site d'étude	30
Figure 15 « Station hydrologique : H7162010 — La Serre à Nouvion-et-Catillon pour un bassin versant de 1 630 km <sup>2</sup> et à 51 m d'altitude » (Source de Banque Hydro et du MEDDE, calculée sur 67 ans).	30
Figure 16 modèle numérique de terrain du bassin versant de la Serre (Source : Geoportail.fr)	31
Figure 17 Carte de sols superficiels (Source : GISsol.fr)	32
Figure 18 Carte d'indice de développement et de persistance des réseaux (source : GisSol)	33
Figure 19 Occupations du sol (Corine Land cover 2012)	34
Figure 20 Sous-bassins versants d'étude (source personnelle)	36
Figure 21 La basse Thiérache, représentation par bloc-diagramme. (Source : Atlas de L'Aisne, CAUE de l'Aisne, 2004)	37
Figure 22 Paysage du site choisi sur les villages de Labouzy et Priscoes	37
Figure 23 Bloc-diagramme — coupe du Hameau de la Petite feuillée au Village de Thenailles — (Source : Dessin personnel)	38
Figure 24 Bloc diagramme - coupe du paysage la Neuville-Housset à Chevennes (Source : Dessin personnel)	39
Figure 25 Visualisations des algorithmes de flux utilisés (Y. Li et al.)	42
Figure 26 Climatogramme de la ville de Vervins. (Source : Climate-data.org)	43
Figure 27 Représentation des services sur les paysages (©CS. Campagne — Graphisme A. Deslandes)	45
Figure 28 éléments de pondération des coefficients de ruissellements (Source personnelle)	54
Figure 29 coefficients de ruissellement pondéré. (Source personnelle)	54
Figure 30 Résultats du flood accumulation et expression des quantités ruisselées en mètres cubes (source personnelle)	55
Figure 31 Zone candidates de l'étape 1 (source personnelle)	56
Figure 32 Zones d'exclusion des retenues potentielles (source : BD Topo – IGN)	57

Figure 33 Zones candidates pour les retenues d'eau (source : personnelle, image aérienne Bing aerial)	58
Figure 34 Vue sur une retenue candidate (Source : Google Street View)	60
Figure 35 Vue sur la retenue candidate 2 (Source : Google street view)	60
Figure 36 Vue aérienne de quelques sites potentiels (source : image aérienne Bing Aerial)	60
Figure 37 Histogramme cumulée des services écosystémiques en fonction de chaque écosystème.	63
Figure 38 Histogramme cumulée des écosystèmes bénéficiaires des services écosystémiques :	64
Figure 39 Localisation du bloc-diagramme (Source : Carte IGN)	66
Figure 40 Bloc diagramme, paysage avant implantation de la retenue (source : dessin personnel)	67
Figure 41 Bloc diagramme, évolution du paysage par l'implantation de la retenue. (Source dessin personnel)	68
Figure 42 Notice de l'IDPR (source : V. Mardhel, 2003, Notice de lecture de la carte de l'indice de développement et persistance des réseaux (IDPR) pour le bassin Rhône Méditerranée Corse, BRGM, 31p)	82
Figure 43 Registre parcellaire graphique (source : Institut National de l'Information Géographique et Forestière)	82
Figure 44 Zone sous régime de protection de la nature (Source: Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN))	82
Figure 45 Carte IGN avec emplacement des blocs-diagramme (Source : <a href="https://geoservices.ign.fr">https://geoservices.ign.fr</a> )	82
Figure 46 Définition des services écosystémiques (source : Campagne, C. Sylvie & Roche, Philip. (2019). Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques)	82
Figure 47 Matrice des capacités (Campagne, C. Sylvie & Roche, Philip. (2019). Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques. )	82
Figure 48 Carte de l'indice de concavité réalisé à partir d'un modèle numérique de terrain (Source personnelle)	82

## E. TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Utilisation et consommation d'eau en France par les différents secteurs d'activités (exprimé en milliards de mètres cubes) Tableau tiré de La France Agricole Eau & irrigation : Réponses à ceux qui veulent couper les vannes. La France Agricole, Hors-série 2020.	4
Tableau 2 biotopes de la réserve domaniale des étangs de Luchy (source : <a href="http://biodiversite.wallonie.be">http://biodiversite.wallonie.be</a> )	24
Tableau 3 Critère d'inclusion ou d'exclusion d'une retenue sur le territoire.	26
Tableau 4 Pourcentage de la répartition de l'occupation du sol	38
Tableau 5 statistique de précipitations extrêmes de la commune de Momignies (source : Institut Royal Météorologique de Belgique)	41
Tableau 6 : Tableau des coefficients moyens d'après l'Office international de l'eau, Delage. D, 1998).	41
Tableau 7 Liste des services écosystémiques (Source : Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques, IRSTEA, 2019)	46
Tableau 8 Équivalence des occupations du sol avec les codes utilisés dans la matrice des capacités.	47
Tableau 9 Liste des écosystèmes pouvant être évalués (source : Campagne, C. Sylvie & Roche, Philip. (2019). Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques.)	49
Tableau 10 Valeur pour l'évaluation des services écosystémiques (Source personnelle)	50
Tableau 11 Matrice des capacités pour l'insertion de retenues d'eau (source : Campagne, C. Sylvie & Roche, Philip. (2019). Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques.)	51
Tableau 12 Classes des indices de concavité	56
Tableau 13 Identification des services écosystémiques du territoire	61
Tableau 14 Matrice des capacités appliqué	62

# TABLE DES MATIÈRES

<b>A. REMERCIEMENTS</b>	<b>3</b>
<b>B. RÉSUMÉ</b>	<b>4</b>
<b>C. ABSTRACT</b>	<b>4</b>
<b>D. TABLE DES FIGURES</b>	<b>6</b>
<b>E. TABLE DES TABLEAUX</b>	<b>8</b>
 <b>PARTIE 1 : INTRODUCTION</b>	 <b>1</b>
 <b>PARTIE 2 : CONTEXTUALISATION</b>	 <b>3</b>
 <b>2.1 LES ENJEUX DE LA GESTION DES EAUX SUR NOS TERRITOIRES</b>	 <b>3</b>
2.1.1 LES RECOMMANDATIONS DE LA FAO CONCERNANT LA GESTION DE L'EAU	3
2.1.2 L'EAU ET SA DISPONIBILITÉ EN FRANCE.	4
<b>2.2 LES BESOINS D'EAU EN AGRICULTURE ET L'ÉVOLUTION DE LA RESSOURCE EN FONCTION DES PRÉVISIONS CLIMATIQUES</b>	<b>10</b>
2.2.1 LES CULTURES ET LEURS BESOINS.	10
<b>2.3 UN CLIMAT QUI FORCE LE TERRITOIRE À S'ADAPTER</b>	<b>12</b>
2.3.1 ÉTAT ACTUEL	12
2.3.2 PRÉVISIONS CLIMATIQUES	12
2.3.3 PROBLÉMATIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES ESPACES RURAUX :	15
<b>2.4 UNE SOLUTION TERRITORIALE : LES RETENUES D'EAU COLLINAIRES</b>	<b>17</b>
2.4.1 LES RETENUES D'EAU, DÉFINITION	17
2.4.2 LE CADRE LÉGISLATIF	18
2.4.3 PLUSIEURS TYPOLOGIES :	20
2.4.4 FONCTIONNEMENT DES RETENUES	20
2.4.5 LES IMPACTS CONNUS DE CES RETENUES D'EAU.	21
2.4.6 EXEMPLE DES ÉTANGS DE LA RÉSERVE DE LUCHY EN BELGIQUE	24
2.4.7 L'ÉVOLUTION DE LA POLITIQUE AGRICOLE COMMUNE ET LES MESURES AGRO-ENVIRONNEMENTALES ET CLIMATIQUES	25
2.4.8 CONCLUSION, HYPOTHÈSE ET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE	25
2.4.1 OBJECTIFS ET PLACE DU PAYSAGISTE DANS LA RÉFLEXION SUR LES RETENUES D'EAU.	27
 <b>PARTIE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE</b>	 <b>29</b>
 <b>3.1 CHOIX D'UN SITE PILOTE</b>	 <b>29</b>
3.1.1 LOCALISATION DU BASSIN VERSANT DE LA SERRE :	29
3.1.2 DÉTERMINATION D'UNE ZONE FAVORABLE AU SEIN D'UN TERRITOIRE D'ÉTUDE	30
3.1.3 DES ZONES FAVORABLES : CHOIX DE SOUS-BASSIN VERSANT POUR L'APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE.	35
3.1.4 CARACTÉRISATION DU PAYSAGE DE LA BASSE THIÉRACHE	37
3.1.5 OCCUPATION DU SOL	38
3.1.6 SA TOPOGRAPHIE	38
<b>3.2 MÉTHODOLOGIE</b>	<b>40</b>
3.2.1 ÉTAPES DE LA MÉTHODOLOGIE	40
<b>3.3 RÉCAPITULATIF DU PROCESSUS DE LA MÉTHODOLOGIE</b>	<b>53</b>

<b><u>PARTIE 4 :</u></b>	<b><u>RÉSULTATS</u></b>	<b><u>54</u></b>
<b>4.1</b>	<b>ÉTAPE 1 — IDENTIFICATION DES CANDIDATS.</b>	<b>54</b>
4.1.1	ANALYSE PAR LA MORPHOLOGIE DU TERRITOIRE.	54
4.1.2	PERTINENCE DE L'EMPLACEMENT	57
<b>4.2</b>	<b>ÉTAPE 2 — ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES</b>	<b>61</b>
4.2.1	LES ÉCOSYSTÈMES PRÉSENTS :	61
4.2.2	LA MATRICE DES CAPACITÉS	62
4.2.1	ÉVOLUTION DU PAYSAGE ET IMPACT DE L'INTÉGRATION D'UNE RETENUE	66
<b><u>PARTIE 5 :</u></b>	<b><u>DISCUSSION DES RÉSULTATS ET LIMITES DE LA MÉTHODOLOGIE</u></b>	<b><u>69</u></b>
<b>5.1</b>	<b>DISCUSSION</b>	<b>69</b>
5.1.1	DÉTERMINATION D'UN SITE D'ÉTUDE.	69
5.1.2	ÉTAPE 1 : ÉVALUATION DES CANDIDATS	70
<b>5.1.3</b>	<b>ÉTAPE 2 : ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES</b>	<b>70</b>
<b>5.2</b>	<b>LIMITE DE LA MÉTHODOLOGIE ET PERSPECTIVES</b>	<b>71</b>
<b>5.3</b>	<b>CONTRIBUTION DU TRAVAIL À LA DISCIPLINE</b>	<b>73</b>
<b><u>PARTIE 6 :</u></b>	<b><u>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</u></b>	<b><u>74</u></b>
<b><u>PARTIE 7 :</u></b>	<b><u>GLOSSAIRE</u></b>	<b><u>75</u></b>
<b><u>PARTIE 8 :</u></b>	<b><u>BIBLIOGRAPHIE</u></b>	<b><u>77</u></b>
<b>8.1</b>	<b>LITTÉRATURE</b>	<b>77</b>
<b>8.2</b>	<b>SITES INTERNET</b>	<b>79</b>
<b><u>PARTIE 9 :</u></b>	<b><u>ANNEXES</u></b>	<b><u>81</u></b>

## PARTIE 1 : INTRODUCTION

---

L'eau est une ressource de plus en plus convoitée et ses usages deviennent plus réglementés. En effet, ses utilisations se font davantage au sein de nos territoires et son stockage devient un enjeu important, car l'apport de la ressource a tendance à devenir irrégulier au cours de l'année, par le réchauffement climatique. Son interception au sein des bassins versants n'est pas sans impact à l'aval de ces ouvrages de rétentions. Par exemple, on retrouve les barrages de l'Eau d'Heure pour maintenir le niveau d'étiage de la Sambre et de la Meuse pour que les centrales nucléaires en aval aient toujours de l'eau. Dans les montagnes, des barrages qui permettent de stocker l'eau nécessaire à la neige artificielle ou encore des retenues pour l'irrigation sur les zones agricoles. Ces retenues sont toujours créées afin de soutenir un système de production de bien ou de service. Au travers de cette étude, nous étudierons le cas des retenues d'eau pour l'usage de l'irrigation.

Les territoires ruraux sont face à une nécessité d'adaptation liée à la fois aux nouvelles pratiques agricoles, mais aussi face à l'évolution de notre climat. Cette évolution entraîne un accroissement de la quantité des précipitations et réduit leur fréquence, on a une augmentation des périodes de sécheresse prolongée qui ont un impact non négligeable sur les rendements des cultures, que ce soit en grandes cultures ou en pâturages.

L'objectif est d'étudier la question du stockage d'eau dans les territoires agricoles et d'en évaluer les divers enjeux en termes de biodiversité et de services écosystémiques afin qu'ils soient, si envisageables, bénéficiaires à la fois pour l'agriculture, mais aussi en offrant une multitude de nouveaux bénéfices. Par exemple, on pourrait retenir comme autres services écosystémiques, la résilience pendant les périodes humides pour temporiser les crues.

Conscients que l'agriculture doit aussi modifier ses pratiques culturales et ses types de cultures pour s'adapter à ces évolutions, nous verrons sous quelles conditions la création de retenue à vocation d'irrigation sera possible pour limiter les impacts sur l'environnement.

De nombreux territoires sont sujets à la réflexion du stockage d'eau et les enjeux sont à la fois écologiques et économiques. En effet, la retenue d'eau diminue la qualité et la quantité des eaux en aval de celle-ci, pouvant avoir un impact sur les rivières. De plus, on se retrouve face à un sentiment de « privatisation » de la ressource eau par les agriculteurs, mal perçue par les usagers des territoires et les entités telles que les comités de bassins, les collectivités et habitants.

La citation ci-dessous démontre bien l'enjeu de ces retenues à l'échelle du territoire.

*« [...] le stockage n'est pas, contrairement à une idée reçue, la solution miracle permettant l'adaptation de l'agriculture au réchauffement climatique. Il ne s'agit pas, pour autant, de l'exclure catégoriquement. Si elle a sa place, c'est en tant que composante possible d'une stratégie de gestion de l'eau plus vaste, à construire collectivement à l'échelle des territoires. La difficulté de la tâche ne peut être niée, mais elle est la seule voie d'un changement local qui soit à la mesure du changement global. »*

Benoît Grimonprez, Professeur d'Université, Institut de droit rural de Poitiers, Président de l'Association française de droit rural Centre-Ouest.



L'objectif de mon travail de fin d'études sera de déterminer une méthodologie d'implantation de ces infrastructures afin de limiter les impacts et de contribuer à améliorer ses rendements. La retenue serait utilisée en premier lieu pour l'irrigation, mais viendrait également participer à la nouvelle structure du territoire en créant de nouveaux services écosystémiques, bénéficiaire à la biodiversité, à l'habitant et à sa sécurité grâce à la limitation du risque de crue.

Afin d'apporter une contribution à la réponse de ces enjeux, la présente étude comporte un état de l'art sur les enjeux de l'eau dans les territoires agricoles. Le dérèglement climatique aura une influence sans précédent et la retenue d'eau est une des solutions pour la résilience de l'agriculture face à cela.

On distinguera ensuite différents types d'infrastructures possibles et le travail se portera sur l'une d'entre-elles, les retenues d'eau qui captent les ruissellements, situés en dehors des cours d'eau.

La première étape consistera à déterminer au sein d'un site une zone cas d'étude. Ce site, le bassin versant de la Serre, répond à des enjeux futurs en termes d'irrigation et possède des caractéristiques identifiables sur d'autres bassins versants. La méthodologie peut ainsi être reportée sur d'autres régions.

Une fois le site potentiel déterminé seront définies des zones candidates à l'implantation de retenue, en fonction de la concavité de la surface et l'accumulation de ruissellement d'eau, permettant de définir des volumes potentiels présents dans les retenues. De plus, les différents critères d'exclusion déterminée au préalable par l'état de l'art y seront intégrés

Ensuite viendra l'analyse des services écosystémiques par rapport au paysage moyen observé sur le site d'étude, la Basse-Thiérache. Elle permettra de mettre en avant les impacts positifs comme négatifs sur ce paysage. L'objectif étant de concilier les usages sur ce type d'infrastructure. La méthodologie permettra de démontrer si l'implantation de tels ouvrages est possible sur un territoire donné et si elle est bien répartie sur celui-ci.

Enfin nous auront les conclusions apportées par cette étude et les limites qu'elle considère.

## PARTIE 2 : CONTEXTUALISATION

---

### 2.1 LES ENJEUX DE LA GESTION DES EAUX SUR NOS TERRITOIRES

La question de la gestion de l'eau est une question commune à de nombreux domaines et elle est au cœur de multiples enjeux. Nos besoins sont en constantes évolutions par le fait de l'évolution des sociétés, des diverses pratiques et de l'accroissement de la population.

Il est alors primordial d'optimiser son utilisation, son stockage et sa productivité que l'on doit en retirer. Au-delà de ces changements, elle va également être impactée par les changements climatiques, avec comme nous le verrons, une irrégularité des apports au cours de l'année et des phénomènes exceptionnels qui diminueront sa disponibilité dans les milieux, avec par exemple, les périodes de sécheresse.

#### 2.1.1 Les recommandations de la FAO concernant la gestion de l'eau

---

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a réalisé en 2017 un rapport pour le G20. Dans celui-ci, elle mentionne de nombreux objectifs qui sont pour l'ensemble des pays qui y adhèrent. On retrouve alors des objectifs diversifiés, ne correspondant pas toujours aux préoccupations de nos régions. Cependant, on peut identifier des objectifs qui concernent directement nos territoires et en particulier nos territoires agricoles.

La FAO prévoit une augmentation de la superficie irriguée d'environ 50 % en 2050 avec cependant une augmentation de prélèvements d'eau par l'agriculture de seulement 10 %. Outre la capacité de stockage à améliorer sur nos territoires, il est primordial d'augmenter les rendements et l'usage de l'eau ainsi que les performances des variétés pour répondre à la demande croissante en alimentation et aux difficultés de certains pays à la produire.

L'agriculture étant le domaine le plus consommateur d'eau, avec environ 70 % des prélèvements d'eau douce, elle est par conséquent à l'origine de nombreux impacts concernant son cycle, ou sa modification chimique par le biais de contamination.

L'usage de l'eau peut alors créer des tensions entre ses divers usagers, car les objectifs diffèrent. Le but est de concilier chaque demande afin de continuer d'avoir des solutions pérennes et efficaces tout en maintenant ou développant la biodiversité.

Dans son rapport, la question de l'irrigation et de ses infrastructures revient de façon récurrente. Elle a établi après plusieurs études de cas que les Partenariats public-privés (PPP) ou Partenariats public-privé-communautaires (PPPC) permet d'assurer de meilleurs investissements et une gestion à long terme des infrastructures nécessaires. L'aspect communautaire est également important afin d'avoir une préoccupation locale qui va permettre une gestion plus aisée des problématiques propres à chaque territoire et acteur. Cela permettra de résoudre de nombreux conflits d'intérêts face à cette ressource très convoitée (FAO, 2017).

*« L'utilisation de l'eau dans l'agriculture varie d'un pays à l'autre. Les pays qui importent des denrées alimentaires et qui ont une économie développée et diversifiée, l'utilisation de l'eau agricole est d'environ 40 pour cent ; entre-temps, elle s'élève à*

*plus de 95 pour cent dans plusieurs des pays où l'agriculture est la principale activité économique. Au cours du siècle précédent, la population mondiale a triplé. Il devrait passer de 6,5 milliards à 8,9 milliards d'ici 2050. À l'échelle mondiale, l'utilisation de l'eau a augmenté à un taux plus de deux fois supérieur à celui de la population au cours du siècle dernier. En 2025, 1,8 milliard d'habitants vivront dans des pays ou des régions où l'insuffisance est la plus importante, tandis que les deux tiers de la population mondiale pourraient être en situation de stress hydrique »*

*(UN-WATER, 2007 : 10)*

Au-delà d'être un enjeu pour nos territoires, l'alimentation et les productions agricoles deviendra une problématique mondiale au vu des prévisions climatiques et des données énoncées dans la citation précédente. Chaque territoire productif se doit d'être valorisé afin de pallier aux futurs territoires qui seront concernés par les stress hydriques récurrents. Le Programme des Nations Unies pour le développement a déclaré en 2007 que la principale limite pour l'augmentation de la production alimentaire sera les pénuries en eau sur les territoires et non le manque de terres cultivables.

## 2.1.2 L'eau et sa disponibilité en France.

### 2.1.2.1 L'eau en France en quelques chiffres

En France, environ 34 milliards de mètres cubes d'eau sont prélevés par an sur un total de 440 à 480 milliards de mètres cubes de précipitations. De ces 440 à 480 milliards, 170 à 190 milliards sont réellement disponibles. Une partie de cette eau disponible est alors utilisée pour de multiples usages. Elle peut être consommée ou non. Si elle ne l'est pas, elle est rejetée de nouveau dans le cycle.

Comme le montre le graphique ci-dessous, l'agriculture est un secteur qui consomme énormément l'eau qu'elle utilise, contrairement à d'autres secteurs qui rejettent leur eau dans le cycle après usage.

*Tableau 1 : Utilisation et consommation d'eau en France par les différents secteurs d'activités (exprimé en milliards de mètres cubes) Tableau tiré de La France Agricole Eau & irrigation : Réponses à ceux qui veulent couper les vannes. La France Agricole, Hors-série 2020.*

	VOLUME utilisé	VOLUME consommé
<b>Énergies</b>	21,38	1,32
<b>Industries</b>	3,34	0,36
<b>Agriculture</b>	3,01	2,88
<b>Usages domestiques</b>	5,68	1,44
<b>Total</b>	<b>33,4</b>	<b>6</b>

Comme le démontrent les chiffres, on peut constater que l'agriculture dépense une grande partie de l'eau qu'elle utilise à environ 95 %. Ces volumes sont alors absorbés par les cultures ou retournent dans l'atmosphère par évapotranspiration.

Cependant malgré ces chiffres importants en termes de consommation, le rapport entre la ressource disponible est assez moindre (190 milliards de mètres cubes). Dans son article « L'eau au centre des futurs enjeux agricoles : » *Paysans & société* N° 388 », Benoit Guillaume, mentionne des chiffres sur la consommation de bien agricoles par les Français, et notamment ceux issus de cultures irriguées. Ainsi, la moitié de ces produits consommés sont produits en France. Le reste de ces produits sont importés par d'autres pays, qui irriguent tout autant et qui consomment énormément d'eau pour

En m³ par habitant

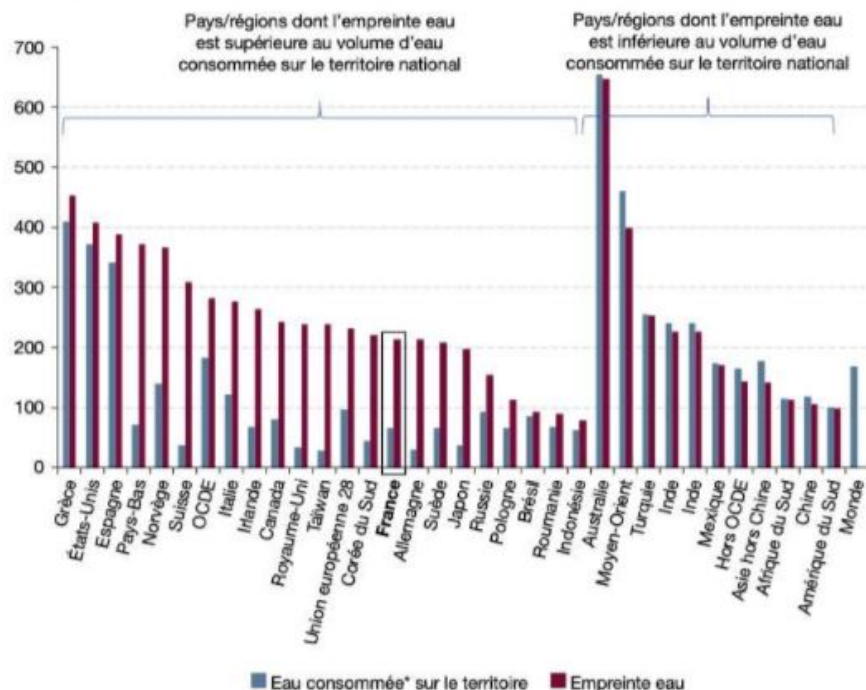


Figure 1 Volume d'eau consommé par personne et empreinte sur l'eau par pays. Les volumes d'eau représentent les volumes non restitués aux milieux aquatiques (Source : Eau et milieux aquatiques Les chiffres clés Édition 2020)

Graphique provenant de l'étude : Wood R., Stadler K., Simas M., Bulavskaya T., Giljum S., Lutter S. and Tukker A, 2018. Growth in Environmental Footprints and Environmental Impacts Embodied in Trade Resource Efficiency Indicators from EXIOBASE3. Journal of Industrial Ecology, Volume 22, Number 3, pp. 553-564. Traitements : SDES, 2019)

produire nos produits quotidiens. Selon le baromètre « empreinte H<sub>2</sub>O » ([www.empreinteh2o.com](http://www.empreinteh2o.com)) qui mesure l'empreinte sur l'eau, nous en consommons en France 150 litres par jour, mais les fabrications de nos biens et services utilisés chaque jour en représentent 4000 litres. Ils représentent les fruits et légumes, les textiles comme le coton, les matériaux et fabrications de nos objets du quotidien...

Comme on peut observer sur le graphique ci-contre, la valeur de l'empreinte eau est bien supérieure à l'eau consommée sur le territoire et cette tendance est commune à d'autres pays développés.

Cette donnée est à relativiser, car la pression sur l'eau et les stress hydriques sont différents pour chaque pays, la problématique intervient surtout lorsque les ressources importées nécessitent des prélèvements excessifs sur la ressource, même lorsqu'elle est en

période d'étiage. (Ministère de la transition écologique, 2020).

Les pays méditerranéens, du Sahel, l'Asie du Sud, ou encore l'Asie du Sud sont les plus fragiles face à cette ressource de par leur sécheresse plus longue et intense depuis les années 70. La provenance des denrées issues de ces régions est donc discutable compte tenu des pressions déjà existantes sur la ressource.

#### Comparaison du stockage des eaux par rapport à la disponibilité de la ressource France - Espagne

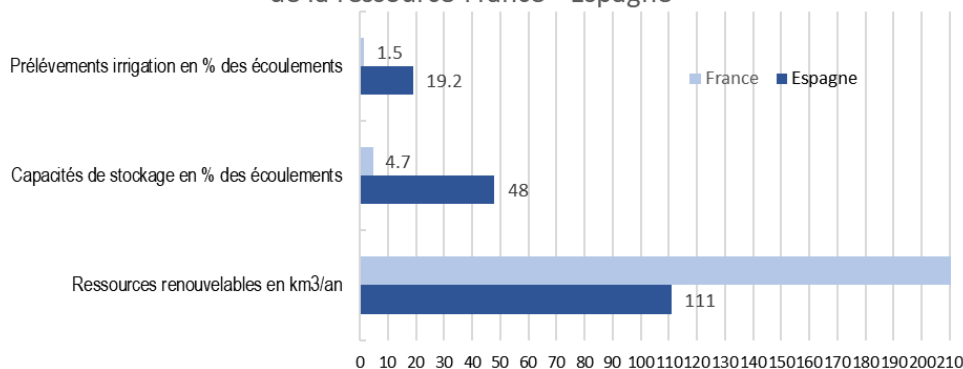


Figure 2 comparatif du stockage des eaux par rapport à la ressource renouvelable entre la France et l'Espagne. (Source : FAO Aqcastat)

Guillaume Benoit dit alors que la France contribue à l'assèchement des rivières des pays exportateurs.

L'objectif est ici de mettre le point sur la faible capacité de la France à stocker son eau disponible. En comparaison avec l'Espagne, la France stocke 4.7% de ses flux annuels contre 48% pour l'Espagne.

Sur les 210 millions de mètres cubes (Figure 2), elle devrait en utiliser près de la moitié pour assurer son autosuffisance alimentaire.

Le rapport du GIEC parle d'un « effet ciseaux » à prévoir dans les prochaines décennies. Il s'agit d'une augmentation des besoins en eau pendant la période estivale avec des périodes d'étiages qui vont s'accroître en durée et en intensité. On se retrouvera donc avec des possibilités de prélèvements amoindris pour une demande qui augmente (G. Benoit, 2021). L'une des solutions possibles pour limiter les prélèvements en rivière serait la rétention des eaux de ruissellement, issues des pluies non efficaces.

L'eau est une ressource convoitée et précieuse, elle est le support d'activités économiques, d'usage domestique, source d'énergie et support de biodiversité. Au cœur de nombreuses convoitises, elle peut être source de conflit lorsqu'arrivent les questions sur son usage et son stockage.

### 2.1.2.2 Des conflits d'usages et une précarité de la ressource

En France, comme dans de nombreux autres pays, l'irrigation et notamment les réserves d'eau qui lui sont destinées sont au cœur de nombreux conflits d'usages et de sociétés. Plusieurs études menées sur les retenues et barrages ont montré leurs effets parfois négatifs en cas de sécheresse longue, principalement pour les barrages positionnés sur les rivières, d'une façon à ce qu'il accentue la vulnérabilité des territoires en amont. La stratégie de retenue des eaux doit être donc adaptée localement et être accompagnée de mesure de réduction des usages. En effet comme on peut l'observer sur le graphique ci-contre, l'Homme, par son activité, amplifie ce phénomène. On parle alors dans certains cas de sécheresse anthropique (A. Aghakouchak et al, 2015), sécheresse résultante des prélèvements et stockages d'eau.

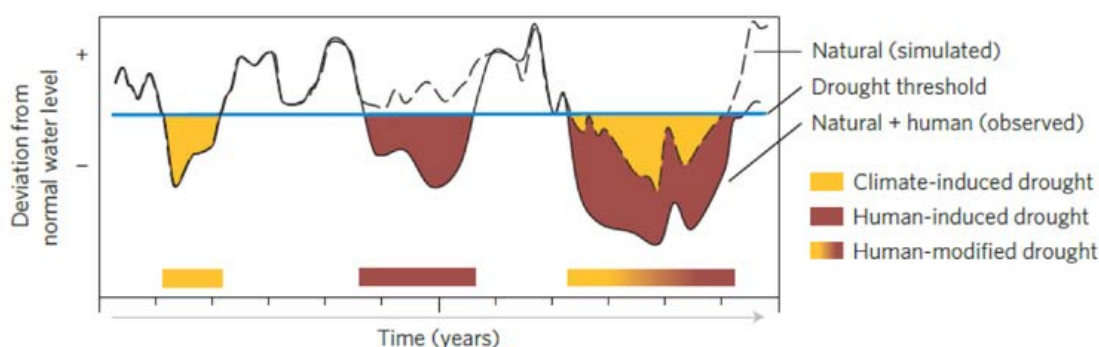


Figure 3 apparitions des sécheresses au cours d'une année et influence de l'activité humaine sur celle-ci (source : « Drought in the Anthropocene », *Nature Geoscience*, volume 9, pages 89–91 (2016))

Avec les périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes, La presse titre désormais couramment des articles montrant à la fois la pénurie d'eau et les risques pour les agriculteurs avec parfois l'existence de conflits :

- *La sécheresse devient structurelle en Belgique : « Cela devient récurrent, mais celle-ci est la pire que l'on n'ait jamais eue »* (libre.be)
- *Sécheresse : dans l'Avesnois, la pluie se fait attendre par les agriculteurs* (France 3)
- *Sécheresse La pluie manque dans plusieurs régions, les agriculteurs s'inquiètent.* (Terre-net)
- *Après la sécheresse, « ultime bataille » de l'eau dans le marais poitevin* (Terre-net)

On y retrouve également chaque année de nombreux « arrêtés sécheresse » qui entraînent des restrictions d'eau pour l'ensemble des usagers. Ce sont près de 80



départements, chaque année, qui sont concernés par ces restrictions. De nombreuses communes sont reconnues en état de calamité agricole lors des épisodes de sécheresse.

Les conflits sont régulièrement présents lors de la présentation de projet de stockage d'eau ayant pour objectif une utilisation agricole. On en retient différents types de projets, à savoir les retenues déconnectées d'un réseau et les barrages, situés quant à eux sur un cours d'eau.

Les barrages ne sont destinés qu'à 18% pour l'irrigation (CFBR, sans date), cependant de nombreux projets ont été proposés dernièrement. L'un des plus connus est le cas du Barrage de Sivens. Les principaux faits reprochés sont communs à l'ensemble des barrages. Les effets néfastes relevés sont la modification du régime hydrologique sur le bassin versant, car les eaux retenues en amont ne se retrouveront pas en aval pour alimenter les zones humides, les débits des rivières ou recharger les nappes phréatiques. L'impact de celle-ci est réparti alors sur l'ensemble de la vallée. On retrouve également l'action de canaliser les eaux, pour qu'elles s'accumulent vers un même point en vue de la stocker. Cela aurait des conséquences alors sur la ressource sur l'aval de ces retenues qui s'infiltrerait moins dans les terres. Les retenues d'eau agricoles ne bénéficient pas d'une bonne image au sein de la population du fait de nombreuses contestations et oppositions par des associations et les citoyens locaux. L'impact de ces retenues étant généralement réduit par des mesures compensatoires, avec la création de zones humides, comme c'est le cas pour le barrage de Sivens. Elles sont parfois jugées insuffisantes ou irrationnelles, notamment dans le cas où la retenue est créée sur des zones naturelles humides. La création de mares en compensation ne permet pas de rétablir et de redévelopper autant la biodiversité que les sites détruits par la retenue.

On retrouve ensuite les retenues d'eau située hors des barrages, souvent artificielles et dont la provenance des eaux est variée, celles-ci peuvent être pompées dans les nappes, prélevées des rivières ou captant les ruissellements. Dernièrement, en l'été 2021, un projet en cours de réalisation a été assez médiatisé par les nombreuses contestations. Il s'agit du projet des « Retenues de substitution d'irrigation dans les Deux-Sèvres », en France. Il s'agit de la construction de 19 retenues remplies par pompes, en majorité dans les nappes. Le volume cumulé de ces 19 retenues représentera 8,65 millions de m<sup>3</sup> afin d'assurer l'irrigation en période d'étiage. (H. Aysphassorhoo et R. Renoult ,2018)

Ces réserves sont artificielles et n'ont que pour rôle le stockage d'eau douce, sans offrir réellement d'autres services écosystémiques. Les principaux faits reprochés sont la rupture des équilibres des écosystèmes du Marais Poitevin par la modification des apports en eau. (E. Tournon, 2021). Les volumes prélevés sont aussi estimés comme excessifs et limiteraient les prélèvements d'eau potable par les collectivités locales.

D'un point de vue méthodologique, il est aussi reproché un manque de concertation entre les différents usages et sur les quantités prélevées. Un manquement qui est mal vu, étant donné qu'il s'agit d'un projet de territoire dont les impacts et bénéfices sont assez larges. Des critiques ont aussi été faites sur l'agriculture intensive et sur le fait qu'elle soit favorisée grâce à la création de ces retenues.

*« Les bassines servent à maintenir sous perfusion un modèle agricole complètement obsolète » Marie-Monique Robin, journaliste, écrivaine, 20 septembre 2019*

Les impacts énoncés peuvent être réduits en fonction de la stratégie d'implantation et de la collecte des eaux sur le milieu, mais aussi par l'évolution des pratiques agricoles.

Par exemple, des retenues sous forme de zones de rétention temporaire des eaux ou des étangs. Sur ces retenues, les prélèvements seraient réglementés afin de pouvoir créer un habitat de zone humide tout en offrant une possibilité de prélèvements pour les agriculteurs. Une part de ce volume d'eau, selon la nature du sol, s'infiltrerait dans les nappes et participerait à sa recharge. Le remplissage s'effectuerait davantage en hiver et donc les possibilités de prélèvements seraient calculées à partir de ces apports. Cela permettrait de définir une quantité prélevable et une quantité minimum dans la retenue pour assurer la pérennité du milieu écologique et ne pas le rendre à sec.

Dans l'agriculture de demain, quels seront les enjeux de la retenue d'eau pour l'irrigation afin qu'elles s'insèrent dans un projet de territoire concerté ?

### **2.1.2.3 L'enjeu de l'irrigation et son impact dans nos paysages :**

#### *2.1.2.3.1 Quelques chiffres :*

En l'état actuel, en France, l'irrigation est devenue quasi nécessaire pour une très grande partie des productions à forte valeur ajoutée, c'est-à-dire le maraîchage, l'horticulture, la production de légumes pour l'industrie, etc.... On a également les grandes cultures qui sont irriguées, avec environ 40 % de maïs, soja et pomme de terre ; 15 % du blé et 12 % des cultures de betterave. Avec les prévisions climatiques (Partie ), ces chiffres devraient augmenter de manière significative (Benoit, 2021).

La quantité d'eau utilisée par hectare diminue de plus en plus grâce à l'efficacité des systèmes utilisés. Selon André Bernard, président de la chambre d'agriculture de la Provence Alpes Côte d'Azur, nous sommes passés de 30 à 40 m<sup>3</sup> par hectare à 2 m<sup>3</sup>.

Afin de donner des ordres de grandeur quant aux usages de ces eaux issues du stockage, on retrouve par exemple la grande réserve de Juanon dans la Drôme, qui peut retenir jusqu'à 700 000 mètres cubes qui sont utilisés pour les agriculteurs (150 exploitations dont une vingtaine ont été sauvées grâce à l'irrigation. Cet ouvrage est monumental et correspond à une demande plus importante ainsi que des prélèvements d'ores et déjà plus présents que dans le nord de la France. Elle a pour objectifs de diminuer les prélèvements dans la rivière de la Drôme pendant les périodes d'étiage et donc les effectue pendant l'hiver.

Dans la Drôme, les réserves sont gérées par les communes et les élus, permettant d'assurer un bon usage des eaux. Ainsi, 2000 exploitants en bénéficient, 12 000 particuliers et les communes pour les espaces verts. L'eau y est tarifée à 12 centimes d'euros par mètres cubes pour les particuliers. Ces multi-usages permettent de limiter les conflits cependant, l'impact sur les milieux peut toutefois être limité ou compensé. Ce type de réserve étant artificialisé n'offre pas d'intérêt en termes de biodiversité dans nos paysages, et contribue à la dégradation du réseau hydrographique dont le débit est réduit en période d'étiage. En outre, la fédération des pêcheurs de la Drôme juge l'impact trop élevé. Nous verrons par la suite de ce dossier que les besoins ne sont pas les mêmes dans la région étudiée et que d'autres opportunités en termes d'aménagement de retenue d'eau peuvent s'offrir afin de concilier nature et prélèvements d'eau.

