

Sources et climat : Perspectives de la restauration



Tuteur de stage :

Alban MAZEROLLES, Technicien de rivière de la Claise

Structure d'accueil :

Syndicat Mixte d'Aménagement de la Brenne, de la Creuse,
de l'Anglin et de la Claise

Tuteur académique :

Jérémie Riquier, Maître de conférences Université Jean
Monnet

Théo Comte

Master 2 Gestion de l'environnement
Parcours Prévention et Gestion des
Altérations Environnementales
(PGAE)

Année 2022/2023

Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à élaborer mon rapport de stage.

Pour cela, je remercie aussi mon tuteur de mémoire, M. Riquier pour le temps qu'il a accordé lors des rendez-vous téléphoniques et qui ont permis de m'aiguiller dans la contraction de ma réflexion.

Je remercie la structure de stage, le SMABCAC, pour m'avoir accueilli pendant cette période de 6 mois. Notamment, mon tuteur Alban Mazerolles (technicien de rivière de la Claise) pour m'avoir accompagné et suivi tout au long de mon stage. Je n'oublie pas les autres techniciens (Anaïs Trinquart et Guillaume Boireault) et le personnel (Marie-Laure Vérité) de la structure qui m'ont permis d'effectuer mon stage dans les meilleures conditions possibles.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui m'ont apporté leur soutien lors de la rédaction de ce rapport. J'ai eu la chance de pouvoir travailler avec sérénité et persévérance, et j'espère que ma réussite sera la leur.

Théo Comte

Table des matières

| | |
|---|----|
| Remerciements | 1 |
| Table des figures | 4 |
| Table des tableaux | 4 |
| Glossaire..... | 5 |
| Résumé..... | 7 |
| Introduction | 8 |
| 1. Contextualisation générale du Stage..... | 10 |
| 1.1. SMABCAC et présentation du stage | 10 |
| 1.1.1. La structure d'accueil : Le SMABCAC | 10 |
| 1.1.2. Attentes et enjeux du stage | 11 |
| 1.2. État des connaissances sur les sources et fontaines | 13 |
| 1.2.1. Historique de l'origine et de la classification des sources | 13 |
| 1.2.2. Méthodologie et type d'inventaire..... | 17 |
| 1.2.3. Place des sources dans les programmes d'actions et orientations des instances de l'eau en France dans un contexte de changement climatique | 19 |
| 1.3. Contexte du Territoire du SMABCAC..... | 21 |
| 1.3.1. Géographie, géomorphologie | 21 |
| 1.3.2. Géologie et Hydrogéologie | 23 |
| 1.3.3. Hydrologie..... | 24 |
| 1.3.4. Climats | 25 |
| 2. Matériels et méthodes | 27 |
| 2.1. Méthodologie de la localisation des sources..... | 27 |
| 2.1.1. Méthodologie de localisation préparatoire des sources | 27 |
| 2.1.1.1. Méthode utilisée au cours de la période 2022..... | 27 |
| 2.1.1.2. Méthode utilisée au cours de la période 2023..... | 28 |
| 2.1.2. Localisation des sources sur le terrain | 30 |
| 2.2. Caractérisation des sources et de l'état de dégradation..... | 32 |
| 2.2.1. Caractéristiques des sources retenues pour l'inventaire..... | 32 |
| 2.2.1.1. Généralités | 32 |
| 2.2.1.2. Les paramètres hydrogéologiques | 33 |
| 2.2.1.3. Les paramètres physiques et chimiques..... | 34 |
| 2.2.1.4. Les paramètres biologiques | 36 |
| 2.2.1.5. Les usages anthropiques | 36 |
| 2.2.2. Facteurs déterminant retenus relevant de l'état de dégradation des sources | 36 |
| 2.3. Hiérarchisation de la dégradation des sources | 38 |
| 2.4. Sélection des sources à restaurer | 39 |
| 3. Résultats et Analyses..... | 41 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.1. | Sources Identifiées..... | 41 |
| 3.1.1. | Généralités..... | 41 |
| 3.1.2. | Paramètres Hydrogéologiques | 42 |
| 3.1.3. | Paramètres physiques et chimiques | 43 |
| 3.1.4. | Paramètres biologiques | 43 |
| 3.1.5. | Usage anthropique | 43 |
| 3.2. | Niveau de dégradation des sources..... | 44 |
| 3.3. | Actions de restauration et sources sélectionnées..... | 45 |
| 3.3.1. | Vision générale des actions de restauration..... | 45 |
| 3.3.2. | Présentation des sources proposées à la restauration | 46 |
| 3.3.2.1. | ID 225 - Saligot - Azay le Ferron..... | 46 |
| 3.3.2.2. | ID 256 - Grand pré – Oulches | 46 |
| 3.3.2.3. | ID 335 - Beauvais – Prissac | 47 |
| 3.3.2.4. | ID 714 - Les Rebissets – Vendœuvres | 48 |
| 3.3.2.5. | ID 830 - Grand pré – Vendœuvres..... | 48 |
| 3.3.2.6. | ID 1042 - Lavoir – Saint-Civran | 49 |
| 4. | Discussion..... | 50 |
| 4.1. | Influence du changement climatique sur les sources..... | 50 |
| 4.1.1. | Dérèglement climatique et son influence sur les sources | 50 |
| 4.1.2. | Les services écosystémiques rendus par les sources sur les ressources en eau..... | 54 |
| 4.1.2.1. | Les services de soutien et de support | 54 |
| 4.1.2.2. | Les services d’approvisionnement..... | 54 |
| 4.1.2.3. | Les services de régulation | 55 |
| 4.1.2.4. | Les services sociaux et culturels..... | 56 |
| 4.2. | La restauration des sources hydrologique..... | 57 |
| 4.2.1. | Evaluation et caractérisation de la situation des sources..... | 57 |
| 4.2.2. | Sélection et planification des sources à restaurer | 58 |
| 4.2.3. | Evaluation et suivi de la réussite des restaurations..... | 60 |
| 4.3. | Vision et avenir des sources dans ce contexte changeant | 61 |
| | Conclusion..... | 64 |
| | Webographie..... | 66 |
| | Bibliographie | 67 |
| | Annexe | 70 |

Table des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Localisation du territoire du SMABCAC (Source : Comte Théo, 2023) | 11 |
| Figure 2 : Illustration des 12 types de sources reconnues et caractérisées (Source : Springer, Stevens, 2009)..... | 16 |
| Figure 3 : Localisation des intercommunalités sur le territoire du SMABCAC (Source : SMABCAC, 2020) | 21 |
| Figure 4 : Délimitation du territoire du SMABCAC et de ses bassins versants (Source : SMABCAC, 2019) | 24 |
| Figure 5 : : Diagramme ombrothermique du bassin de la Claise (Source : SMABCAC – Etude bilan, CTMA Claise, 2020)..... | 25 |
| Figure 6 : Diagramme ombrothermique du bassin de la Creuse (Source : Météo France, Comte Théo) | 26 |
| Figure 7 : Diagramme ombrothermique sur le bassin de l'Anglin (Source : Etude préalable CTMA Anglin, 2018) | 26 |
| Figure 8 : Sources potentielles déterminées à la suite au travail de location des sources (Source : Comte, 2023) | 30 |
| Figure 9 : Répartition des sources observées sur le territoire du SMABCAC (Source : Comte Théo, 2023)..... | 41 |

Table des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Coefficient des paramètres utilisés pour calculer la note de dégradation (Source : Deline, Comte 2022) | 38 |
| Tableau 2 : Synthèse de notation et attribution de la classe de dégradation (Source : Comte Théo, 2023)..... | 39 |
| Tableau 3 : Répartition du statut foncier des sources observées (Source : Théo Comte, 2023) | 42 |
| Tableau 4 : Répartition type d'aquifères liée aux sources observées (Source : SIGES 36, Comte Théo, 2023)..... | 43 |
| Tableau 5 : Répartition des degrés d'aménagement des sources observées (Source : Comte Théo, 2023)..... | 43 |
| Tableau 6 : Répartition des états de dégradation des sources observées (Source : Comte Théo, 2023) | 44 |
| Tableau 7 : Actions envisagées en fonction des facteurs de dégradation (Source : Comte Théo, 2023) | 45 |