#### *2.1.2.3.2 Une irrigation dans le cadre d'une stratégie agricole d'aménagement de nos territoires*

L'irrigation permet de maintenir la résilience de l'agriculture face aux changements climatiques qui permettront par la suite d'éviter certaines importations et de diversifier les productions de nos territoires. L'objectif est de maintenir une activité rentable et de sécuriser les revenus des agriculteurs. L'agriculture étant une activité et un support économiques importants, il se doit de mettre en œuvre des solutions afin de la conserver tout en conciliant les différents intérêts territoriaux.

L'enjeu est que, lorsqu'elle est jugée nécessaire, elle doit être la moins contraignante possible vis-à-vis de son environnement et elle doit effectuer en complément d'autres solutions visant à réduire l'utilisation d'eau dans les parcelles. Elle doit se trouver en addition à de nouvelles pratiques agricoles telles que l'agriculture de conservation des sols, l'utilisation de cultures adaptées et un ensemble d'aménagement permettant de maintenir l'eau dans les sols tels que l'implantation de haie, etc.

Une fois ces actions menées, alors l'irrigation dite de « résilience » peut être effectuée sur des territoires qui sont jugés nécessaires. C'est là qu'interviennent les ouvrages de stockage d'eau couramment appelés bassines pour leur aspect inerte. Cela provient en général de l'artificialisation de ces retenues, cependant, elles peuvent aussi être plus naturelles dès que le sol a des capacités à retenir les eaux de manière superficielle grâce à la faible perméabilité de ses sols et une topographie adéquate permettant la création de retenue qui capte les ruissellements.

En matière de stratégies agricoles, on en observe deux différents types : le « Land Sharing » et le « Land sparing » qui sont possible et envisagé sur nos territoires. Bien entendu, les territoires sont souvent composés d'un mixte de ces stratégies et correspondent à des types d'exploitations et à leur orientation. (Conventionnel, agriculture de conservation des sols, extensive...).

Dans le cadre d'une production équivalente, le « Land Sharing » ou partage des terres, s'engage dans des pratiques biologiques et de conservation avec la pratique d'agroécologie et agroforestière. Cela engendrera soit une augmentation des surfaces cultivées, aux dépens d'espaces naturels, de forêts ou de prairies. Une réduction de la demande alimentaire du pays ou alors une hausse des imports en aliments qui aurait alors un impact sur les autres pays.

Le « Land sparing » ou économie des terres est quant à lui en faveur d'une augmentation des rendements sur les terres les plus productrices à l'aide de l'agriculture de précision ou de l'agriculture raisonnée. Les terres les moins rentables seraient alors abandonnées dans un objectif de les réensauvager en faveur de la biodiversité. [Stoop. P, 2020]

Ces deux stratégies agricoles ont toutes les deux pour objectifs d'augmenter la biodiversité, mais celle-ci serait différemment répartie sur le territoire. D'un côté, on aurait la biodiversité incluse dans les systèmes agricoles tandis que dans l'autre elle serait bien davantage exclue des espaces agricoles, mais aurait des espaces qui lui serait totalement destinée.

Selon Green et al., 2005 la pratique du « land sharing » entrainerait une baisse de la qualité et de l'identité de nos paysages du fait de la « disparition » de prairies et espaces naturels. Toujours selon Green et al., l'extensification de l'agriculture entrainerait une augmentation de la vie microbienne du sol, mais diminuerait la biodiversité au-dessus des sols.

On voit donc que chaque agriculture a sa place sur nos territoires, et que ces deux stratégies finalement se complètent et forment un équilibre. La rentabilité de l'agriculture fait d'elle-même l'équilibre entre ces stratégies. Les territoires hautement



productifs où les surfaces agricoles sont importantes et de grande ampleur, des espaces peu productifs qui générerait trop d'externalité négative qui sont donc délaissés au profit d'autres productions de service écosystémiques. Et pour finir, on a les espaces intermédiaires gérés de manières plus extensives qui sont une sorte de compromis entre les deux.

L'irrigation entrerait davantage dans la stratégie territoriale de haute production, car maximiserait les rendements sur nos territoires grâce notamment à l'agriculture de précision. Toutefois, ces retenues pourraient être des réservoirs de biodiversité grâce au caractère humide de celles-ci. Elles permettraient de renforcer les maillages et de participer au développement de la nature dans les grandes plaines agricoles. Les infrastructures de stockage d'eau seraient donc davantage au service de l'agriculture intensive et permettraient d'y inclure de nouveaux services écosystémiques dans ces paysages.

L'objectif est de connaître par quels moyens retenus peuvent être mieux intégrés dans nos paysages productifs en fournissant davantage de services écosystémiques que ce soit dans des paysages de production intensive ou d'autres, davantage extensives, ou comprenant des milieux naturels ou zones humides à proximité. La biodiversité pourrait-elle avoir sa place dans ces aménagements à vocation agricole.

## 2.2 LES BESOINS D'EAU EN AGRICULTURE ET L'ÉVOLUTION DE LA RESSOURCE EN FONCTION DES PRÉVISIONS CLIMATIQUES

### 2.2.1 Les cultures et leurs besoins.

Dans le nord de la France, on retrouve en grande partie des cultures de céréales, pomme de terre, betteraves ainsi que des prairies sur les territoires qui sont moins adaptés à ces grandes cultures.

Ces cultures nécessitent ou nécessiteront, dans certains cas, une irrigation. L'agriculture irriguée est plus productive que l'agriculture dite pluviale (FAO, 2012). Cela est donc à prendre en considération dans le cadre des stratégies agricoles précédemment énoncées. Il arrive parfois que l'irrigation soit une obligation présente dans les contrats industriels, notamment de légumes. Ceux-ci sont présents afin d'être sûr de la qualité et des rendements des produits (germination, croissance, qualité gustative). Il est donc difficile d'imaginer la suppression de ces obligations compte tenu des prévisions climatiques et de l'accroissement des phénomènes de sécheresse. Pour les cultures de pomme de terre, 90 % des contrats de production sont irrigués.

Les besoins d'irrigation sont au-delà de l'apport hydrique, elle peut être mobilisée afin de protéger contre les coups de chaleur ou pour limiter le gel grâce à l'énergie absorbée par l'eau et non pas par les plantes. (Drastig et al. 2012) Elle peut aussi être utilisée pour faciliter les arrachages des cultures de tubercules ou de racines.

Concernant l'élevage, les quantités sont plus difficiles à évaluer, car les prélèvements sont variés et sont donc difficiles à mesurer. Ils représenteraient environ 15 % des usages d'eau pour l'agriculture, en grande partie pour l'abreuvement du bétail. On retrouve cette problématique liée au fourrage et à l'abreuvement dans des

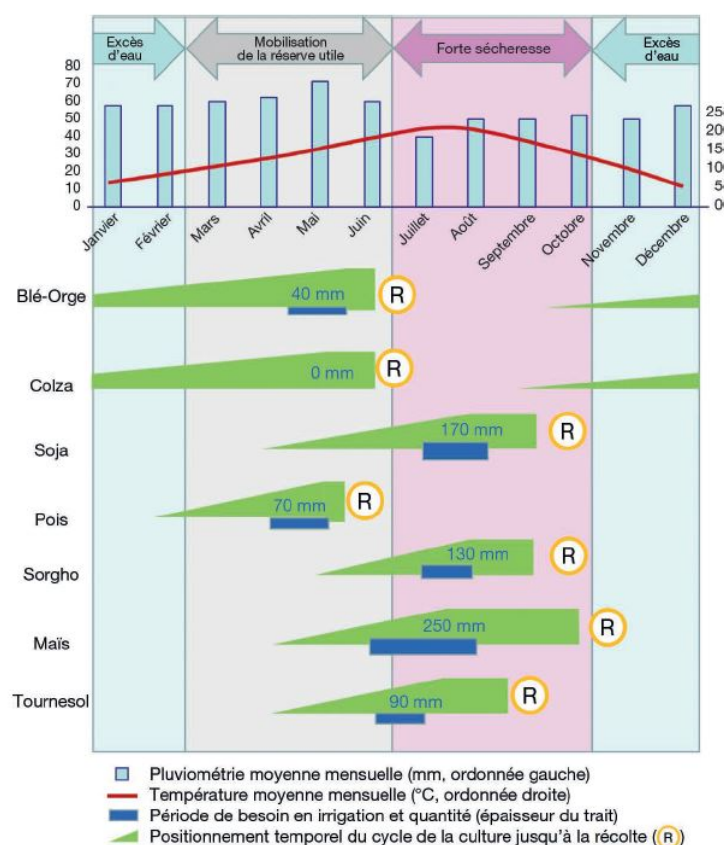


Figure 1.4. Positionnement temporel et besoins en irrigation des principales grandes cultures sous les conditions pédoclimatiques de Toulouse, pour un sol de 150 mm de réserve en eau.

Figure 4 Besoins en irrigations des plantes au cours d'une année. (Conditions pédoclimatiques de Toulouse, 150 mm de réserve en eau) (source : Leenhardt, Delphine, Marc Voltz, et Olivier Barreteau. 2020. L'eau en milieu agricole.

territoires tels que les Ardennes ou l'Avesnois. Comme le montre le graphique ci-contre, on retrouve des besoins en irrigation allant du mois d'avril à mi-août. Avec un pic des besoins sur la période estivale pouvant nécessiter une quantité d'eau importante et sur la durée. Le maïs reste la culture la plus demandeuse en eau, avec 250 mm répartis sur 3 mois, viennent ensuite le soja et le sorgho. Bien que ne soit pas présentée dans le graphique, la betterave sucrière est également une culture qui nécessite de l'irrigation en période de sécheresse.

Ces données nous permettent de justifier le remplissage de ces retenues d'eau avec les excédents d'eau en hiver, lorsque cela le permet pour la rendre disponible en été, lors des périodes de sécheresse. (Leenhardt, et al, 2020)

Bien que les données soient liées à un autre climat, elles permettent d'évaluer les besoins, surtout avec l'évolution du climat de notre zone d'étude. Quelles sont les évolutions du climat et quels impacts auront-elles sur l'agriculture ?

Il est difficile d'évaluer les quantités nécessaires à l'avenir,

l'évolution du climat tend à augmenter ces besoins tandis que les nouvelles pratiques agricoles et l'évolution des variétés tendent à les diminuer. La retenue de substitution permettrait alors de subvenir à certains besoins, de par sa complémentarité avec d'autres pratiques mises en œuvre, tout en créant de nouveaux services sur le territoire.

## 2.3 UN CLIMAT QUI FORCE LE TERRITOIRE À S'ADAPTER

### 2.3.1 État actuel

On constate ces dernières années les impacts du changement climatique avec notamment des événements extrêmes plus fréquents et qui devraient alors s'intensifier davantage dans les prochaines décennies.

Lors de ces 3 dernières années, nous avons fait face à des épisodes de sécheresse, en période estivale, sans précédent. Ainsi dans la région, des arrêtés sécheresse sont réguliers au cours de ces derniers étés afin d'appliquer des restrictions d'usages en eau. Hormis les restrictions pour les usages domestiques, on retrouve des restrictions pour les usages agricoles avec des restrictions concernant l'irrigation [limitation des périodes irriguées]. On retrouve également une baisse importante du niveau des nappes lors de la période estivale dont les prélèvements doivent alors être raisonnés (Préfecture du nord, 2020).

Au niveau des précipitations, le bilan hydrique annuel reste équivalent avec une moyenne entre 700 et 800 mm par an. Cependant nous faisons face à des précipitations orageuses très intenses et inégalement réparties sur le territoire. On se retrouve alors avec des périodes excédentaires, telles que la période hivernale, mais avec aussi des périodes déficitaires lors des canicules. (Météo-France, 2021). Sur la région Haut de France, en 2020, un déficit de 63 % a été observé pendant la saison estivale.

Les événements climatiques actuels entraînent des baisses de rendement agricoles, avec notamment pour la grande culture une baisse de 9 % en moyenne pour les années sèches (Agreste, 2020).

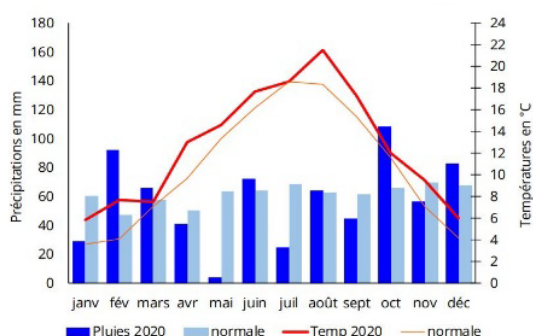


Figure 5 Station LILLE — LESQUIN Températures et précipitations (Source : Météo-France)

### 2.3.2 Prévisions climatiques

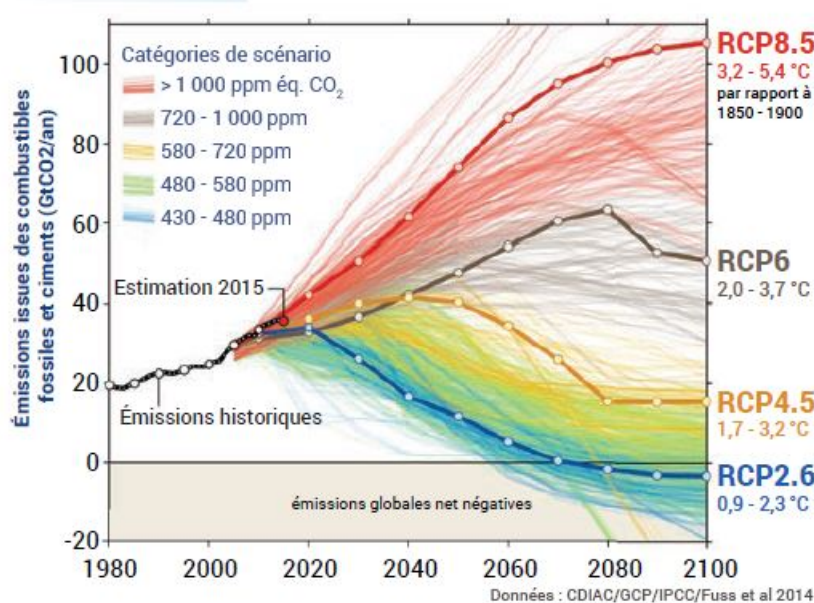


Figure 6 Émissions de gaz selon les différents scénarios (Source : Météo-France)

Les données prévisionnelles climatiques issues de la nouvelle étude menée par Météo-France en 2020 montrent clairement des changements climatiques à long terme, qui varient selon 3 scénarios, à savoir les RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5.

Le scénario RCP 2.6 est le scénario qui met en image l'accord international de Paris de 2015 vis-à-vis des mesures à apporter sur le changement climatique qui limiterait en réchauffement climatique à +2 °C.

Le scénario 4.5 est un scénario intermédiaire, avec des émissions

qui visent à se stabiliser au bout de quelques décennies, et ensuite diminuer, on aurait alors une hausse des températures comprises entre 1,7 °C et 3,2 °C.

Le scénario 8.6 est quant à lui un scénario extrême qui prévoit entre 3,2 °C et 5,4 °C supplémentaires. Pour mon travail de fin d'études seront utilisées les valeurs concernant le RCP 4.5, car il s'agit d'un scénario intermédiaire faisant part d'une prise de conscience des politiques et des habitants face aux enjeux climatiques. Il permet d'avoir des valeurs intermédiaires permettant une meilleure adaptation en fonction des évolutions climatiques qui seraient observées.

Les 3 données principales à prendre en compte pour l'agriculture sont la température, les précipitations et les gelés. En effet, les réserves d'eau agricoles peuvent aider à répondre en partie à ces divers changements et peuvent participer, à leur échelle à la régulation du climat par le biais des services écosystémiques qu'elle offre.

### 2.3.2.1 Températures et vagues de chaleur

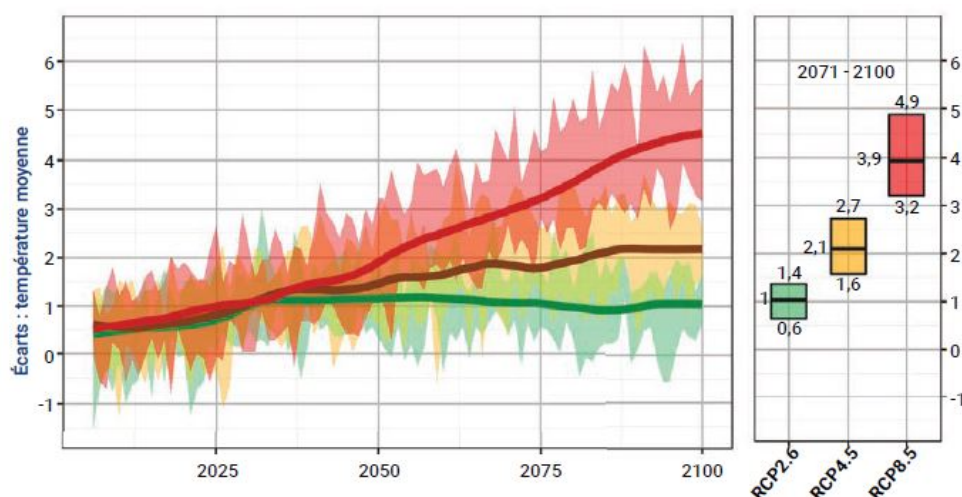


Figure 7 Évolutions des températures selon les différents scénarios climatiques par rapport à la référence 1976-2005 (Source : DRIAS, 2020)

à 25 jours par an). Cet accroissement va augmenter la vulnérabilité des végétaux, notamment par le stress hydrique ou les coups de chaleur.

Parmi les prévisions de hausse de températures, selon le scénario RCP 4.5, les prévisions comme dites précédemment seraient de l'ordre de 1,7 à 3,2 °C. Cette hausse par ailleurs plus importante en été. Cela aura alors un impact sur l'intensité des épisodes de sécheresse avec une augmentation de 30 à 50 % jusqu'à la fin du siècle.

Les vagues de chaleur pourront également être multipliées par 3 et le nombre de nuits tropicales sera également bien supérieur (15



### 2.3.2.2 Précipitations

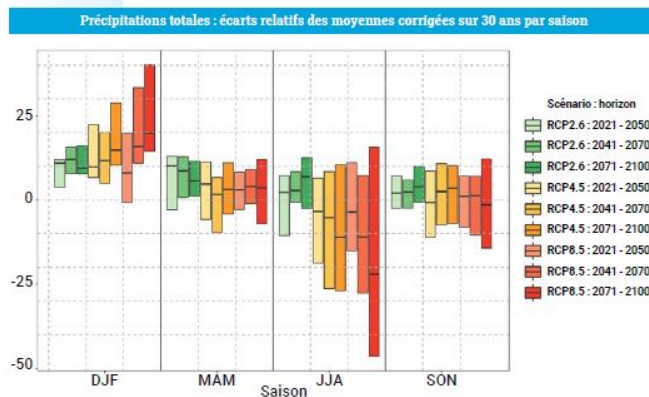
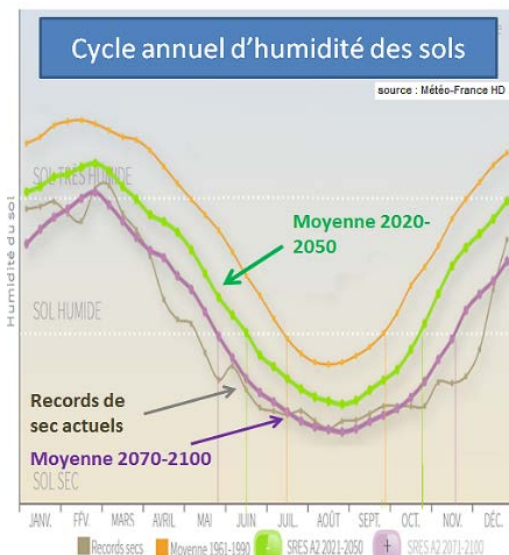


Figure 8 cumuls des précipitations estimés par saison selon les différents scénarios par rapport à la référence 1976-2005 (source: DRIAS, 2020)

certain cas, encore des inondations. Il serait alors intéressant d'étudier quels bénéfices pourraient apporter les réserves d'eau agricoles face à la gestion de ces crises. La réserve d'eau agricole peut-elle contribuer à réduire les risques d'inondation? En effet, en captant les eaux excédantes, cela réduit le risque de crues/inondations en fond de vallée.



Combinée aux vagues de fortes chaleurs, on peut observer sur la Figure 9 Humidités des sols selon les scénarios climatiques (source :(<https://météofrance.com/climathd>) » que les normales de périodes de sécheresse en 2070-2100 seront les records actuels. Même sur la période de 2020 – 2050, cet accroissement a lieu, où les sols secs seront présents de juin à fin octobre.

Figure 9 Humidités des sols selon les scénarios climatiques (source :(<https://météofrance.com/climathd>)

### 2.3.2.3 Gel

Les prévisions concernant les vagues de froid donnent, une baisse du nombre de jours, peu importe le scénario. Cependant, leur intensité en sera très variable selon le scénario. On pourrait avoir dans le nord de la France une diminution de l'ordre de -20 jours de gelées par an. Les gelées tardives se sont montrées particulièrement destructrices ces dernières années sur certaines cultures et vergers.

L'évolution de ces jours de gelées a également un impact sur les réserves d'eau agricoles étant donné que l'eau d'irrigation peut également servir à protéger les cultures contre le gel dans certains cas.

#### 2.3.2.4 Conclusion :

L'ensemble de ces données montre une évolution assez inquiétante du climat avec des conséquences importantes sur le cycle de l'eau, les milieux agricoles et naturels. Ces changements vont également être impactés en corrélation avec d'autres paramètres tels que les changements de régime alimentaire, les nouveaux usages de l'eau, la hausse de population, les nouvelles pratiques agricoles, la politique agricole, etc.

Ces paramètres vont donc être accompagnés par d'autres, qui doivent alors faire partie d'une stratégie d'ensemble dans le cadre de l'adaptation face au climat.

Les quantités disponibles par rapport à maintenant seront différentes et différemment réparties au cours de l'année, mais aussi sa consommation.

Dans le rapport « *Changement climatique, eau, agriculture. Quelles trajectoires d'ici 2050 ?* ». On note ces éléments particulièrement marquants.

- « Une baisse des débits moyens annuels des rivières, comprise entre -10 % et -40 % particulièrement prononcés sur les bassins Adour-Garonne et Seine Normandie.
- Une réduction des débits d'étiage : tous les modèles projettent des étiages plus sévères sur les exutoires des grands bassins versants avec des résultats hétérogènes (suivant que le cours d'eau soit alimenté ou pas par la fonte des neiges) : baisse de 50 % pour la Garonne (Garonne 2050) et 30 à 40 % pour la Seine (en 2070).  
[...].
- Des évolutions incertaines des débits hivernaux, du fait notamment de la forte variabilité dans les projections.
- Une baisse du niveau moyen des nappes, liée à la baisse de la recharge (à l'exception des nappes captives). » H. Ayphassorhoo et Al .2020.

Cela aura donc des conséquences également sur les milieux humides et notamment les têtes de bassin qui seront plus vulnérables à ces changements et sur l'ensemble de cours d'eau.

Les réserves d'eau sur le territoire auront pour objectifs d'offrir le maximum de services vis-à-vis de ces changements et auront un rôle de résilience pour l'agriculture tout en créant de nouveaux milieux et écosystème, pour plus de diversité sur nos territoires.

### 2.3.3 Problématiques du changement climatique sur les espaces ruraux :

---

Les changements climatiques précédemment décrits auront un impact sur nos territoires, et ce, à plusieurs échelles. On aura une nouvelle vulnérabilité sur les territoires ruraux dus aux déséquilibres de la ressource eau au cours de l'année ainsi que sur la hausse des températures.

#### 2.3.3.1 Dégradation des milieux écologiques [faune et flore]

Les milieux naturels sont impactés par ces changements climatiques sur plusieurs ordres. En effet ils vont être impactés sur les caractéristiques physiques du milieu, mais aussi sur leur biodiversité. Dans un premier temps, on pourra observer, sur les milieux,

notamment humides une diminution de l'humidité des sols lors des périodes de sécheresse, ayant un fort impact sur leur équilibre. Les milieux marécageux sont d'ores et déjà sensibles face aux épisodes de sécheresse de plus en plus récurrents. Ayant des impacts sur leur équilibre ; leur dégradation s'accroît.

Au niveau des espèces, on a également une modification de leur aire de répartition. De futurs troubles sur l'équilibre de la faune et la flore existante seront liés à l'apparition d'espèces invasives ou à l'apparition/disparition de nouveaux peuplements liés aux nouvelles conditions des milieux. L'implantation de retenues pourrait soutenir les habitats d'espèces vulnérables et participer aux réseaux écologiques.

### 2.3.3.2 Impacts sur l'agriculture.

Les impacts sur l'agriculture ne sont également pas des moindres et cela concerne les gelées, les hausses de températures, les modifications des précipitations et les aléas climatiques plus importants.

L'agriculture va avoir davantage de risques liés aux aléas climatiques tels que l'augmentation des tempêtes, les stress hydriques liés aux périodes de sécheresse ou les inondations des parcelles.

On retrouve également un effet sur les rendements, avec davantage de pression et d'incertitude quant aux résultats chaque année. Selon la hausse des températures, on pourrait avoir dans un premier temps une augmentation de certains rendements avec une augmentation modérée de la température, mais si celle-ci devient plus importante on aurait une baisse de ces rendements. Ces variations augmentant dans les années futures, l'irrigation se verra indispensable dans certaines régions.

Un autre impact concerne la pression maladie et les parasites qui pourraient être plus importants. Ayant encore une fois un impact sur les rendements et sur l'incertitude des productions chaque année. Une incertitude de production pour les agriculteurs peut entraîner une diminution de l'activité et de la production. Selon le témoignage d'un agriculteur sur un réseau social, Antoine Thibault, « *si l'espoir de récolter n'est pas présent, le semis ne sera pas effectué. D'ores et déjà des terres sont abandonnées, car plus pauvres et le climat incertain ne permet pas d'assurer toujours une production* ». L'activité agricole peut être menacée par ces changements climatiques. Une partie de ces productions peuvent être sécurisées, grâce à l'irrigation, au développement de nouvelles variétés et mesures agroenvironnementales et climatiques. L'usage viendra en complément de ces mesures pour limiter au maximum l'usage des eaux et de limiter les quantités stockées liées à cet usage. Le projet de recherche CLIMATOR a conclu pour la région Centre-Nord de la France une baisse du cumul des précipitations avec une augmentation puis une baisse des rendements en blé, une stagnation des rendements en colza et une augmentation des rendements de maïs. Cependant, des besoins en eau d'irrigation seront nécessaires dans un futur pas si lointain (Inra, 2016). « *Là où le prélèvement sur les cours d'eau et les nappes ne sera pas soutenable, il faut s'attendre, sauf à accepter la disparition de l'agriculture (avec des dommages environnementaux collatéraux importants), à ce qu'il faille développer des capacités supplémentaires de stockage pour la soutenir.* » MM. Ronan DANTEC et Jean-Yves ROUX, 2019. Cette citation issue du rapport « *Adapter la France aux dérèglements climatiques à l'horizon 2050 : urgence déclarée* » montre bien la nécessité future de développer des réserves d'eau sur nos territoires pour conserver l'agriculture sur nos territoires.

## 2.4 UNE SOLUTION TERRITORIALE : LES RETENUES D'EAU COLLINAIRES

Afin de répondre à cette demande en eau croissante, l'une des solutions évoquées est la création de retenue qui permet un stockage en surface. Les prélèvements de la ressource peuvent être effectués de différente façon dans les milieux, par pompage dans les nappes, prélèvements dans les cours d'eau ou en collectant les ruissellements. C'est sur cette dernière option que le travail se portera et elle fera l'étude des solutions d'insertion dans nos paysages agricoles. Quels paramètres et aménagements permettent de réduire leur impact et d'augmenter leurs capacités à fournir des services écosystémiques. La localisation sur les territoires est un point déterminant sur l'intégration dans nos paysages de ces retenues d'eau.

### 2.4.1 Les retenues d'eau, définition

Les retenues d'eau sont des ouvrages permettant de stocker les eaux sur un territoire afin de la rendre disponible sur ce territoire lorsque cela est nécessaire, c'est-à-dire lors des pénuries (État de sécheresse, niveau piézométrique bien inférieur à la normale, etc.) L'un des premiers usages est le prélèvement pour l'irrigation, cependant d'autres usages sont possibles comme on a pu le voir auparavant, avec la fourniture d'eau pour les particuliers et les collectivités.

Ces retenues sont dites de substitution, car elles permettent de prélever les eaux en période où celle-ci est abondante (2.3.2.2) et la restituer en période d'étiage. Cela permet, dans le cas où les prélèvements sont nécessaires coûte que coûte de limiter l'impact sur le réseau hydrologique et de perturber au minimum leur équilibre.

On retrouve plusieurs définitions concernant les retenues d'eau. Celles-ci bénéficient d'un statut spécifique en termes d'aménagements et donc de réglementation. On retrouve ici deux définitions qui permettent de catégoriser ces infrastructures de stockage.

*« Toutes les installations ou ouvrages permettant de stocker de l'eau (réserve, stockage d'eau, plan d'eau, étang, retenues collinaires, retenues de substitution) quel que soit leur mode d'alimentation (par un cours d'eau, une nappe, par une résurgence karstique ou par ruissellement et quelques soit leur finalité (agricole, soutien à l'étiage, usage AEP, maintien de la sécurité des personnes, autres usages économiques) ».* (Guide juridique construction de retenues, ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2011)

*“Une retenue collinaire est hors cours d'eau. Il s'agit d'un ouvrage permettant de stocker de l'eau et dont le remplissage se fait soit en période de pluies par ruissellement des eaux, soit par alimentation gravitaire depuis le cours d'eau, avec souvent seul un débit minimum pour assurer la continuité hydrique du cours d'eau. Ce terme n'est pas employé lorsque le remplissage est actif depuis un cours d'eau ou une nappe.”* (Agence de l'Eau RMC, 2020).

Ces définitions permettent de cadrer l'implantation et l'usage de ces retenues dans nos paysages. Ce stockage peut être très artificiel avec la mise en place de bâches ou alors très naturelle dès que les caractéristiques le permettent. Ce sont ces caractéristiques qui seront recherchées par l'étude afin d'insérer les ouvrages dans leur environnement et d'apporter un maximum de services écosystémiques. Ces critères



biophysiques recherchés en premier lieu dans le cadre d'une étude d'implantation sont le relief, le sol, l'hydrologie et les potentialités du site. Ensuite viendront les moyens financiers déployés, et les techniques utilisées, qui ne seront pas repris dans cette étude.

#### 2.4.2 Le cadre législatif

---

Les prélèvements d'eau sont soumis à des réglementations précises et de nombreuses lois sont présentes afin de cadrer les usages de l'eau ainsi que sa qualité, et la protection des milieux aquatiques et humides.

Le caractère multidimensionnel de l'eau a été reconnu dans le début des années 1900 aux États-Unis. En effet, une commission a été créée afin de prendre en considération les usages des rivières, des barrages hydroélectriques du transport et de l'irrigation. En France, c'est à partir des années 60 que les préoccupations ont été plus importantes sur la ressource eau.

##### Les lois sur l'eau

- La **loi sur l'eau**, en 1964, qui a organisé la gestion de l'eau par bassin versant. Cela a permis la création d'agences de l'eau et de comités de bassin. L'objectif est ainsi de fixer des objectifs de qualité par cours d'eau. Le territoire est alors divisé en 6 bassins hydrographiques. Les agences de l'eau ont un rôle exécutif tandis que les comités ont un rôle consultatif. Cette loi porte sur les usages de l'eau, dont l'eau potable et sur sa pollution. C'est ainsi qu'est introduite la notion de "pollueur-payeur".
- La **loi du 3 janvier 1992** reconnaît l'eau comme "patrimoine commun de la nation". Cela a permis de renforcer les compétences des communes sur leur gestion de l'eau, notamment concernant leur épuration et leur collecte. Elle instaure également un nouveau système de gestion de la ressource par le biais du "schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux" (SDAGE) et du "schéma d'aménagement et de gestion des eaux" (SAGE). Elle prévoit aussi la création de communautés locales de l'eau, qui apparaîtront en 1994.
- Le **11 mars 1992**, l'agriculture est considérée dans les agences de l'eau. Une redevance sur la pollution par nitrate va être instaurée dans les années qui suivent.
- La **directive-cadre 2000/60/CE**, qui s'inspire de la loi française de 1964.
- **Loi de l'eau et des milieux aquatiques (LEMA)**, 30 décembre 2006. Elle a pour but de rendre la réalisation d'un objectif de la directive européenne du 23 octobre 2000, à savoir, le bon état écologique de l'eau. Elle veille au bon partage de la ressource, sa gestion quantitative, à la réduction de sa pollution et la restauration des milieux aquatiques.
- La **loi Grenelle II**, 12 juillet 2012, faisant suite à l'engagement national pour l'environnement. Elles ont pour principal objectif un apport pour la biodiversité. En effet, elle souhaite la préserver et faciliter son développement dans nos territoires. On trouve alors la Trame verte et la Trame bleue qui ont pour objectif de relier les territoires entre-deux pour permettre le développement de la faune et la flore tout en permettant une migration aisée de celle-ci. Notamment avec la vue des changements climatiques.
- La **nouvelle organisation territoriale de la République (Loi NOTRe)**. Elle donne aux régions la possibilité de s'attribuer l'animation et la concertation concernant la gestion et la protection de la ressource lorsque des enjeux

sanitaires et environnementaux sont présents entre les sous-bassins hydrographiques dans la région. (Duclos-Grisier et al., 2019).

Concernant la réglementation irrigation :

- La **Loi sur l'eau** qui met sous procédures la création de ces réserves. Les réserves d'eau sont soumises à des autorisations dès que la surface est supérieure à 3 hectares. Si elle est comprise entre 1000 m<sup>2</sup> et 3 ha, elle doit simplement être déclarée. Les réserves localisées en zones humides ne sont plus autorisées sauf dans certains cas.
- D'un point de vue urbanistique, elle nécessite un permis de construire si elle est supérieure à 2 hectares. (Anjou-agricole.com, 2011).
- L'agriculteur a également besoin d'une autorisation de prélèvement lors d'un prélèvement d'eau sur le territoire, que ce soit par forage ou un pompage en rivière.

La construction sur terres agricoles ou naturelles

Les terrains agricoles identifiés sur le plan local d'urbanisme ne sont pas constructibles sauf cas exceptionnels. Ils peuvent être construits si l'ouvrage est en rapport direct avec l'exercice de la profession et être prouvé qu'il est nécessaire à l'activité. La retenue d'eau peut alors être considérée comme nécessaire. L'aspect naturel de celle-ci facilitera la démarche et la possibilité de la construction. L'ouvrage peut être soumis à déclaration ou autorisation selon sa superficie et son emplacement.

Si la retenue est située sur zone humide : entre 0.1 et 1 ha, elle est soumise à déclaration, au-delà elle requiert une autorisation

Sur un autre terrain la valeur est comprise entre 0.1 et 3 ha pour déclaration au-delà, elle est soumise à autorisation. (Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 2012)

Ces règles sont susceptibles de changer compte tenu de l'évolution de la demande et de l'offre en eau et des nouvelles ambitions dans sa gestion.

### 2.4.3 Plusieurs typologies :

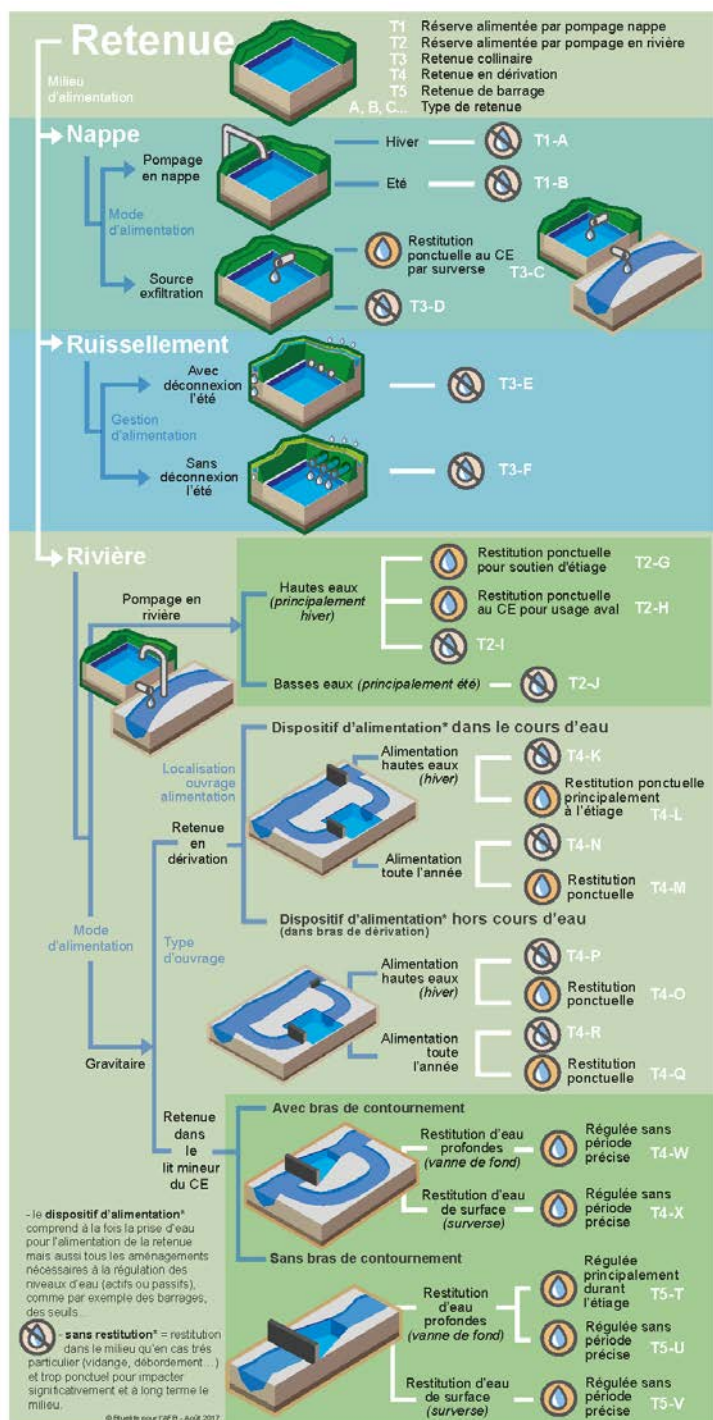


Figure 10 Typologie des retenues d'eau (Source : Les Rencontres n° 50, AFB ,11-2017)

Comme on peut l'observer sur la figure ci-contre (Figure 10 Typologie des retenues d'eau (Source : Les Rencontres n° 50, AFB ,11-2017)), il existe une multitude de typologies de retenue d'eau. Elles sont principalement distinguées par leur mode d'alimentation, mais aussi par la gestion de ces prélèvements au cours de l'année. En effet certaines retenues peuvent restituer une partie de leurs eaux pour les rejeter dans le milieu. Ceci a pour objectif le maintien des débits d'étiage pour en faire bénéficier à l'aval et réduire leur impact.

Je souhaite consacrer ma recherche sur les retenues alimentées par les eaux de ruissellement. Elles sont identifiées par les numéros T3-E et T3-F sur la figure ci-contre (Figure 10 Typologie des retenues d'eau (Source : Les Rencontres n° 50, AFB ,11-2017)).

### 2.4.4 Fonctionnement des retenues

Les retenues d'eau sont définies par une alimentation par ruissellement, avec ou sans déconnexion de la réserve au réseau pendant l'été. La recharge de ces ouvrages se fait par les précipitations qui ont lieu en hiver, car elles sont souvent en excédent et donc ruissellent sur le bassin versant associé. La nature des sols et leurs occupations en amont de son positionnement sont importantes, cela sera un critère de sa réussite et son efficacité. Lorsque celle-ci est remplie, elle peut bénéficier d'un système de déversoir pour faire écouler le surplus des eaux dans le bassin versant.

Pendant la période estivale, celle-ci reste toujours fonctionnelle et peut avoir des avantages en cas de pluie importante où elle remplirait le rôle de bassin d'orage. Par exemple, lors d'une pluie extrême comme en été 2021, l'ouvrage permettrait de capter les eaux en comblant l'eau prélevée

auparavant pour l'irrigation et limiter le risque de crue. Cela aurait alors un avantage sur le reste du bassin versant, en limitant les potentielles crues.

Afin d'optimiser ces retenues, leur morphologie est importante, en effet, une surface importante entrainera une évaporation plus importante et donc des pertes sur le volume prélevé. Un espace concave dans les vallées est alors à privilégier plutôt qu'une plaine entourée de digues.

L'infiltration est également à prendre en compte selon la nature du sol présent. Les sables sont les plus infiltrants, ensuite viennent les limons puis les argiles. Le territoire étudié se situera en zone limono-argileuse. Pour améliorer la capacité d'imperméabilité sur la zone, un tassement peut être réalisé.

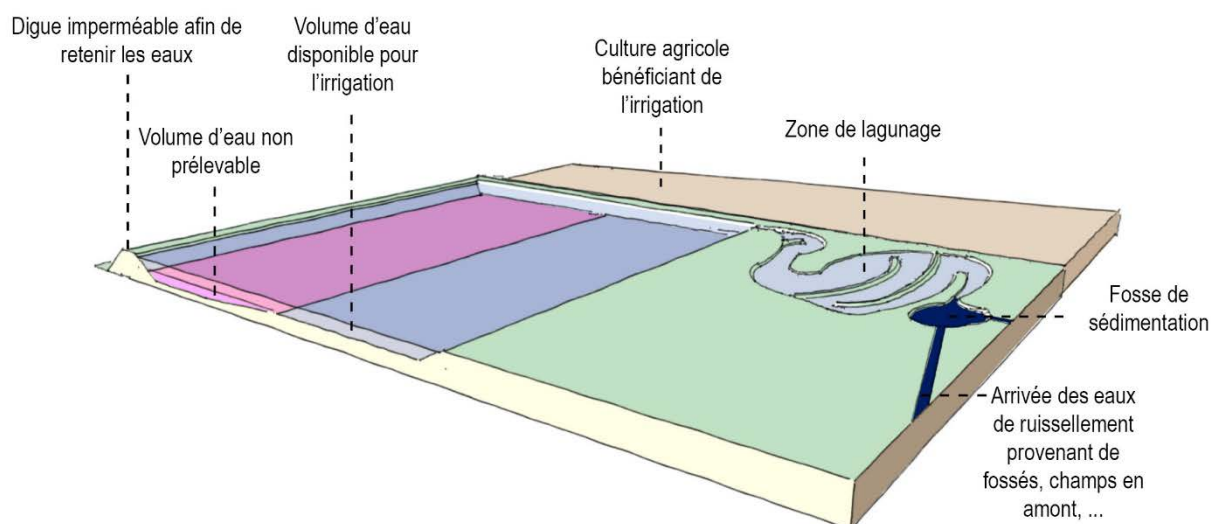


Figure 11 Schéma de principe d'une retenue et de ses éléments. (Dessin personnel)

Sur ce schéma de principe nous pouvons observer les deux différents types de volumes : le volume pour irriguer, et celui présent pour assurer les fonctions écologiques et de maintien de la biodiversité sur la retenue. En amont, on retrouve une zone de sédimentation pour éviter une accumulation trop importante dans la retenue des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles en amont. Cette fosse doit régulièrement être entretenue pour assurer un bon fonctionnement. Ensuite on retrouve une zone de lagunage afin de limiter les pollutions issues des terres agricoles. En aval de la retenue, on retrouve la digue étanche. La zone de stockage d'eau doit se situer dans une partie concave, afin de maximiser la profondeur et d'éviter les travaux de terrassement trop important.

#### 2.4.5 Les impacts connus de ces retenues d'eau.

Les retenues d'eau ont, force est de constater, un impact sur les milieux, cependant il est possible de les réduire de par leur positionnement et leur mode de fonctionnement. Il a été démontré que les retenues en série ou en dérivation, sur les cours d'eau sont celles qui ont le plus d'impact. En effet, elles créent une rupture sur la continuité écologique, bloquent les transferts de sédiments et modifient les propriétés de l'eau à cause du réchauffement de celle-ci. C'est pourquoi elles ne seront pas le sujet de l'étude. Les cours d'eau ne doivent pas être impactés par ces infrastructures du fait de leur support important pour la biodiversité et leur continuité est nécessaire pour la migration de nombreuses espèces. (L. Roger, 2020). Ces retenues sont donc

déconnectées du réseau, ne se situent pas sur des cours d'eau et ne sont pas alimentées par des sources, conformément à la réglementation.

#### 2.4.5.1 Impacts sur l'hydrologie des territoires

Ces stockages d'eau ont pour objectif de capter les eaux dites « bleues », « *c'est à dire celle qui s'écoule dans les rivières jusqu'à la mer, se trouve dans les lacs ou les retenues, percole vers les nappes souterraines ou est distribué dans les canalisations, etc.* » (Leenhardt et al., 2021) en opposition aux eaux vertes l'eau « verte » qui « *est l'eau contenue dans le sol et disponible pour alimenter les plantes et l'évapotranspiration des écosystèmes terrestres.* » (Leenhardt et al., 2021)

L'eau alors captée est utilisée en agriculture pour pallier ces déficits d'eau « verte » lors des périodes de sécheresse grâce à l'irrigation.

Ces infrastructures ont un impact sur nos territoires, et forcément sur le cycle de l'eau et l'équilibre de nos territoires. Par l'interception des eaux pluviales, elles diminuent les débits d'étiages, notamment pour les ouvrages situés en amont. La recharge des nappes peut également être impactée positivement sur le lieu de la retenue, mais négativement sur le reste du bassin versant selon la configuration de celui-ci. On retrouve également une diminution du risque d'inondations en aval de ces retenues.

Lors du déversement des eaux en surplus, il peut y avoir des conséquences sur les zones en amont, avec une hausse des débits en aval pouvant entraîner une érosion à la fois des berges, mais aussi des lits des rivières.

Les retenues en dehors des cours d'eau permettent de limiter ces impacts en partie, notamment par le fait qu'ils ne les interrompent pas. Les autres aspects peuvent être étudiés et diminués par les techniques de construction et de déversement dans les milieux.

#### 2.4.5.2 Impacts sur la faune et la flore

Les retenues d'eau peuvent avoir un impact positif ou négatif selon l'environnement dans lequel elle s'implante, en effet, dans des territoires faibles en biodiversité, voire artificialisés, elles apporteront de la biodiversité par les aménagements qui sont liés à celle-ci. En revanche, on observera une diminution de la biodiversité sur les zones qui étaient déjà riches, car le milieu existant serait détruit au détriment d'un autre. Par conséquent l'implantation en zones classées comme humides ou inondables est à proscrire, car l'impact sur l'environnement et leur équilibre serait trop important et serait contraire à l'ensemble des efforts menés pour leur développement ou conservation.

Au niveau de la faune et de la flore, le principal impact négatif est la modification des populations du reste du réseau hydrographique liée au changement de débit si cette structure est mal implantée ou si le prélèvement de la ressource n'est pas effectué pendant la bonne période. Pour rappel, l'objectif est de capter les eaux bleues, donc qui ruissellent lors de fortes précipitations. Les populations aquatiques des rivières sont les plus sensibles du fait de l'accumulation de plusieurs effets tels que ceux décrits dans la partie précédente.

L'implantation de plan d'eau aquatique avec niveau variable est l'opportunité d'apporter une diversité de faune et flore dans les paysages agricoles. Les oiseaux pourraient être favorisés. La stratégie de localisation est alors un élément primordial pour limiter ces impacts au maximum. (L. Roger, 2020). Le caractère spécial de ce type d'aménagement, avec niveau variable, est capable d'offrir un environnement riche et



rare. Il est important de veiller à la plantation d'espèces locales pour éviter l'invasion d'autres espèces.

#### 2.4.5.3 Impacts sur la qualité des eaux

Les eaux issues du ruissellement sont potentiellement polluées par les pratiques agricoles exercées en amont (nitrates, produits phytosanitaires) ou par les infrastructures routières (sel de déneigement microparticules...) qui seraient alors concentrées dans ces réserves (L. Roger, 2020). Des solutions sont possibles avec la mise en place de lagunage en amont de la retenue afin de filtrer et d'épurer ces eaux. L'avantage de cette épuration est qu'elle permet aussi son infiltration dans la nappe. Certaines retenues peuvent être positionnées sur des aires de captages, dont les concentrations en polluant sont très contrôlées. Il serait donc judicieux de ne pas placer ces retenues sur ces zones, afin de limiter les risques.

#### 2.4.5.4 Impacts sur nos paysages



Figure 12 retenue d'eau agricole (Source : <https://france3-regions.francetvinfo.fr>, 2017 © JM.Piron)

En général, la mention de réserve d'eau fait écho de bassine inerte très artificialisée ne représentant qu'une seule fonction, celle de stockage d'eau pour l'agriculture.

Comme on peut l'observer sur cette photographie, ces réserves d'eau sont pauvres en biodiversité. Elles sont bien souvent implantées au milieu de nos territoires agricole et en font des zones très artificialisées au milieu d'espaces agricoles déjà pauvres, car intensif.

L'aspect inerte de ces réserves peut s'expliquer par une contrainte liée à l'exploitation de ses eaux pour l'irrigation. C'est pourquoi l'on retrouve une quasi-

absence de végétation autour de celles-ci. L'apport de végétation autour de ces espaces a cependant un intérêt pour éviter l'évaporation trop importante des réserves par les vents et rayons solaires (L. Roger, 2020).

Elles ont hérité d'une image qui renvoie vers de l'agriculture intensive, cependant, elles permettent souvent la résilience de l'agriculture sur nos territoires. Chacun peut être concerné par l'usage des eaux de retenues.

Des possibilités d'insertion peuvent être étudiées afin de concilier les usages à des enjeux de biodiversité.

La réalisation de projets de grande envergure se réserve pour l'instant au sud de la France, mais le nord de la France pourrait bientôt être concerné avec les changements climatiques prévus. Des schémas d'irrigation ainsi que des projets de retenues sont à l'étude, avec par exemple le projet du canal Seine-Nord Europe qui reliera l'Oise au canal Dunkerque Escaut et dont les agriculteurs demandent en compensation de cet ouvrage la création de retenues d'eau.

#### 2.4.6 Exemple des étangs de la réserve de Luchy en Belgique



Figure 13 Étangs de Luchy (Source : cirkwi.com, crédit photo : OT Libramont.)

En Belgique, dans la Région wallonne, la réserve naturelle domaniale des étangs de Luchy est un réservoir d'eau à niveau variable. Ils datent de l'époque du train à vapeur et alimentaient une gare.

L'alimentation de la gare entraînait une variation du niveau de cet étang au cours de l'année. Cette spécificité a entraîné l'apparition d'une faune et flore rare. De ce fait, les étangs ont été classés en Réserve naturelle domaniale en 1976. Ils sont aussi classés en tant que Site de Grand Intérêt Biologique.

Parmi la faune rare retrouvée la grenouille verte (*Rana lessonae*) et la libellule Leste nymphe (*Lestes dryas*). Ils sont tous deux rares dans la région des Ardennes et la libellule est menacée.

La variation du niveau entraîne la mise à nu de certaines parties, qui sont d'une richesse exceptionnelle avec par exemple le gazon de littorelle (*Littorella uniflora*) et des formations immergées à potamots (*Potamogeton obtusifolius* et *P. berchtoldii*) ou encore l'élatine des marais (*Elatine hexandra*). Le site est également le lieu de nidage de nombreuses espèces paludicoles tel que l'*Anas crecca* et le *tachybaptus ruficollis*.

En termes d'habitats (cf. tableau ci-dessous), on retrouve des végétations typiques et très intéressantes, car rares compte tenu des conditions particulières liées à ce niveau variable (C 3.5 et C 3.52).

Tableau 2 biotopes de la réserve domaniale des étangs de Luchy (source : <http://biodiversite.wallonie.be>)

Code EUNIS Européen	Nom
C1.13	Végétation enracinée flottante des eaux oligotrophes
C1.2	Eaux stagnantes mésotrophes
C3.5	Végétation pionnière et éphémère des rives périodiquement exondées
C3.52	Végétation pionnière nitrophile des grèves humides
D5.3	Jonchaies
E3.5	Prairies humides oligotrophes
E5.41	Mégaphorbiaies rivulaires
F3.11	Fourrés sur sols neutroclines à acidoclines, frais
F9.1	Saussaies riveraines et lacustres
G1.8	Chênaies acidophiles
G3	Plantations de conifères

On a dans le biotope « Eaux stagnantes mésotrophe » la présence de l'habitat d'intérêt communautaire de la directive « habitats » de Natura 2000 « 3130 - Eaux stagnantes, oligotrophes à mésotrophes avec végétation des *Littorelletea uniflorae* et/ou des *Isoeto-Nanojuncetea* » Cet habitat rare est présent grâce à la variation des niveaux d'eau, facteur clé des retenues d'eau tel que proposées dans ce travail.

Selon la nature du sol, on peut retrouver ce biotope « 3110 — Eaux oligotrophes très peu minéralisées des plaines sablonneuses (*Littorelletea uniflorae*) ».

Son bassin versant est de 164 hectares et est composé de prairies et de plantations d'épicéa. La retenue des eaux se fait à l'aide de digues et permet de contrôler son remplissage grâce à un possible déversement pour la vidange. ([Http://biodiversite.wallonie.be](http://biodiversite.wallonie.be), sans date)

À travers cet exemple ; on peut voir qu'une réserve d'eau à des potentiels très importants en biodiversités. L'atout résidant dans la variabilité des niveaux, justement

apportés par les prélèvements par l'irrigation. Les habitats et le développement de la flore peuvent être réalisés en adéquation avec les objectifs concernant la protection de la réserve et la qualité de l'eau. C'est-à-dire par l'apport de différentes strates végétales qui apportent ombrages et couvertures aux vents, ainsi qu'une zone de lagunage en amont de la retenue.

## 2.4.7 L'évolution de la politique agricole commune et les mesures agro-environnementales et climatiques

---

### 2.4.7.1 Une révision des deux piliers de la Politique Agricole Commune

La politique agricole commune va apporter des nouveautés et de nouveaux objectifs environnementaux aux agriculteurs afin de leur permettre de recevoir le maximum d'aide financière. Une partie du premier pilier va être liée aux pratiques environnementales avec la mise en place des ECO SCHEME. Cela entraîne donc une obligation aux agriculteurs à pratiquer des mesures en faveur de l'environnement afin de percevoir toujours des aides qui compensent leurs pertes. (Chambre d'agriculture Normandie, 2021).

### 2.4.7.2 Les mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC)

Dans l'objectif d'un développement et/ou de la conservation de la biodiversité) dans les systèmes agraires, les MAEC offrent en l'échange d'aménagement durable sur le territoire, sous forme de contrat de 5 ans, des subventions. La proposition de subvention dans le cadre de la réalisation de retenues d'eau permettrait aux agricultures de franchir le pas vers cette solution. À l'heure actuelle, des aides sont données dans le cadre de la transformation de terres arables en prairies, on pourrait imaginer par la suite, que la création de ces ouvrages, où l'intérêt pour la biodiversité serait potentiellement intéressant, de nouvelles subventions.

À titre d'exemple, la reconversion de terre arable en pâturage extensif, milieu bénéfique pour la biodiversité, permet à l'exploitant de percevoir de 298,90€ par hectares. Une MAEC pourrait être envisagée dans le cadre de la création de retenue tant que les bénéfices observés sont à la fois pour les agriculteurs et pour la biodiversité. (Direction départementale des territoires des Ardennes, 2018).

## 2.4.8 Conclusion, hypothèse et objectifs de la recherche

---

### 2.4.8.1 Conclusion

Cette synthèse bibliographique a permis d'identifier et de connaître les différents enjeux autour de la ressource eau sur les territoires agricoles. L'évolution du climat s'annonce sans précédent et des mesures doivent être prises afin de pouvoir assurer la production alimentaire sur nos territoires. Car si la production est davantage compliquée sur cette partie du monde, elle le deviendra impossible ailleurs.



La deuxième partie de ce mémoire a permis de déterminer les enjeux de ces retenues d'eau agricoles. Elles seront très probablement implantées sur les territoires du nord de la France pour répondre à cette pression climatique et permettront ainsi de maintenir l'économie agricole sur nos territoires. Cette gestion des eaux est parfois critiquée, mais va être nécessaire dans un futur plus ou moins proche selon les territoires. Nous sommes donc partagés entre leur nécessité et leur influence sur les milieux. La réglementation permet de cadrer dans un premier temps ces usages, mais une approche paysagère liée à la morphologie des territoires peut permettre de déterminer des sites candidats pour les retenues ayant le moins d'impact possible tout en apportant une multitude de services écosystémiques.

Le tableau ci-dessous reprend une liste de critères qui seront :

*Tableau 3 Critère d'inclusion ou d'exclusion d'une retenue sur le territoire.*

Domaine	Critère d'exclusion	Critère d'inclusion
<b>Hydrologie</b>	Emplacement sur un cours d'eau Zone de captage	Terres propices au ruissellement Zone d'accumulation des ruissèlements
<b>Faune et flore</b>	Zone humide ou réservoir biologique	Écosystème impacté non soumis à la directive « habitats » ou présentant des espèces rares ou protégées.
<b>Morphologie et composition du territoire</b>	Zone inondable Proximité avec des terres irrigables	Terre arable ou pâturage Terres composées d'argiles
<b>Réglementation et législation</b>		Zone sans régime de protection de la nature (Natura 2000, ZNIEFF)
<b>Caractère paysager</b>		Le creux des vallées

## 2.4.8.2 Hypothèse et développement des objectifs

### 2.4.8.2.1 Hypothèse formulée

Depuis quelques années, la question des réserves d'eau à usages agricoles se destinait davantage aux climats plus secs, comme le climat méditerranéen, cependant, avec l'évolution climatique à venir, les réserves d'eau vont avoir tendance à se développer sur d'autres territoires, comme le nord de la France ou la Belgique.

L'hypothèse de recherche de ce mémoire reposera sur : *l'implantation de retenue d'eau agricole ayant pour l'objectif d'irriguer peut être localisée de manière à réduire au maximum les impacts sur le réseau hydrographique tout en renforçant ou créant certains services écosystémiques.*

L'objectif du présent travail de recherche est de déterminer une stratégie et une recommandation d'emplacement de ces retenues d'eau agricoles sur les territoires au travers l'application d'une méthodologie qui prend en compte les différents critères énoncés. Cette approche pluridisciplinaire permettra une sélection de candidats optimaux pour un territoire pilote déterminé par des enjeux futurs autour de cette ressource eau.

Cela permettra de concilier les recommandations de l'ensemble des acteurs du territoire afin d'y avoir une cohabitation et une acceptation de ces ouvrages au sein de la population, mais également des différents organismes territoriaux tels que les SADGE, chambres d'agriculture, etc. L'évaluation des services écosystémiques permettra de démontrer les intérêts que chacun peut en tirer.

Par ailleurs, elle permet de démontrer si la retenue d'eau peut être envisagée sur l'ensemble du territoire comme solution de résilience.

#### *2.4.8.2.2 Objectifs associés*

- Évaluer les enjeux liés aux retenues d'eau et y associer des critères d'insertion ou d'exclusion d'implantation
- Définir un site d'étude pilote pour l'application d'une méthodologie avec comme objectif une reproductibilité de la démarche.
- Déterminer des outils permettant d'interpréter la morphologie du territoire et ses flux d'eau pour déterminer l'emplacement des retenues d'eau sur un territoire.
- Évaluer l'apport des services écosystémiques au sein d'un paysage pour permettre de démontrer les bénéfices des retenues d'eau.
- Entrer dans une démarche visant à multiplier les bénéfices pour effectuer des projets de territoires englobant un maximum d'acteur du territoire dans un but de conciliation.
- Identifier l'impact sur le paysage

### 2.4.1 Objectifs et place du paysagiste dans la réflexion sur les retenues d'eau.

Comme on a pu l'observer dans les parties précédentes, ces retenues d'eau sont l'objet de débat tant leur nécessité future dans les régions du nord de la France semble de plus en plus envisageable, mais dont les impacts sur le bassin versant qu'il leur est associé sont incontestables. Elles font partie d'une très probable évolution de nos territoires liée à la pression climatique, mais également économique pour l'agriculture. S'opposent à cela les intérêts écologiques et environnementaux de nos paysages. Dernièrement, des oppositions se sont manifestées directement sur les sites par la dégradation de ces ouvrages.

L'objectif à travers ce travail de fin d'études est de déterminer l'emplacement dans nos paysages de ces retenues afin qu'elles soient le plus efficaces et le moins impactante sur le reste du territoire afin d'en favoriser l'acceptation sociale. Mon rôle en tant qu'Architecte Paysagiste est de déterminer et d'évaluer les endroits candidats les plus optimaux sur un territoire à l'aide de différents paramètres.

Les principaux paramètres pris en compte seront le relief, la pédologie, l'occupation du sol, le type d'agriculture et l'hydrologie. Cette approche pluridisciplinaire va me permettre de définir les positions les plus adéquates sur nos territoires pour concilier les besoins pour l'agriculture, l'objet principal pour la création de ces retenues, avec des objectifs de développement de la nature dans nos territoires agricoles.

À travers cette démonstration, l'objectif est d'y démontrer comment les effets néfastes peuvent être atténués et d'y démontrer un intérêt commun et nécessaire pour l'ensemble des acteurs du territoire).

Par le biais des impacts précédemment cités, nous sommes désormais capables à l'aide la méthodologie prochainement explicitée d'établir des paramètres d'installation dans nos paysages en conciliant les différents usagers. La pression sociale sur ces infrastructures étant importante, cette approche pourrait permettre de démontrer les intérêts que chaque citoyen pourrait en tirer, en plus intérêts pour la biodiversité.

Mon objectif en tant que paysagiste est de faire coopérer cette crise avec les enjeux de biodiversité actuels. Les territoires agricoles sont en pleine mutation et ils le seront davantage dans l'avenir du fait des changements climatiques, mais aussi des politiques agricoles qui favorisent l'insertion de la nature dans ces territoires.

Par le relevé des externalités associées aux retenues et à leur insertion dans ces paysages, l'objectif est de démontrer ou non l'utilité ou la nuisance apportée dans cet environnement.

## PARTIE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE

---

### 3.1 CHOIX D'UN SITE PILOTE

La chambre d'agriculture de l'Aisne a réalisé un schéma directeur d'irrigation. Celui-ci a pour objectif de quantifier les ressources disponibles et leurs usages. Dans l'état actuel, les prélèvements d'eau pour l'irrigation sont effectués dans les nappes ou par pompages dans les rivières, et ce type de prélèvement sera encore d'actualité dans les quelques prochaines années à venir. Cependant ce type de prélèvement est de plus en plus restreint donc l'apparition de retenues dans les prochaines années n'est pas à exclure. Bien qu'aucun cas concret de réserve d'eau ne soit à l'étude, comme pour le reste des Hauts-de-France, cela pourrait bientôt devenir nécessaire et nouveau pour cette région.

Selon le conseiller en irrigation de la chambre d'agriculture de l'Aisne, Houssem Ezzeddine, le type de recherche menée à travers ce travail de fin d'études est pertinent du fait de la forte probabilité de création de retenue d'eau sur ce type de territoire dans les prochaines décennies.

Le territoire sélectionné pour l'étude et l'application de la méthodologie représente une typologie d'espace que l'on peut retrouver sur d'autres territoires, tel que dans le reste des Hauts-de-France, la Beauce ou en Wallonie sur les terres agricoles limoneuses. Cela permet à la méthodologie d'être utilisée sur d'autres territoires de nos régions.

À travers ce large bassin versant, la description des éléments va permettre d'établir les territoires les plus à même de recevoir des retenues d'eau de ruissellement. Pour déterminer dans un premier temps ces zones favorables, une analyse des paramètres biophysique sur le bassin versant de la rivière de la Serre sera effectué, afin d'avoir un site pertinent vis-à-vis des critères nécessaires. Ensuite une description des usages sera effectuée sur cette zone favorable afin de préciser les critères de sélection ou d'exclusion au sein de ce territoire. En conclusion de ce choix de site, nous retrouverons alors une zone affinée grâce aux caractéristiques du site dont les critères de sélection correspondent aux conclusions de la synthèse bibliographique. Ainsi pourra être appliquée la méthodologie d'application visant à déterminer les emplacements des retenues d'eau sur un territoire dont les caractéristiques semblent favorables. Cela permettra d'observer si la solution de stockage peut être envisagée et avec quels bénéfices et contraintes sur le paysage local.

#### 3.1.1 Localisation du bassin versant de la Serre :

---

Le schéma directeur d'irrigation réalisé 2020 qui a conclu à équiper plusieurs bassins de réserves, en particulier le bassin de la Serre, affluent de l'Oise et qui lui fournit 40 % de son débit à la confluence. Sur ce territoire, la nappe phréatique est déjà sollicitée par l'irrigation. Je souhaite donc travailler sur ce territoire à enjeux afin d'y appliquer une méthodologie qui peut être reproductible sur d'autres territoires à vocation agricoles.

Le territoire concerné se situe en grande partie sur le département de l'Aisne et l'extrémité Est se situe dans le département des Ardennes.

Ce bassin versant fait partie du bassin hydrographique Seine-Normandie. On se situe en aval de l'Oise, en début de bassin versant. Le site représente une superficie de 1 630 km<sup>2</sup>.

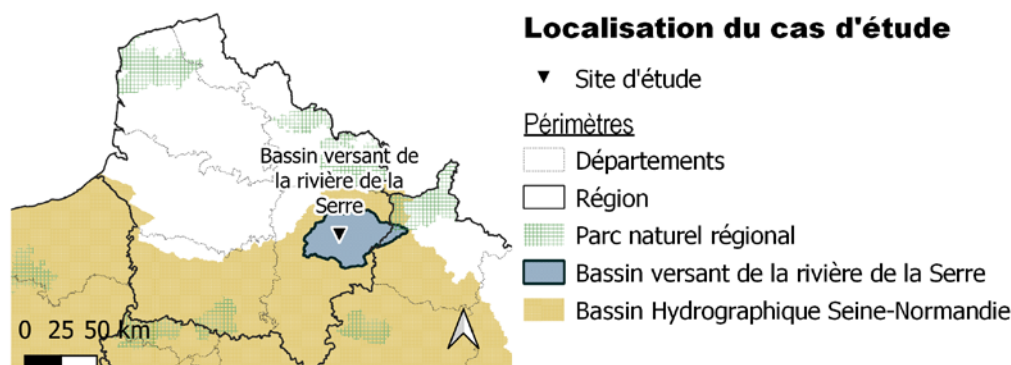


Figure 14 Localisation du site d'étude

### 3.1.2 Détermination d'une zone favorable au sein d'un territoire d'étude

#### 3.1.2.1 Caractéristiques climatiques.

##### 3.1.2.1.1 L'eau sur le territoire

Dans le bassin versant de la Serre, la pression sur l'eau est déjà présente avec l'irrigation qui se déroule actuellement et aux changements climatiques qui affectent les cultures. Cette consommation devrait sans aucun doute s'accroître à l'avenir.

8 sous-bassins sont identifiés sur ce site. Nous verrons par la suite que certains sous-bassins versants se prêteront davantage à l'implantation de réserves d'eau par ruissellement et seront donc le cas d'étude de ce mémoire.

Débit moyen mensuel (en m<sup>3</sup>/s)  
Station hydrologique : H7162010 - La Serre à Nouvion-et-Catillon pour un bassin versant de 1 630 km<sup>2</sup> et à 51 m d'altitude<sup>2</sup>  
(08-05-2015 - données calculées sur 67 ans)

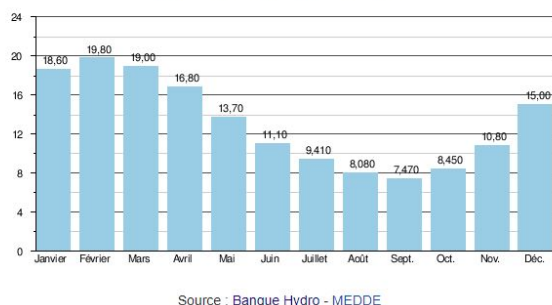


Figure 15 « Station hydrologique : H7162010 —La Serre à Nouvion-et-Catillon pour un bassin versant de 1 630 km<sup>2</sup> et à 51 m d'altitude » (Source de Banque Hydro et du MEDDE, calculée sur 67 ans).

L'exutoire se trouve à l'ouest, sur la commune de Danizy à 43 mètres d'altitude tandis sa source se situe à La ferrée à 265 mètres d'altitude. Les débits au cours de l'année sont assez variables. On peut avoir jusqu'à 20 m<sup>3</sup>/s lors des périodes humides et pluvieuses tandis que le débit d'étiage peut parfois chuter à 3,8 m<sup>3</sup>/s. Les crues sont assez rares, mais les villes et villages situés peu après la confluence en sont parfois atteints et sont sujets à des inondations. En décembre 1993, la Serre a connu une crue, qui s'est observée sur la commune d'Erlon avec un débit de 96.4 m<sup>3</sup>/s enregistré à Nouvion-et-Catillon (SANDRE, sans date). Erlon se situe là où la rivière de la Serre et du Vilpion se rejoint pour ne former que la Serre. Qualifiée de crue centennale, elle résulte de plusieurs paramètres. À savoir, des pratiques

agricoles tardives sur le bassin versant, qui n'ont pas permis d'atténuer le ruissellement important grâce à la couverture du sol et une pluie de 41 mm sur 24 heures. Il est à noter que les précipitations extrêmes seront plus courantes à l'avenir avec le changement climatique. Cette inondation a eu un gros coup économique pour les

communes et assurances, avec une évaluation donnée à 77 millions de Francs soit un peu moins de 12 millions d'euros. (A. Angeliaume et S. Wicherek, 1997)

### 3.1.2.2 Caractéristiques biophysiques

#### 3.1.2.2.1 Topographie du bassin versant :

Comme on peut l'observer sur le modèle numérique de terrain ci-dessous, les points les plus en altitude se situent au Nord-Est avec 283 mètres, contre 43 mètres au point le plus bas. Le relief y est légèrement ondulé, caractéristique des plaines agricoles en Picardie. Cette caractéristique a tendance à s'atténuer vers le sud du bassin versant. On peut facilement observer les zones de concentrations des eaux de ruissellement sur le modèle numérique de terrain. Cela est favorisé par les parcelles étant de grandes superficies et rarement séparées par des haies, cela est favorable au ruissellement.

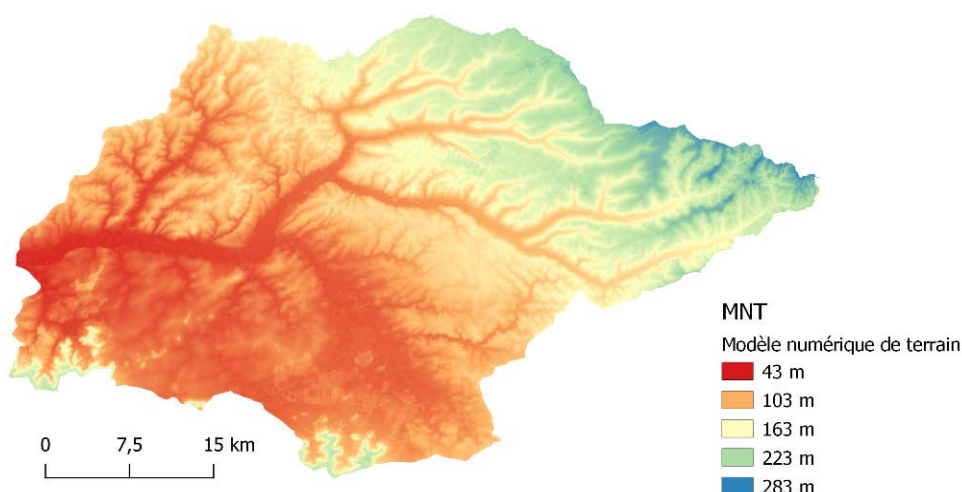


Figure 16 modèle numérique de terrain du bassin versant de la Serre (Source : Geoportail.fr)

C'est sur les hauteurs du bassin versant que l'on retrouve une majorité des pâturages. Au sud du territoire et à l'ouest, le relief est moins marqué et l'on retrouve davantage de grandes cultures. Dans l'axe central sud, on retrouve la zone moins marquée en relief correspondant à une zone humide, celle de la Réserve naturelle nationale du marais de Vesles-et-Caumont.

C'est à cet endroit que l'on retrouve le plus de végétation, lié à la difficulté de cultiver ces terres. L'implantation de retenues en amont de ce territoire pourrait avoir des conséquences sur l'équilibre de ces milieux.

Au nord, les pentes y sont relativement marquées et de forme concave, favorable à la concentration des eaux ainsi qu'à leur stockage.

#### 3.1.2.2.2 Carte des sols

On retrouve ici la carte des sols ainsi et la carte d'indice de développement et de persistance des réseaux traduit la capacité des sols à laisser ruisseler ou non les eaux sur les sols.



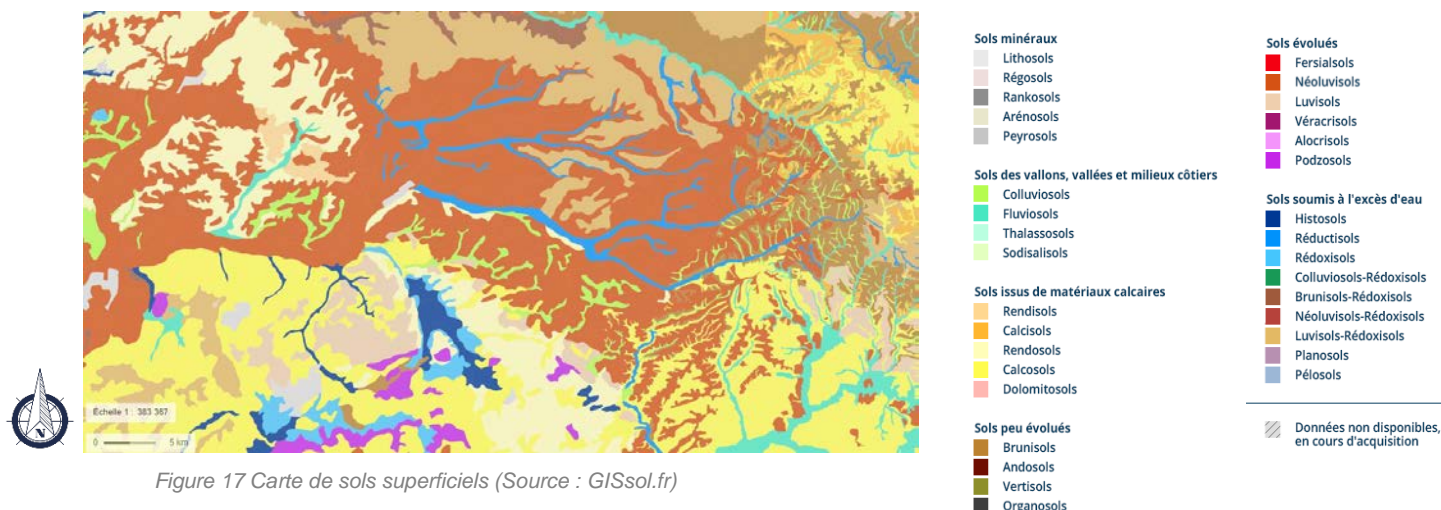


Figure 17 Carte de sols superficiels (Source : GISsol.fr)

Les sols sont à tendance limoneuse sur toute la région concernée par l'étude. Ces sols limoneux sont présents sur une grande partie du nord de la France (Région Normandie, Hauts-de-France ainsi que sur une partie du territoire belge. Cela permet d'établir une méthodologie applicable sur de nombreux territoires, également concernés par les changements climatiques et à la vulnérabilité face à la ressource eau.

Dans le bassin versant, on retrouve majoritairement des néoluvisols et luvisols, ils ont une bonne capacité à retenir les eaux, mais présentent souvent une saturation en hiver des horizons supérieur, entraînant un ruissellement des eaux. De plus, la composition, limono-argileuse leur permet d'avoir des propriétés imperméables.

Plus au sud, à proximité de Laon, on a des calcosols, qui, bien que plus argileux, sont plus poreux. Ils sont d'une épaisseur de plus de 35 cm d'épaisseur. On a également des rendosols qui sont quant à eux très perméables et très séchants, donc fortement vulnérables à la sécheresse. Sous ces sols calcaires, on retrouve la nappe phréatique de la craie au volume important. L'eau s'y infiltre alors majoritairement. Les conditions de ruissellement et de stockage semblent plus difficiles à attendre.

En moins grande importance, on a les rédoxisols qui ont des caractéristiques d'engorgement en eau, souvent liées à la faible perméabilité ou à leur position topographique. Ces terres se trouvent en zone humide voir au niveau des rivières. Dans les zones de bas-fond, on retrouve des réductisols qui sont constamment engorgés en eau à moins de 50 cm de profondeur.