Glossaire

Mode émergence :

- Artésienne : « Source issue d'une nappe captive » (SANDRE, 2017)
- Débordement : « Source située au contact du toit imperméable d'un aquifère, à la limite d'une nappe libre et d'une nappe captive » (Dictionnaire hydrogéologie - Castany, Margat, 1977)
- Dépression : « Source provoquée par l'intersection de la surface du sol avec la surface d'une nappe libre, sans incidence d'une limite imperméable de l'aquifère » (Dictionnaire hydrogéologie - Castany Margat, 1977)
- Déversement : « Source située au contact du mur imperméable d'un aquifère, issue d'une nappe libre de déversement, non soutenue et souvent comprise dans une ligne de sources » (Dictionnaire hydrogéologie - Castany, Margat, 1977)
- Eboulis : « Source située au pied ou au cœur d'un éboulis et dont l'origine géologique est située à un emplacement différent du point d'apparition en surface. » (SANDRE, 2017)
- Exsurgence : « Type de source caractéristique d'un milieu karstique correspondant au retour au jour d'une rivière souterraine dont l'eau ne provient pas d'une perte connue d'un cours d'eau de surface et dont l'aire d'alimentation est entièrement comprise dans le domaine aquifère dont elle est issue » (Dictionnaire hydrogéologie - Castany, Margat, 1977)
- Inconnue : « Le type de source est inconnu » (SANDRE, 2017)
- Résurgence : « Type de source caractéristique d'un milieu karstique correspondant au retour au jour d'une rivière souterraine provenant de l'engouffrement de pertes ou de plusieurs cours d'eau de surface dans un aquifère karstique » (Dictionnaire hydrogéologie - Castany, Margat, 1977)
- Submergée : « Source située sous un plan d'eau de surface tel que la mer, un lac ou un cours d'eau » (Margat, 1972)
- Subaérienne : Source dont l'émergence s'effectue à l'air libre
- Thermale : « Type particulier de source artésienne provenant d'un système aquifère dans lequel les gradients de température sont un facteur appréciable de l'hydrodynamisme » (Dictionnaire hydrogéologie - Castany, Margat, 1977)
- Vauclusienne : « Type de source caractéristique d'un milieu karstique, formée par l'aboutissement d'un conduit subvertical pouvant être la branche ascendante d'un siphon inverse » (Dictionnaire hydrogéologie - Castany, Margat, 1977)

Fréquence d'écoulement

- Intermittente : « Les sources intermittentes sont des sources présentant une activité discontinue. Le débit augmente à intervalles plus ou moins réguliers, et atteint son seuil maximal sur une durée limitée. Les durées d'intervalles peuvent varier de quelques heures à plusieurs mois. » (MARTIN, 2013)
- Pérenne : « Une source est dite pérenne si un écoulement est observable toute l'année, avec un débit relativement stable. » (MARTIN, 2013)
- Saisonnière : « Une source ayant une variation cyclique de son débit, avec des périodes de fortes eaux et des périodes de moindre effusion, voire d'assec, sera dite saisonnière. » (MARTIN, 2013)
- Temporaire : « Les sources temporaires sont des sources occasionnelles. Elles connaissent un essor important de manière ponctuelle et imprévisible, souvent à la suite de fortes pluies » (MARTIN, 2013)

Typologie de source :

- Hélocrène : « L'hélocrène émerge des zones humides à faible gradient ; sources souvent indistinctes ou multiples suintant d'aquifères peu profonds et non confinés. » (Aquaportail, 2008)
- Limnocrène : « La source limnocrène forme un étang d'eau douce à partir d'une nappe phréatique. Le limnocrène est une émergence d'aquifères captifs ou libres dans des mares. » (Aquaportail, 2008)
- Rhéocrène : « Source qui littéralement coule directement hors du sol, l'eau étant souvent libérée sous pression. Elle forme directement un ruisseau. » (Aquaportail, 2008)

Résumé

Dans le cadre de la validation de ma deuxième année de Master Gestion de l'environnement, parcours Prévention et Gestion des Altérations Environnementales, j'ai fait un stage au sein du Syndicat Mixte d'Aménagement de la Brenne, de la Creuse, de l'Anglin et de la Claise dans le département de l'Indre. Au cours de ce dernier, j'ai poursuivi l'inventaire sur les sources et fontaines mis en place dans le cadre du contrat territorial zone humide de la Brenne. De plus, une programmation de projet de restauration a aussi été mis en place. Ces actions menées sur ce site m'ont fait réfléchir sur la place de la restauration des sources dans un contexte de changement climatique. Pour répondre à cette question, j'ai d'abord effectué un contexte thématique de mon étude avec un état des connaissances sur les sources et une présentation de la structure d'accueil et de son territoire. Ensuite, la méthodologie utilisée pour notre inventaire des sources et leur restauration est présenté. Après avoir traité les résultats, une réflexion sera amorcée pour répondre à la problématique. Cela passera par démontrer l'influence du changement climatique sur les sources et les services écosystémiques que les sources nous apportent. Nous continuerons sur un questionnement des enjeux et de réalisation des actions de restauration. Pour finir, nous aborderons l'avenir et la vision des sources dans ce contexte changeant.

Mots-Clefs : Sources, Changement climatique, Restauration, Gestion, Préservation

Introduction

Saint Marc, écologue considéré comme le pionnier de l'écologie humaniste, veut nous dépeindre un monde avec lequel « L'Homme se doit d'être le gardien de la nature, non son propriétaire » (Sociabilisation de la nature, 1971). Cette réflexion écologique s'appuie sur une manière de penser se basant sur une triade sociale, économique et écologique. Le but est de prendre soin de l'environnement sans l'exploiter de manière outrancière et irréfléchie. Cette manière de penser serait donc peut-être une des clefs pour rétablir une gestion plus durable des ressources et permettrait de prendre en compte différents éléments. Elle impacte tous les facteurs et toutes les branches, il est ainsi nécessaire de préserver nos différentes ressources au mieux. Au cours de ce rapport, les sources hydrologiques seront abordées dans le cadre d'un stage proposé par le Syndicat Mixte d'aménagement de la Brenne, de la Creuse, de l'Anglin et de la Claise (SMABCAC).

Ce stage s'est déroulé dans les locaux du SMABCAC, sur la période du 1er février au 31 juillet 2023. Le syndicat en lui-même a vu le jour en 2019, mais son historique remonte bien plus loin ce qui sera développé au cours de ce rapport. Ce syndicat de rivières est un établissement public qui assure des missions de service public et d'intérêt général. Il exerce notamment la compétence GEMAPI pour le compte de ses intercommunalités membres à l'échelle du bassin versant. Son territoire représente un tiers du département de l'Indre.

Lors de ce stage, plusieurs missions ont été menées en particulier la poursuite d'un inventaire sur les sources et fontaines sur le territoire du syndicat. En parallèle de ce dernier, la mise en place de projets de restauration était aussi attendue. Ces actions ont permis de réfléchir sur la notion de restauration et son intérêt dans un contexte changeant. La problématique suivante en a alors découlé :

Quelle est la place de la restauration des sources dans un contexte de dérèglement climatique ?

Dans un premier temps, pour répondre à cette question, une contextualisation sera effectuée pour présenter la structure d'accueil, le stage et ses enjeux. Un état des connaissances sur le domaine des sources servira de base pour appréhender le sujet de ce rapport. La situation du territoire du SMABCAC permettra de comprendre au mieux les données locales.

Dans un second temps, la méthodologie utilisée pour l'inventaire ainsi que la caractérisation et la sélection des sources seront présentés. Une critique et les limites de ces dernières clôtureront cette partie.

Dans un troisième temps, les résultats obtenus au cours de cette étude seront exposés et analysés ainsi que les sources sélectionnées pour la restauration et leur situation.

Dans une dernière partie, une réflexion de l'impact du dérèglement climatique sur les sources et les têtes de bassins versants sera développée. L'adaptation des restaurations aux nouveaux changements climatiques sera questionnée. Une discussion sur la vision de nos ressources et les perspectives clôturera notre étude.