Enfin, on a les Histosols, engorgés en permanence et riches en débris végétaux. Ils symbolisent des espaces riches en matière organique, tourbeux ou les dépressions.

Sur ces 3 derniers types de sols, de la classe « sol soumis à l'excès d'eau » on retrouvera des milieux ou caractéristiques qui pourraient être impactés par les retenues d'eau. Ceux-ci pourraient être à proscrire dans le cas où la retenue est située en aval de ces zones, notamment dans le cas de zone humide ou marécageuse. Cependant. Dans le cas où cette caractéristique est présente sur une terre cultivée, elle pourrait représenter une opportunité pour le stockage d'eau, car l'eau pénètre moins facilement.

Les sols issus de matériaux calcaires sont plus favorables à l'infiltration, notamment avec la nappe de la craie. Le stockage d'eau en surface semble donc moins judicieux.

Les sols évolués, néoluvisols et luvisols, sont donc les plus aptes à recevoir des retenues d'eau par leur composition et capacité d'imperméabilisation.

Ci-après nous avons la carte d'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux. « L'IDPR permet de rendre compte de la capacité intrinsèque du sol à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de surfaces. Cette fonction d'infiltration dépend de la perméabilité qui permet de rendre compte de la capacité d'un sol à laisser passer un fluide (de haut en bas ou inversement. Très variable ce paramètre dépend essentiellement de la lithologie de la formation considérée. » (BRGM, 2003). Une notice détaillée de la méthode de calcul ainsi que de l'explication, réalisée par la BRGM est disponible en annexe 1. Elle traduit donc en quelque sorte l'imperméabilité des sols. En zone sensible, et donc plus perméable, la sensibilité de la nappe est accrue aux pollutions du fait d'une infiltration plus importante. C'est pourquoi, en cas de retenue d'eau ; la qualité de celle-ci est à surveiller et à améliorer par le biais de lagunages pour éviter de polluer les nappes par des intrants agricoles. En effet, les volumes d'eau captés sont généralement issus de sols cultivés. On peut voir que la partie est du territoire est davantage propice aux ruissellements. On peut mettre cela en lien avec les types de sols observés ainsi que sur la topographie, avec des pentes plus importantes.

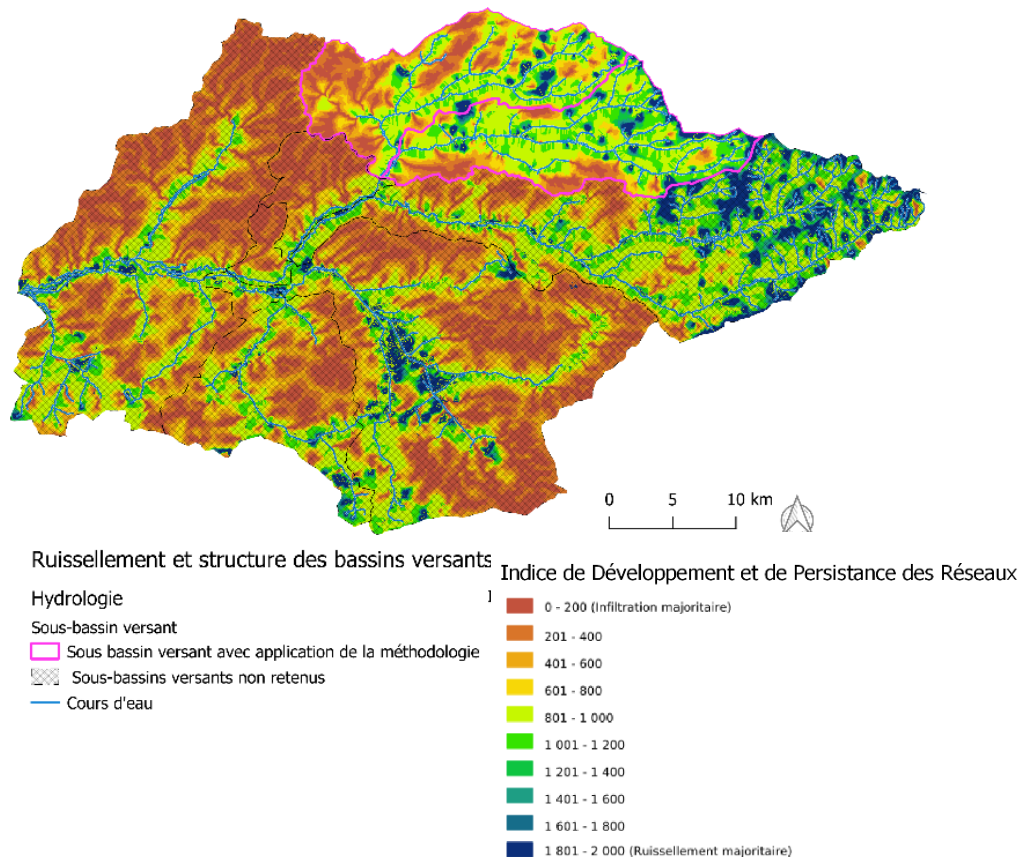


Figure 18 Carte d'indice de développement et de persistance des réseaux (source : GisSol)

### 3.1.2.3 Usages

#### 3.1.2.3.1 Occupation du sol

Il s'agit d'un territoire à vocation agricole ; en effet, 81 % de son territoire est associé à cette vocation. On retrouve ensuite des terres boisées qui en représentent 13 %. Celles-ci sont composées de forêts et d'espaces semi-naturels. Seulement 5 % du

territoire est artificialisé. (SANDRE, sans date). La partie Est du territoire fait partie du Parc Naturel Régional des Ardennes faisant alors partie de la Thiérache ardennaise. Il s'agit d'un espace bocager, forestier et légèrement vallonné. Les marais intérieurs (code 441) peuvent être des zones sensibles impactées par les retenues d'eau. C'est pourquoi il est préférable de ne pas implanter de retenues en amont de celles-ci. Le

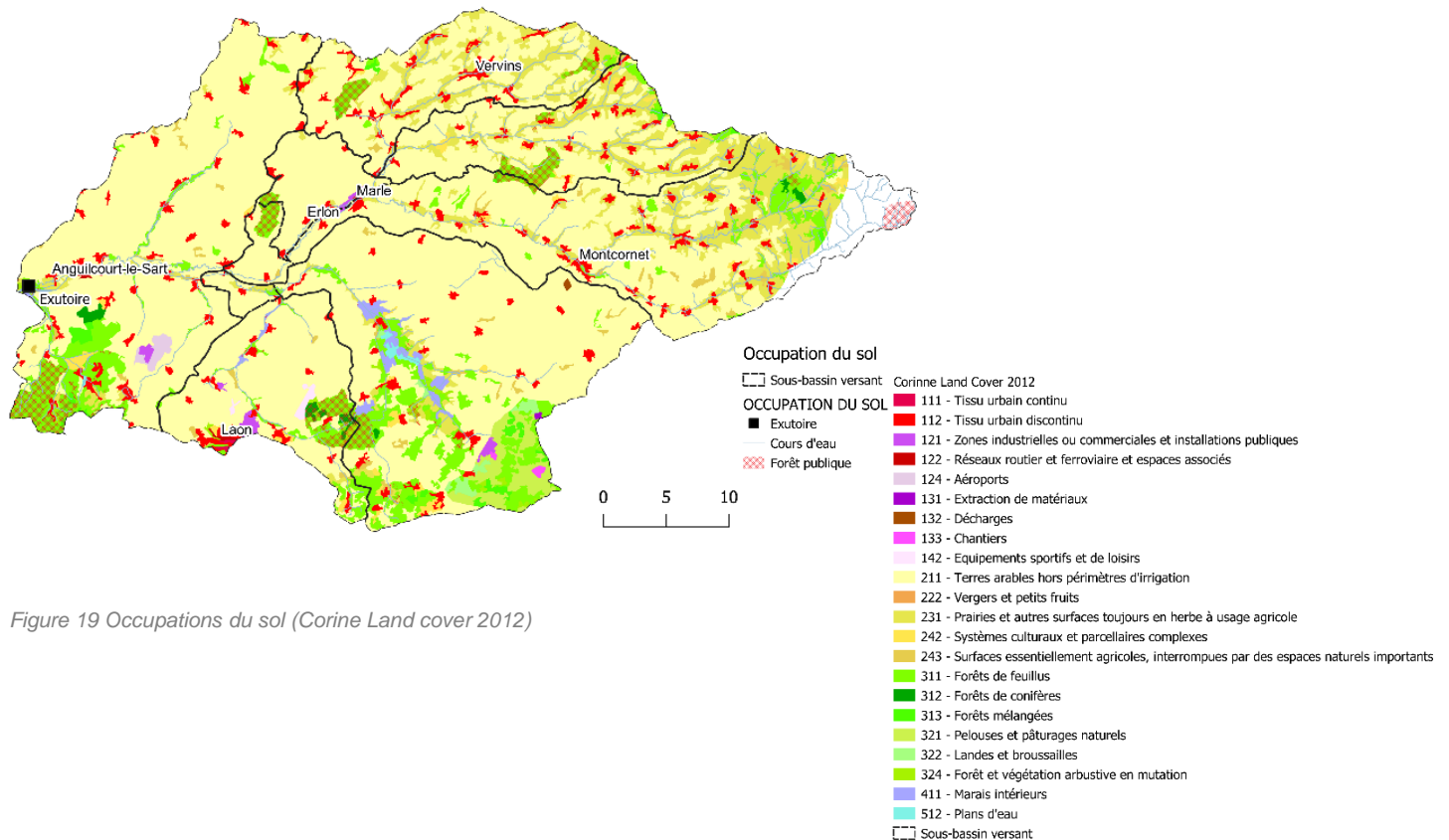


Figure 19 Occupations du sol (Corine Land cover 2012)

critère d'occupation du sol sera davantage décrit une fois la sélection du site d'étude établie. En effet, l'occupation du sol est l'un des outils nécessaires pour l'élaboration de la méthodologie et son application. Elle reprend aussi des critères d'exclusion selon l'occupation du sol.

### 3.1.2.3.2 Agriculture

L'agriculture étant la principale occupation du sol, les principales activités industrielles du secteur sont dépendantes de l'activité agricole. La sécurisation de ces activités agricoles par l'irrigation est alors un intérêt pour la préservation de ces emplois et de la production de denrée en France et donc au maintien des productions de denrées sur notre territoire. Comme on peut le voir avec les données issues du registre parcellaire graphique anonyme de 2019, les principales cultures sont céréalières. Parmi elles, on retrouve le maïs qui est plutôt gourmand en eau comme le montrent les données dans la section « Les cultures et leurs besoins. » page 10.

Sur la partie Est du territoire, on a davantage de prairies, qu'elles soient permanentes ou temporaires. Elles sont liées au relief et la difficulté d'exploiter ces terres. De plus on retrouve davantage d'élevage sur cette partie du territoire ? On retrouve sur ces territoires des activités liées à l'élevage et donc des besoins liés à l'abreuvement du bétail, mais on a aussi une vulnérabilité des prairies face à la sécheresse. Parmi les autres cultures (cultures industrielles), on retrouve aussi la pomme de terre et la betterave sucrière, qui nécessitent également de l'irrigation.

Ces éléments cités vont faire partie des éléments à prendre en compte dans l'application de la méthodologie et vont permettre d'être un élément de décision dans la stratégie de localisation des retenues d'eau.

Un registre parcellaire agricole de 2019 est disponible en annexe 2 afin d'observer la tendance des cultures sur une année.

#### 3.1.2.3.3 Les périmètres de protection

Sur la carte visible en annexe 3, nous pouvons identifier les divers régimes de protection de la nature présents sur le territoire. Ceux-ci sont majoritairement situés sur zone humide ou en espace boisés. Leur influence sur la création de retenue est assez importante et celle-ci peut être positive comme négative. Elle concerne à la fois leur périmètre, mais également leur localisation. Une zone humide protégée sera fortement impactée si une retenue est créée en amont de celle-ci et peut occasionner sa dégradation, car un déséquilibre en eau sera présent. La création de retenue en amont de celle-ci est donc à proscrire. C'est le cas notamment pour la Réserve naturelle nationale du marais de Vesles-et-Caumont.

On retrouve dans la zone qui sera retenue, située au nord-est, par ses caractéristiques favorables quatre ZNIEFF de type 1, on retrouve à l'ouest la Forêt de Marfontaine, au sud la forêt du Val Saint Pierre, et au nord-est la forêt de la Haye d'Aubenton et bois de Plomion et le Bocage de Landouzy et Besmont. Elles sont le vestige du défrichement et témoignent des potentiels forestiers de la région.

La forêt de Marfontaine est une forêt domaniale, composée majoritairement de chênaie-frênaie et chênaie-charmaie. Le périmètre concerne la forêt ainsi que les cultures proches qui constituent une réserve alimentaire pour la faune. Parmi les espèces principales qui font de cette forêt une classification en ZNIEFF de type 1 sont :

La *Haycinthoides non-scripta* et le *Phyteuma nigrum* (espèce protégée) sont présents ainsi qu'une multitude d'oiseaux à statut réglementé, tel que *Pernis apivorus*.

La forêt du Val Saint Pierre est relativement similaire, mais est peuplée de davantage de batraciens tels que Rainette verte (*Hyla arborea*) et le Pelodyte ponctué (*Pelodytes punctatus*) assez rare dans la région.

Le bocage de Landouzy et Besmont, outre son statut de bocage remarquable pour la région, possède des milieux devenus rares par l'exploitation et les remembrements successifs qui ont participé à la diminution des bocages. De micro-marais et mares sont présents dans le périmètre permettant la présence d'une flore riche et d'une faune, notamment l'avifaune, typique de ces habitats. (Conservatoire des Sites Naturels de Picardie, sans date).

La création de nouveaux habitats peut leur être bénéfique comme pour les autres écosystèmes en développant le maillage écologique.

### 3.1.3 Des zones favorables : choix de sous-bassin versant pour l'application de la méthodologie.

---

Ce bassin versant est et le sera encore davantage par la suite sujet à l'irrigation, par ces cultures et sa vocation agricole très importante, vecteur de l'économie locale. À travers cette approche territoriale, on peut observer différentes typologies d'espaces, selon les cultures, les types de sols et la topographie. Pour rappel, l'étude porte sur les retenues d'eau ruisselantes, celles-ci nécessitent donc une topographie assez vallonnée, et un type de sol capable de faire ruisseler l'eau lors d'un excès afin de



capter ces eaux dites « écoulements rapides de crue » qui peuvent être retrouvées bien en aval.

On retrouve ainsi :

- Des sols calcaires présents principalement au sud et à l'ouest du territoire ne semblent pas aptes à définir des paramètres optimaux pour la création de retenues, car leur perméabilité est trop importante. Il est plus intéressant de laisser les eaux s'infiltrer sur ce territoire afin de les stocker dans les sols.
- Une réserve naturelle au sud du territoire, avec des sols tourbeux qui sont déjà sensibles au réchauffement climatique. Disposer des retenues en amont pourrait fragiliser ce territoire. De plus, le relief n'est pas assez marqué.
- Au nord-est, l'agriculture est diversifiée, avec des cultures céréalières, des maïs grain et betteraves. À proximité des cours d'eau, on retrouve des pâturages. Les sols sont limoneux argileux. Ils ont ainsi davantage la capacité à ruisseler lorsqu'ils sont gorgés d'eau, comme c'est le cas en hiver. Cette eau ruisselante en excédant peut être captée lors des épisodes de forte précipitation hivernale, lorsque les pluies ne sont pas efficaces.

### Conclusion :

Les territoires les plus à même de recevoir des retenues d'eau ruisselantes, et donc ceux vers lesquels ma méthodologie et son application va s'axer sont les territoires situés au nord-est.

On y retrouve comme sous-bassins de la serre :

- Le Vilpion de sa source au confluent de la Brune. (168.4 km<sup>2</sup>)
- La Brune de sa source au confluent du Vilpion. (164.8 km<sup>2</sup>)

Ils rejoignent la rivière de la Serre quelques mètres après leur confluence.

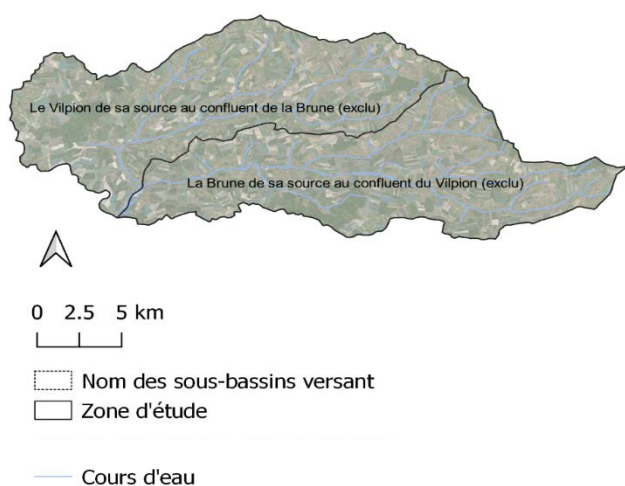


Figure 20 Sous-bassins versants d'étude (source personnelle)

### Les caractéristiques principales en faveur de l'implantation de retenues d'eau sont :

- Des inondations potentielles en aval, les retenues pourraient contribuer à réduire leur risque.
- Un sol limoneux sur les néoluvisols et luvisols composés 20 % de limons moyens et 80 % de limons argileux favorables au phénomène de battance ayant des aptitudes de ruissellement important comme le montre la carte des sols et d'indice de développement et de persistance des réseaux.
- Un territoire ondulé avec de nombreux sous bassins versants crée par ce relief.
- La faible présence d'obstacle de type haie favorable au ruissellement grâce parcelles agricoles de grandes superficies.
- Des cultures qui sont susceptibles de nécessiter de l'irrigation.

## 3.1.4 Caractérisation du paysage de la basse Thiérache

### 3.1.4.1 Description paysagère

Ces sous-bassins versants se situent dans les régions agricoles de la Thiérache et à cheval sur la petite région naturelle de la basse Thiérache. Auparavant, la basse et la haute Thiérache ne formaient qu'une seule même entité composée de bocages et de parcelles plus réduits, cependant l'agriculture intensive et la capacité de production du territoire l'ont fait se transformer peu à peu au paysage bien plus ouvert que l'on connaît aujourd'hui.

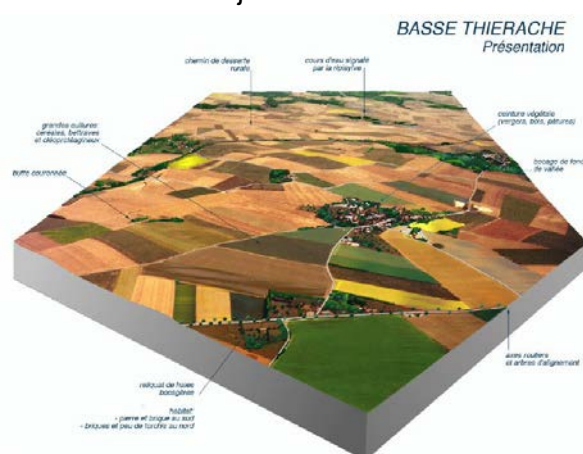


Figure 21 La basse Thiérache, représentation par bloc-diagramme. (Source : Atlas de L'Aisne, CAUE de l'Aisne, 2004)

Paysage rural et ondulé, le territoire d'étude est recouvert de vastes plaines agricoles que l'on peut qualifier d'« Openfields » par endroit. C'est cette activité qui façonne principalement le paysage de la zone d'étude. Les terres cultivées sont imposantes par leurs étendues sur ces reliefs ondulés. Ces courbes souples dessinées par le relief offrent une sensation de lenteur à ce paysage. L'horizon est souvent lointain, car les superficies des parcelles sont grandes et le maillage de haie est quasiment inexistant. Le creux des vallées est souligné par les linaires d'arbres qui longent les cours d'eau. L'enchaînement de ces ondulations nous

permet parfois d'avoir une multitude de plans qui se superposent. Les villages sont facilement reconnaissables au loin par leur densité visuelle grâce à la végétation qui les entoure. Ils offrent un espace plus dense en comparaison aux vides laissés par les champs. C'est d'ailleurs bien souvent cette végétation qui vient offrir un contraste visuel aux plaines dorées ou terreuses.

Les cultures viennent rythmer au fil des saisons les vues qui s'offrent à nous lorsque nous parcourons ses paysages. Certaines cultures ont davantage d'impact visuel que d'autres, comme le maïs, qui crée un véritable rempart visuel. Lorsque sa croissance atteint son terme. (CAUE de l'Aisne, 2004)



Figure 22 Paysage du site choisi sur les villages de Labouzy et Priscoes



### 3.1.5 Occupation du sol

Tableau 4 Pourcentage de la répartition de l'occupation du sol

<b>Occupation du sol (Corine Land Cover)</b>	<b>Répartition</b>
<i>Tissu urbain discontinu</i>	6,23 %
<i>Terres arables hors périmètres d'irrigation</i>	60,17 %
<i>Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole</i>	26,50 %
<i>Systèmes culturaux et parcellaires complexes</i>	0,97 %
<i>Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants</i>	0,13 %
<i>Forêts de feuillus</i>	5,29 %
<i>Forêts mélangées</i>	0,61 %
<i>Forêt et végétation arbustive en mutation</i>	0,10 %
<b>Total général</b>	<b>100,00 %</b>

Ces données issues de l'occupation du sol Corine Land Cover de 2012 avec la nomenclature de niveau 3, la plus précise montre la faiblesse en diversité de ces territoires. Presque les 2 tiers sont des étendues de grandes cultures. L'apport de retenues d'eau pourrait apporter de la diversité dans ces écosystèmes. De plus, à proximité de ce territoire très agricole, on retrouve par exemple la Haute-Thiérache, riche territoire bocager qui offre une plus grande diversité d'habitats, mais dont les objectifs de productions ne sont certes pas les mêmes. En Haute-Thiérache, la production est davantage ciblée sur les systèmes herbagés.

### 3.1.6 Sa topographie

Les illustrations suivantes représentent le paysage étudié. Elles constituent une part représentative du paysage moyen de la zone d'étude, avec sa dominance agricole. Sur la carte IGN, en annexe 4, on retrouve l'emplacement de ces 2 blocs-diagramme.

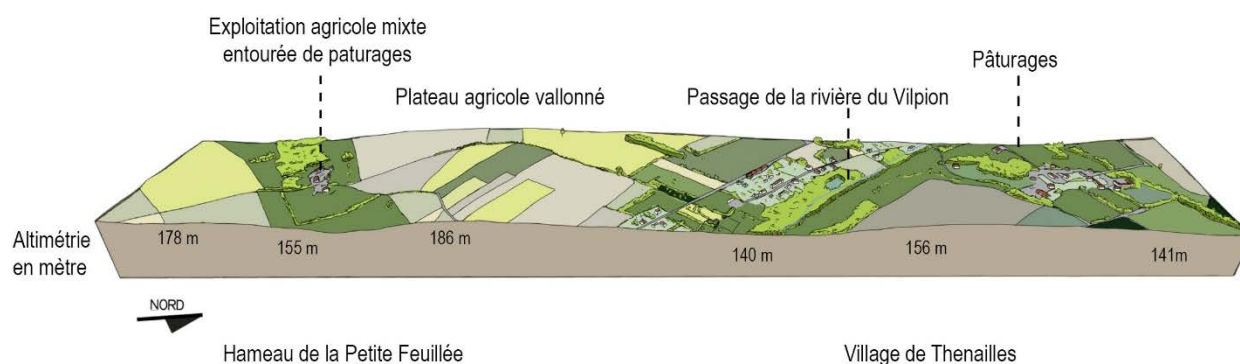


Figure 23 Bloc-diagramme — coupe du Hameau de la Petite feuillée au Village de Thenailles – (Source : Dessin personnel)

Sur ce bloc-diagramme du Hameau de la Petite feuillée au Village de Thenailles, nous observons l'ondulation régulière du paysage avec ses creux et ses reliefs, avec parfois 30 mètres de dénivelé. Sur les hauteurs on a les zones de grande culture tandis

que sur les points bas on a les pâturages et zones arborées. La ferme ayant une activité mixte se situe en points bas, où les pâtures sont présentes afin d'avoir une proximité immédiate avec les bâtiments d'élevage. Les surfaces cultivées sont quant à elle disponibles pour fournir une alimentation animale, avec le maïs par exemple ou pour l'homme. Les superficies sont grandes et sur ces plaines, la diversité est faible, du fait de l'absence de haies ou boisement. Plus au nord, on retrouve le passage de la rivière du Vilpion, un affluent de la Serre, caché par les boisements humides. On retrouve une nouvelle fois des pâturages sur cette zone humide. Les villages sont de petites tailles.

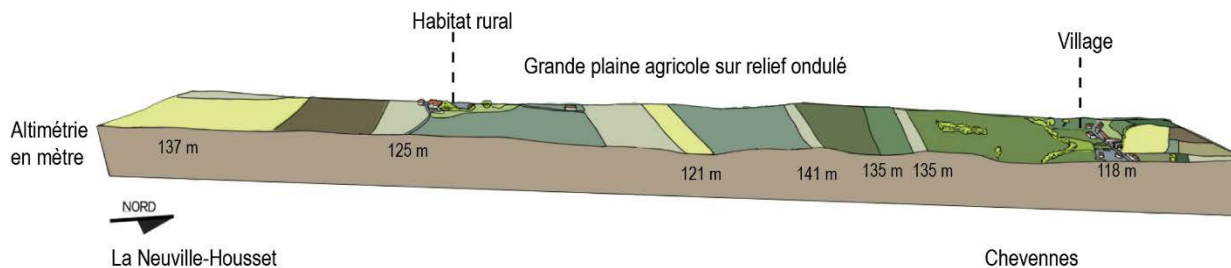


Figure 24 Bloc diagramme - coupe du paysage la Neuville-Housset à Chevennes (Source : Dessin personnel)

Sur ce bloc-diagramme du paysage la Neuville-Housset à Chevennes, on observe davantage les plaines agricoles, situées à l'ouest du territoire, où les grandes cultures sont prédominantes. L'ondulation sur ces terres agricoles est favorable à la concentration des eaux de ruissellement.

Ce paysage ondulé est-il une opportunité pour l'insertion de retenues d'eau ? Contrairement à des surfaces planes, il est plus facile de canaliser certains ruissellements et également de les stocker grâce au relief préexistant. Comme dit dans la partie précédente, un espace concave sur le territoire est plus enclin à stocker de l'eau, car il maximise les rendements étant donné l'évaporation moindre. Cela permettrait aussi d'établir des liens avec les corridors écologiques pour les espèces d'oiseau par exemple, ou de développer des habitats rares, sur ces zones où le niveau des eaux fluctue au cours de l'année.

## 3.2 MÉTHODOLOGIE

### 3.2.1 Étapes de la méthodologie

Mon objectif à travers ce travail de fin d'études est de déterminer les emplacements potentiels de retenue d'eau qui captent les eaux de ruissellement à partir d'un territoire. Mon objectif en tant qu'architecte paysagiste est de porter une réflexion multidimensionnelle sur ces ouvrages, en leur permettant d'offrir un maximum de services sur ce territoire et en les intégrant de manière adaptée à nos paysages. La méthodologie va permettre de retenir des sites candidats qui pourront être sélectionnés selon divers critères pour l'élaboration de retenue d'eau. Dans un premier temps, l'approche sera liée à la morphologie de ce territoire avec sa topographie et son occupation du sol) qui permettra d'établir des sites candidats. L'objectif est de traduire les éléments visuels du paysage, de ces ondulations, par des valeurs mesurables et quantifiables.

Dans un second temps, elle se focalisera sur une évaluation de service écosystémique. Ainsi les sites candidats permettront de définir le contexte et le cadre de l'évaluation ainsi que les opportunités offertes par les écosystèmes présents/à créer.

Elle aura pour objectifs de démontrer à l'ensemble des acteurs les services rendus par ces retenues dans les paysages agricoles.

#### 3.2.1.1 Étape 1 — Identification des candidats :

La première approche sera à partir de données issues de modèles numériques de terrain ainsi que sur l'occupation du sol afin de déterminer les sites candidats. Cela va être déterminé à l'aide de plusieurs traitements de données issus de l'exploitation du modèle numérique de terrain par le logiciel de SIG QGIS. L'objectif est d'identifier des points sur les territoires où l'eau tend à s'accumuler par ruissellement grâce à la topographie. Le ruissellement sera calculé à l'aide de coefficient de ruissellement défini par l'occupation du sol.

##### 3.2.1.1.1 Analyse par la morphologie du territoire.

Les principaux outils servant dans cette partie de cette méthodologie sont l'analyse et l'extraction de données grâce au modèle numérique de terrain et l'occupation du sol. Le **modèle numérique de terrain (MNT)** est une représentation numérique (Image raster) de la topographie d'un site où chaque pixel du MNT utilisé est un carré 5x5 mètres soit une superficie de 25 m<sup>2</sup>. La valeur du pixel est l'altitude correspondante. L'occupation du sol est déterminée par la base de données européenne **Corine Land Cover**. Cette couverture du sol a été réalisée en 2012. L'évolution de l'occupation du sol, effectuée à partir de comparaison aérienne, n'est pas significative. Elle va permettre de déterminer les coefficients de ruissellements.

Afin de déterminer la quantité d'eau potentielle que l'on peut accueillir dans les retenues candidates, nous allons utiliser des pluies effectuées en hiver. En effet, ce

Tableau 5 statistique de précipitations extrêmes de la commune de Momignies (source : Institut Royal Météorologique de Belgique)

1. Niveau de retour estimé pour une durée de précipitations de 10 minutes à 30 jours (lignes) et une période de retour de 2 à 200 années (colonnes). Unités : mm.

Durée	Période de retour (années)											
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	75	100	200
10 min	8.2	11.8	14.4	16.1	17.3	18.2	19.0	20.3	21.3	23.3	24.8	28.5
20 min	12.3	17.9	22.1	24.6	26.5	28.0	29.2	31.2	32.9	35.9	38.2	44.0
30 min	14.4	21.0	25.9	28.8	31.0	32.7	34.2	36.5	38.4	42.0	44.6	51.3
1 h	18.0	25.7	31.5	35.0	37.6	39.6	41.3	44.1	46.3	50.5	53.5	61.4
2 h	21.9	30.6	37.2	41.1	44.0	46.3	48.2	51.4	53.8	58.5	62.0	70.8
3 h	24.3	33.5	40.3	44.4	47.4	49.8	51.8	55.0	57.6	62.4	66.0	75.1
6 h	29.5	38.2	44.6	48.4	51.3	53.5	55.4	58.4	60.8	65.3	68.7	77.2
12 h	36.7	46.9	54.4	58.9	62.2	64.8	67.0	70.5	73.3	78.6	82.5	92.3
1 j	45.9	57.8	66.3	71.4	75.1	77.9	80.3	84.2	87.2	92.9	97.0	107.4
2 j	60.8	76.0	86.7	93.0	97.5	101.0	103.9	108.6	112.2	118.9	123.8	135.8
3 j	66.4	83.3	95.0	101.8	106.6	110.4	113.5	118.4	122.3	129.3	134.4	147.0
4 j	73.1	91.4	103.9	111.2	116.3	120.3	123.5	128.7	132.8	140.2	145.5	158.5
5 j	83.2	103.6	117.5	125.5	131.1	135.5	139.0	144.7	149.1	157.2	163.0	177.0
7 j	97.3	119.4	134.3	142.8	148.8	153.4	157.2	163.1	167.8	176.2	182.2	196.7
10 j	117.4	144.3	162.2	172.3	179.4	184.9	189.3	196.3	201.7	211.5	218.5	235.2
15 j	142.7	173.9	194.2	205.6	213.6	219.7	224.7	232.4	238.4	249.2	256.9	275.1
20 j	166.4	203.2	227.0	240.3	249.5	256.5	262.2	271.2	278.0	290.4	299.1	319.7
25 j	179.9	218.8	243.8	257.7	267.3	274.6	280.5	289.8	296.9	309.6	318.5	339.6
30 j	207.3	247.9	273.9	288.3	298.2	305.7	311.8	321.3	328.6	341.6	350.7	372.2

77,9 mm.

Pour déterminer les quantités écoulées, on utilisera la méthode rationnelle avec l'usage des coefficients de ruissellements en lien avec la classification des pentes du territoire. Pour cela, les valeurs de l'Office International de l'Eau, D. DELAGE — 1998, vont être utilisées. Ces données sont à retrouver dans le tableau ci-contre.

Tableau 6 : Tableau des coefficients moyens d'après l'Office international de l'eau, Delage. D, 1998).

Occupation du sol	Code Corine Land Cover associée	Coefficient moyen (Cm)	Facteur de pente (Fp)		
			Terrain plat (<1 %)	Pente comprise entre <=1 et <7+	Terrain pentu (>7 %)
Terrains de cultures céréalières	211 242	0,20	0,75	1	1,25
Forêt, landes et bois	243 311 313 324	0,05	0,5	1	1,2
Prés et pâturages	231	0,10	0,66	1	1,25
Habitation individuellement dense	112	0,35		1	

sont celles-ci qui ont le moins d'impact sur le milieu comme expliqué dans les parties précédentes et sont les plus susceptibles de créer du ruissellement favorable au remplissage de la retenue d'eau. Dans un premier temps, nous allons déterminer la pluie de projet qui va permettre de quantifier un phénomène extrême. Ce volume sera à considérer pour que l'ouvrage puisse l'absorber sans conséquence sur la zone en aval, comme un débordement ...

Pour les statistiques de précipitations extrêmes, les données utilisées seront celles de la commune de Momignies, située en Belgique à environ 30 km du site d'étude. La période de retour utilisée sera de 25 ans et la durée de la pluie serait de 24 h. Cette durée est privilégiée, car la période retenue pour le remplissage de ces infrastructures est l'hiver. L'hypothèse d'une pluie uniforme sera utilisée.

La pluie de projet (P) est donc de

Pour déterminer un coefficient de ruissellement ( $Cr$ ) pour chaque pixel, il a donc été établi la formule suivante :

$$Cr = Cm \times Fp$$

**Cr** = Coefficient de ruissellement du pixel prenant en compte l'occupation du sol et la classe de la pente

**Cm** = Coefficient moyen de l'occupation

**Fp** = Pondération du coefficient moyen en fonction de la pente

Les traitements utilisés par rapport au modèle de terrain sur le logiciel de SIG

- **Flow direction** : indique le sens de direction de l'écoulement.
- **Flow accumulation pondérée par le volume** : pour chaque pixel, définis le nombre de pixels qui s'y écoule (montre le chemin des cours d'eau) En multipliant la valeur du pixel par sa superficie, on obtient la surface du bassin versant correspondant à ce pixel. Afin de déterminer un volume écoulé plutôt qu'une surface, la valeur du pixel est pondérée par le volume d'eau en mètre cube qui y ruisselle (**Qr**).

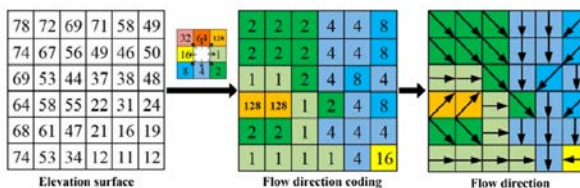


Figure 25 Visualisations des algorithmes de flux utilisés (Y. Li et al.)

Pour déterminer le volume d'eau (**Vr**) qui ruisselle sur chaque pixel, il a d'abord été déterminé le volume par pixel.

Ensuite l'algorithme de flood accumulation obtient en chaque pixel le volume cumulé de ruissellement.

Le volume ruisselé par pixel résulte alors de la formule suivante :

**R** = Volume d'eau ruisselant pour chaque pixel ( $m^3$ )

**P** = Hauteur d'eau précipitée (ici 77,9 mm) en 24 h

**Cr** = Coefficient de ruissellement du pixel prenant en compte l'occupation du sol et la classe de la pente

**S** = Surface du pixel ( $5 \times 5 = 25 m^2$ )

$$R = \frac{77.9 \times Cr \times 25}{1000}$$

Nous allons ensuite utiliser le climatogramme de la ville de Vervins située au centre du site pilote pour déterminer la quantité qui pourrait être retenu. La période de

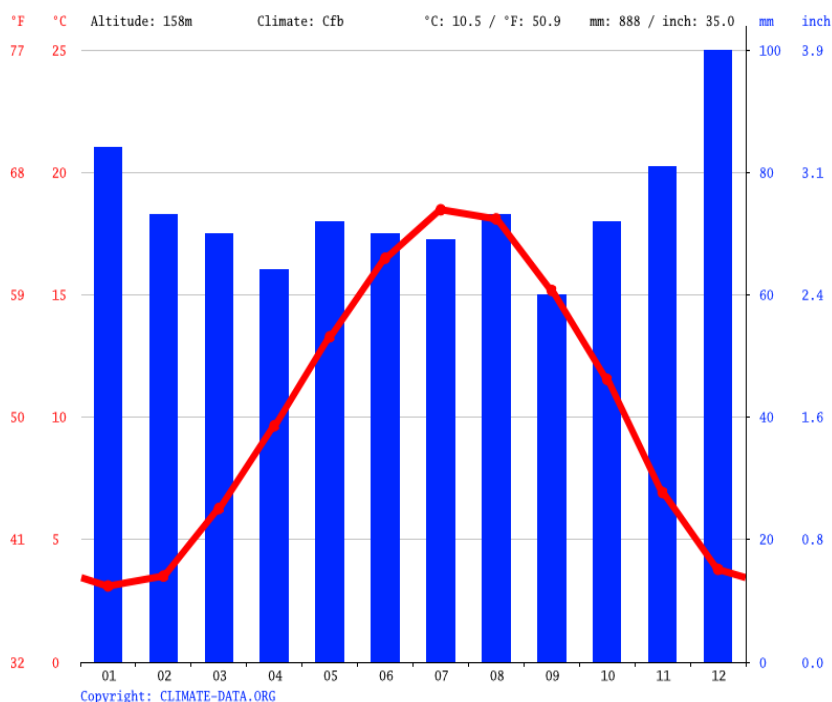


Figure 26 Climatogramme de la ville de Vervins. (Source : Climate-data.org)

remplissage de ces retenues sera plus conséquente en hiver, c'est sur ces valeurs que seront déterminées les possibilités de prélèvements. De plus, la nécessité d'irrigation interviendra avant ces potentielles pluies d'orage en été.

La période de remplissage de ces retenues peut alors être considérée de novembre à mars, qui correspond à la période où aucune irrigation sur grande culture est prévue (cf. Figure 4 sur les besoins en irrigation des plantes).

Afin de déterminer les volumes potentiels que la retenue pourra stocker, on utilisera la période de novembre à mars. Le climatogramme montre un cumul de 408 mm pour cette période. Les scénarios climatiques prévoient une hausse de ces précipitations hivernales, cependant avec pas mal d'incertitudes. Le

scénario RCP 4.5 prévoit un écart relatif des moyennes corrigées sur 30 ans de l'ordre de +10 à +25 % donc une augmentation de ces volumes prélevables du même ordre. Pour la pondération, nous allons utiliser la valeur minimale, c'est-à-dire +10%. On retrouve donc un cumul de **448 mm**, selon le scénario RCP 4.5. Pour déterminer le volume potentiel par pixel au long de l'hiver, on peut pondérer le volume de la pluie de projet.

$$\text{Pondération du volume capté pendant l'hiver } (P_v) = \left( \frac{448}{77.9} \right)$$

La pondération des valeurs issues du calcul de flow accumulation sera pondérée par 5.75. Cette donnée sera présentée sur la carte du flow accumulation où les deux valeurs seront présentées.

$$\text{Volume potentiel capté pendant l'hiver } V_p = R \times P_v$$

- **Indice de concavité** : Il représente les espaces concaves, ou vallées encaissées, qui sont propices au stockage de plus grand volume et limitent l'évaporation. Les dépressions du paysage sont alors identifiées à l'aide du traitement informatique.

Outre cet aspect technique, la disposition dans le paysage de ces réserves dans des espaces creux les rend moins perceptibles et permet une intégration plus aisée dans ces paysages ruraux. De plus ils facilitent les aménagements annexes tels que les zones de lagunages, qui se positionneront en amont, là où les flux s'accumulent.



Ces données vont permettre d'indiquer les positions géographiques de sites candidats à la création de retenues d'eau sur le territoire.

La superposition de cette couche de donnée avec l'indice de concavité déterminera les espaces candidats pour la création de retenue dans un paysage. Ces zones déterminées demanderont par la suite, si volonté il y a, de créer une retenue sur ce territoire, une expertise supplémentaire plus précise.

Le volume des retenues d'eau sera à calculer en fonctions des techniques utilisées pour l'endiguement, de la surface utilisée ainsi que le volume crée par la concavité.

#### 3.2.1.1.2 Pertinence de l'emplacement :

Avant d'effectuer l'étape 2 concernant l'évaluation des services écosystémiques, une élimination des candidats non potentiels est effectuée. En effet, certains sites obtenus se trouvent sur des espaces impossibles à transformer en retenues d'eau. Ces espaces peuvent être :

- Des cours d'eau. (Détermination d'une zone tampon de 50 mètres pour éliminer les candidats se situant sur ceux-ci).
- Des zones habitables.
- Des zones sous régime de protection (Réserves naturelles, réserves biologiques, Natura 2000, ZNIEFF 1 et 2, RAMSAR).
- Des zones forestières.

Ce traitement peut être effectué par l'intersection des zones concernées avec les points candidats.

La nature des sols sera également prise en compte lors de la classification.

#### 3.2.1.2 Étape 2 - Évaluation services écosystémiques

Le prochain objectif, est de démontrer les services que peuvent apporter ces retenues au sein du paysage d'étude, ici la Basse Thiérache. Afin d'évaluer les impacts tant positifs que négatifs sur les paysages ruraux de ces retenues d'eau, une évaluation des services écosystémiques (abréviation SE) est réalisée. Les services écosystémiques se définissent comme suit :

*« Les services écosystémiques sont la contribution des écosystèmes (éventuellement en combinaison avec d'autres apports humains) au bien-être humain. En fonction des conditions du milieu, les écosystèmes fournissent une offre de services potentiels au départ de leurs fonctions écologiques, soient directement sans apport humain, soient après des actions humaines sur les écosystèmes (apport de travail, d'intelligence, d'énergie, de technologies ...) Si cette offre rencontre une demande de la part d'individus ou collectivités humaines, des services écosystémiques sont effectivement fournis ». (Wal-ES, 2015).*

Cette évaluation est basée sur des valeurs anthropocentrées de la nature et de ses valeurs (MEA, 2015). Elles permettent de démontrer des valeurs et des atouts dans un paysage et son donc une aide pour influencer des décisions politiques, environnementales en termes de gestion et d'aménagements de nos paysages. En effet, elle permet de symboliser des caractéristiques liées au fonctionnement des écosystèmes à des intérêts que l'homme peut en tirer. Elle permet également d'orienter la gestion des sites et des ressources de façon pérenne et équitable (Jacobs et al., 2014).

Ces services sont catégorisés sous 3 grands ensembles, à savoir :

- **Les services d'approvisionnement** : ils sont les services de production dont l'homme en retire des bénéfices qu'il peut facilement quantifier et apprécier. Il s'agit par exemple de matériaux, de nourriture, etc. (Ex. : Bois, fruits, fibres pour le textile, etc....)
- **Les services de régulation** : Ce sont des services dont il est plus difficile de s'identifier, cependant leur rôle est primordial pour le cycle des écosystèmes et à plus ou moins grande échelle pour le maintien du cycle de vie. Cela peut être la régulation du climat, le bon des cycles de l'azote ou de l'eau, etc.
- **Les services culturels** : Cette valeur est immatérielle et elle représente des valeurs récréatives, d'esthétiques ou symbolique.

(CS. Campagne — Graphisme A. Deslandes)

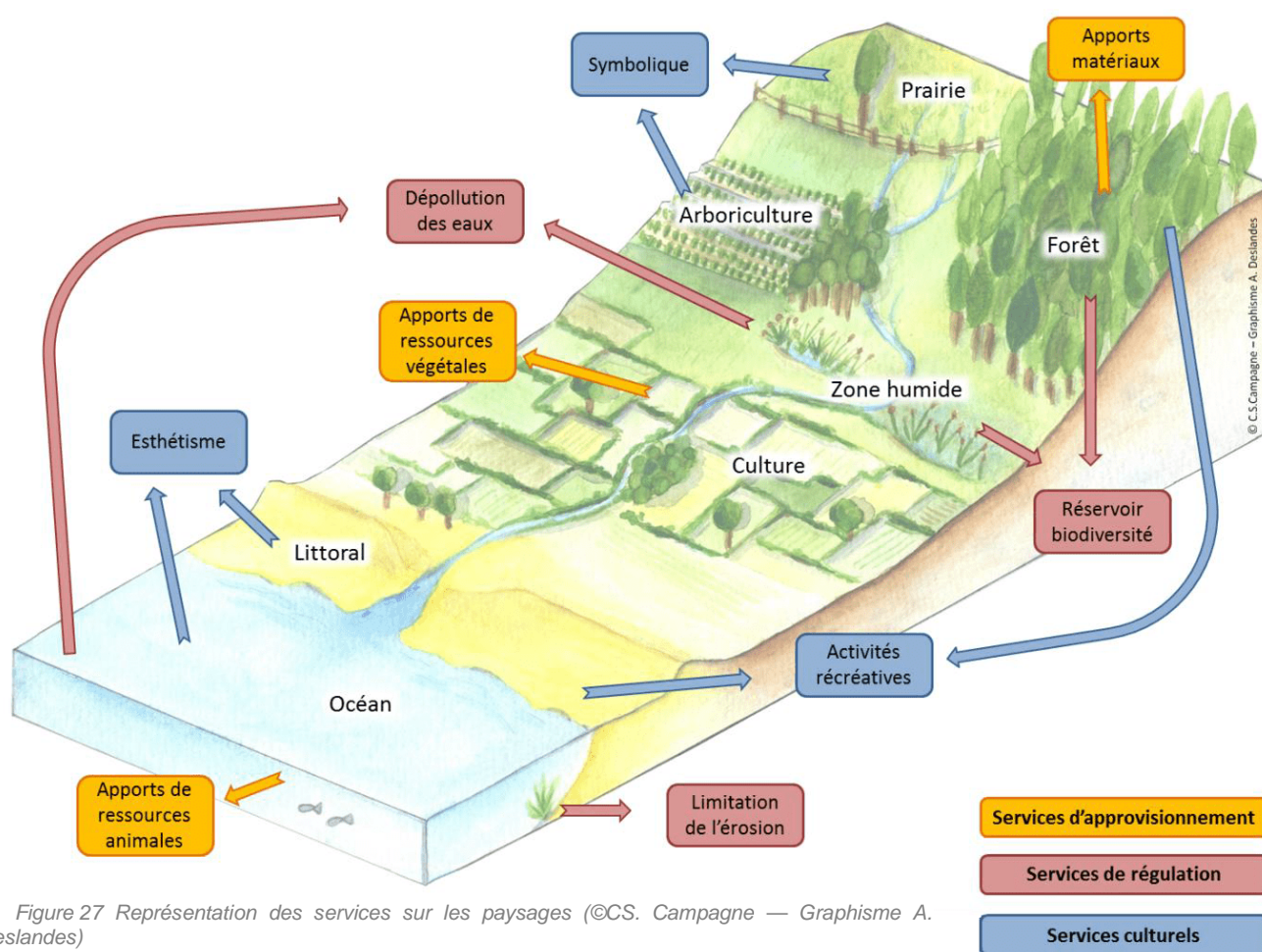



























Figure 27 Représentation des services sur les paysages (©CS. Campagne — Graphisme A. Deslandes)

Pour réaliser l'évaluation des SE, nous allons nous baser sur la méthodologie utilisée dans le cadre de l'évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques réalisée par l'IRSTEA Aix-en-Provence en partenariat avec la DREAL Hauts-de-France (Campagne et al, 2019). Cette référence est utilisée, car elle correspond le mieux aux écosystèmes présents, se situant dans la même région géographique que cette étude.

La liste des services utilisée par la méthode est la même que celle utilisée par la méthodologie de référence. Celle-ci est inspirée de la liste établie par le « Common International Classification of Ecosystem Services », (Haines-young & Potschin, 2013). Celle-ci a été adaptée par des experts de la région afin de correspondre au mieux aux territoires des Hauts-de-France.

La matrice prochainement décrite inclura donc cette liste de service écosystémique. Tous ne seront peut-être pas concernés par l'évaluation. Une description plus complète des SE est disponible en annexe 5.

Tableau 7 Liste des services écosystémiques (Source : Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques, IRSTEA, 2019)

Services écosystémiques					
Services d'approvisionnement	Nutrition	Biomasse non sauvage	Production végétale alimentaire cultivée		SA1 
			Production animale alimentaire élevée		SA2 
		Biomasse sauvage	Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage		SA3 
			Ressource animale alimentaire sauvage		SA4 
		Eau	Eau douce		SA5 
	Matériaux	Matériaux bruts	Matériaux et fibres		SA6 
			Ressource secondaire pour l'agriculture/ alimentation indirecte		SA7 
			Composées et matériel génétique des êtres vivants		SA8 
		Énergie	Biomasse à vocation énergétique		SA9 
Services de régulation	Maintien des conditions biologiques, physiques et chimiques	Régulation du climat et de la composition atmosphérique			SR1 
		Régulation des animaux vecteurs de maladies pour l'homme			SR2 
		Régulation des ravageurs			SR3 
		Maintenance du cycle de vie et de l'habitat	Offre d'habitat, de refuge et de nurserie		SR4 
			Pollinisation et dispersion des graines		SR5 
		Maintien de la qualité des eaux			SR6 
	Médiation des flux - régulation des risques naturels	Maintien de la qualité du sol			SR7 
		Contrôle de l'érosion			SR8 
		Protection contre les tempêtes			SR9 
	Réduction des nuisances	Régulation des inondations et des crues			SR10 
		Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores			SR11 
Services culturels	REPRESENTATIONS- objectif : Interactions spirituelles, symboliques, religieuses & historiques		Emblème ou symbole		SC1 
			Héritage (passé et futur) et existence		SC2 
			Esthétique		SC3 
	USAGES- objectif : interactions physiques et intellectuelles avec les écosystèmes et paysages		Activités récréatives		SC4 
			Connaissance et éducation		SC5 

### 3.2.1.2.1 Les objectifs

L'évaluation des SE a pour objectif d'évaluer et d'aider à la prise de décision dans le cadre d'aménagement afin d'observer les impacts possibles la création de retenues. Elle montre aussi les divers aménagements qui peuvent être réalisés par l'ajout d'un service écosystémique au sein de l'infrastructure. Par exemple les services culturels doivent parfois être supportés par des aménagements destinés à ces usagers.

Afin d'appliquer cette évaluation, il est d'abord nécessaire d'identifier les objets de l'évaluation. Ces objets seront donc les retenues d'eau collinaires dans les paysages de la basse Thiérache. L'objectif sera de déterminer l'impact de leur implantation par l'étude des services écosystémiques qu'elles apportent/retiennent. Il sera pris en compte également les écosystèmes impactés par ces retenues (cultures irriguées, rivières en aval, forêts, etc.) où l'on pourra montrer comment la retenue d'eau va avoir une



influence positive ou négative sur celui-ci. Pour exemple, si le débit de la rivière est impacté, elle aura moins de capacité à fournir un habitat, car il sera plus fragile. De même pour les cultures irriguées qui vont puiser dans la réserve d'eau douce et donc diminuer ses stocks. La capacité évaluée est donc liée à la retenue et son impact sur les territoires et non qu'à l'infrastructure en elle-même.

Outre l'aspect quantitatif, elle permet de montrer les apports sur de multiples plans (Services d'approvisionnement, de régulation, ou culturels). L'intérêt est de démontrer, dans le cadre de la conciliation, les différents aspects et apports de l'infrastructure sur son paysage et notamment sur les acteurs concernés. Les acteurs du territoire concernés ici sont en premier lieu les agriculteurs, sans quoi ces retenues ne seraient pas à l'étude. On en retrouve ensuite de nombreux tels que les habitants, les usagers des lieux (pêcheurs dans les rivières, randonneurs, cyclistes, etc.), les représentants de la nature et des milieux naturels tels que le SDAGE, Natura 2000.

L'étude des apports se base sur le paysage « moyen » observé en basse Thiérache, décrit en 3.1.4 Caractérisation du paysage de la basse Thiérache p.37. Mais aussi sur un territoire plus vaste. En effet, les réserves d'eau peuvent être des lieux d'habitats pour la faune sauvage et notamment des espèces d'oiseaux, qui font par d'un réseau écologique plus important et ne se résulte donc pas simplement à ce bassin versant. L'objectif est d'évaluer l'intérêt général sur un territoire et son impact global face à un paysage moyen. C'est pour cela qu'elle se base sur le paysage moyen et non sur une retenue en particulier.

#### 3.2.1.2.2 Les écosystèmes présents

Dans le cadre de l'étude des services écosystémiques, la considération d'une aire d'étude plus grande que la zone étudiée, car les réseaux écologiques sont plus grands. Comme on peut le voir sur la carte en annexe 3, bien que le territoire soit agricole, on a des sites d'intérêt écologique en dedans et en dehors de la zone d'étude. L'insertion de nouveaux biotopes permettrait de renforcer ce maillage déjà présent et d'ajouter de la nature dans ces territoires agricoles. Pour la qualification des écosystèmes, la référence utilisée sera la classe 3 de la Corine Land Cover. Celle-ci est déjà utilisée dans le cadre de l'étape 1 de la méthodologie. À l'intérieur de la zone d'étude sur lequel l'étape 1 a été appliquée, nous trouvons d'après la Corinne Land Cover les occupations du sol suivant :

Tableau 8 Équivalence des occupations du sol avec les codes utilisés dans la matrice des capacités.

Occupation du sol CLC	Code SE de la méthode
- Tissu urbain discontinu	<b>H25</b>
- Terres arables hors périmètres d'irrigation	<b>H15</b>
- Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	<b>H13</b>
- Systèmes cultureux et parcellaires complexes	<b>H16</b>
- Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	<b>H15</b>
- Forêts de feuillus	<b>H20</b>
- Forêts mélangées	<b>H20</b>
- Forêt et végétation arbustive en mutation	<b>H19</b>

*Les codes sont l'équivalence définie entre l'occupation du sol land cover et les écosystèmes utilisés dans la matrice des capacités*

Cependant cette occupation du sol n'est pas toujours très représentative, car contrairement à la méthode utilisée, celle-ci ne tient pas compte d'une multitude de petits écosystèmes pourtant présents dans le milieu, par exemple les haies et alignements d'arbres. C'est pourquoi on utilisera les écosystèmes décrits par la méthode référence, avec lequel un tri sera effectué selon la pertinence de l'écosystème vis-à-vis du paysage existant et créé par la retenue. Ainsi, les écosystèmes marins et littoraux ont été supprimés de la méthodologie, car ils ne seront pas concernés.

De plus certains écosystèmes seront apportés par l'aménagement proposé par la retenue d'eau.

La création d'habitats par le biais de la création de retenues peut permettre de développer les habitats des espèces présentes dans les ZNIEFF et donc augmenter leur aire de répartition. L'apport de ces écosystèmes permet également de créer ou renforcer des corridors écologiques.

La liste ci-dessous sera donc le contenu de l'étude. Il est possible que certains écosystèmes ne soient pas retenus par la suite et cette détermination fera partie de la première étape de l'évaluation des SE. Pour chaque SE, il sera déterminé s'il est présent dans le périmètre direct des retenues, grâce au « paysage moyen » observé sur place ou s'il sera impacté grâce aux relations que le territoire offre (par exemple s'il a un impact sur l'aire de répartition d'un habitat, ou s'il aurait des conséquences sur son équilibre).

Dans le paysage moyen seront également identifiés les écosystèmes créés ou supprimés par la retenue. Plusieurs de ces conditions peuvent être remplies.

Une brève description accompagnera chacun des services pour les faire correspondre au paysage moyen observé.

Parmi les 3 catégorisations, on retrouvera :

**Le périmètre direct :** La présence de ces écosystèmes est définie par leur proximité immédiate avec les espaces candidats identifiés à l'aide de l'étape 1 de la méthodologie. Ce sont par exemple les cultures ou prairies qui sont retenues candidates ainsi que tout aménagement proche de celles-ci.

**La présence dans le paysage moyen :** Elles ne sont pas à proximité immédiates des retenues, mais sont concernées par des relations indirectes et dont un impact est probable de par la création de retenue d'eau. C'est le cas par exemple des rivières ou zones humides en aval des retenues.

**La création par la retenue :** Il s'agit des écosystèmes créés par la mise en place d'une retenue d'eau en territoire agricole de la basse-Thiérache, il est possible qu'ils n'étaient pas présents sur le territoire avant.

Tableau 9 Liste des écosystèmes pouvant être évalués (source : Campagne, C. Sylvie & Roche, Philip. (2019). Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques.)

Eaux douces	H1
Fonds ou rivages des plans d'eau non végétalisés	H2
Végétations aquatiques	H3
Eaux courantes	H4
Végétations immergées	H5
Végétations de ceinture des bords des eaux	H6
Bas marais, tourbières de transition, sources	H7
Steppes et prairies calcaires sèches	H8
Prairies acides et dunes fossiles	H9
Lisières humides à grandes herbes	H10
Prairies humides	H11
Prairies mésophiles	H12
Prairies à fourrage des plaines	H13
Prairies améliorés	H14
Cultures	H15
Bandes enherbées	H16
Vergers	H17a
Vignobles	H17b
Landes	H18
Fourrés	H19
Forêts caducifoliées	H20
Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides	H21
Plantations de feuillus et indéterminées	H22
Plantations de conifères	H23
Haies, alignements d'arbres	H24
Parcs urbains et grands jardins	H25
Prairies à métaux lourds	H26
Espaces bâtis et urbains diffus	H27
Carrières en activité	H28
Carrières abandonnées	H29
Terrils	H30
Voies de chemin de fer, friches et abords de voies de communication	H31
Lagunes et réservoirs industriels	H32
Réseaux routiers et ferroviaires	H33

### 3.2.1.2.3 Utilisation d'une matrice des capacités

L'objectif de la matrice est d'évaluer les apports de chaque écosystème pour chaque service écosystémique.

Dans la méthodologie de référence utilisée, une valeur comprise entre 0 et 5 et attribuée, sous forme de score pour évaluer la capacité à une forte ou faible participation à produire le service écosystémique. S. Campagne et P. Roche, 2019

Cette méthode a été introduite par Burkhard et al. (2009). Cependant, dans le cadre de ce mémoire de fin d'études, les valeurs évaluées seront l'augmentation ou la diminution des services écosystémiques dans le cadre de l'aménagement de retenues d'eau avec pour objectif d'irrigation sur les paysages concernés de la Basse-Thiérache. En effet, ces valeurs sont normalement attribuées par un panel de personnes composé



d'experts exerçant dans la région. Ici, l'objectif est d'évaluer la relation positive ou négative sur les écosystèmes qu'a la présence d'une retenue d'eau sur son territoire.

La note attribuée va permettre d'observer les impacts positifs et négatifs en termes de services.

Du fait de l'adaptation de la méthodologie, les valeurs attribuées dans la matrice doivent être cohérentes avec l'intention de démontrer les impacts, tout en étant réalisable et pertinente avec la démonstration souhaitée. Celle-ci sera définie en fonction des apports ou non de services écosystémiques. On retrouve donc cette classification :

*Tableau 10 Valeur pour l'évaluation des services écosystémiques (Source personnelle)*

<b>Évaluation des impacts des retenues d'eau sur les écosystèmes et les services écosystémiques qu'ils produisent</b>	<b>Valeur reportée dans la matrice</b>
<b>Suppression</b> : Cette valeur est utilisée lorsque le SE détruit	<b>0</b>
<b>Réduction</b> : Cette valeur est utilisée lorsque le SE diminué par l'impact de la retenue	<b>1</b>
<b>Sans impact</b> : Cette valeur est utilisée lorsque le SE n'est pas influencé par la retenue	<b>2</b>
<b>Renforcement</b> : Cette valeur est utilisée lorsque le SE est renforcé grâce à la retenue	<b>3</b>
<b>Création par la retenue</b> : Cette valeur est utilisée lorsque le SE propose un nouveau service, par la création d'un nouvel écosystème.	<b>4</b>

Cette matrice est une table reliant services écosystèmes et écosystèmes. Les valeurs utilisées sont donc présentées dans les parties précédentes.

La matrice utilisée est donc la suivante (Un exemplaire pleine page est disponible en annexe 6) :

Tableau 11 Matrice des capacités pour l'insertion de retenues d'eau (source : Campagne, C. Sylvie & Roche, Philip. (2019). Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques.)

Matrice des capacités en services écosystémiques de l'implantation de retenues d'eau dans les paysages agricoles du bassin versant de la Serre			Services de régulation et d'entretien										Services d'approvisionnement										Services culturels				
	Code	ÉCOSYSTÈME	Régulation du climat et de la composition atmosphérique	Régulation des animaux vecteurs de maladies pour	Régulation des ravageurs	Offre d'habitat, de refuge et de	Pollinisation et dispersion des graines	Maintien de la qualité des eaux	Maintien de la qualité du sol	Contrôle de l'érosion	Protection contre les tempêtes	Régulation des inondations et des frues	Limitation des nuisances visuelles, pratiques et sonores	Production végétale alimentaire cultivée	Production animale alimentaire	Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	Ressource animale alimentaire sauvage	Eau douce	Matériaux et fibres	Ressource secondaire pour l'agriculture/ alimentation	Composés et matériel génétique des êtres vivants	Biomasse à vocation	Ensemble ou symbole	Héritage (passé et futur) et	Esthétique	Activités récréatives	Connaissance et éducation
			SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SR11	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5
Écosystèmes aquatiques	H01	Eaux douces																									
	H02	Fonds ou rivages des plans d'eau non végétalisés																									
	H03	Végétations aquatiques																									
	H04	Eaux courantes																									
	H05	Végétations immergées																									
	H06	Végétations de ceinture des bords des eaux																									
	H07	Bas marais, tourbières de transition, sources																									
Écosystèmes agricoles	H08	Steppes et prairies calcaires sèches																									
	H09	Prairies acides et dunes fossiles																									
	H10	Lisières humides à grandes herbes																									
	H11	Prairies humides																									
	H12	Prairies mésophiles																									
	H13	Prairies à fourrage des plaines																									
	H14	Prairies améliorés																									
	H15	Cultures																									
	H16	Bandes enherbées																									
	H17a	Vergers																									
	H17b	Vignobles																									
Écosystèmes forestiers	H18	Landes																									
	H19	Fourrés																									
	H20	Forêts caducifoliées																									
	H21	Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides																									
	H22	Plantations de feuillus et indéterminées																									
	H23	Plantations de conifères																									
	H24	Haies, alignements d'arbres																									
	H25	Parcs urbains et grands jardins																									
Écosystèmes urbains	H26	Prairies à métaux lourds																									
	H27	Espaces bâtis et urbains diffus																									
	H28	Carrières en activité																									
	H29	Carrières abandonnées																									
	H30	Terrils																									
	H31	Voies de chemin de fer, friches et abords de voies de communication																									
	H32	Lagunes et réservoirs industriels																									
	H33	Réseaux routiers et ferroviaires																									
			SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SR11	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5

Outre la visualisation des apports directs de chaque service, on pourra également observer, par histogrammes cumulés, quels écosystèmes sont favorables à certains types de services. Ainsi on pourra visualiser la capacité des écosystèmes à produire des services. Ici les SE principaux qui vont être étudiés comptent tenus de la problématique et des intérêts souhaités sont :

**SA1** : *Production végétale alimentaire cultivée* avec la hausse des rendements grâce à l'irrigation

**SA5** : *Eau douce* avec l'offre d'une quantité prélevable d'eau par les agriculteurs pour l'irrigation

**SA9** : *Biomasse à vocation énergétique*. Grâce à l'irrigation, on peut produire des matériaux utilisés à des fins énergétiques tel que la betterave ou les céréales.

**SR1** : *Capacité potentielle de l'écosystème à influencer le climat local et régional et à réguler le changement climatique par la séquestration des gaz à effet de serre*. Les plans d'eau contribuent à la régulation des températures et à la régulation des microclimats locaux.

**SR4** : *Capacité potentielle de l'écosystème à offrir des écosystèmes favorables pour différentes espèces sauvages comme site de nidification, de reproduction ou de refuge*. Comme démontré avec la réserve domaniale des étangs de Luchy, une retenue d'eau a des potentiels.

**SR6** : *Maintien de la qualité des eaux* grâce à la mise en place de lagunage en amont des retenues.

**SR9** : *Contrôle de l'érosion* grâce à la perception des eaux de ruissellement. En amont de la zone de retenue, les quantités ruisselées sont moindres et donc les risques d'érosions sont diminués

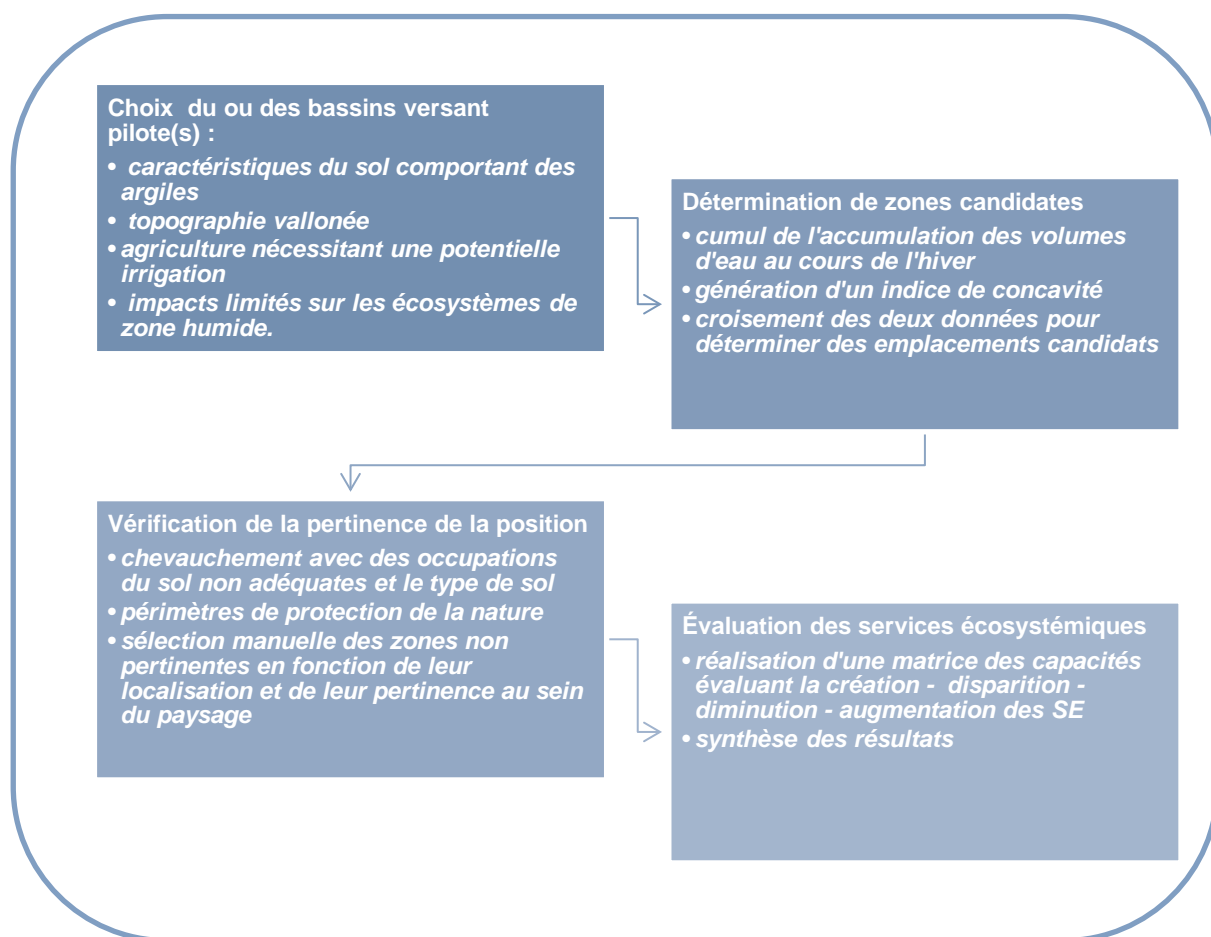
**SR10** : *Capacité potentielle de l'écosystème à maintenir les flux d'eau et à réguler les inondations et les crues*. La retenue des eaux en amont permet de limiter le risque de crues lors de pluie intense.

(C.S. Campagne et P. Roche, 2019)

Nous pourrions observer si d'autres services sont introduits par l'aménagement de ces retenues et nous pouvons en déduire quels seront les autres bénéficiaires impactés.

Les résultats issus de cette matrice donneront des indications sur les solutions de conciliations pour ces projets de territoire ainsi que sur les impacts à davantage quantifier pour s'assurer de la bonne implantation de la retenue.

### 3.3 RÉCAPITULATIF DU PROCESSUS DE LA MÉTHODOLOGIE



Apport du paysagiste à la réflexion des retenues d'eau grâce à la méthodologie

- maintien d'une identité paysagère et transition de celui-ci en fonction des enjeux territoriaux
- utiliser des caractéristiques physiques pluridisciplinaires
- concilier les usages
- favoriser le développement de la nature dans la trame agricole
- démontrer les bénéfices pour les agriculteurs, les organismes des milieux aquatiques et de la nature et les usagers de nos territoires.

## PARTIE 4 : RÉSULTATS

### 4.1 ÉTAPE 1 — IDENTIFICATION DES CANDIDATS.

#### 4.1.1 Analyse par la morphologie du territoire.

##### 4.1.1.1 Détermination des volumes d'eau cumulé par ruissellement

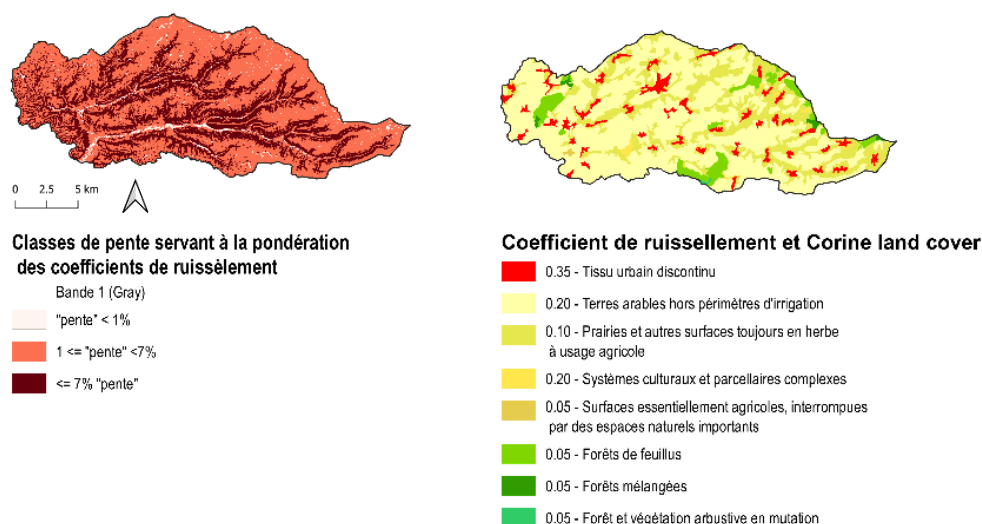


Figure 28 éléments de pondération des coefficients de ruissellements (Source personnelle)

Dans un premier temps, les données extraites du modèle numérique de terrain ont permis d'extraire les classes de pente afin d'utiliser les données du tableau. La pondération des coefficients de ruissellement établi peut être effectuée grâce à l'occupation du sol. On peut observer que le terrain agricole est relativement pentu sur une grande partie du territoire. On peut facilement observer le creux des vallées et l'emplacement des cours

d'eau, là où la pente est la plus importante. Cette pente assez importante sur des terres agricoles entraîne des ruissellements en cas de pluie longue et/ou intense et peut

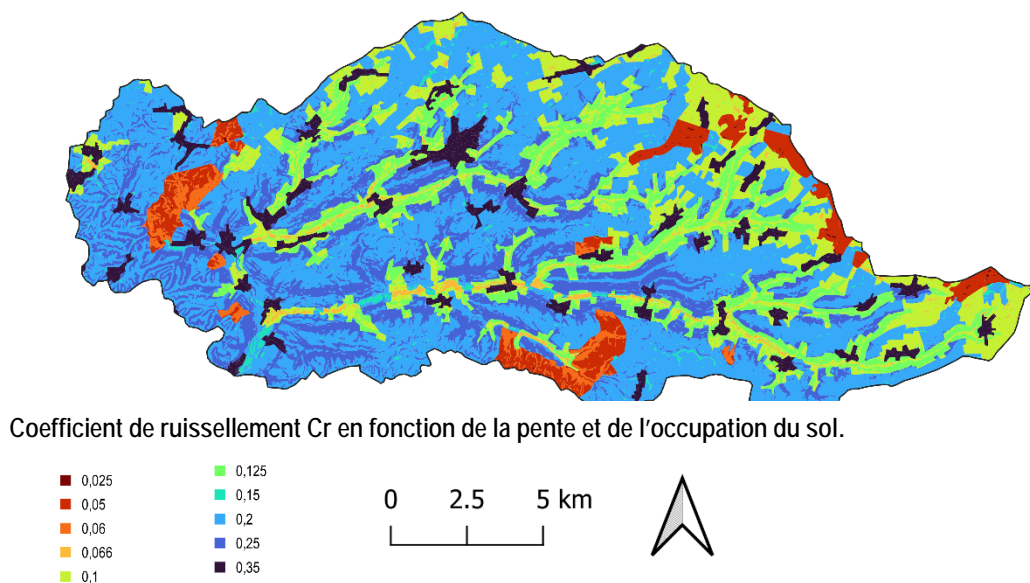


Figure 29 coefficients de ruissellement pondéré. (Source personnelle)

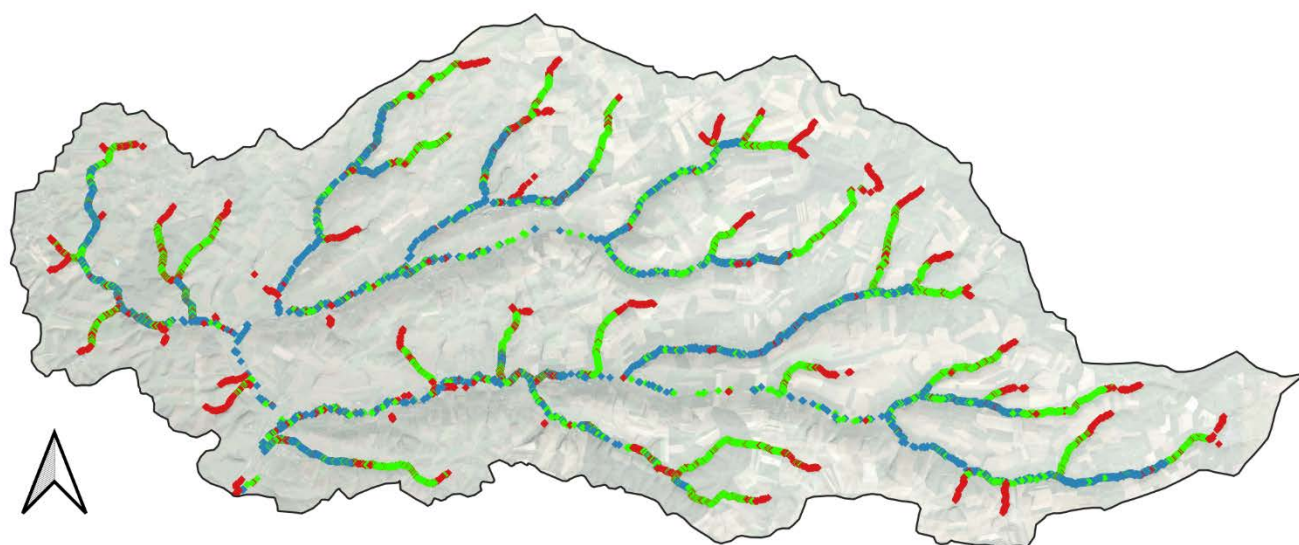
parfois entrainer de l'érosion. Le coefficient de ruissellement a donc été adapté en fonction de ces deux valeurs pour donner le résultat sur la carte ci-dessous.

On peut observer sur cette carte que l'occupation de sol la plus ruisselante est les terres cultivées et elle représente une grande partie du territoire. Cette carte va permettre de déterminer les volumes ruisselés grâce à sa combinaison avec le flood accumulation tel qu'expliqué dans la méthodologie.

La quantité d'eau ruisselante cumulée donnant un résultat pertinent pour se situer en dehors des cours d'eau est entre 6 000 m<sup>3</sup> et 50 000 m<sup>3</sup> pour cette pluie de projet.