1. Contextualisation générale du Stage

1.1. SMABCAC et présentation du stage

1.1.1. La structure d'accueil : Le SMABCAC

Dans un premier temps, une présentation de la structure d'accueil s'impose pour bien comprendre les enjeux du Syndicat Mixte d'Aménagement de la Brenne, de la Creuse, de l'Anglin et de la Claise (SMABCAC). Son histoire explique aussi sa ligne de conduite sur son territoire (SMABCAC, 2020).

Pour retrouver les premières traces de gestion de l'eau sur cette zone, il faut remonter à l'année 1853. Cette date correspond à la mise en place et l'application d'un arrêté Napoléonien. Ce dernier va engendrer la création d'une association syndicale ayant pour vocation le curage et le faucardage (entretien de la ripisylves) des « fonds de vallées » du bassin de la Claise.

Cette structure va ensuite se développer jusqu'en 1947, permettant à cette époque de regrouper 300 propriétaires riverains. C'est aussi à cette période qu'émerge l'idée de la création d'une structure englobant les communes de l'ensemble du bassin versant de la Claise.

Cette réflexion va aboutir en 1961 à la naissance du Syndicat Intercommunal d'Assainissement et de Mise en Valeur de la Brenne (SIAMVB) qui sera constitué de vingt communes. Par la suite, huit nouvelles collectivités vont se greffer au SIAMVB. Ce Syndicat avait pour mission principale le curage et l'aménagement d'émissaires permettant d'assainir (drainer) les terres de la Brenne afin d'en favoriser le développement agricole et piscicole.

En 1987, c'est le bassin de l'Anglin qui va se doter du Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Bassin de l'Anglin (SIABA) regroupant ainsi un territoire de 10 communes. En 1990, le SIABA va mettre en œuvre des travaux d'aménagements hydrauliques (curage, réfection d'ouvrages...) se déroulant sur l'Anglin et ses affluents. En parallèle, dans les années 90, le SIABA va mettre en œuvre des travaux d'aménagements hydrauliques (curage, réfection d'ouvrages...) se déroulant sur l'Anglin et ses affluents.

À partir des années 1990, le SIAMVB va acquérir de nouvelles missions. Ainsi, des programmes de restauration et d'entretien des rivières vont voir le jour. Cela va aboutir dès les années 2000 à la planification et l'application de travaux de restauration de la végétation rivulaire, de lit et d'habitats piscicoles, de la continuité écologique et pour finir des aménagements et de la restauration de zones humides. En complément, des actions vont être mises en place afin de lutter contre les espèces

invasives telles que la jussie. De plus, des aménagements et gestions de seuils sont instaurés dans le but d'effectuer des travaux de préservation des berges pour limiter leur érosion.

Dès 2017, les premières réflexions avec les établissements publics de coopération intercommunale vont avoir lieu pour s'adapter à la compétence GEMAPI par le SIAMVB. Cela va ouvrir des discussions sur un projet de territoire permettant une gestion cohérente sur les bassins versants de la Creuse, de l'Anglin et de la Claise.

En découlera la création du SMABCAC le 1^{er} janvier 2019 qui prendra ainsi la compétence GEMAPI sur les bassins versants sur ces derniers dans le département de l'Indre et quelques communes du département de la Creuse (Figure 1). Cela représente un territoire de 2440 km² qui s'étale sur neuf intercommunalités. Son but est d'intervenir sur les cours d'eau de son territoire pour améliorer la qualité de la ressource en eau et répondre aux objectifs de la DCE. Le Syndicat gère trois bassins versants : la Claise, la Creuse et l'Anglin qui sont chacun titulaire d'un Contrat Territorial Milieux Aquatiques (CTMA). Sa présence sur ce territoire du Parc Naturel Régional de la Brenne se traduit par la mise en place d'un Contrat Territorial Zone Humides (CTZH) Brenne, dans lequel s'inscrit l'action portée par le SMABCAC sur les sources et fontaines. Ces deux types de contrats territoriaux sont en grande partie financés par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ainsi que la région Centre Val-De-Loire.

1.1.2. Attentes et enjeux du stage

Dans le cadre du Contrat Territorial Zone Humide (CTZH) animé par le PNR Brenne sur une période de 2022-2027, un programme d'inventaire et de restauration des sources et fontaines a été lancé. Cette action est portée par le SMABCAC qui a donc mis en place des stages pour pouvoir répondre aux objectifs.

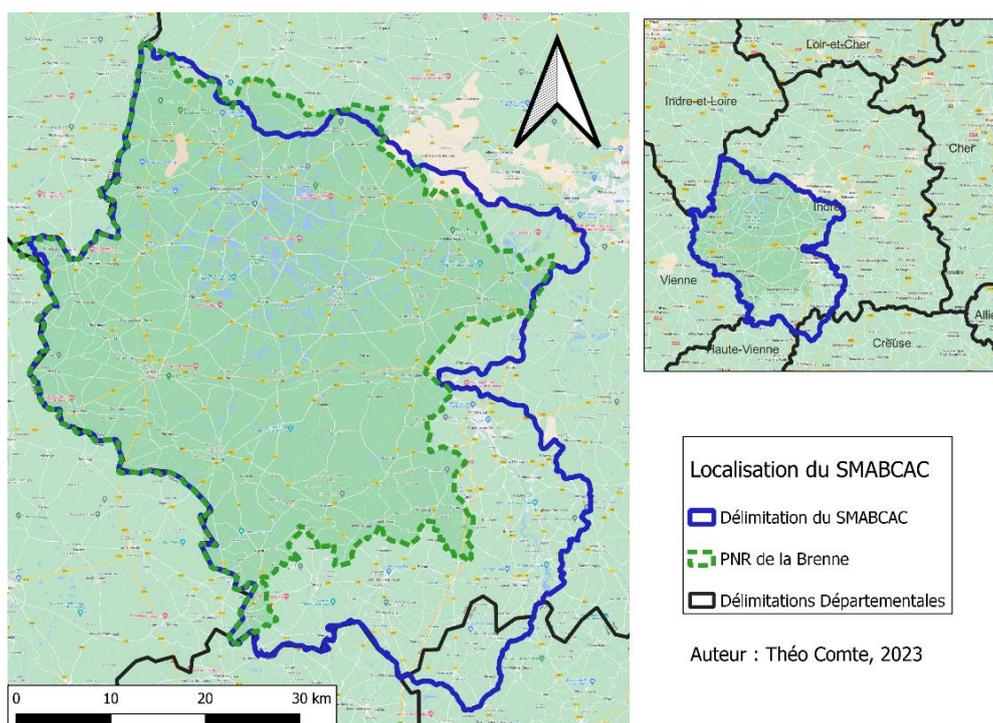


Figure 1 : Localisation du territoire du SMABCAC (Source : Comte Théo, 2023)

L'aspiration de ce programme est d'anticiper les impacts du changement climatique en y répondant par le développement d'une stratégie adaptative. Le but de cette dernière est de répondre aux enjeux de préservation qualitative et quantitative de la ressource en eau. Pour pouvoir endiguer en partie ce problème, les sources ont été vues comme une solution locale. En effet, les sources et les fontaines se trouvent essentiellement dans les têtes de bassins versants. Ces zones en amont des cours d'eau permettront d'impacter de façon plus importante le réseau hydrologique et sont donc des cibles à privilégier en cas d'intervention sur notre ressource en eau. Malheureusement, l'entretien de ces milieux a été délaissé depuis l'après-guerre et plus particulièrement depuis l'installation des réseaux d'eau potable. De nombreuses dégradations peuvent être observées sur ces sources suite à cette déprise. Ces milieux pour certains très dépendants de l'entretien de l'Homme car fortement anthropisés ont été très impactés. Cela a donc entraîné une baisse de leur débit. Par conséquent, une quantité d'eau n'est plus apportée dans les cours d'eau et les zones humides associées qui peuvent être nécessaires en cas d'épisodes de fortes sécheresses. C'est pour cela que le Syndicat Mixte d'Aménagement de la Brenne, de la Creuse, de l'Anglin et de la Claise a tenu à inscrire une action sur ce patrimoine naturel.