Selon les données transmises par la chambre d'agriculture de l'Aisne, près de 300 exploitations ont prélevé en 2019 13,5 millions de mètres cubes pour l'irrigation, soit 45 000 m<sup>3</sup> par exploitation. En 2020, la valeur s'élevait à 65 000 m<sup>3</sup>,

Cependant il est difficile d'évaluer le volume nécessaire dans les décennies à venir du fait de l'évolution des variétés utilisées et des performances des systèmes d'irrigation. Par ailleurs, on peut constater que les volumes nécessaires seront supérieurs aux pluies exceptionnelles, donc ces retenues d'eau seront capables de les accueillir.



**Volume d'eau cumulé par ruissèlement lors de la pluie de projet (R)  
et volume potentiel collecté pendant l'hiver (Vp)**

- 6 000 à 10 000 soit 34.5 à 50.75 milliers de mètres cubes d'eau captés pendant l'hiver
- 10 000 à 25 000 soit 50.75 à 143.75 milliers de mètres cubes d'eau captés pendant l'hiver
- 25 000 à 50 000 soit 143.75 à 287.75 milliers de mètres cubes d'eau captés pendant l'hiver

*Figure 30 Résultats du flood accumulation et expression des quantités ruisselées en mètres cubes (source personnelle)*

On peut observer que des volumes pour l'élaboration de captage d'eau de ruissellement peuvent être constitués sur le territoire.

Le choix d'un volume minimal a été déterminé afin d'obtenir des volumes cohérents pour l'exploitation des résultats. Comme le mentionnent les chiffres donnés par la chambre d'agriculture, les volumes mentionnés correspondent à l'usage d'une exploitation. Un volume d'eau plus faible aurait donné davantage de résultats et ne



ressortirait pas les sites les plus pertinents. D'autant plus qu'une partie des volumes ne peuvent être prélevé pour assurer le fonctionnement écologique de l'ouvrage.

#### 4.1.1.2 Les zones concaves favorisant une meilleure rentabilité de l'aménagement

Sur le bassin versant choisi, l'indice de concavité varie de 2,77 à 72.78. Une cartographie a été produite en annexe 7 pour localiser ces lieux.

3 classes de concavité ont donc été déterminées en fonction des observations de la donnée produite afin de retenir les eaux.

Tableau 12 Classes des indices de concavité

Classe d'indice de concavité	Description
2.77 <60	Zones non concaves
<= 60 à <65	Zone de concavité intermédiaire.
>= 65	Zone de concavité plus propice au stockage

On observe que davantage de zones concaves se situent à l'ouest du territoire, là où les grandes cultures sont majoritaires et sont donc les plus demandeuses en eau. La surface de ces zones concave est assez variable et plus elles sont imposantes, plus leur capacité à stocker est importante.

L'intérêt est alors de croiser cette donnée avec l'accumulation des volumes d'eau pour identifier les candidats potentiels au travers du territoire. Le croisement des deux données précédentes d'accumulation en Figure 30 et les zones de concavité (annexe 6) permettent donc d'identifier dans un premier temps l'ensemble des candidats sur un territoire, sans prise en compte de sa composition et des critères d'exclusions.

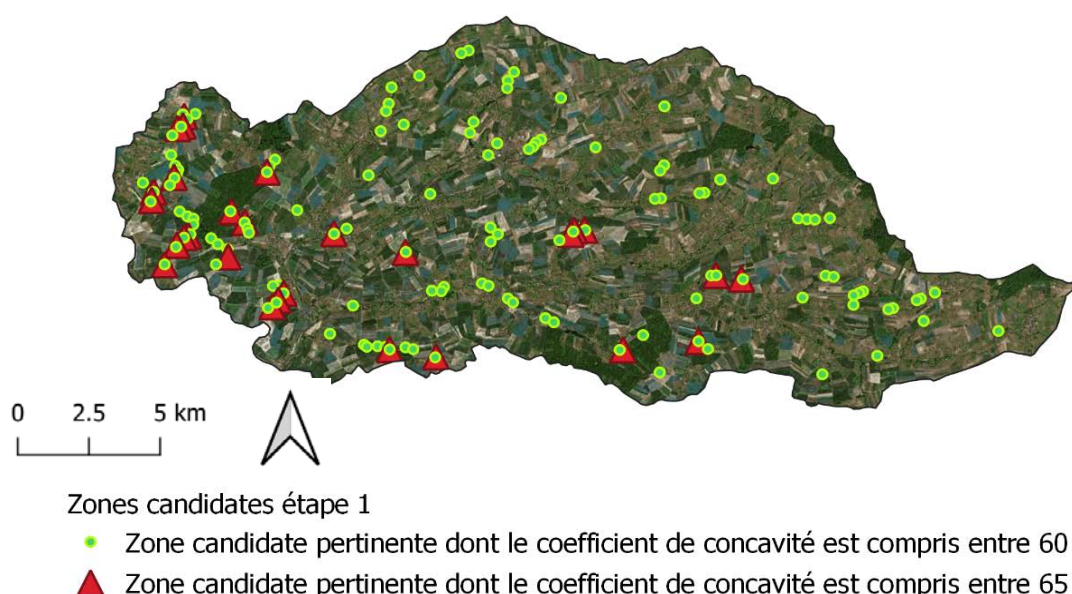
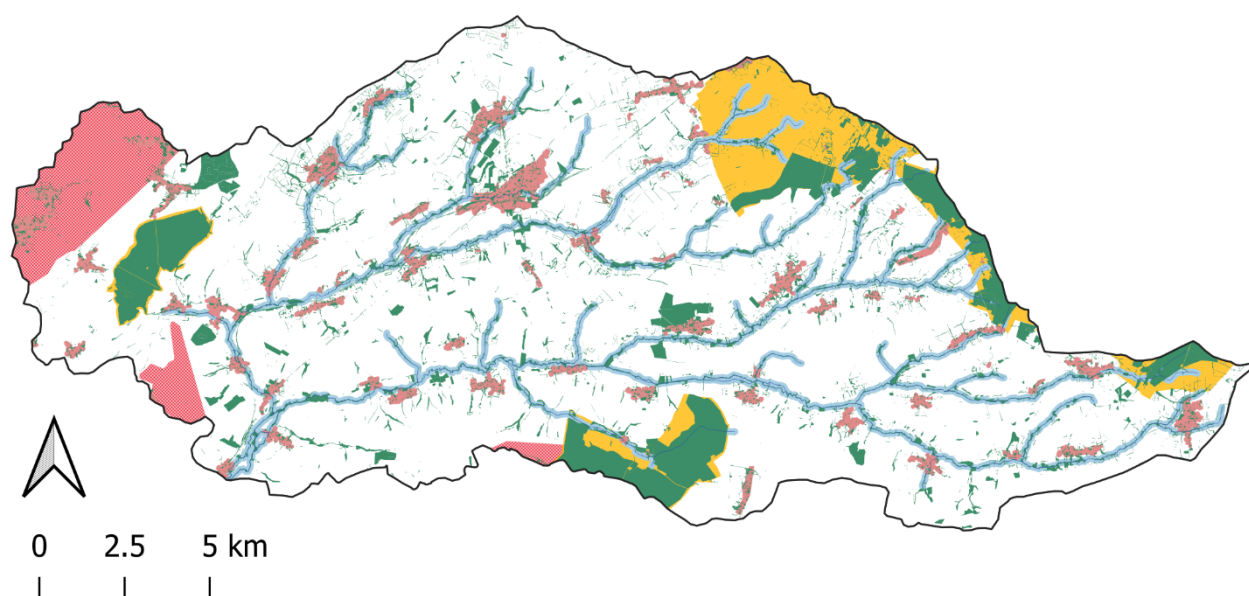


Figure 31 Zone candidates de l'étape 1 (source personnelle)

On retrouve donc un nombre important d'emplacements, cependant, lorsque l'on s'intéresse davantage à leur localisation, on peut voir qu'ils ne sont pas tous cohérents au vu des impacts qu'ils peuvent avoir sur les milieux ou tout simplement face à une localisation impossible.

#### 4.1.2 Pertinence de l'emplacement

On retrouve ici les espaces qui ne doivent pas être pris en compte pour la création de ces retenues compte tenu de leur localisation, excluant tout possibilité de retenue d'eau. La zone d'étude comprend comme périmètre de protection de la nature des ZNIEFF de type 1. Il a donc été retenu uniquement les éléments de la légende présente dans la carte ci-contre.



##### Zones d'exclusion des candidats

- Cours d'eau
- Zone de végétation arborée
- Zone d'habitat
- Zone tampon des cours d'eau
- ZNIEFF de type 1
- Aire d'alimentation de captages dont le périmètre est en attente de validation par un référent (source : aires-captages.fr)

Figure 32 Zones d'exclusion des retenues potentielles (source : BD Topo – IGN)

Certaines zones candidates nécessitent une appréciation réalisée par l'architecte paysagiste pour vérifier leur pertinence et sont supprimées manuellement.

- Les zones candidates très proches peuvent être considérées comme des doublons.
- L'indice de concavité le plus important sera conservé.
- Le point le plus en aval également privilégié.

- Il arrive aussi que la zone concave soit de très petite superficie, inférieures à 75 ares, et donc ne sont pas cohérentes dans le cadre de l'implantation d'une retenue d'eau.
- Les retenues candidates se situent sur deux types de sol différents. Le tri a été effectué avec la comparaison de la carte des sols sur le Géoportail.

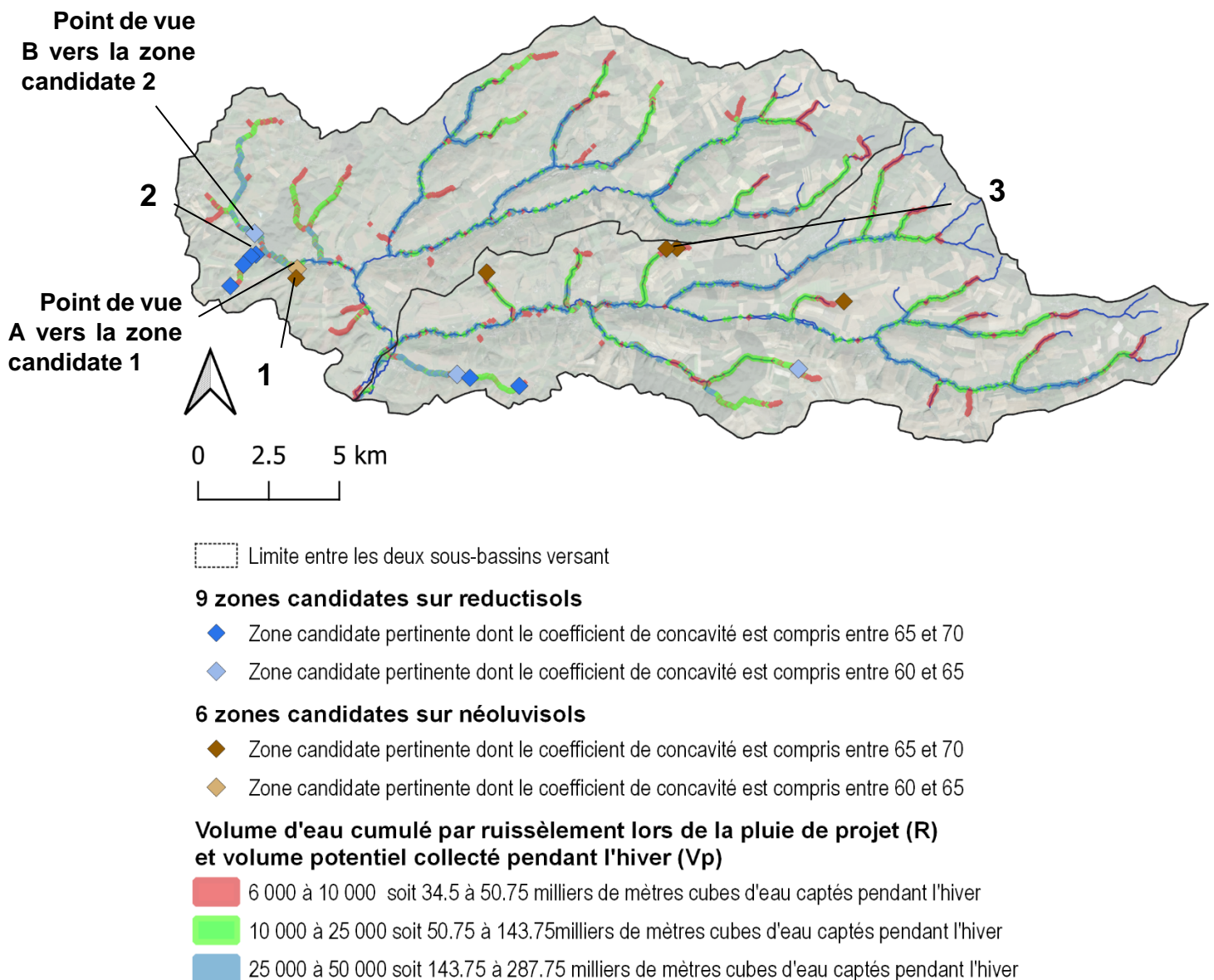


Figure 33 Zones candidates pour les retenues d'eau (source : personnelle, image aérienne Bing aerial)

Les espaces retenus sont donc situés dans des terres agricoles ou sur des pâturages pour constituer des zones d'immersion temporaires, là où l'impact sera donc atténué et où l'implantation est possible. Pour rappel, l'implantation de retenues d'eau est interdite sur les cours d'eau ou en zone humide. On retient donc les emplacements ci-dessous à la fin de l'étape 1 de la méthodologie.

Une partie des candidats se situent sur néoluvisols des plateaux et rebords de plateaux limono-argileux, cultivés, humides, de la basse-Thiérache (unité cartographique de sol (UCS) N°122). L'autre partie se situe sur des reductisols.

(Vallons humides des affluents de la serre et du ton en basse-Thiérache UCS n°128). Plus de précautions seront à prendre sur l'implantation de celles situées sur les réductisols, car la nature humide de ces sols peut indiquer la présence de ruisseaux ou de zone humide telle que des fossés et fond de vallées dont l'équilibre peut être plus perturbé que sur des néoluvisols. Les zones ne sont pas exclues, mais nécessiteront davantage d'attention lors de l'étude du projet.

On peut constater que le bassin versant situé au nord ne possède que des candidats à l'ouest de son territoire.

On peut observer une concordance des données et résultats grâce aux observations de vues aériennes. En effet, on peut y voir sur les imageries aériennes des traces d'écoulement et de ruissellement des eaux sur les terrains cultivés. Cette observation vient alors confirmer la pertinence du captage des ruissellements d'eau à ces endroits donnés.

Comme on peut l'observer sur les images de la page suivante, on peut voir les écoulements d'eau qui sont marqués par le ruissellement. Les emplacements sont identifiables sur la carte par leur numéro attribué. Deux sont situées en terres agricoles (1 et 2) tandis que la dernière (3) est sur des prairies.

On peut voir sur la vue aérienne n°2 des eaux stagnantes qui sont visibles sur le terrain cultivé, montrant un signe de saturation en eau caractéristique des réductisols et une possible rétention en eau si la faible incidence du projet sur le milieu en aval est démontrée. Car la zone se situe en amont de la ZNIEFF 1 de la forêt de Marfontaine. Une étude d'incidence et d'impact quant aux risques de dégradations sera à réaliser avec la prise en compte de ce milieu spécifique en aval.



1



A



Figure 34 Vue sur une retenue candidate (Source : Google Street View)

2



B



Figure 35 Vue sur la retenue candidate 2 (Source : Google street view)

3



9 zones candidates sur reductisols

◆ Zone candidate pertinente dont le coefficient de concavité est compris entre 65 et 70

◆ Zone candidate pertinente dont le coefficient de concavité est compris entre 60 et 65

6 zones candidates sur néoluvissols

◆ Zone candidate pertinente dont le coefficient de concavité est compris entre 65 et 70

◆ Zone candidate pertinente dont le coefficient de concavité est compris entre 60 et 65

Classes du coefficient de concavité

2.77 < 60 - Zones non concaves

□ ≤ 60 à < 65 - Zone de concavité intermédiaire.

□ ≥ 65 - Zone de concavité plus propices au stockage

--- Courbes de niveau - pas de 10 mètres

Figure 36 Vue aérienne de quelques sites potentiels (source : image aérienne Bing Aerial)

## 4.2 ÉTAPE 2 — ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

### 4.2.1 Les écosystèmes présents :

La première partie de l'application de la méthodologie consiste à révéler l'emplacement des retenues d'eau au sein du territoire. Cela permet de voir les milieux impactés par leur proximité ou par leur relation écologique avec la création de la retenue d'eau.

Il est pris en considération la création de retenue d'eau sur terre agricole ou zones de rétention temporaire des eaux sur des pâturages, comme le suggèrent les emplacements définis par la première étape de la méthodologie.

On peut observer que dans ce tableau la présence de nombreux écosystème sur le

Tableau 13 Identification des services écosystémiques du territoire

Type	Ecosystème	Code	Périmètre direct	Présence dans le paysage moyen dont un impact est possible par	Création par la retenue	Justification de la sélection (Source: Corine Land Cover, observation sur les cartes aérienne et dans la littérature)
Écosystèmes aquatiques	Eaux douces	H1				Création d'un stock d'eau prélevable et non prélevable.
	Fonds ou rivages des plans d'eau non végétalisés	H2				Le prélèvement sur les retenues entraînera des zones de fluctuation temporaire artificielle
	Végétations aquatiques	H3				Cette végétation s'installera sur les zones humides des retenues et est présente sur les étangs et marre du territoire.
	Eaux courantes	H4				A l'aval, les rivières de la Brune et le Vilpion sont présentes
	Végétations immergées	H5				Cette végétation est potentiellement présente dans les retenues d'eau et sur les rivières
	Végétations de ceinture des bords des eaux	H6				Les rivières et points d'eau présentent une végétation en bordure caractéristique de cet écosystème
	Bas marais, tourbières de transition, sources	H7				
Écosystèmes agricoles	Steppes et prairies calcaires sèches	H8				
	Prairies acides et dunes fossiles	H9				
	Lisières humides à grandes herbes	H10				La création d'une zone de lagunage, de retenues ainsi que les abords des rivières permettent à ce type d'écosystème se développer.
	Prairies humides	H11				
	Prairies mésophiles	H12				
	Prairies à fourrage des plaines	H13				Certaines zones candidates se trouvent sur des pâturages. De plus le territoire recense quelques prairies avec l'objectif de créer du fourrage.
	Prairies améliorées	H14				La principale localisation des espaces candidats est sur des terres agricoles.
	Cultures	H15				La réglementation oblige les agriculteurs à positionner des bandes enherbées en bordure de cour d'eau ou de point d'eau.
	Bandes enherbées	H16				Des vergers sont présents sur le territoire, la pulvérisation d'eau sur ceux-ci peut limiter les impacts d'un gel tardif.
	Vergers	H17a				
Écosystèmes forestiers	Vignobles	H17b				
	Landes	H18				
	Fourrés	H19				
	Forêts caducifoliées	H20				Le territoire possède quelques bois et forêt à proximité plus ou moins importants des zones candidates. 3 ZNIEFF correspondant à ces propriétés d'écosystèmes L'exploitation des forêts entraîne une variation de leur strate et une constante évolution des peuplements.
	Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides	H21				
	Plantations de feuillus et indéterminées	H22				
	Plantations de conifères	H23				
Écosystèmes urbains	Haies, alignements d'arbres	H24				Les haies sont relativement peu présentes sur le territoire, mais on peut imaginer qu'à l'avenir elles seront d'avantages présents grâce à la mise en place des MAEC et des objectifs de la PAC
	Parcs urbains et grands jardins	H25				
	Espaces bâtis et urbains diffus	H27				
	Carrières en activité	H28				
	Carrières abandonnées	H29				
	Voies de chemin de fer, friches et abords de voies de communication	H31				Dans cet espace rural, des zones d'habitations rurales et des petites communes prennent place. Ils sont reliés par des voies de communication tel que des routes, voies ferroviaires, etc.
	Lagunes et réservoirs industriels	H32				
	Réseaux routiers et ferroviaires	H33				

territoire. Ils sont les caractéristiques de la zone d'étude en Basse-Thiérache. On peut retenir que certains seront directement impactés par l'emprise de la retenue sur le site. C'est le cas des cultures ou de certaines prairies, la surface de ces écosystèmes laissera place à d'autres, nouvellement créés, augmentant alors la richesse et diversité sur le site, mais diminuant la surface de l'autre écosystème. Bien que la création de ces retenues a pour objectif la rétention d'eau pour l'irrigation, il est important de notifier que la diminution de la surface permet une meilleure résilience de la culture grâce à l'irrigation.

L'atout que l'on observe sur ce tableau est la création de nouveaux écosystèmes au sein d'un territoire.



La création de retenues pourrait apporter les écosystèmes suivants :

- Eaux douces — H1
- Fonds ou rivages des plans d'eau non végétalisés – H2
- Végétations aquatiques — H3
- Végétations immergées — H5
- Végétations de ceinture des bords des eaux — H6
- Lisières humides à grandes herbes — H10
- Prairies humides — H11
- Prairies mésophiles — H12
- Bandes enherbées — H16

Cependant, quel est l'impact de l'apport de ces écosystèmes pour les services écosystémiques, car ils modifient la morphologie du territoire et ses flux (eau, circulation de la faune et répartition des espèces). De plus ceux-ci peuvent avoir des conséquences sur les usagers du site de par l'intervention et les services proposés. L'évaluation à l'aide de la matrice de capacité va permettre d'évaluer les impacts positifs ou négatifs de ces retenues.

## 4.2.2 La matrice des capacités

Tableau 14 Matrice des capacités appliquée

Matrice des capacités : impact de la retenue sur les écosystèmes et leur services fournis			Services d'approvisionnement									Services de régulation et d'entretien											Services culturels					Code
			SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SR11	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	
Ecosystèmes aquatiques	Eaux douces	H01	1	1	0	0	2	0	1	0	1	1	0	0	2	0	1	1	1	0	2	0	2	1	2	2	2	H01
	Fonds ou rivages des plans d'eau non végétalisés	H02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	2	1	1	0	1	0	2	0	1	0	2	H02
	Végétations aquatiques	H03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1	0	2	0	0	0	2	H03
	Eaux courantes	H04	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	1	0	2	0	0	-1	2	H04
	Végétations immergées	H05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	2	H05
	Végétations de ceinture des bords des eaux	H06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	2	0	2	0	2	H06
Ecosystèmes agricoles	Lisières humides à grandes herbes	H10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H10
	Prairies humides	H11	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	H11
	Prairies mésophiles	H12	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	H12
	Prairies à fourrage des plaines	H13	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H13
	Prairies améliorées	H14	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	H14
	Cultures	H15	1	1	0	0	-1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	H15
Ecosystème forestiers	Bandes enherbées	H16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	H16
	Vergers	H17a	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H17a
	Fourrés	H19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H19
	Forêts caducifoliées	H20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H20
	Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides	H21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H21
	Plantations de feuillus et indéterminées	H22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H22
Ecosystèmes urbains	Hales, alignements d'arbres	H24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H24
	Parcs urbains et grands jardins	H25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	H25
	Prairies à métaux lourds	H26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H26
	Espaces bâtis et urbains diffus	H27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	H27
	Voies de chemin de fer, friches et abords de voies de communication	H31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H31
	Réseaux routiers et ferroviaires	H33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	H33

La matrice des capacités permet d'observer facilement les impacts des retenues d'eau sur le territoire et ses SE offerts. On peut constater que la majorité de ceux-ci sont sur les écosystèmes aquatiques et agricoles. En effet, on retrouve la création de nombreux services aquatique, simplement du fait de l'aménagement de la retenue d'eau, qui crée des écosystèmes.

Les écosystèmes urbain et forestier ne sont que peu impactés par la création de retenue de par leur éloignement et leur déconnexion. On peut noter cependant le bénéfice pour les territoires urbains (« H25 » et « H27 ») de régulation des crues, car

les eaux captées en amont ne devront pas être infiltrées par les surfaces en aval dans les villes et réduit donc leur risque d'inondation. Les forêts riveraines ou très humides (« H21 ») peuvent être impactées négativement par la réduction des eaux qu'elles atteignent et peuvent avoir une incidence sur leur équilibre, tout comme les rivières.

La majorité des impacts négatifs sont liés à l'eau douce et aux habitats menacés par la réduction des débits d'eau en aval des retenues.

Cependant les impacts sont positifs pour de nombreux autres écosystèmes grâce à la fourniture d'eau, la mise en place de nouveaux habitats, plus diversifiés. L'apport de la ressource eau permet de maintenir des productions voire de les renforcer grâce à l'irrigation, cependant ces prélèvements réduisent sa disponibilité sur les milieux. Nous avons donc ici la démonstration d'aspect à la fois positif et négatif sur les milieux.

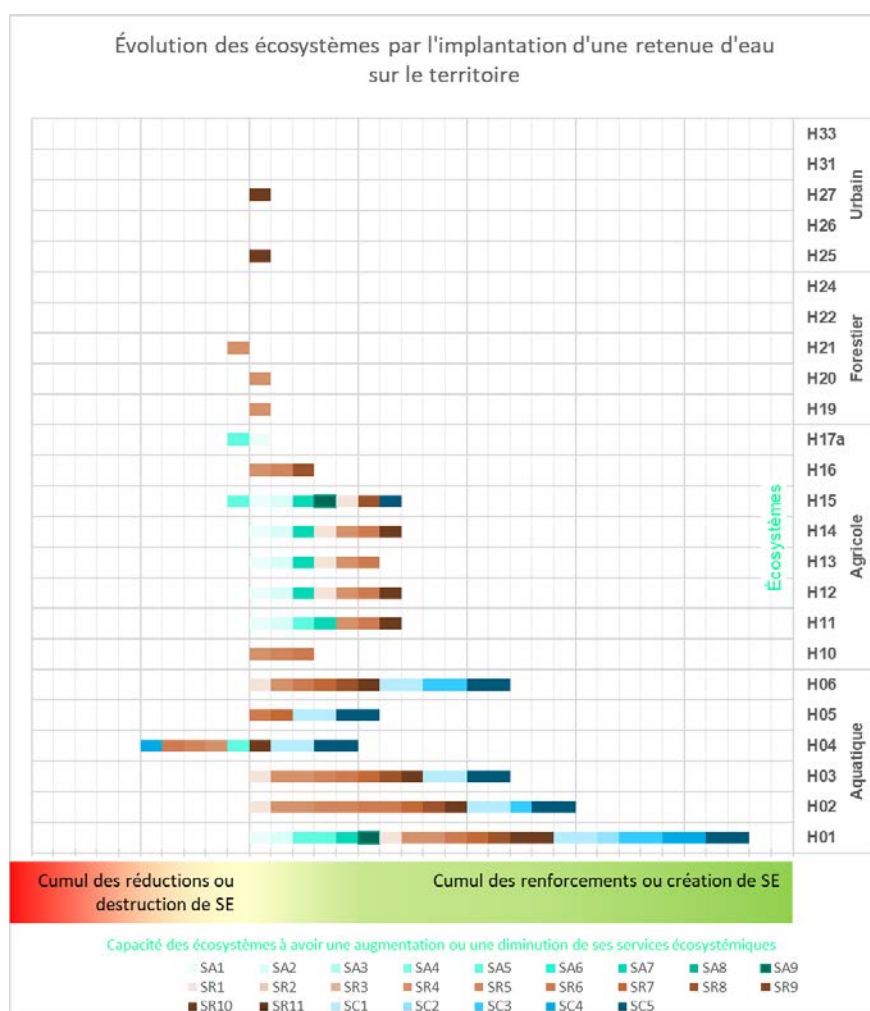


Figure 37 Histogramme cumulé des services écosystémiques en fonction de chaque écosystème.

La Figure 37. ci-contre permet d'observer quels écosystèmes sont les plus bénéficiaires et déficitaires face à l'aménagement de retenue. L'écosystème « H04 » Eau courante se retrouve le plus impacté négativement, la retenue d'eau entraîne des effets négatifs sur son débit et peut dégrader les milieux présents grâce à un déséquilibre.

La majorité des espaces agricoles sont bénéficiaires grâce à l'apport d'eau d'irrigation, qui devrait leur permettre de mieux produire les aménagements secondaires où les modes de gestion leur apportent également des effets positifs comme la création de bandes enherbées autour des zones de rétention.

Le plus gros impact est la création de tout nouveaux milieux aquatiques au sein d'une matrice agricole. La mise en place de nombreux écosystèmes nécessaire au

fonctionnement de l'infrastructure est riche en services écosystémiques.

Parmi les aménagements nécessaires, on retrouve la zone de lagunage, les différentes strates de végétation afin de limiter l'exposition au rayonnement solaire et aux vents, l'apparition d'un volume fluctuant grâce aux prélèvements et pour finir la mise en place de digues. Le système de récolte permettant de guider les ruissellements vers la retenue est à prendre en compte, tel que les fossés ou noues.

Les écosystèmes forestiers sont peu impactés, cependant on peut retenir que l'infrastructure peut augmenter sa vulnérabilité et donc ils sont à prendre en compte dans la stratégie d'implantation.

Les apports en termes de biodiversité sont non négligeables. Ceux-ci seront davantage observables sur le prochain graphique.

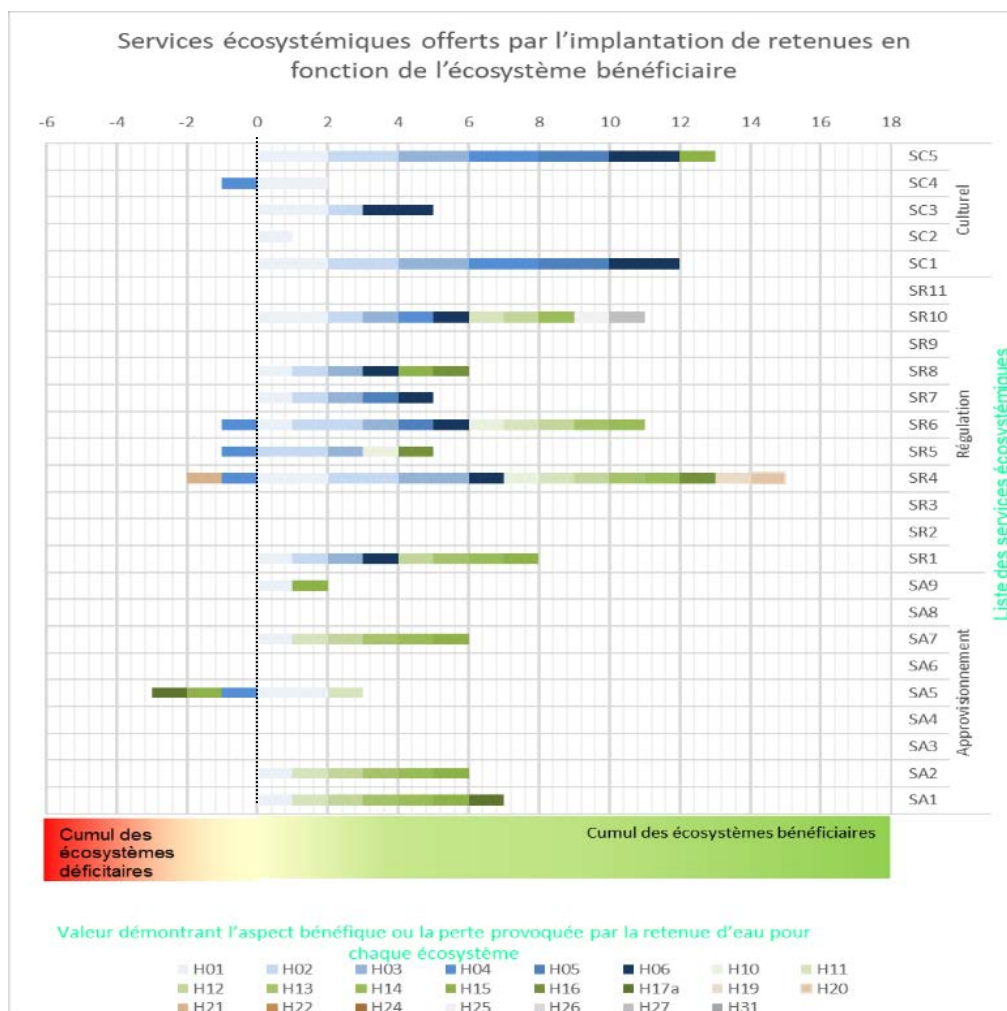


Figure 38 Histogramme cumulée des écosystèmes bénéficiaires des services écosystémiques :

C'est sur cette figure que nous pouvons observer l'apport de cette infrastructure en termes de service, et donc quantifier les bénéfices apportés dont nous pouvons tirer des avantages.

Nous pouvons également ici constater que les apports sont majoritaires, grâce à la multitude d'écosystèmes qui peuvent se développer sur les retenues.

L'apport principal se situe au niveau du « SR4 » « Offre d'écosystème, de refuge et de nurserie » par la création d'un espace nouveau et spécifique, comme l'est « la réserve domaniale des étangs de Luchy ». Ils permettent de créer de nouveaux habitats en lieu et place des terres cultivées, normalement plus faible biodiversité, d'autant plus que ces milieux ne seront pas supprimés, simplement réduits en surface.

Ces surfaces cultivées bénéficieront de stock d'eau douce « SA5 » apporté par la retenue, ce qui leur permet d'accroître leur performance en termes de SE « SA1 » pour

nous fournir une alimentation végétale. La perte de surface agricole est discutable, mais la résilience qui peut être fournie par l'irrigation offre une sécurité supplémentaire non négligeable pour les productions des agriculteurs.

Ces stocks d'eaux peuvent servir également à l'abreuvement du bétail et donc maintenir leur production (« SA23 »).

Dans le cas d'une zone d'immersion temporaire, l'espace de stockage sur pâturage peut être utilisé en arrière-saison, après usage des eaux par irrigation ou infiltration dans la nappe. Il peut être utilisé par le bétail pour lui fournir une alimentation (« SA7 »). Ces zones pâturées de manière extensive peuvent être aussi source d'une flore spécifique.

L'aspect néfaste de cette collecte est visible sur les écosystèmes d'eau courante et réduit certaines de ces capacités en SE, notamment son potentiel d'habitat, car la vulnérabilité de la ressource, et la baisse des débits d'étiage entraîneraient des pertes pouvant être à risque pour la faune et la flore.

L'un des autres atouts de l'implantation d'infrastructure de la sorte est l'ajout de SE culturels.

Le premier est le « SC1 » emblème ou symbole. Il résulte, dans le cadre d'une implantation judicieuse et une gestion de la ressource eau, un potentiel d'habitat exceptionnel et rare. Comme c'est pour le cas de la réserve de Luchy, elle a été classée réserve naturelle grâce à sa flore et faune rare par la variabilité des niveaux au cours de l'année. Cela permet une reconnaissance des milieux, surtout dans les grands plateaux agricoles, pauvres en biodiversité.

Cette variété de strates végétale apportée par l'aménagement amène de la variation dans ce paysage à dominante agricole. Cette rupture avec ce paysage quotidien et devenu emblématique peut apporter des valeurs d'esthétisme « SC3 ». En effet ces sites, si aménagés pour la déambulation sont propices à la photographie et à la découverte, par les éléments rares que l'on peut y observer, ou simplement par le fait qu'il s'agisse d'un milieu différent, nouveau sur le territoire.

De plus, l'activité récréative (« SC3 ») peut être rendue possible par la pêche ou par les sentiers à proximité rendant possible sa découverte par la randonnée.

Enfin le SE de connaissance et éducation « SC5 » y est également développé de façon conséquente compte tenu du caractère nouveau de ce type d'implantation, les conditions de prélèvements par les agriculteurs seront en constante étude et les bénéfices / risques seront évalués en fonction des évolutions des cultures et des prévisions climatiques. Par ailleurs, la flore présente sera rigoureusement observée pour la protéger en cas de nécessité.

La tendance montre la capacité des retenues à offrir plus de diversité sur un territoire et donc davantage d'acteurs en seraient bénéficiaires.

#### 4.2.1 Évolution du paysage et impact de l'intégration d'une retenue

Pour évaluer l'impact et l'évolution qu'apporte une retenue sur son paysage, un exemple d'implantation a été effectué sur le territoire étudié, sur une zone potentielle relevée par la méthodologie. Elle permet de révéler au travers d'un bloc-diagramme son emprise et sa relation avec le reste du territoire. On retrouve ci-dessous la carte de localisation avec l'emplacement de la zone candidate déterminée par la méthodologie.