Dans un contexte de changement climatique sans précédent qui impacte de plus en plus les ressources en eau et le bon fonctionnement des milieux aquatiques, des actions peuvent être effectuées. Ce programme permet en plus de l'inventaire, la mise en place d'action de restauration pour tenter de faire face à ce problème à une échelle locale. Dans le cas présent, elle représente le territoire du SMABCAC et les bassins sous la direction de la structure.

Ce stage est la suite logique du précédent stage effectué en 2022 au SMABCAC. L'objectif est de continuer le travail déjà accompli lors du recensement, mais cette fois-ci, en mettant l'accent sur des actions de restauration. Ces initiatives de restauration devront débuter dès l'été 2023 et devront inclure la mise en place de plusieurs programmes visant à restaurer des sources dégradées au cours de cette année.

1.2. État des connaissances sur les sources et fontaines

Dans une optique de prendre pleine possession du sujet d'étude, un travail bibliographique a été mené. Dans un premier temps, il abordera l'aspect historique sur l'origine et la classification des sources. Dans un second temps, la méthodologie et quelques inventaires réalisés seront présentés. Le dernier point abordera la perception des sources dans ce contexte climatique changeant et de l'importance donnée à ces dernières dans les programmes et orientations des instances de l'eau tels que l'Agence de l'eau en France.

1.2.1. Historique de l'origine et de la classification des sources

Dès la Grèce Antique, des réflexions sur l'origine des sources et la circulation des eaux souterraines apparaissent. Trois théories vont émerger pour expliquer ces phénomènes.

Premièrement, une origine océanique des eaux souterraines est évoquée par Thalès de Milet en 650 av. J.C. Selon lui, elles proviendraient de la mer et seraient chassées pour s'infiltrer dans les sous-sols continentaux. Subissant la pression des roches, celles-ci remonteraient des profondeurs pour engendrer les sources. Au cours de ce processus, la salinité du liquide serait filtrée par les roches, produisant ainsi l'eau douce au niveau des sources (CASTANY, 1991).

Deuxièmement, Aristote découvrira en 400 av. J.C une origine des eaux souterraines survenant par la condensation de la vapeur d'eau dans les sols. Ainsi cette eau douce condensée permettrait, par accumulation, de former des lacs souterrains qui alimenteraient par la suite les sources en surface (CASTANY, 1991).

Troisièmement, une origine météorique des eaux souterraines par infiltration des précipitations et de la fonte des neiges a aussi émergé. Elle a été proposée par Théophraste dès 100 av. J.C (CASTANY, 1991).

Ces différentes hypothèses grecques vont être soutenues jusqu'au XVII^e siècle par de nombreux scientifiques. Au cours de cette période, la classification des sources était principalement effectuée verbalement et ne prenait en compte que la localisation, la taille, la température et la potabilité de l'eau de la source (ALFARO et WALLACE, 1994).

Au XVII^e siècle de nouveaux courants de pensée tels que celui des Lumières amèneront de nouvelles façons d'appréhender les sciences. À partir de cette époque, les premières esquisses de l'hydrologie et de la science de l'eau vont se développer. Dans son livre *Origine des sources*, en 1674, Perrault va s'intéresser à la création et au mouvement des eaux souterraines. Il va s'appuyer sur les réflexions déjà émises par Théophraste sur une provenance météorique des eaux souterraines par

infiltration. Ses travaux vont ainsi mener à une nouvelle classification de ces dernières. Perrault va réfuter cette hypothèse. Pour lui, l'eau de pluie sert de catalyseur aux mouvements des eaux souterraines. Cependant, elle n'est pas à l'origine des sources (ALFARO et WALLACE, 1994).

Par la suite au XIXe siècle, Paramelle en 1856 dans *L'art de découvrir les sources traitant de l'origine des sources* va s'appuyer sur les travaux de Perrault. Il lui dédie la découverte de la mesure du débit d'une source et des précipitations comme quantité d'eau pour expliquer les niveaux des rivières (ALFARO, WALLACE, 1994).

La première tentative de classification complète des sources a été tentée au XXème siècle. Keilhack en 1912 propose la classification suivante. Il va séparer les sources en deux catégories. D'un côté, les sources ascendantes (*aufsteigende*) qui représentent les sources générées par une arrivée d'eau des profondeurs dû à la pression. De l'autre, les sources descendantes (*absteigende*) qui sont issues d'eau souterraine provenant d'altitude plus haute et émergeant à des points plus bas. Ce sont les voies d'écoulement vers la surface qui servent donc de paramètre de classification (KEILHACK, 1912).

Par la suite Bryan, en 1919 quant à lui va baser sa classification sur la structure géologique et l'hydrologique des sources, retirant complètement sur la morphologie de la source. Cela va le conduire à diviser les sources en deux classes : les sources gravitaires et les sources non gravitaires. Pour la classe non gravitaire, elle regroupe les sources d'origine volcanique ou associées aux roches volcaniques ainsi que les sources provenant de fissures. Pour les gravitaires, elles représentent les sources formées par dépression interceptant une nappe phréatique, les sources par contact, les sources artésiennes dues à des lits perméables entre des matériaux imperméables ou encore les sources dans le roc imperméable (CASTELLI, 2012 ; BRYAN, 1919). La clé de détermination de Bryan est visible en annexe 1.

En 1915 pour Steinmann et 1922 pour Thienemann, trois types de sources vont être décrits. Ils sont basés sur les schémas d'écoulement à la source : les limnocrènes qui forment des mares, les rhéocrènes qui s'écoulent et forment des cours d'eau et pour finir les hélocrènes qui sont à l'origine des prairies humides (STEVENS et al., 2020).

Meinzer avec ces études de 1923 va observer différents facteurs sur les sources des États-Unis. En ressortiront des variables physiques et chimiques comme le débit, la qualité de l'eau, les sources d'eau, ou encore les « spheres of discharge » (zone d'émergence en français) (STEVENS et al., 2020). La classification de Meinzer va principalement être basée sur le taux de décharge moyen produit par la résurgence des sources. Avec cela, il définit deux classes de sources durables : continues ou intermittentes. Pour considérer une source comme durable, il faut que son émergence soit continue,

intermittente ou que sa résurgence, soit naturellement intermittente ou sporadique. Il propose huit classes allant de 1 à 8 s'appuyant sur le taux de décharge moyen et permettant de classer les sources pour des débits variant de plus de 10 m³ /s (niveau 1) à moins de 10 cm³ /s (niveau 8) (Annexe 2) (CASTELLI, 2012 ; MEINZER, 1923).

En 1933, Stiny propose une nouvelle classification basée sur les caractéristiques d'écoulement des sources et géologique. Cette classification est divisée en quatre catégories : les sources à écoulement libre (écoulement libre à la surface sans confinement), les sources à débordements (l'eau s'accumule dans des bassins ou dépression et finit par déborder et s'écouler), les sources artésiennes (l'eau est confinée entre dans un aquifère confiné entre deux couches imperméable, remonte par pression) ainsi qu'une dernière permettant de ranger les sources ne rentrant pas dans celles précédemment citées (geysers, sources sous-marines, sources thermales ou minérales) (CASTELLI, 2012 ; LAMOREAUX et TANNER, 2001 ; ALFARO et WALLACE, 1994 ; STINY, 1933).

Par la suite, de nouvelles tentatives de classification temporaire vont être proposées. Par exemple, Hotzy (2007) a utilisé une combinaison de drainage de l'eau avec des catégories d'écoulement telles que suintant, coulant, en étang, linéaire et en chute ainsi que les matériaux du lit du chenal : organiques et matériaux fins, grossiers ou en blocs. Cette manière de faire a permis d'identifier 14 types de sources en Bavière. Cependant, sa classification ne tient pas compte du système riverain associé ou d'autres microhabitats influencés par les sources. En outre, son approche n'incluait pas plusieurs types de sources qui sont communs ailleurs (par exemple, les jardins suspendus, les hypocrènes, etc.) (ALFARO et WALLACE, 1994).

À l'heure actuelle, c'est la classification de Springer et Stevens de 2009 qui fait consensus au sein de la communauté. Ils présentent un système de classification permettant une meilleure gestion et une conservation des écosystèmes. Ils proposent une structure qui peut servir de modèle pour le développement d'une base de données afin de gérer les données recueillies in situ. Cette classification conserve la classification de Meinzer de 1923 en y ajoutant des variables écologiques environnementales. Chaque catégorie de sources va être déterminée sur des paramètres géomorphologiques, les caractéristiques d'écoulement, la qualité de l'eau et la géochimie, les habitats, et les variations climatiques et biologiques incluant les micros habitats ainsi que les aspects de gestion de l'eau et du territoire (CASTELLI, 2012). Cette classification est très complète et permet de caractériser toutes les sources connues. De plus, son degré de réussite quant à cette détermination avec la clef dichotomique est très élevé (STEVEN et al., 2020). Des illustrations de ces différentes typologies sont visibles sur la figure 2. Ainsi, un total de 12 types de sources sont comptabilisés : A) hélocrène, (B) fontaine, (C) hypocrène, (D) limnocrène, (E) formation de monticules, et (F) sources de

fontaine semi-lotiques (G) rhéocrène, (H) gushet, (I) plaine d'inondation, (J) geyser, (K) jardins suspendus, et (L) sources cavernieuses. Les différentes sous classe pour chaque type de sources sont observables dans la clé dichotomique des sources terrestres présentes en Annexe 3.

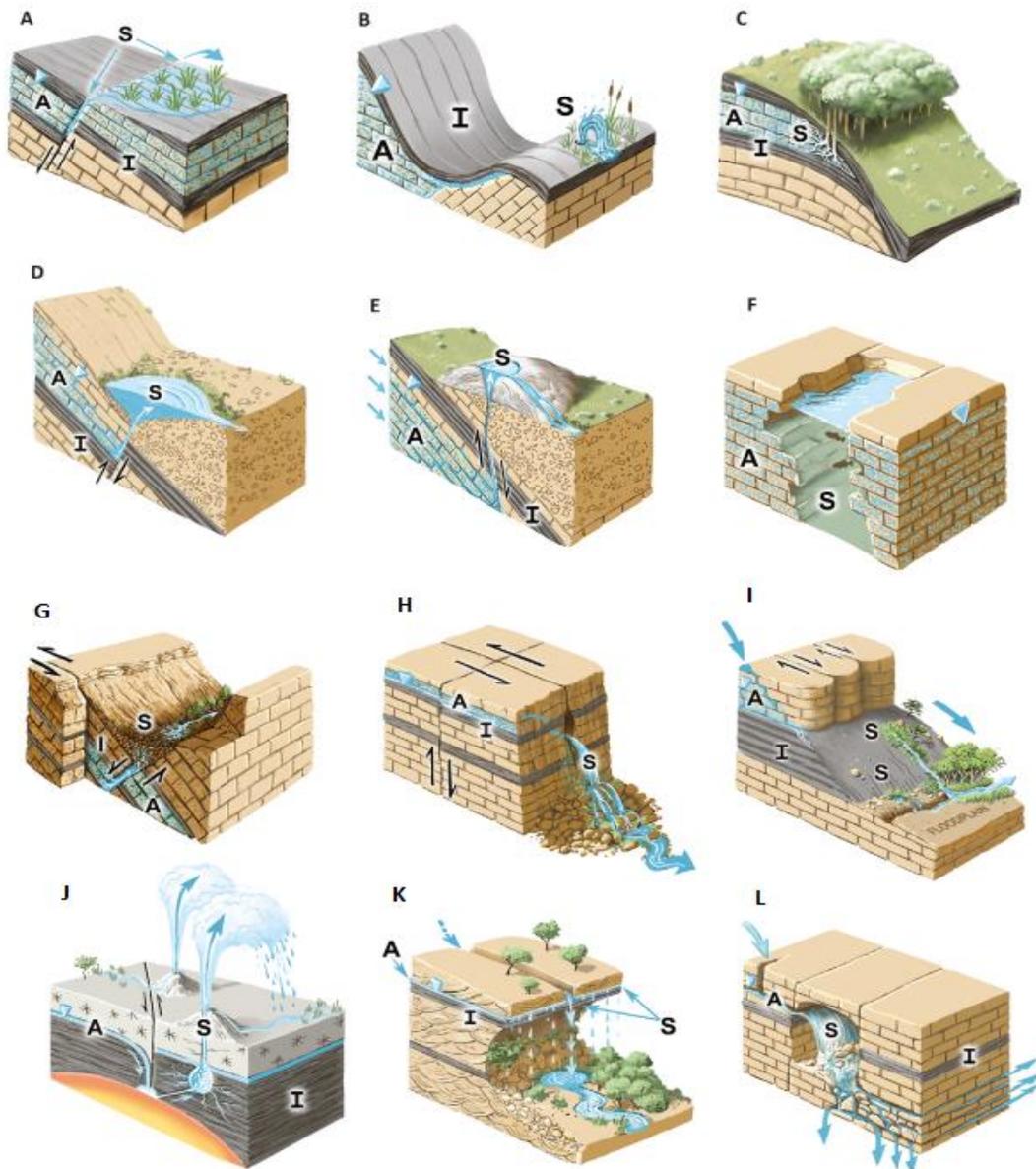


Figure 2 : Illustration des 12 types de sources reconnues et caractérisées (Source : Springer, Stevens, 2009)

D'autre part, avec des types de sources différents, il est normal de retrouver des modes d'émergence variés qui rentrent dans la classification des sources. Ils vont ainsi dépendre du contexte géologique et hydrologique qui est observable sur site de la source étudié. En 2017, le SANDRE a mis à jour sa nomenclature de ces modes d'émergences. C'est ainsi que onze éléments furent retenus :

inconnue, dépression, déversement, débordement (ou trop-plein), artésienne, thermale, exsurgence, résurgence, vaclusienne, submergée, éboulis. Pour définir sa nomenclature, le SANDRE s'est appuyé sur les travaux de Castany et Margat de 1977 dans le *Dictionnaire hydrogéologique*.

1.2.2. Méthodologie et type d'inventaire

Dans le cadre de la mise en place d'un inventaire de sources, il est intéressant de voir quels sont les types et degrés d'inventaire pouvant être effectué. Cette partie s'appuiera sur les travaux de compilation de connaissances réalisée par L. E. Stevens et J. D. Ledbetter soutenue par la Springs Stewardship Institute (Institut d'intendance des sources) aux États-Unis. Cette structure américaine vise à « s'efforcer d'améliorer la communication entre les gestionnaires des terres, d'étudier, de réhabiliter et de gérer les systèmes de sources » (Spring Steward Institute, 2023). Dans cette compilation, les auteurs présentent différents niveaux d'inventaire pouvant être effectués. Ces travaux sont régulièrement mis à jour. La dernière date de mai 2023.

Pour ce qui est du premier niveau d'inventaire, il permet de faire une étude rapide des sources au sein d'un paysage ou d'une unité de gestion territoriale. Cette méthode va s'appuyer sur des brèves visites d'un observateur qui va localiser la géolocalisation des sources, des clarifications d'accès (privé ou public, accès praticable ou non) mais aussi d'établir les besoins en matériel d'échantillonnage pour chaque source. Ce travail préparatoire permet d'acquérir une base solide pour les niveaux d'inventaires suivants. Ce type d'inventaire peut être réalisé à des échelles locales par des petites structures avec des budgets limités et un temps restreint. Il se base sur les données cartographiques disponibles accompagnées d'entretien avec des personnes bien informées sur la distribution des sources sur les territoires d'étude (STEVENS and al, 2023).

Pour ce qui est du deuxième niveau d'inventaire, il favorise la mise en place d'un relevé détaillé mais rapide d'un écosystème de sources pour décrire les variables physiques, biologiques, d'impact humain et de contexte administratif de base. Cette méthode permet ainsi d'obtenir des informations générales et analysables sur les différents écosystèmes de sources (STEVENS and al, 2023). C'est ce type d'inventaire qui a été retenu dans le cadre du stage pour le SMABCAC. Il est à la fois complet mais aussi réalisable par le SMABCAC sur la période de stage de six mois.