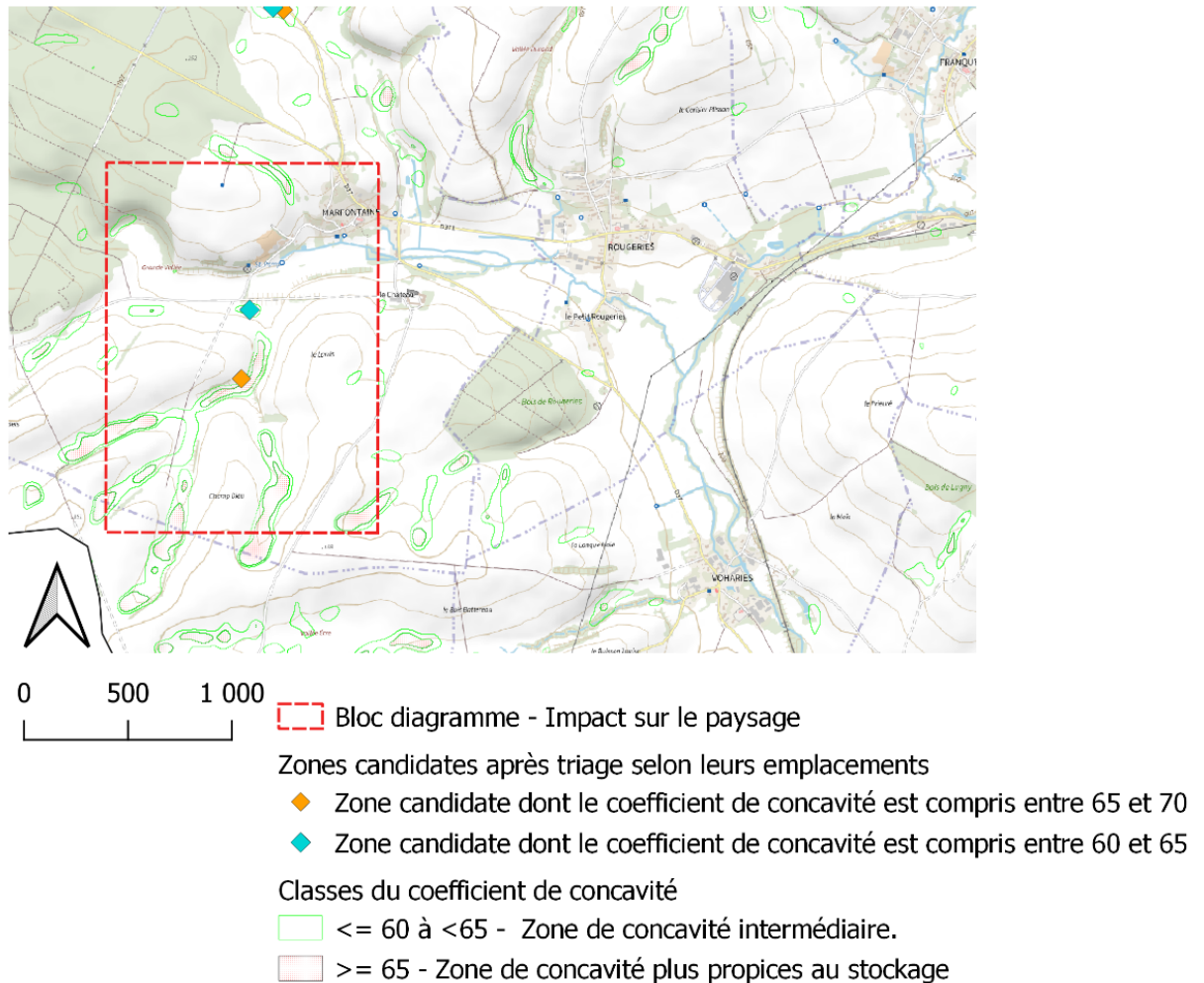


Figure 39 Localisation du bloc-diagramme (Source : Carte IGN)

L'amplitude du bloc-diagramme permet de montrer la relation entre terre agricole, retenue, village et la forêt de Marfontaine. Le premier bloc-diagramme montre le paysage initial, composé d'une grande partie de terre agricole, de vestige de haie bocagère ou de forêt. Le village rural se trouve en aval du territoire agricole. Il s'agit de cultures céréalières, de pomme de terre ou de betteraves qui sont assez sensibles à la sécheresse et peuvent nécessiter d'un besoin en irrigation au cours de l'année.



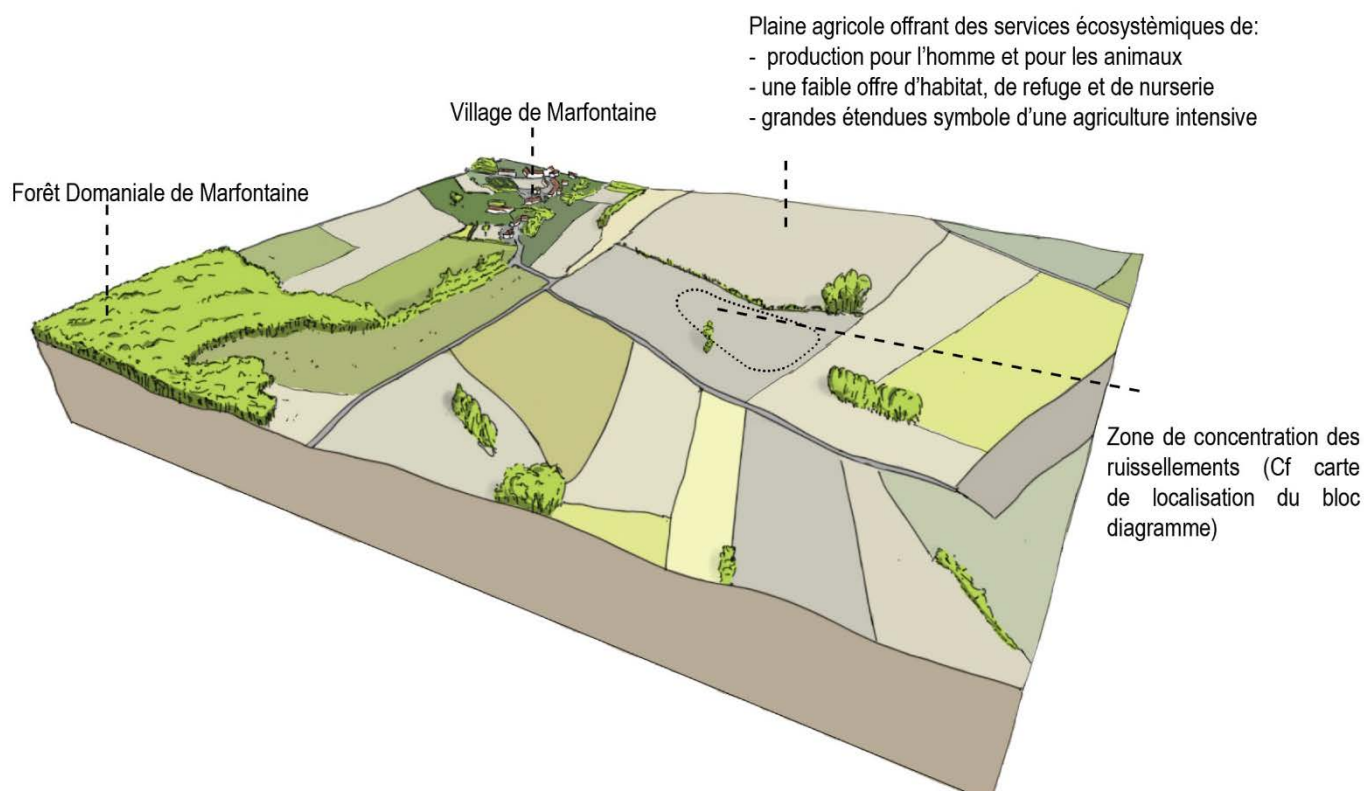


Figure 40 Bloc diagramme, paysage avant implantation de la retenue (source : dessin personnel)

La zone de concentration des ruissellements identifiée sera la zone de création de la retenue. En aval, une digue sera constituée pour créer le volume. Selon les cartes produites par la méthodologie, l'emplacement serait susceptible de recueillir 34.5 à 50.75 milliers de mètres cubes. Cependant cette valeur est théorique en fonction des paramètres pris en compte lors de la méthodologie. Des réserves sont attribuées à ces quantités estimées. (Cf. 5.2 Limite de la méthodologie). Le bloc-diagramme suivant montre alors l'implantation d'une retenue sur une parcelle agricole, là où la concentration de ruissellement a été démontrée ainsi que la concavité de la zone. Ces informations sont visibles sur la « Figure 43 Localisation du bloc-diagramme (Source : Carte IGN) »





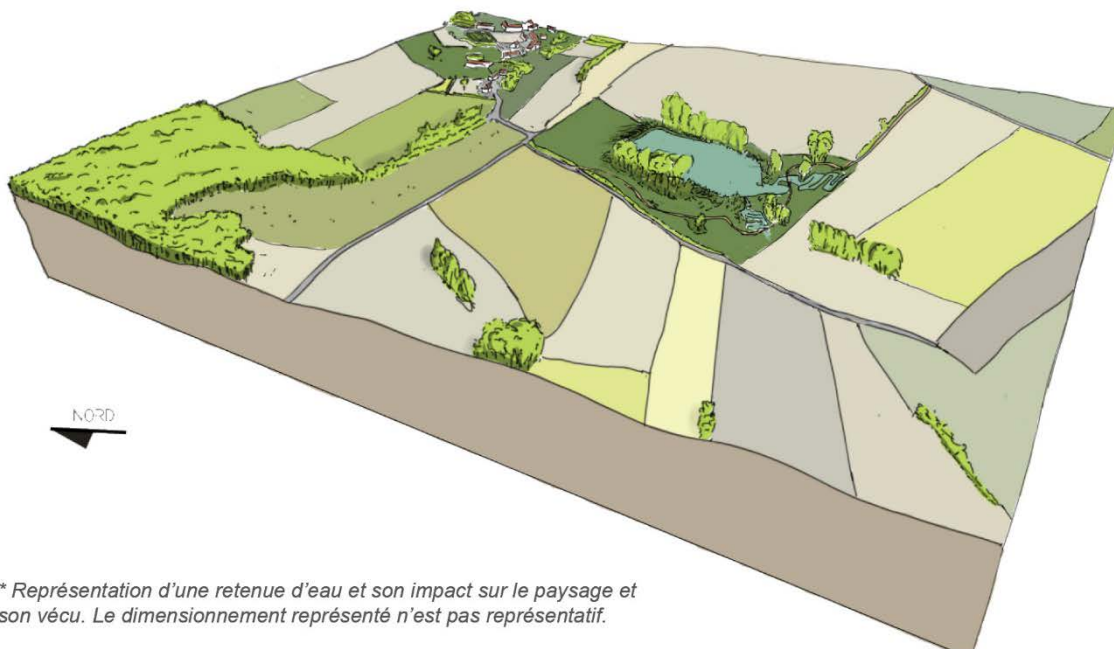
+ augmentation de la productivité des surfaces grâce à l'irrigation en cas de sécheresse, sécurisation des revenus.  
- diminution de la surface agricole utile



+ offre d'habitat, de refuge et de nurserie grâce aux nouveaux écosystèmes de zone humide  
+ nouveaux écosystèmes pouvant être rares offerts notamment par la variabilité du niveau de l'eau au cours de l'année



+ fournit de l'eau douce pour aider à produire de l'alimentation pour l'homme  
+ zone de lagunage pour limiter la pollution des eaux.  
+ protection contre les inondations en aval  
- diminution des débits en aval



+ mise en place d'une digue pour retenir les eaux  
+ Diminution de l'érosion  
- Travaux de terrassement nécessaires afin d'obtenir une morphologie de la retenue ainsi que la zone de lagunage



+ zone de recherche scientifique avec l'étude des écosystèmes, de la faune et de la flore  
+ évaluation de la qualité des eaux et de l'impact des retenues sur les écosystèmes.



+ apport de diversité dans les paysages, nouvelle dynamique visuelle.  
+ intérêt pour les espèces nouvelles, la faune et la flore



+ nouvelles activités récréatives (sentier, pêche) possibles dans le cas où l'accès est autorisé.

Figure 41 Bloc diagramme, évolution du paysage par l'implantation de la retenue. (Source dessin personnel)

On retrouve sur ce bloc-diagramme l'évolution du paysage par la création de retenue. On utilise ici une terre agricole pour la conversion en retenue d'eau. Elle permet d'offrir une résilience aux terres cultivées aux alentours. Les bénéfices apportés sont nombreux cependant des impacts négatifs sont également présents et portent atteinte sur d'autres milieux écologiques. À l'échelle de ce paysage, la relation avec les habitants et usagers du site est plus importante grâce au développement d'infrastructures annexes, tel que des sentiers, points d'observations, etc. Ils permettent de davantage lier les espaces et de les vivre nouvellement, au travers de cette matrice agricole.

L'insertion de la retenue offre de la diversité au paysage, en tout point. (Biodiversité, production, usages). L'accès au foncier reste cependant une question importante et reste spécifique à chaque cas. Les agriculteurs et propriétaires de terrains doivent être enclins à ce type d'infrastructure.

## PARTIE 5 : DISCUSSION DES RÉSULTATS ET LIMITES DE LA MÉTHODOLOGIE

---

L'état de l'art et la contextualisation des enjeux liés au climat, aux retenues d'eau et à l'agriculture ont permis de mettre en avant des besoins pour l'agriculture à venir, ainsi que des risques liés à l'exploitation des terres agricoles et la sûreté des revenus pour les exploitants à cause du risque d'aléas climatiques, qui vont s'accroître au cours des années à venir. Pour pallier à ces risques, notamment la sécheresse agricole, se sont constituées des retenues d'eau agricoles, plus ou moins artificialisées sur les territoires déjà sensibles, autour de la méditerranée. Contestées pour leurs impacts négatifs et leurs projets d'implantation qui ne prennent pas en compte l'avis des populations, elles sont cependant nécessaires pour assurer aux agriculteurs des revenus en cas de sécheresse, et limiter les prélèvements en période d'étiage. La méthodologie aide à localiser l'emplacement des retenues afin de limiter les impacts et de favoriser leurs insertions dans les paysages. De plus, l'évaluation des services écosystémiques permet de démontrer les intérêts de l'infrastructure à l'échelle du territoire. Cela a pour objectif de faciliter la démarche, en tant que projet de territoire, mais aussi de démontrer qu'une retenue d'eau peut apporter des bénéfices non pas qu'à l'agriculteur, mais à l'ensemble des usagers d'un territoire, dans le cas où celle-ci est conçue de la manière telle que démontrée. Elle permet aussi de démontrer que la retenue n'a pas sa place partout dans nos régions.

### 5.1 DISCUSSION

La méthodologie appliquée a permis de mettre en avant des recommandations concernant l'aménagement de retenue dans les paysages ruraux du nord de la France en utilisant des paramètres physiques du paysage tel que ses creux traduits par un coefficient de concavité. De plus, elle permet de mettre en avant la possibilité que peut avoir une retenue d'eau. Elle considère l'apport d'autres services écosystémiques dans son aménagement. Les personnes les plus réticentes au sujet des retenues d'eau pourraient ainsi être plus enclines à accepter ce type de projet, tant que les apports et externalités négatives sont démontrés. Ainsi, les exploitants ne seront pas les seuls bénéficiaires de ces infrastructures, bien qu'ils soient les premiers concernés par l'implantation de ces infrastructures.

Il est important à prendre en compte que la retenue d'eau ne sera pas toujours un élément de résilience inévitable pour l'agriculture, car d'autres solutions sont possibles, leur implantation doit alors être justifiée. La présente méthodologie donne une partie des éléments clés nécessaires à la justification de la pertinence de l'implantation d'une retenue sur un territoire.

#### 5.1.1 Détermination d'un site d'étude.

---

Sur ce large bassin versant, nous pouvons constater grâce aux caractéristiques biophysiques que la retenue d'eau en surface n'était pas une solution envisageable sur l'ensemble du territoire. En effet certaines propriétés telles que le relief et le type de sols sont inhérentes à la plausibilité d'un potentiel site candidat. L'étude préalable sur le choix du site a permis de mettre en avant qu'une grande partie du territoire étudié

était composée d'un sol à tendance perméable, sur lesquels les solutions d'infiltrations dans la nappe semblent plus efficaces. Des infrastructures similaires, avec une infiltration plutôt qu'un stockage en surface peut être possible, mais elles ne sont pas le sujet de cette étude. Les plateaux agricoles limoneux et argileux, considéré et sélectionné pour l'étude représentent une grande superficie des terres agricoles des Hauts-de-France et de Belgique, qui possèdent des projections climatiques similaires et qui peuvent être concernées. Ces paramètres nous ont menés à la considération de deux sous-bassins versants au Nord-Est du bassin versant de la Serre.

Ce territoire vallonné, caractérisé par des terres limono-argileuse et une agriculture diversifiée en fait un cas d'étude idéal, car ses caractéristiques sont assez représentatives des paysages agricoles des Hauts-de-France et de Belgique.

### 5.1.2 Étape 1 : Évaluation des candidats

---

La méthode de choix du site a permis de démontrer que les territoires pouvant être support de l'étude sont nombreux, tant que les conditions de présélections sont réunies. De ce fait, la partie de la méthodologie qui concerne le choix du site ainsi que l'identification de sites candidats grâce à l'indice de concavité et l'accumulation peut être appliquée sur d'autres territoires. Cependant, on peut voir que l'obtention d'une zone concave avec une accumulation de flux suffisante est parfois difficile à obtenir, car de nombreuses zones candidates se situent sur des cours d'eau. Les zones de grandes cultures étant souvent sur des reliefs moins marqués, les zones de concavités de grande superficie sont difficiles à obtenir. Cette potentialité de création de retenues dont les conditions pour diminuer les impacts sont compliquées à réunir et inégalement réparties sur le territoire. Cette solution de résilience pour l'agriculture aux événements de sécheresse doit être complémentaire à d'autres solutions d'aménagement du territoire.

La méthodologie a en effet montré que certaines portions du territoire possèdent de nombreux sites candidats tandis que d'autres n'en possèdent aucun. Finalement, 15 zones candidates ont été identifiées sur ce vaste territoire de 3 332 km<sup>2</sup>. Localisée au sud et à l'ouest. Cette solution de retenue de substitution ne peut pas être envisagée comme solution unique face à l'évolution du climat.

Un autre point à mentionner par l'étude des volumes que l'on peut retenir par ruissellement, c'est que les quantités ne sont pas aussi importantes que les réserves artificielles d'eau évoquées dans la contextualisation, telles que les réserves de la Drôme, car les prélèvements sont par pompage en rivière ou des barrages situés sur les cours d'eau. Ce sont alors des infrastructures de plus petite envergure, qui viennent en complément d'autres prélèvements, si besoin, dans les nappes. L'objectif étant d'offrir des solutions de résilience à l'agriculture, mais aussi à la ressource en eau par la diversification de ses prélèvements pour réduire les impacts sur celle-ci en cas de sécheresse. La méthode appliquée permet également une modification aisée des volumes souhaités, en modifiant la symbologie du rendu.

### 5.1.3 Étape 2 : Évaluation des services écosystémiques

---

Dans un second temps, l'évaluation des services écosystémiques a permis de démontrer les nombreux apports d'une retenue dans son paysage. Les apports sont à la fois en termes de production (alimentaire ou de ressource), mais aussi en termes

d'habitat et de biodiversité, de régulation du micro climat, de la diminution des risques liés aux aléas climatiques (sécheresse et inondations). Un autre apport important pourrait être la découverte du site par les habitants pour leur offrir de nouvelles activités et une nouvelle pratique du territoire. Bien entendu, cela dépendra des choix du propriétaire du terrain et des opportunités à saisir afin de relier le site aux villages, autres sites naturels et sentiers de randonnée. Les impacts négatifs sont difficiles à évaluer, compte tenu de la complexité des réseaux hydrographique et de l'anticipation de ces négativités. L'évaluation des services écosystémiques réalisée tend à montrer de multiples bénéfices face à peu de pertes pour les écosystèmes et donc rend la retenue d'eau très bénéfique pour les espaces ruraux. Cependant cette évaluation ne retient que des valeurs d'ajouts ou de pertes, non quantifiées. Il serait intéressant d'étudier le réel bénéfice / perte au travers de projet pilote, de manière quantifiable.

Le type de retenue tel qu'évoqué permet de concilier les intérêts multiples que l'on peut retrouver au sein d'un territoire rural. En effet, elles permettent dans un premier temps de fournir une quantité d'eau douce pour l'agriculture, cela est leur rôle premier. On peut aussi prendre en compte que la retenue d'eau agricole peut aussi jouer le rôle de bassin d'orage et ainsi limiter les crues. La combinaison des rôles des ouvrages est une perspective intéressante dans le cadre d'aménagement du paysage et dans la réflexion de la diversité au sein des aménagements. Ainsi on parle d'une diversité fonctionnelle en plus de l'apport de biodiversité et d'un nouvel usage dans sa pratique.

L'eau douce retenue, pas entièrement prélevée, est aussi support de nouveaux écosystèmes d'un grand intérêt pour la nature, dans ces milieux agricoles donc la faible richesse de biodiversité est parfois relevée. C'est une conciliation d'usage de la ressource.

Les habitants seraient aussi bénéficiaires de par l'opportunité nouvelle de ce type d'infrastructure au sein de ses paysages. Eux, comme les collectivités diminuent aussi leur vulnérabilité face aux risques d'inondations en cas de pluies exceptionnelles, dont la récurrence sera plus importante dans les années à venir.

## 5.2 LIMITE DE LA MÉTHODOLOGIE ET PERSPECTIVES

Le présent travail est une approche pluridisciplinaire de l'insertion et des bénéfices / risques d'un ouvrage au sein d'un territoire et présente des limites qui sont importantes à mentionner.

Cette approche concerne entre autres les domaines de l'hydrologie, de la pédologie, de la climatologie, d'agronomie et d'écologie. Il serait intéressant que ce travail et les différentes hypothèses et démonstrations soient étudiés par des experts de chaque discipline afin d'être juste. Bien qu'ayant connaissance de méthodes plus complexes qui permettent d'avoir des résultats plus justes, des méthodes ont été simplifiées pour la démarche et les rendre accessibles à mes compétences.

Par exemple, dans le cas de l'étude hydrologique et notamment sur l'accumulation des volumes, l'utilisation de coefficient de ruissellement a été effectuée donnant des valeurs plus approximatives que la méthode SCS qui prend en compte l'interception par la végétation, la texture du sol ... De plus les bassins versants topographiques ont été utilisés à la place des bassins versants réels, ne prenant pas en compte les infrastructures telles que les routes... Ce travail peut être vu comme un support et une étude préalable à une prospection plus approfondie, où des données plus précises pourraient être utilisées, une fois la méthodologie appliquée.

De plus de nombreuses variables sont présentes pour la quantification des volumes nécessaires, en effet, elles dépendent de l'évolution climatique, car les modèles sont

en constante évolution, de l'évolution des pratiques agricoles et des variétés utilisées. De plus, la possibilité de volume stockable par zone est spécifique à chacune selon sa morphologie et n'ont pas été calculées.

D'un point de vue législatif, des changements sont probablement à prévoir compte tenu de la spécificité de la ressource eau et de sa sollicitation, il est donc difficile d'anticiper de futurs projets de loi la concernant, cependant, pour les retenues, la mise en place d'un règlement relatif à la quantité de prélèvement et la quantité à laisser disponible dans la retenue pour son fonctionnement écologique serait à souhaiter.

En outre, afin de rendre les agriculteurs plus enclins à sacrifier leur terre agricole pour constituer des réserves d'eau qui leur seraient bénéfiques, à eux, mais aussi aux autres exploitants, la mise en place de subvention au travers des MAEC serait à envisager. En effet, elles pourraient entrer dans ce cadre par les bénéfices apportés sur la biodiversité et la régulation du climat.

La faible ressource documentaire sur les réserves d'eau comme la Réserve domaniale des étangs de Luchy ne permet pas d'énoncer des critères plus détaillés pour la construction de ce type d'ouvrage. L'hypothèse des critères construction a donc été réalisée à partir de retenues collinaires classiques, où l'objectif n'est que de stocker l'eau douce.

Il serait pertinent d'effectuer une étude plus fine du territoire après sélections des candidats par la méthodologie afin d'obtenir la capacité possible de rétention pour chaque tenue, en incluant les données précitées, comme la méthode SCS. C'est néanmoins une approche qui permet d'aborder cette réflexion sur un territoire étendu et qui permet de cibler les espaces qui nécessitent plus d'investigation.

Quant à l'évaluation des services écosystémiques, celle-ci relève d'une certaine subjectivité des apports et d'une absence de quantification, exploitable par les usagers du site (production du territoire en cas de l'implantation d'une retenue sur terre agricole, Impact sur le débit de la rivière en aval ...) Certaines limites de cette méthode ont été soulignées par Hou, Burkhard, & Müller, 2012 et Jacobs et al. 2014 comme le manque de transparence sur l'évaluation de la matrice. Car les indicateurs ne sont pas clairement indiqués ni quantifiés. On ne sait pas quel élément fournit le service écosystémique.

De nombreuses inconnues subsistent face à l'évolution de nos territoires ruraux et dépendent de nombreux facteurs, cependant, ce travail apporte un sujet de réflexion flexible à ces inconnus.

Afin d'améliorer cette méthodologie, il serait intéressant d'utiliser, comme le sont mentionnés plus haut, des méthodes de calculs plus précises afin de mieux déterminer les volumes d'eau stockables. L'aménagement de sites pilotes permettrait d'évaluer les impacts et de quantifier les valeurs des services écosystémiques. Il serait également intéressant, une fois les sites choisis, d'effectuer une analyse de sols plus approfondie pour en connaître sa réelle composition et donc ses capacités d'imperméabilisations. La contribution d'experts selon chaque discipline concernée permettrait d'énoncer de spécifier davantage d'indices et critères. L'étude des impacts et la quantification d'apport devraient se faire au travers de plusieurs cas d'études et demanderaient du temps, et des moyens financiers. Mais elle serait pertinente et permettrait de démontrer davantage de choses et faciliterait le débat des retenues d'eau agricoles.



### 5.3 CONTRIBUTION DU TRAVAIL À LA DISCIPLINE

Ce travail de fin d'études se voit comme les prémices d'une réflexion des retenues d'eau dans le nord de la France ou en Belgique, sur les grands plateaux limoneux. Il permet de démontrer les possibilités et limites sur l'impact de celles-ci sur nos territoires, basées sur le modèle de retenue comme celui des étangs de Luchy. L'approche est nouvelle pour nos territoires qui pour le moment ne sont pas sujets à ce type d'infrastructure et dont les projets ne sont pas à l'étude. Elle permet d'aborder cette nouvelle réflexion et de faire murir la réflexion autour de celle-ci. En tant qu'architecte paysagiste, mon approche pluridisciplinaire à une échelle importante permet de cadrer l'étude et l'impact sur le paysage, en prenant en compte ses différents acteurs. Comme dit précédemment, ces infrastructures sont difficilement bien perçues au travers de la société, c'est pour cela que l'évaluation des écosystèmes, bien que non quantifiée, permet d'apporter des éléments de conciliation. Mon rôle de paysagiste contribue à la question grâce aux différents éléments pris en compte pour soumettre à l'avenir, des projets de territoire concertés répondant aux attentes de la société et aux différents enjeux.

Ce travail met en avant l'implantation de retenues là où elle sera nécessaire et complémentaire à des pratiques agricoles moins gourmandes en eau. Celle-ci étant à l'étude dans les années à venir, cette approche permet de cadrer les futures études et d'offrir des pistes de réflexion supplémentaires face à cette nouvelle problématique dans le nord de la France.

Cela porte également un point d'attention sur la ressource eau dans nos paysages. L'architecte paysagiste peut par ses aménagements proposer des solutions complémentaires ou alternatives afin de stocker les eaux, en surface ou dans le sol. L'étude a permis de démontrer que les territoires sont inégaux face au stockage d'eau pour l'irrigation. Le défi est de proposer d'autres solutions d'aménagement du territoire pour que les territoires agricoles soient résilients face au changement climatique. Dans son travail quotidien, l'architecte paysagiste doit considérer l'eau comme une ressource à la fois vulnérable, mais précieuse. Sa gestion doit être pensée au cœur de tout projet, tant pour sa quantité que pour sa qualité.

Ce travail s'adresse aux chambres d'agriculture, aux comités de bassins, aux collectivités, etc., pour donner de nouveaux outils, méthodes et de nouvelles réflexions à ce sujet. De plus, l'apport de ce travail à la discipline de l'architecture est de démontrer qu'une infrastructure ayant initialement qu'un seul but peut devenir une source d'autres apports sur un territoire pour prendre en considération le paysage comme un ensemble vécu par tous ses usagers et donc chaque ouvrage peut avoir un rôle dans son développement.



## PARTIE 6 : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

---

Les territoires ruraux vont subir une transition importante dans les prochaines décennies et l'usage de l'eau fait partie intégrante de son évolution. Afin de faire face au dérèglement climatique, l'irrigation devient de plus en plus récurrente sur les terres et risque de s'accroître. Pour offrir des volumes d'eau supplémentaire et limiter les prélèvements au cours de périodes sèches, des retenues d'eau sont constituées pour capter les eaux, lorsque celle-ci est plus abondante notamment en hiver. Le présent travail met en avant une méthodologie permettant l'implantation de retenue d'eau de ruissellement de manière à ce qu'elle soit la mieux située dans nos paysages en fonction des différents critères d'insertion. De plus, elle met aussi en avant les services écosystémiques qu'elle peut apporter, dans le cas où elle est constituée de manière à offrir des habitats et de nouveaux écosystèmes. La retenue d'eau en tant que projet de territoire permettrait de concilier les usages et de faciliter son acceptation en tant que projet de territoire, car les bénéfices seraient multiples.

La méthodologie d'implantation a permis de mettre en avant les zones favorables à la création de retenue. La caractéristique indiquant le creux, permettant une zone profonde et limitant l'évaporation est la plus complexe à obtenir, car les terres agricoles sont généralement situées en territoire faiblement vallonné. De ce fait, les zones candidates sont inégalement réparties sur le territoire, car les conditions sont parfois difficiles à réunir. Cela permet de montrer qu'une possibilité d'implantation est envisageable, mais que l'agriculture et son évolution ne doit pas prendre en compte une systémique création de retenue comme solution de résilience face au climat. La retenue est un outil supplémentaire, là où elle sera faisable.

L'apport des services écosystémiques par le type d'infrastructure proposé, en tant qu'architecte paysagiste, et leur démonstration entre ensuite dans le cadre de la conciliation des usages.

Le potentiel des retenues est important dans le cadre d'une nouvelle agriculture, plus proche de la biodiversité et moins gourmande en eau. Elle permet d'apporter une diversité dans les paysages et de renforcer le maillage écologique au sein de la matrice agricole.

Ce travail de fin d'études propose une méthodologie d'implantation à l'échelle d'un territoire vaste, qui vient en amont d'une démarche plus précise, spécifique à chaque emplacement candidat par cette méthode. Les retenues d'eau étant également difficilement bien perçues au sein de la société, il démontre les pluriservices qu'elles peuvent apporter afin de faire des retenues un projet de territoire concerté qui permettrait de satisfaire chaque usager.

## PARTIE 7 : GLOSSAIRE

---

Bassin versant topographique : Surface qui se draine naturellement vers un point nommé exutoire. (Cours d'hydrologie d'Aurore Degré)

Bassin versant réel : Bassin versant prenant en compte la topographie, la géologie et les aménagements créés par l'Homme qui peuvent modifier significativement les écoulements. La délimitation du bassin versant naturel doit donc être corrigée en fonction de ces aménagements (routes, obstacle, ...). (Cours d'hydrologie d'Aurore Degré)

Crue : Élévation rapide des débits en réponse à un événement pluvieux. (Cours d'hydrologie d'Aurore Degré)

Cours d'eau : Tout chenal superficiel ou souterrain dans lequel s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire. Il existe différents types de cours d'eau : la rigole, le ru ou ruisseau, le ruisseau, le torrent, la rivière, le fleuve. (<https://www.georisques.gouv.fr/>)

Écosystème : C'est un assemblage fonctionnel d'organismes qui détient les propriétés requises pour assurer la continuité du vivant, c'est-à-dire pour assurer les conditions nécessaires à l'évolution biologique (au sens darwinien) sur le long terme. (Yanni Gunnell, Professeur de Géographie - Université de Lyon Lumière)

Étiages : niveau annuel le plus bas atteint par un cours d'eau en un point donné (Roche, 1986)

Évaporation : passage de la phase liquide à la phase vapeur en consommant de l'énergie calorifique, sans passage par le matériel végétal. (Cours d'hydrologie d'Aurore Degré)

Évapotranspiration : Passage de la phase liquide à la phase gazeuse englobant les processus d'évaporation et de transpiration de la végétation. (Cours d'hydrologie d'Aurore Degré)

Irrigation : Apport d'eau réalisé sur un terrain cultivé ou une prairie en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et/ou des réserves hydriques du sol et, ainsi, de permettre le plein développement des plantes. (Larousse.fr)

Infiltration : la capacité d'infiltration représente le volume moyen susceptible de s'infiltrer dans un ouvrage par unité de surface et par unité de temps (Bernard Chocat, Insa Lyon)

Matrice : la matrice désigne l'élément dominant d'un paysage caractérisé par une certaine uniformité d'occupation du sol. (Cours d'hydrologie d'Aurore Degré)

Nuit tropicale : Nuit à plus de 20 °C (météo-France)

Pluie efficace : Part de la précipitation qui alimente les cours d'eau par ruissellement (vision hydrologique) OU part de la précipitation qui s'infiltré et alimente une nappe d'eau souterraine par infiltration (vision hydrogéologique). (Cours d'hydrologie d'Aurore Degré)

Pluie de projet : Événement pluvieux artificiel, représentatif de la pluviométrie locale et auquel il est possible d'associer une période de retour (ENSEEIH : École Nationale Supérieure d'Électrotechnique, d'Électronique, d'Informatique, d'Hydraulique et des Télécommunications). (Cours d'hydrologie d'Aurore Degré)

Période de retour : Intervalle de temps au cours duquel l'événement envisagé est atteint ou dépassé une fois. (Cours d'hydrologie d'Aurore Degré)

Précipitation : eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, sous forme liquide (bruine, pluie, averse) et / ou solide (neige, grésil, grêle) ainsi que les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,).

Réseau hydrographique : Un réseau hydrographique est un organisme d'écoulement d'importance très variable, formé par un ensemble d'éléments linéaires hiérarchisés. L'espace drainé est un bassin hydrographique (bassin versant) délimité par des lignes de partage des eaux qui le séparent des réseaux adjacents. (Universalis.fr)

Résilience : la résilience exprime, d'une part, la capacité de récupération ou de régénération d'un organisme ou d'une population, et, d'autre part, l'aptitude d'un écosystème à se reconstituer à la suite d'une perturbation (<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/>)

Ruissellement : un ruissellement désigne la partie des précipitations qui s'écoule à la surface du sol pédologique. Il est la fraction de l'eau de pluie, de la neige fondue ou de l'eau d'irrigation qui s'écoule à la surface du sol et retourne tôt ou tard dans un cours d'eau ou le réseau hydrique, généralement par infiltration. (<https://www.aquaportail.com/definition-6677-ruissellement.html>)

Sécheresse agricole : manque d'eau disponible dans le sol pour les plantes, ce qui impacte toute la production végétale, et indirectement la production animale. La sécheresse édaphique est estimée à partir des termes du bilan hydrique (précipitation, évaporation et évapotranspiration) et de la Réserve Utile des sols (RU). (INRAE)

Sécheresse météorologie : déficit prolongé de précipitations. (INRAE)

Sécheresse hydrologique : sécheresse hydrologique correspond à un déficit de débit des cours d'eau, des niveaux bas des nappes ou des retenues, sur une période ou une année pendant laquelle les débits sont très inférieurs à la moyenne. (INRAE)

Sol imperméable : C'est une surface qui ne laisse pas ou très peu la possibilité à l'eau de s'infiltrer vers les zones sous-jacentes. ... Ces surfaces sont étanches à un point tel que l'eau ne passe plus ou très difficilement au travers de ces derniers, ce qui provoquera le ruissellement. (OBJAV.org)

Vague de chaleur : Plus de 5 jours consécutifs avec des températures supérieures à 5° selon la valeur climatologique de référence (météo-France)

## PARTIE 8 : BIBLIOGRAPHIE

---

La bibliographie est citée selon l'ordre d'apparition dans le travail.

### 8.1 LITTÉRATURE

- Grimonprez, Benoît. s. d. « Le stockage agricole de l'eau : une parade au changement climatique ? », 16.
- FAO, 2017, «Water for Sustainable Food and Agriculture, A report produced for the G20 Presidency of Germany
- Yvon, Herry et al. 2020. *La France Agricole Eau & irrigation : Réponses à ceux qui veulent couper les vannes*. La France Agricole, Hors-série 2020.
- Cyrielle Denhartigh, 2014, *Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques - Recueil d'expériences territoriales* Réseau Action Climat-France
- H. Aysphassorhoo et Al .2020 *Changement climatique, eau, agriculture Quelles trajectoires d'ici 2050 ?* Rapport CGEDD n° 012819-01, CGAAER n° 1905
- H. Aysphassorhoo et R. Renoult ,2018, Retenues de substitution d'irrigation dans les Deux-Sèvres, Rapport CGEDD n° 012308-01, CGAAER n° 18074n 30p
- Benoit, Guillaume. 2021. "L'eau au centre des futurs enjeux agricoles :." *Paysans & société* N° 388 (4) : 14-21. <https://doi.org/10.3917/pes.388.0014>.
- Leenhardt, Delphine, Marc Voltz, et Olivier Barreteau. 2020. *L'eau en milieu agricole*. Éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3124-9>.
- K. Drastig. 2012. Modeling the water demand on farms . *Advances in Geosciences* 32 (décembre): 9-13. <https://doi.org/10.5194/adgeo-32-9-2012>.
- P. Debaeke et al. Raisonner les systèmes de culture en fonction de la disponibilité en eau.
- Groupe de Travail Adaptation de la Commission Nationale Climat, 2016, Plan national d'adaptation pour la Belgique *Commission nationale climat*.
- Carluer N. et al., 2017. Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique. *Expertise scientifique collective (Irstea)*. Agence française pour la biodiversité — Collection Comprendre pour agir. 200 pages
- R. Dantec, J-Y Roux, 2019. Adapter la France aux dérèglements climatiques à l'horizon 2050 : urgence déclarée, *Délégation sénatoriale à la prospective*
- Météo France, s. d. "Les nouvelles projections climatiques de référence, Drias 2020 pour la métropole" *Météo France*, 98.
- E. Maes et al., 2020, CAHIER DE PROSPECTIVE DE l'IWEPS Risque de raréfaction des ressources en eau sous l'effet des changements climatiques : quelques enjeux prospectifs
- Direction départementale des territoires des "Ardennes, 2018, Notice spécifique de la mesure 'Reconversion de terres arables en herbages extensifs' 'CA\_N209\_HE01' du territoire 'Confluence des Vallées de l'Aisne et de l'Aire – Site 209' 4 pages

Ministère de la transition écologiques, 2020, *Eau et milieux aquatiques Les chiffres clés Édition 2020*,

Habets, Florence. s. d. 'Barrages et Réservoirs : Leurs Effets Pervers En Cas de Sécheresses Longues'. The Conversation. Consulté le 16 décembre 2021.  
<http://theconversation.com/barrages-et-reservoirs-leurs-effets-pervers-en-cas-de-secheresses-longues-111583>.

N. Valé et L. Renaud, 2020, Les retenues d'eau comme solution d'adaptation au changement climatique ? synthèse bibliographique et retours d'expériences, *association rivière Rhône alpes auvergne*

'Les dates de la politique de l'eau : chronologie'. s. d. Vie publique.fr. Consulté le 23 octobre 2021.  
<https://www.vie-publique.fr/eclairage/24019-chronologie-les-dates-de-la-politique-de-leau>.

Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 2012, Guide juridique - construction de retenues.

Normandie, Chambres d'agriculture de. 2021. 'PAC 2021-2027, résumé de la future réforme'. 1 décembre 2021. <https://normandie.chambres-agriculture.fr/a-proximite/actualites-locales/detail-actualite/actualites/pac-2021-2027-resume-de-la-future-reforme/>.