Le troisième niveau d'inventaire, le plus complet fait référence à des études menées sur le long terme. Il peut inclure la mesure des variables utilisées dans les inventaires de niveau 2, ainsi que d'autres variables pertinentes. Il nécessite une surveillance importante des sources et des taxons liés à ces dernières qui ont été sélectionnées pour ces études. Ce type d'inventaire est utilisé pour répondre à des problématiques ciblées et précises sur un territoire. Cependant, il demande des compétences

approfondies, du temps et des financements pour être mis en place. Ce n'est donc pas accessible à toutes les structures. De plus, les techniques d'inventaire continueront à évoluer au fur et à mesure des avancées scientifiques. Ce type d'inventaire permettra ainsi avec des méthodes améliorées et de nouvelles techniques, de répondre à des questions spécifiques et plus sophistiquées sur l'écologie et la gestion des sources (STEVENS and al, 2023).

Ces trois niveaux permettent ainsi de regrouper tous les types d'inventaires observables à l'heure actuelle.

En France, le recensement des sources n'est pas un secteur des plus développés. Bon nombre de ces dernières ne sont pas connues car elles n'ont pas fait l'objet de travaux d'inventaire rigoureux par les différentes structures de gestion. Pour ceux effectués sur le sol français retrouvable dans la littérature scientifique, il y a celui effectué par L. MARTIN sur la réserve naturelle de Nohèdes en 2013 au cours d'un stage dans les Pyrénées-Orientales. C'est sur cette étude que s'est basé le protocole mis en place l'année passée pour matérialiser les actions menant sur le territoire du SMABCAC. L'inventaire réalisé sur la Réserve naturelle de Nohèdes avait pour but d'améliorer la connaissance des sources présentes sur le territoire mais aussi de mieux comprendre ces milieux pour pouvoir mettre en place leur protection.

Comme cette étude dans les Pyrénées-Orientales, d'autres traces d'inventaires sont recensées sur le territoire français. Cependant, cela relève souvent d'initiatives locales effectuées par des structures territoriales. Dans ce type de démarche, l'action menée dans le département du Val-de-Marne est un exemple. Un recensement des sources a été mené sur ce territoire dans le cadre du « Plan Bleu » lancé par la Direction des Services de l'Environnement et de l'Assainissement du Département pour permettre de localiser et de restaurer certaines des sources présentes sur les communes. C'est ainsi que Mohamed Bouras a identifié 88 sources et 314 éléments tels que des lavoirs, des puits, des fontaines existants ou disparus, ainsi que l'hydronymie des rues.

En Europe, de nombreux pays ont lancé des inventaires sources. Par exemple, le parc national des Berchtesgaden en Allemagne a été l'une des premières zones protégées des Alpes à être évaluée avec précision avec des géolocalisations GPS pour toutes les sources situées dans la zone protégée. En 2007, 330 sources étaient recensées sur ce parc national. Dans les Alpes Italiennes (CANTONATI and al, 2007), un inventaire a été mis en place aussi en 2007 permettant de localiser 142 sources sur le site d'étude.

Sur les autres continents, c'est aux États-Unis que le plus grand nombre de publications et d'inventaires des sources ont été effectués. De grands recensements sont organisés à l'échelle de certains États tels que celui effectué en Floride (SCOTT et al., 2004) à partir de 1997. Le but de ces études est d'obtenir

une compréhension complète des systèmes de sources pour la conservation et la gestion des ressources en eau, l'amélioration de la qualité des ressources naturelles mais aussi la promotion de la croissance économique du territoire.

1.2.3. Place des sources dans les programmes d'actions et orientations des instances de l'eau en France dans un contexte de changement climatique

Après la présentation de l'historique des sources et de leur origine ainsi que des méthodes d'inventaire, il est intéressant d'observer la place qui leur est attribuée dans un contexte de changement climatique sur le territoire par les différentes instances de l'eau.

En Europe, la directive Habitat de l'Union européenne (UE) ne reconnaît qu'un seul grand type d'habitat de source, à savoir les sources pétrifiantes calcaires (code UE 7220). Tous les autres types ne font pas l'objet de protection. Seule la Finlande préserve ces sources par la loi sur l'eau et celle sur les forêts. Les sources artésiennes australiennes du Grand bassin artésien sont sauvegardées par la loi fédérale sur la protection de l'environnement et la conservation de la biodiversité. Aux États-Unis, les eaux souterraines et les sources sont à peine prises en compte dans la législation fédérale, la compétence étant largement renvoyée aux différents États. La Floride, le Minnesota, le Nevada, le Nouveau-Mexique, le Wisconsin et quelques autres États ont des programmes qui mettent l'accent sur la surveillance et la protection des sources (STEVENS & MERETSKY 2008 ; KNIGHT 2015 ; CANTONATI et al., 2016).

Après cette revue générale dans le monde, il est important de voir comment ces enjeux se répercutent dans les directives des différentes strates administratives françaises de planification de la ressource en eau et des milieux aquatiques ?

Dans la Directive Cadre Européenne (DCE) sur l'eau de 2000, les sources ponctuelles et diffuses font l'objet d'un article. Il est aussi stipulé que les États membres doivent contrôler tous les rejets dans les eaux de surfaces. Ces différentes actions doivent être examinées grâce aux meilleures techniques disponibles de contrôles et faire l'objet d'une valeur limite d'émissions pertinentes. De plus, cela doit s'inscrire dans de bonnes pratiques environnementales pour permettre une gestion durable de la ressource en eau. Ces directives restent générales, vagues et doivent donc être traitées et traduites à l'échelle des différents Pays Membres.

En France, la notion de source a été reprécisée dans le cadre de la cartographie des cours d'eau. Pour le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) dans l'instruction du 3 juin 2015 (retranscrite dans le Code de l'environnement, art. L215-7-1), la notion de sources est vue comme suit : « un cours d'eau doit donc être alimenté par au moins une autre source et non par les seules

précipitations. L'alimentation par une source permet ainsi de préciser la notion de « débit suffisant une majeure partie de l'année ». Cette source n'est pas nécessairement localisée. Elle peut être ponctuelle, à l'endroit où la nappe jaillit, mais cela peut aussi être l'exutoire d'une zone humide diffuse, notamment en tête de bassin, ou un affleurement de nappe souterraine. Comme pour le critère de débit suffisant une majeure partie de l'année, il faut prendre en considération que certaines sources peuvent se tarir à certaines périodes. Il conviendra donc de préciser les conditions de l'année dans lesquelles ce critère doit s'apprécier. ». Cette définition des sources reste elle aussi floue et changeante en fonction des régions. Cependant, les sources restent un élément important dans une démarche de classification des cours et de ce fait de leur fonctionnement.

À une échelle de bassin hydrographique, c'est le Schéma directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) et les actions subventionnées par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne qui vont dicter la marche à suivre. Entrant dans son 11^e programme d'intervention (2019-2024), l'agence de l'eau a des objectifs prioritaires : la qualité des milieux aquatiques et la biodiversité associée, la qualité des eaux et la lutte contre la pollution, la gestion économe et équilibrée de l'eau face au dérèglement climatique. Dans ces différents enjeux, il n'est pas spécialement mentionné des actions sur les zones de sources ou sur les sources. Cependant, une grande place est attribuée aux zones humides avec la volonté de corriger les altérations constatées sur ces dernières. Cela passe par des inventaires, des études et des restaurations sur ces milieux. Il pourrait être intéressant de préciser ce point car les sources peuvent être considérées comme des zones humides, mais cette nuance n'est pas relevée. Pour ce qui est du changement climatique, de nombreuses actions et objectifs sont mis en place et attendus pour permettre de répondre au mieux à cette problématique, cependant il n'est pas fait référence aux sources dans le programme.

Pour ce qui est du Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE), la création d'un SAGE Creuse est en cours d'élaboration. Cela ne nous permet donc pas encore d'avoir une vision précise de son incidence sur les sources dans le territoire. Cependant, avec la présence du SMABCAC sur le territoire du SAGE et le début de travaux dans ce domaine, cela pourrait entraîner des actions sur cette thématique.

À des échelles plus locales, ce sont les contrats territoriaux qui vont permettre d'observer les actions réelles mises en place. Sur le territoire du SMABCAC, c'est le contrat territorial zone humide animé par le PNR Brenne sur une période de 2022-2027 qui cristallise les attentes et met en avant des actions comme celle sur les sources et fontaines effectuées lors de ce stage. Cependant, les contrats territoriaux n'ont pas cette visée. Cela dépend de l'attente locale et des objectifs des structures face à cette problématique.

1.3. Contexte du Territoire du SMABCAC

Ce stage se déroulant sur un territoire particulier, il est important d'apporter quelques informations complémentaires sur l'étendue spatiale du syndicat.

1.3.1. Géographie, géomorphologie

Le territoire de notre objet d'étude se localise ainsi dans le département de l'Indre dans la région Centre-Val-de-Loire. Une partie du syndicat s'étend cependant sur quelques communes appartenant au département de la Creuse (6 communes). Il est composé par un total de 94 communes situées dans différentes intercommunalités (Figure 3).

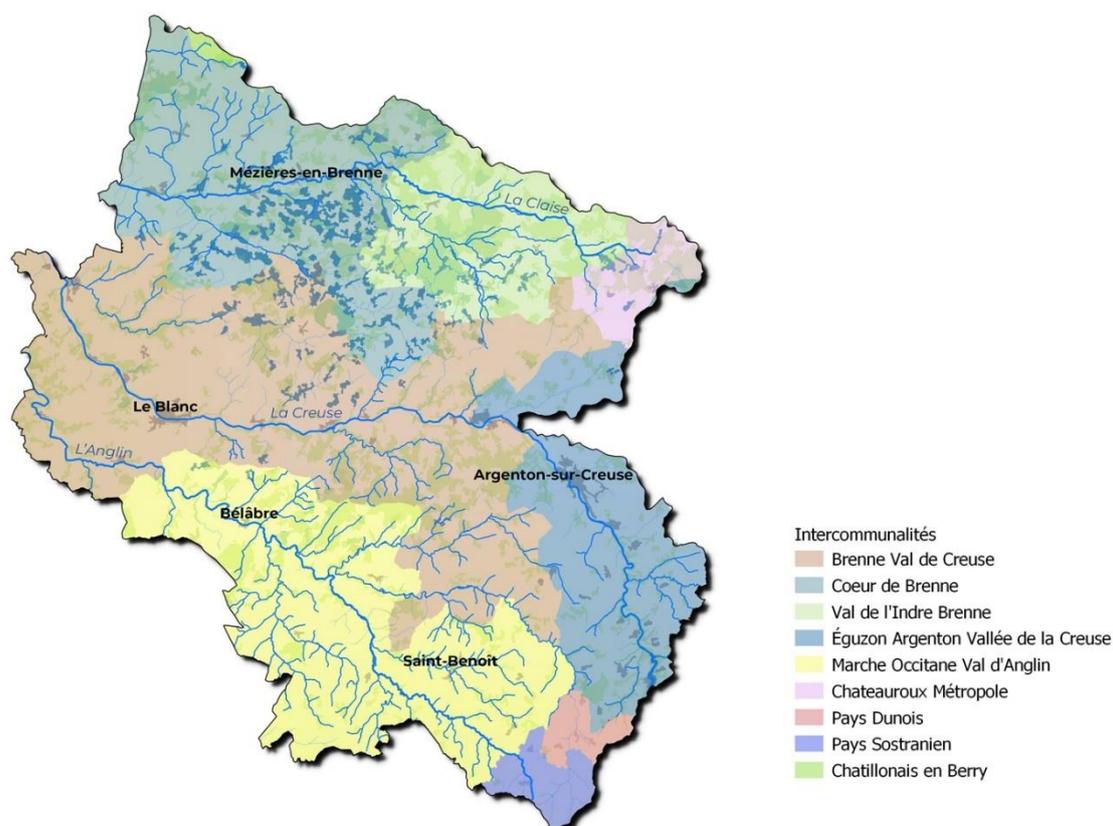


Figure 3 : Localisation des intercommunalités sur le territoire du SMABCAC (Source : SMABCAC, 2020)

Malgré un nombre important de communes, ce secteur est très rural. Une grande partie du territoire du SMABCAC est dominée par les surfaces agricoles et forestières. À l'inverse, le tissu urbain n'est que très peu représenté avec moins de 3 % sur cette superficie de 2440 km². Quatre grandes unités paysagères sont représentées selon le service d'appui transversal et transition énergétique de la DDT de l'Indre (SATTE-DDT, 2019). Ces dernières étant :

Au nord-ouest se trouvent les Gâtines de l'Indre, un vaste plateau qui présente peu de reliefs. Cependant, l'action des affluents du Cher et de l'Indre a créé de vastes vallées qui apportent un relief plus marqué localement sur ce plateau. Ces vallées offrent des paysages très variés, où l'on peut observer des prairies humides, des bocages et des ripisylves qui structurent un paysage bien délimité par les versants. Les forêts recouvrent encore de vastes étendues de ce territoire.

Au nord et au centre, nous trouvons la Brenne, pays des mille étangs. Son paysage est constitué d'une mosaïque de milieux différents, tels que des étangs, des landes, des prairies, des bois, des friches, des fourrés et des cultures. Cette terre de faible relief a été façonnée par l'action de l'homme. Dès le Moyen Âge, des étangs ont été créés, des céréales ont été cultivées, et plus tard, au XIXe siècle, des prairies bocagères ainsi que de vastes massifs de résineux ont été installés. La lande, quant à elle, apparaît sur des sols épuisés par des récoltes successives.

À l'extrémité ouest, nous retrouvons le Pays Blancois. Il se caractérise par un vaste plateau soumis à une importante érosion. Les rivières de la Creuse et de l'Anglin ont profondément entaillé ce plateau, entraînant la formation de falaises. De nombreux bois et bosquets ont été conservés, en particulier près de l'eau.

Au sud, nous observons le Boischaut méridional. Cette région constitue une zone de transition entre les plaines du Bassin parisien et le Massif central. Son relief est marqué par de nombreux plateaux entrecoupés par de nombreuses vallées et vallons. Le territoire est caractérisé par la présence de bocages, accompagnés de terres cultivées, de prairies, de bois et de zones humides.

De plus, le Syndicat voit son territoire se superposer avec la quasi-totalité du PNR de la Brenne. Ce dernier a été créé dans les années 1989 en réaction de la dévitalisation de ce territoire. Son but est de mettre en place des conditions pérennes de développement local. Il souhaite préserver la richesse et la fragilité du patrimoine avec la présence de zone humide d'importance internationale, classée Ramsar en 1991 nécessitant une sauvegarde.

Ainsi, ce territoire est à cheval sur différentes unités paysagères avec une diversité de l'occupation du sol, mais aussi de contextes hydrologiques et géologiques divers qui vont influencer la présence possible de source sur ces zones.

1.3.2. Géologie et Hydrogéologie

Le contexte géologique local influe fortement sur les sources. Cela va avoir un impact sur leur condition d'apparition, qu'elles soient submergées, subaériennes ou cavernicoles. Pour récupérer nos informations sur la géologie locale, nous nous sommes penchés sur les présentations et les études bilans des Contrats Territoriaux Milieux Aquatiques sur les différents bassins.

Pour ce qui est de la situation sur le bassin de la Claise, sa formation géologique remonte à l'époque tertiaire avec des mouvements tectoniques qui ont amené à la création d'une vaste cuvette dans la Brenne. À l'éocène, elle a été comblée par l'apport d'arène granitique amenée par les cours d'eau. Nous pouvons aussi retrouver quelques affleurements calcaires ou marneux sur le territoire. Cependant, les dépôts siliceux en fer sont principaux sur ce bassin. Le bassin de la Claise présente donc un plateau calcaire recouvert d'argile, de sables et de limons. Il reste tout de même peu encaissé (SMABCAC - Etude bilan du CTMA 2014-2019 Claise, 2020).