L. Roger. Retenues collinaires et impacts associés. Etude quantitative de quelques cantons. irstea. 2013, pp.42. <https://hal.inrae.fr/hal-02598825>

Conservatoire des Sites Naturels de Picardie (COPPA G. et SALVAN S.),.- 220013435, BOCAGE DE LANDOUZY ET BESMONT. - INPN, SPN-MNHN Paris, 17 P.  
<https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/220013435.pdf>

Conservatoire des Sites Naturels de Picardie (COPPA G.),.- 220013437, FORET DU VAL SAINT PIERRE (PARTIE SUD). - INPN, SPN-MNHN Paris, 16 P.  
<https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/220013437.pdf>

Conservatoire des Sites Naturels de Picardie (COPPA G.),.- 220013438, FORET DE MARFONTAINE. - INPN, SPN-MNHN Paris, 13 P.  
<https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/220013438.pdf>

Conservatoire des Sites Naturels de Picardie (COPPA G.) et G. DECOCQ,- 220013441, FORET DE LA HAYE D'AUBENTON ET BOIS DE PLOMION. - INPN, SPN-MNHN Paris, 21 P.  
<https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/220013441.pdf>

'Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique. Expertise scientifique collective'. s. d. Consulté le 11 décembre 2021.  
<https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/000000000160021f774438f241d7e8df>.

V. Mardhel, 2003, Notice de lecture de la carte de l'indice de développement et persistance des réseaux (IDPR) pour le bassin Rhône Méditerranée Corse, BRGM, 31p

'Influence du changement climatique sur l'hydrologie du bassin de la Seine'. s. d. Consulté le 3 novembre 2021. <https://journals.openedition.org/vertigo/3845>.

'La gestion de l'eau doit être vue de manière globale et scientifique'. s. d. L'Agriculteur de l'Aisne. Consulté le 2 novembre 2021. <http://www.agriculteur-aisne.com/actualites/la-gestion-de-l-eau-doit-etre-vue-de-maniere-globale-et-scientifique :9MPFD865.html>.

« L'état des sols de France ». 2011. Olivet : Gis Sol.

Angeliaume, et S. Wicherek. 1997. 'Contribution d'un bassin versant élémentaire cultivé à la formation de crues/Contribution of an elementary cultivated watershed to flood generation'.

*Géomorphologie : relief, processus, environnement* 3 (2) : 155-65.  
<https://doi.org/10.3406/morfo.1997.912>.

‘Caractéristiques des bassins versants [Principes de dimensionnement des réseaux]’. s. d. Consulté le 17 novembre 2021. [http://lycee-cherioux.fr/Mooc/reseaux\\_humides/dimensionnement/~gen/dimensionnement.publi/auroraW/co/dimensionnement\\_18.html](http://lycee-cherioux.fr/Mooc/reseaux_humides/dimensionnement/~gen/dimensionnement.publi/auroraW/co/dimensionnement_18.html).

‘Climat Vervins : Pluviométrie et Température moyenne Vervins, diagramme ombrothermique pour Vervins —Climate-Data.org’. s. d. Consulté le 1 décembre 2021. <https://fr.climate-data.org/europe/france/picardie/vervins-317823/#climate-graph>.

‘CN Tables’. s. d. Consulté le 23 novembre 2021.  
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/cn-tables>.

Delage, D. s. d. ‘Développer les compétences pour mieux gérer l’eau’, 9.

Druais, Jennifer. s. d. ‘Caractérisation de l’érosion et du ruissellement des territoires aval de la Chalaronne. Propositions de mesures de gestion.’, 84.

‘LA LUTTE CONTRE LE RUISSELLEMENT ET L’ÉROSION DES SOLS’. s. d. Consulté le 17 novembre 2021. <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/duée/bussiere/bussiere.htm>.

Li, Zhiwei Wu, Weiqing Zheng, Shen Kuocheng, Fan, et Yiyi Zhang. 2019. « An Improved Simplified Urban Storm Inundation Model Based on Urban Terrain and Catchment Modification ». *Water* 11 (novembre): 2335. <https://doi.org/10.3390/w11112335>.

Remy, Vincent, Manuel Collongues, et Delphine Porcheron. s. d. ‘CARTOGRAPHIE DU RUISSELLEMENT DE SURFACE (CRUS)’, 10.

Van de Vyver, H. 2012. ‘Spatial Regression Models for Extreme Precipitation in Belgium’. *Water Resources Research* 48 (9): 2011WR011707. <https://doi.org/10.1029/2011WR011707>.

CAUE de l’Aisne, 2004, Paysages de l’Aisne – Centre et Nord du département, inventaire des paysages de l’Aisne,

Campagne, C. Sylvie & Roche, Philip. (2019). Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques.  
[https://www.researchgate.net/publication/332607491\\_Evaluation\\_de\\_la\\_capacite\\_des\\_ecosystemes\\_de\\_la\\_region\\_Hauts-de-France\\_a\\_produire\\_des\\_services\\_ecosystemiques](https://www.researchgate.net/publication/332607491_Evaluation_de_la_capacite_des_ecosystemes_de_la_region_Hauts-de-France_a_produire_des_services_ecosystemiques)

## 8.2 SITES INTERNET

‘Statistiques nationales’. s. d. Consulté le 17 décembre 2021. <https://www.barrages-cfbr.eu/-Statistiques-nationales-.html>.

Stoop, De Philippe. 2020a. ‘L’agriculture extensive favorable à la biodiversité ? (Première partie)’. *European Scientist* (blog). 17 septembre 2020.  
<https://www.europeanscientist.com/fr/opinion/lagriculture-extensive-favorable-a-la-biodiversite-premiere-partie/>.

—. 2020b. « L’agriculture extensive bénéfique pour la biodiversité ? (2ème partie) ». *European Scientist* (blog). 21 septembre 2020. <https://www.europeanscientist.com/fr/agriculture-fr/lagriculture-extensive-benefique-pour-la-biodiversite-2eme-partie/>.



- « La retenue d'eau de Sivens : un projet environnemental exemplaire - site des Services de l'Etat du département du Tarn ». s. d. Consulté le 16 décembre 2021. <http://www.tarn.gouv.fr/la-retenue-d-eau-de-sivens-un-a2511.html>.
- 'Deux-Sèvres : incidents à la manifestation d'opposants aux 'méga-bassines' d'irrigation'. s. d. Consulté le 19 décembre 2021. <https://www.la-croix.com/Deux-Sevres-incidents-manifestation-opposants-mega-bassines-irrigation-2021-11-06-1301183992>.
- 'Gis Sol » Carte des sols sur le Géoportail". s. d. Consulté le 3 novembre 2021. <https://www.gissol.fr/donnees/carte-sur-le-geoportail-4789>.
- "Habitats d'intérêt communautaire — Typologie". s. d. Consulté le 20 décembre 2021. [https://inpn.mnhn.fr/habitat/cd\\_typo/8/cd\\_hab/2703](https://inpn.mnhn.fr/habitat/cd_typo/8/cd_hab/2703).
- "Sécheresse et cours d'eau : ça commence à bien faire !" s. d. Consulté le 19 octobre 2020. <http://www.crdg.eu/actions-2/qualite-des-eaux-2/secheresse-et-cours-d-eau-ca-commence-a-bien-faire>.
- "Sécheresse La pluie manque dans plusieurs régions, les agriculteurs s'inquiètent". s. d. Terre-net. Consulté le 28 septembre 2020. <https://www.terre-net.fr/meteo-agricole/article/la-pluie-manque-dans-plusieurs-regions-les-agriculteurs-s-inquietent-2179-150362.html>.
- "Propluvia — Accueil". s. d. Consulté le 19 juillet 2021. <http://propluvia.developpement-durable.gouv.fr/propluvia/faces/index.jsp>.
- "Empreinte H2O". s. d. Consulté le 15 décembre 2021. <http://www.empreinteh2o.com/>.
- "Page d'accueil". s. d. Consulté le 16 décembre 2021. <https://services-ecosystemiques.wallonie.be/fr/wal-es.html?IDC=5732>.

## PARTIE 9 : ANNEXES

---

Annexe 1 : Notice de calcul de l'indice de développement et de persistance du réseau

Annexe 2 : Registre parcellaire graphique 2019

Annexe 3 : Carte des zones sous régime de protection de la nature

Annexe 4 : Carte IGN avec emplacements des blocs-diagramme.

Annexe 5 : Définitions des services écosystémiques et exemples

Annexe 6 : Matrice des capacités

Annexe 7 : Indice de concavité

# Annexe 1 : Notice de calcul de l'indice de développement et de persistance du réseau

## Calcul de l'IDPR

L'aptitude des formations du sous-sol à laisser s'infiltrer les eaux de surface vers le milieu souterrain et réciproquement est déduite de la comparaison entre les réseaux hydrographiques réels et calculés.  
Les données relatives à l'hydrologie de surface proviennent des données de la base cartographique BDCARTHAGE IGN®.

Trois calculs distincts seront menés,

- le premier prend en compte l'ensemble du réseau hydrographique naturel décrit dans la base BD CARTHAGE (IDPR<sub>n</sub>)  
Le réseau hydrographique utilisé est donc composé des axes d'écoulement des eaux superficielles à l'exclusion de tout ouvrage artificiel. Il mêle les écoulements pérennes et non pérennes et se fonde ainsi sur un milieu naturel où le contexte hydrogéologique décrit doit être voisin d'un état de hautes eaux.
- le second ne tient compte que des écoulements pérennes (IDPR<sub>p</sub>).  
Le réseau hydrographique utilisé est toujours composé des axes d'écoulement des eaux superficielles à l'exclusion de tout ouvrage artificiel. Il ne conserve que les écoulements pérennes et peut être de la sorte assimilé à un contexte hydrogéologique de basses eaux.
- le troisième est dérivé des deux premiers calculs et intègre au calcul de l'IDPR<sub>n</sub> une pondération issue de IDPR<sub>p</sub>.

## INTERPRETATION DE L'IDPR

L'IDPR permet de rendre compte de la capacité intrinsèque du sol à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de surfaces. Cette fonction d'infiltration dépend de la perméabilité qui permet de rendre compte de la capacité d'un sol à laisser passer un fluide (de haut en bas ou inversement. Très variable ce paramètre dépend essentiellement de la lithologie de la formation considérée.

L'IDPR résulte de la comparaison à partir d'un point quelconque de l'espace entre:

- La distance au plus proche cours d'eau réel,
- La distance au plus proche cours d'eau calculé.

Après le calcul des équidistances à la rivière ou au talweg de tous les points, le rapport des distances à la rivière du réseau calculé sur le réseau réel constitue l'IDPR qui varie selon une échelle comprise entre 0 et n. Par souci de simplification du critère, n est arbitrairement limité à 2000.

IDPR est inférieur à 1000 quand le réseau théorique n'est pas repris par une rivière réelle. Ce rapport indique alors une infiltration majoritaire des eaux. Inversement. Quand le réseau réel est plus dense que le réseau calculé, on est en zone de ruissellement majoritaire, IDPR tend vers 2.

IDPR	Interprétation	
<1000	<b>Infiltration majoritaire par rapport au ruissellement superficiel</b>	Il y a non-conformité entre la disponibilité des axes de drainage liés aux talwegs et les axes hydrologiques observés. L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint un axe de drainage défini par l'analyse des talwegs sans que celui-ci ne se concrétise par l'apparition d'un axe hydrologique naturel Développement d'un réseau de talweg de densité supérieure à l'expression du réseau de drainage naturel.
=1000	<b>Infiltration et Ruissellement superficiel de même importance</b>	Il y a conformité entre la disponibilité des axes de drainage liés au talweg et les axes hydrologiques en place
>1000	<b>Ruissellement superficiel par rapport à l'infiltration vers le milieu souterrain</b>	L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint très rapidement un axe hydrologique naturel sans que la présence de celui-ci soit directement justifiée par un talweg. Le réseau de drainage naturel est de densité supérieure à celui du réseau des talwegs.
> 2000	<b>Majoritairement assimilable à des milieux humides</b>	Un IDPR supérieur ou égal à 2000 traduit une stagnation permanente ou transitoire des eaux, menant à deux interprétations différentes. Quand la ZNS est faible, par exemple au niveau des cours d'eau et des zones humides, l'eau ne s'infiltré pas car le terrain est saturé. Dans le cas d'une ZNS plus importante, le refus d'infiltration semble montrer une imperméabilité des terrains naturels. On pose l'hypothèse que des valeurs d'IDPR supérieures à 2000 sont majoritairement assimilables à des milieux humides.

Figure 42 Notice de l'IDPR (source : V. Mardhel, 2003, Notice de lecture de la carte de l'indice de développement et persistance des réseaux (IDPR) pour le bassin Rhône Méditerranée Corse, BRGM, 31p)

## Annexe 2 : Registre parcellaire graphique 2019

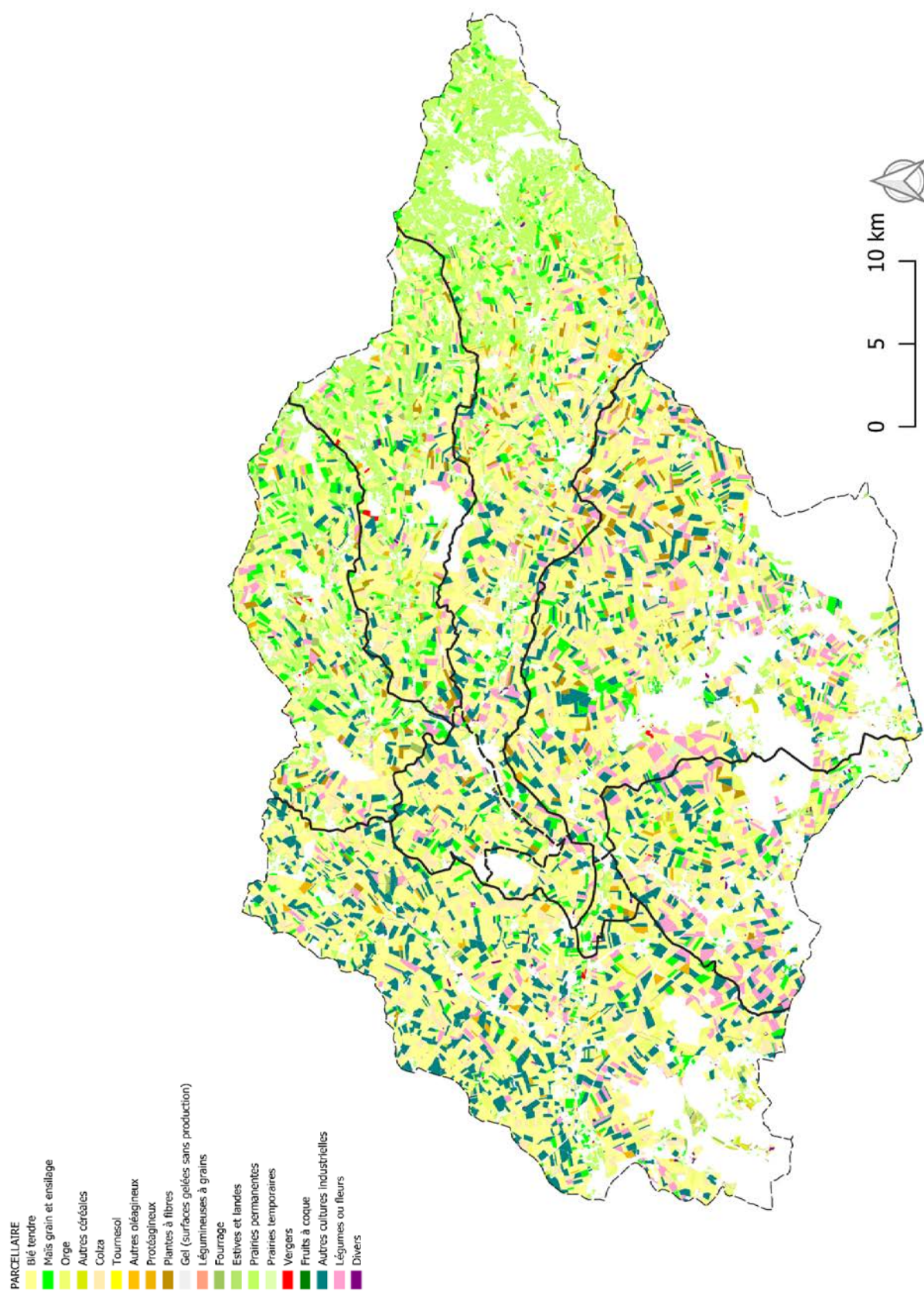


Figure 43 Registre parcellaire graphique (source : Institut National de l'Information Géographique et Forestière)

### Annexe 3 : carte des zones sous régime de protection de la nature

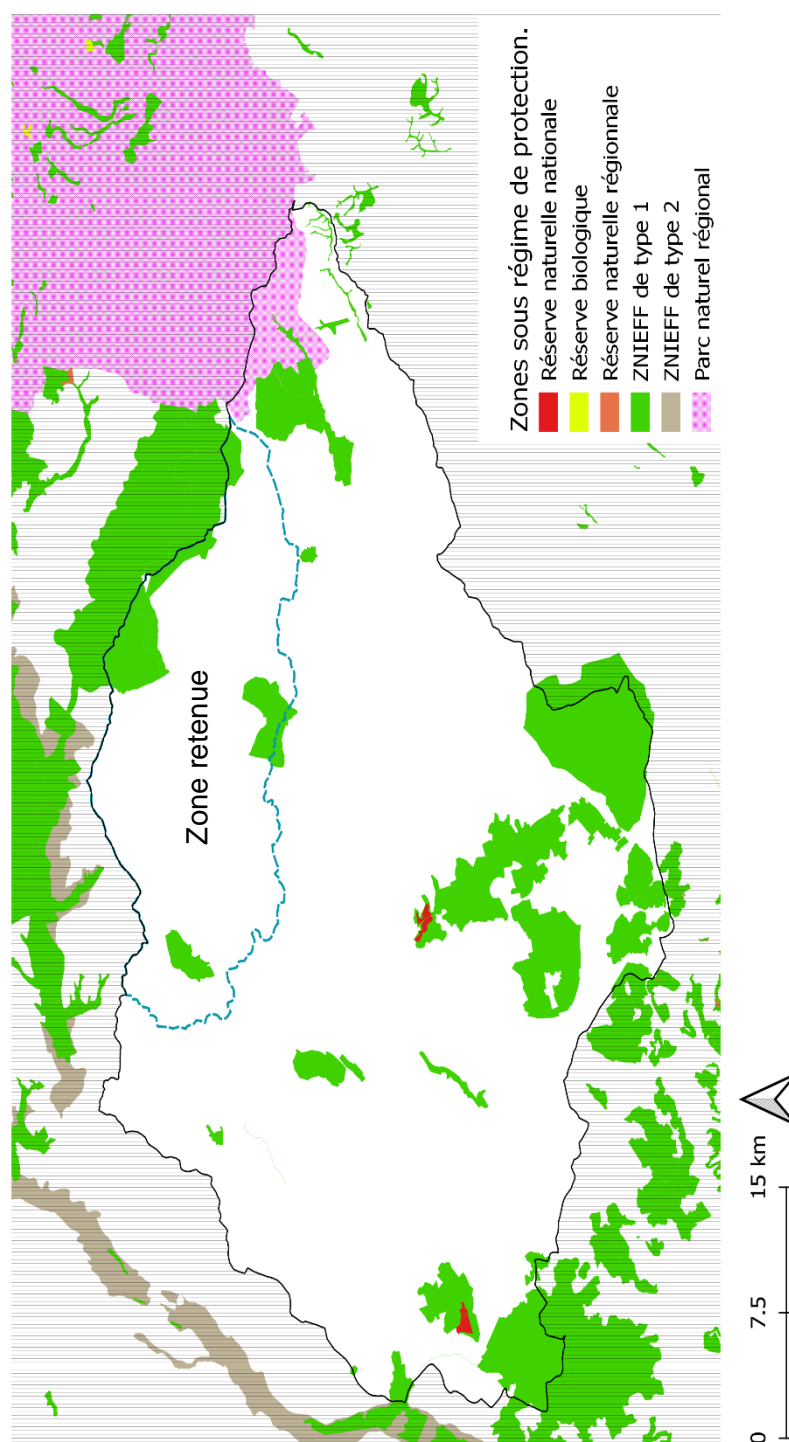


Figure 44 Zone sous régime de protection de la nature (Source: Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN))



## Annexe 4 : carte IGN avec emplacements des blocs-diagramme.

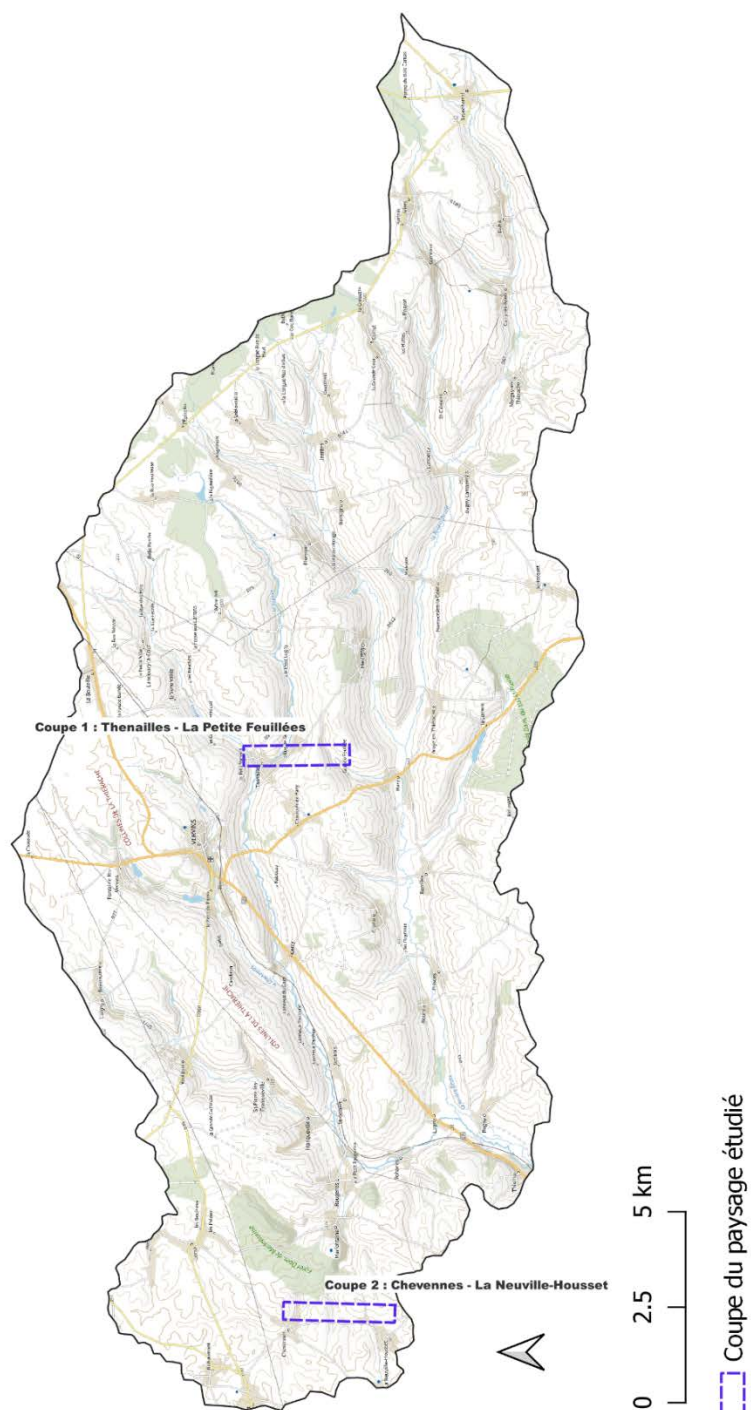


Figure 45 Carte IGN avec emplacement des blocs-diagramme (Source : <https://geoservices.ign.fr>)

## Annexe 5 : Définitions des services écosystémiques et exemples

Services écosystémiques				Définitions	Indicateurs potentiels - exemples	Code
Services d'approvisionnement	Nutrition	Biomasse non sauvage	Production végétale alimentaire cultivée	Capacité potentielle de l'écosystème à être une source de nourriture pour l'homme, d'origine végétale cultivée	Nature et quantité des aliments issus d'espèces végétales utilisées en culture Champs de blé, betteraves, pomme de terre, colza, etc.	SA1
			Production animale alimentaire élevée	Capacité potentielle de l'écosystème à être une source de nourriture pour l'homme, d'origine animale élevée	Nature et quantité d'aliments issus d'espèces utilisées dans les élevages ou en aquaculture. Elevages de porc, poulet, vache, truie, etc.	SA2
		Biomasse sauvage	Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	Capacité potentielle de l'écosystème à être une source de nourriture pour l'homme, d'origine végétale et/ou fongique sauvage	Nature et quantité d'aliments issus d'espèces végétales et fongiques cueillis.	SA3
			Ressource animale alimentaire sauvage	Capacité potentielle de l'écosystème à être une source de nourriture pour l'homme, d'origine animale sauvage	Nature et quantité d'aliments issus d'espèces animales chassées ou pêchées.	SA4
		Eau	Eau douce	Capacité potentielle de l'écosystème à fournir des eaux de surface et souterraines (à travers la rétention et le stockage) qui pourraient être utilisées pour la consommation et/ou pour l'industrie ou l'énergie	Quantité d'eau prélevable à fin d'irrigation, de consommation domestique et ou d'utilisation industrielle/ énergétique	SA5
	Matériaux	Matériaux bruts	Matériaux et fibres	Capacité potentielle de l'écosystème à fournir des fibres et d'autres matériaux cultivés ou sauvages qui ne servent pas à l'alimentation	Quantité de matériaux naturels cultivés ou sauvages que nous utilisons à des fins non alimentaire tels que les fibres pour la papeterie, les fibres textiles, les bouquets décoratifs de fleurs, etc. Hors matériaux utilisés à des fins énergétiques, pour l'agriculture, aromatique et médicinales.	SA6
			Ressource secondaire pour l'agriculture/ alimentation indirecte	Capacité potentielle de l'écosystème à fournir des ressources pour le fourrage ou des ressources utilisées comme engrais	Quantité de matières utilisées à des fins de fourrage et de fertilisation. Foin, luzerne, pâtures, engrais verts, nectar pour les abeilles, etc.	SA7
		Energie	Composées et matériel génétique des êtres vivants	Capacité potentielle de l'écosystème à fournir des matériaux et produits utilisés à des buts médicaux et à être une réserve de ressources génétiques unique que nous utilisons à des buts scientifiques, industriels, agricoles ou agroalimentaires.	Quantité d'espèces utilisées à des fins médicinales pharmaceutiques, aromatiques, etc.	SA8
			Biomasse à vocation énergétique	Capacité potentielle de l'écosystème à fournir des matériaux naturels cultivés ou sauvages qui servent de source d'énergie	Quantité de matériaux utilisés à des fins énergétiques comme le bois combustible, les céréales ou la betterave pour la production d'éthanol, etc.	SA9
Services de régulation	Maintien des conditions biologiques, physiques et chimiques		Régulation du climat et de la composition atmosphérique	Capacité potentielle de l'écosystème à influencer le climat local et régional et à réguler le changement climatique par la séquestration des gaz à effet de serre	Quantité de GES stockée et/ou séquestrée par unité de temps, contribution à la variation du climat (influence sur la température, l'humidité, etc.). Stockage de carbone dans la biomasse végétale, régulation du vent et du climat local par des haies ou autre massifs végétal.	SR1
			Régulation des animaux vecteurs de maladies pour l'homme	Capacité potentielle de l'écosystème à réguler et limiter la propagation des espèces nuisibles vectrices de maladies pour l'homme	Certains milieux sont moins favorables que d'autres à la propagation d'espèces nuisibles vecteurs de maladies pour l'homme telles que les moustiques, les tiques (maladie de Lyme), rongeurs et renards (échinococcose alvéolaire), les rats (Leptospirose) etc.	SR2
			Régulation des ravageurs	Capacité potentielle de l'écosystème à réguler les espèces sauvages ravageuses de culture et les espèces parasites des animaux d'élevage	Présence d'espèces régulant les ravageurs telles que la présence de coccinelle mangeant les pucerons, présence de guêpes parasitoïdes des aphides, etc. Et la présence d'espèces régulant la transmission de la Douve aux animaux d'élevage	SR3
		Maintenance du cycle de vie et de l'écosystème	Offre d'écosystème, de refuge et de nurserie	Capacité potentielle de l'écosystème à offrir des écosystèmes favorables pour différentes espèces sauvages comme site de nidification, de reproduction ou de refuge	Écosystème utilisé comme site de reproduction, de nidification, de refuge, d'alimentation, etc.	SR4
			Pollinisation et dispersion des graines	Capacité potentielle de l'écosystème à héberger des espèces pollinisatrices ou dispersant les graines et capacité de l'écosystème à disperser les graines	Présence de pollinisateurs et espèces dispersant les graines tels que les oiseaux, les mammifères et les insectes. Remarque: ce service se focalise principalement sur l'abondance des pollinisateurs.	SR5
			Maintien de la qualité des eaux	Capacité potentielle de l'écosystème à maintenir et préserver un bon état chimique des eaux douces et salées par filtration et autoépuration	Écosystème, éléments de l'écosystème ou organismes contribuant à la filtration ou l'épuration des eaux.	SR6
			Maintien de la qualité du sol	Capacité potentielle de l'écosystème à maintenir un sol naturellement productif et contribuant à la fertilité du sol	Stockage de nutriments, maintien des bonnes conditions biogéochimiques du sol et de l'activité biologique du sol	SR7
	Médiation des flux - régulation des risques naturels		Contrôle de l'érosion	Capacité potentielle de l'écosystème à stabiliser, atténuer les flux de masses, à stocker des sédiments et offrant une couverture végétale limitant l'érosion	Combinaison de deux fonctions : contrôle de l'érosion et stockage des sédiments. Présence de couverture végétale, systèmes racinaires et autres éléments limitant l'érosion	SR8
			Protection contre les tempêtes	Capacité potentielle de l'écosystème à protéger et limiter l'impact des tempêtes	Présences d'éléments naturels protégeant et limitant l'impact et les dégâts causés par des tempêtes tels que les haies, les linéaires d'arbres, etc.	SR9
			Régulation des inondations et des crues	Capacité potentielle de l'écosystème à maintenir les flux d'eau et à réguler les inondations et les crues	Présence d'éléments naturels régulant les inondations et crues tels que les zones tampons, les forêts rivulaires, les roselières, etc.	SR10
	Réduction des nuisances		Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	Capacité potentielle de l'écosystème à limiter les éléments visuels, olfactifs ou sonores jugés nuisibles	Présence d'éléments naturels limitant les éléments visuels, olfactifs ou sonores jugés nuisibles	SR11
Services culturels	REPRESENTATIONS- subjectif : Interactions spirituelles, symboliques, religieuses & historiques	Notion temporelle : évaluation actuelle de cette valeur et de reconnaissance de groupe, collective	Emblème ou symbole	Écosystèmes étant ou comprenant des espèces ayant une position d'emblème ou de symbole de nos jours pour une entité sociale	Milieux d'importance patrimoniale ou abritant une espèce emblématique ou symbolique pour le territoire. Exemples: terrils, zones humides, milieu littoral, etc.	SC1
			Héritage (passé et futur) et existence	Écosystèmes et éléments de l'écosystème inspirant du plaisir à exister et volonté à les préserver pour nous et les générations futures	Exemple de méthode pour l'évaluer: Prix à payer pour préserver un écosystème ou un de ses éléments; préférences socio-culturelles exprimées, valeur d'attachement, évocation, etc.	SC2
			Esthétique	Écosystèmes et éléments de l'écosystème jugés esthétique, contemplation directe ou indirecte	Exemple de méthode pour l'évaluer: Nombre de photos prises d'un écosystème ou d'un de ses éléments	SC3
	USAGES- objectif : Interactions physiques et intellectuelles avec les écosystèmes et paysages	Notion temporelle : évaluation actuelle de cette valeur et de reconnaissance de groupe, collective	Activités récréatives	Interactions physiques avec l'écosystème pour le tourisme, le bien-être l'art et des activités de loisirs comme les sports de pleine nature, la chasse, la pêche de loisir etc.	Inspiration des paysages naturels ou culturels pour la culture, l'art et le design(les livres, les films, les peintures, le folklore, les symboles nationaux, l'architecture, la publicité, etc.) Écotourisme, activité de loisir comme les sports de pleine nature, la chasse, la pêche de loisir, etc.	SC4
			Connaissance et éducation	Écosystème étudié pour l'accumulation de connaissance et pour son intérêt éducatif et/ou scientifique	Utilisation de la nature pour des recherches scientifiques et pour l'éducation. Nombre de sorties scolaires, nombre de projets ou publications scientifiques par milieux, etc.	SC5

Figure 46 Définition des services écosystémiques (source : Campagne, C. Sylvie & Roche, Philip. (2019). Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques)

Matrice des capacités en services écosystémiques de l'implantation de retenues d'eau dans les paysages agricoles du bassin versant de la Serre																																
	Code	ÉCOSYSTÈME	Services de régulation et d'entretien											Services d'approvisionnement										Services culturels								
			SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SR11	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5					
Écosystèmes aquatiques	H01	Eaux douces																														
	H02	Fonds ou rivages des plans d'eau non végétalisés																														
	H03	Végétations aquatiques																														
	H04	Eaux courantes																														
	H05	Végétations immergées																														
	H06	Végétations de ceinture des bords des eaux																														
	H07	Bas marais, tourbières de transition, sources																														
Écosystèmes agricoles	H08	Steppes et prairies calcaires sèches																														
	H09	Prairies acides et dunes fossiles																														
	H10	Usières humides à grandes herbes																														
	H11	Prairies humides																														
	H12	Prairies mésophiles																														
	H13	Prairies à fourrage des plaines																														
	H14	Prairies améliorées																														
Écosystèmes forestiers	H15	Cultures																														
	H16	Bandes enherbées																														
	H17a	Vergers																														
	H17b	Vignobles																														
	H18	Landes																														
	H19	Fourrés																														
	H20	Forêts caducifoliées																														
Écosystèmes forestiers	H21	Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides																														
	H22	Plantations de feuillus et indéterminées																														
	H23	Plantations de conifères																														
	H24	Haies, alignements d'arbres																														
	H25	Parcs urbains et grands jardins																														
	H26	Prairies à métaux lourds																														
	H27	Espaces bâtis et urbains diffus																														
Écosystèmes urbains	H28	Carrières en activité																														
	H29	Carrières abandonnées																														
	H30	Terrils																														
	H31	Voies de chemin de fer, friches et abords de voies de communication																														
	H32	Lagunes et réservoirs industriels																														
	H33	Réseaux routiers et ferroviaires																														
	Écosystèmes urbains	SR1		SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SR11	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5				

## Annexe 6 : Matrice des capacités

Figure 47 Matrice des capacités (Campagne, C. Sylvie & Roche, Philip. (2019). Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques.)

## Annexe 7 : Indice de concavité

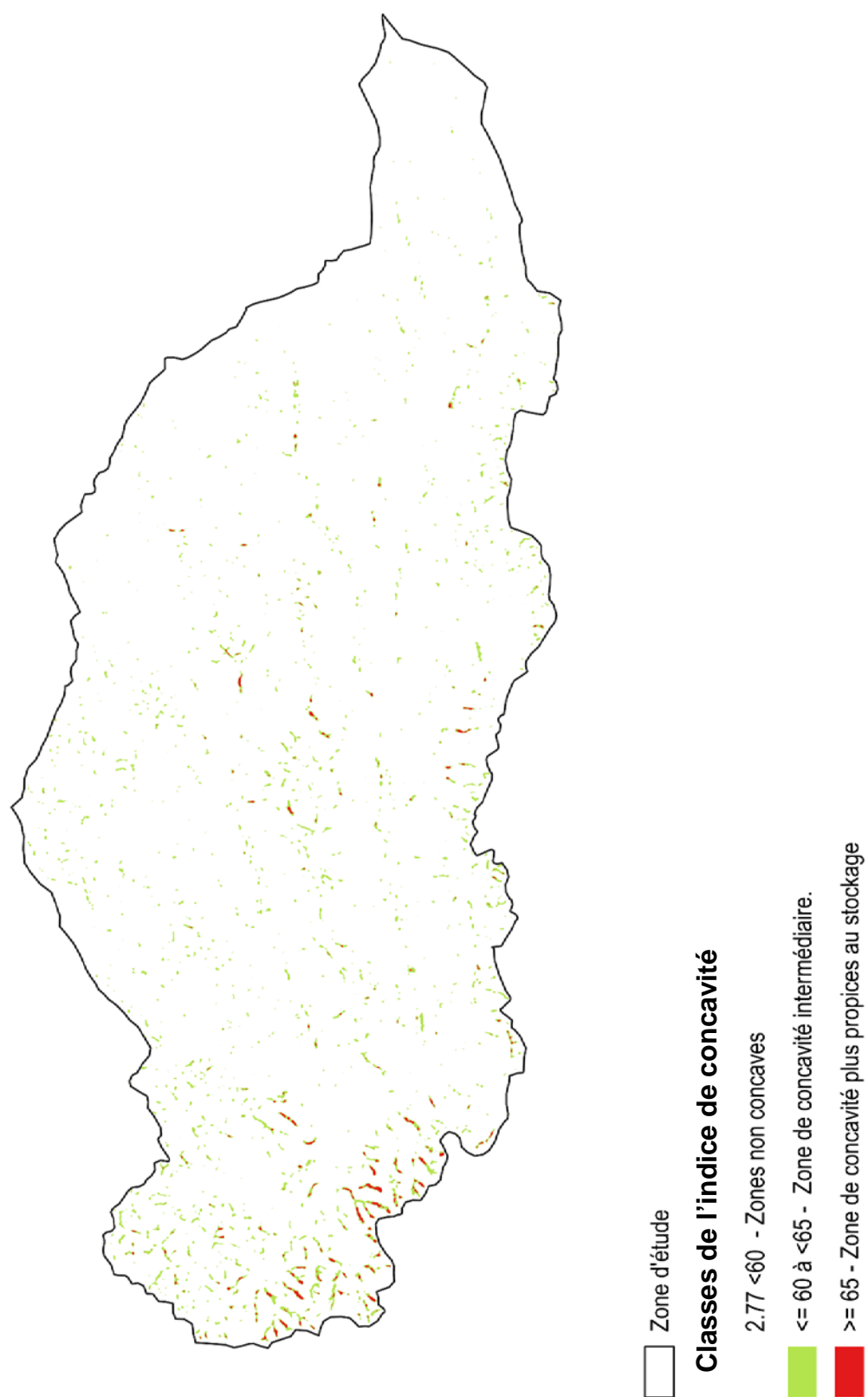


Figure 48 Carte de l'indice de concavité réalisé à partir d'un modèle numérique de terrain (Source personnelle)