Le bassin versant de la Creuse présente des roches magmatiques et métamorphiques du Massif Central en amont, formant ainsi des aquifères de faible potentialité de rétention. L'eau ne peut alors être stockée qu'au niveau de fractures. Cela reste en opposition avec la zone aval présentant quant à elle des roches sédimentaires comme des argiles sableuses du Trias et des marnes et calcaires du Lias présentant ainsi un aquifère de capacité de rétention plus importante par leur composition granulométrique. Nous pouvons donc en conclure que la partie aval du bassin versant présente des réserves en eau plus importantes que la partie amont (LEVI, 2011).

L'amont du bassin de l'Anglin est situé sur les restes du Massif Central, ce qui se traduit par la présence de sols granitiques. Plus au sud de ce bassin, sur la commune de Chaillac, les pentes sont plus fortes et le substrat se compose de blocs. L'Anglin est ensuite une rivière de plaine sur des sols marneux et calcaires avant de traverser la petite Brenne riche en sables, grès et argiles. De plus, sur les secteurs aval du bassin de l'Anglin se trouvent des systèmes karstiques favorisant la formation de pertes et de résurgences (SIABA - Pré diagnostic CTMA Anglin, 2014).

Pour les trois bassins, pour ce qui est de la géologie, elle est principalement calcaire. Ainsi, ce sont des régions karstiques sur ce territoire. Ces zones possèdent donc des situations propices à la formation de sources.

En ce qui concerne les formations hydrogéologiques, elles sont disponibles sur le Système d'information pour la gestion des eaux souterraines (SIGES) de Centre-Val-de-Loire. Les données présentées par le SIGES reposent sur des études effectuées par le Bureau de Recherche Géologique et

Minière (BRGM). Elles soulignent la présence de formation de craies du Séno-Turonien ainsi que de calcaires du Jurassique moyen et supérieur sur le territoire du SMABCAC.

1.3.3. Hydrologie

Le territoire du SMABCAC est parcouru et doit gérer trois bassins versants distincts : la Claise, la Creuse et l'Anglin (Figure 4).

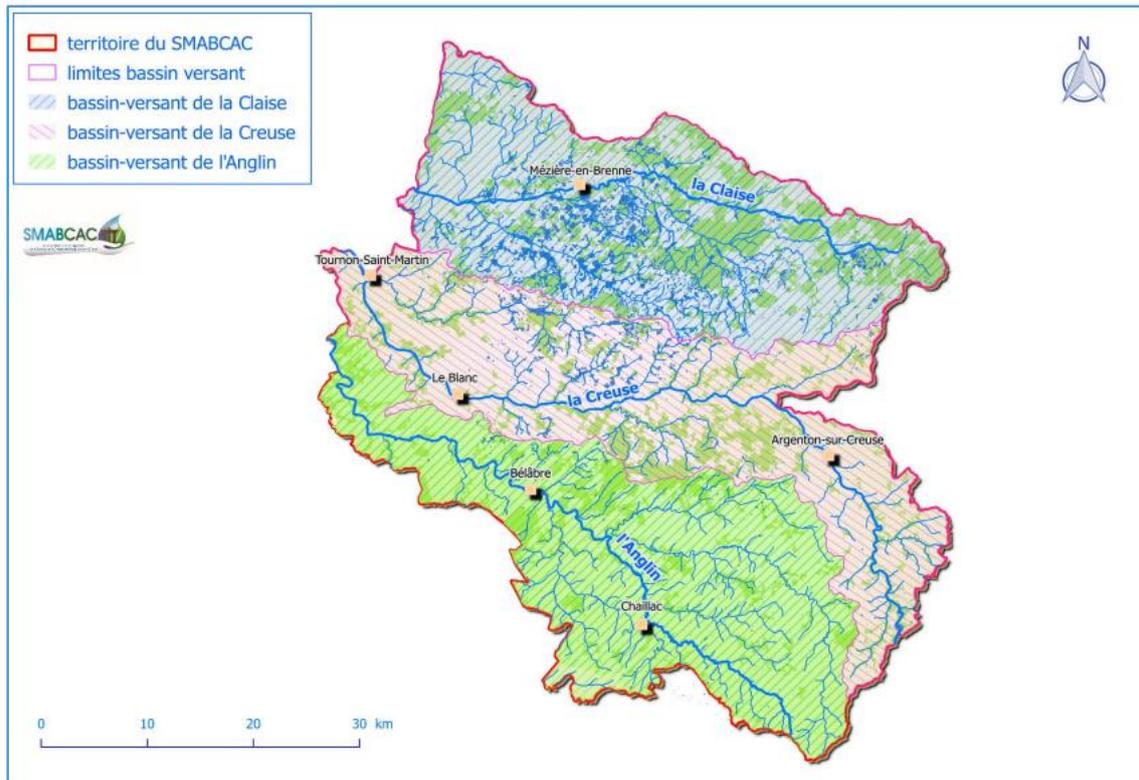


Figure 4 : Délimitation du territoire du SMABCAC et de ses bassins versants (Source : SMABCAC, 2019)

Le bassin de la Claise situé au nord couvre une superficie de plus de 791 km² et s'écoule sur une distance d'environ 87 km avant de se jeter dans la Creuse à hauteur de la commune de Martizay, dans le département de l'Indre-et-Loire. Elle se situe principalement dans la région naturelle de la Brenne et intégralement sur le territoire du Parc Naturel Régional de la Brenne. La Claise est rejointe par de nombreux affluents. C'est un bassin versant qui a connu au fil du temps de fortes modifications par l'action de l'Homme avec de nombreuses créations d'étang. De plus, de multiples phases de travaux d'entretien ou de travaux hydrauliques ont été effectués. Les travaux de curage, d'élargissement et de redressement des cours d'eau réalisés les décennies de 1960 et de 1970 ont eu le plus d'impact sur ce bassin (SMABCAC, 2019).

Ensuite, le bassin de la Creuse sur le territoire du SMABCAC représente 817 km² de superficie et s'écoule sur 236km traversant les départements de l'Indre et de l'Indre-et-Loire avant de se jeter dans la Vienne. Elle prend sa source hors du territoire du SMABCAC sur le plateau des Millevaches dans le

département de la Creuse. Tout comme la Claise, elle a subi des travaux d'entretien ou hydraulique et présente des ouvrages sur sa longueur et elle est soumise à des utilisations anthropiques de sa ressource en eau. Ces usages sont l'irrigation agricole, la production d'énergie hydraulique, l'approvisionnement en eau potable et la navigation (SMABCAC, 2019).

Pour finir au sud, le bassin de l'Anglin à cheval sur la région Centre Val de Loire et Nouvelle Aquitaine, dans les départements de la Creuse, la Haute-Vienne, l'Indre et la Vienne, représente une superficie de 1690 km². Pour ce qui du SMABCAC, il a en charge 832 km² de ce dernier dont la source présente sur la commune d'Azerables. Dans la continuité des deux autres bassins versants, l'Anglin a connu des travaux d'entretien ou hydrauliques et rencontre de nombreux obstacles au cours de son écoulement (SMABCAC, 2019).

1.3.4. Climats

Le territoire du SMABCAC étant très étendu avec des contextes géologiques et paysagers variés, il présente des climats et des précipitations quelque peu différents en fonction du bassin versant considéré.

Pour ce qui du bassin de la Claise, il est soumis à un climat tempéré d'influence océanique. Il possède des températures qui sont douces ainsi qu'une pluviométrie moyenne répartie sur la totalité de l'année (Figure 5). D'après l'étude Aquascop de 2020, les précipitations annuelles sont en moyenne de 737,1 mm. Ce chiffre fut obtenu après étude des relevés de 1981 à 2010. Les précipitations minimales ont lieu principalement au mois de février. Tandis que les précipitations maximales se produisent en fin d'automne, début d'hiver et au printemps (SMABCAC – Etude bilan, CTMA Claise, 2020).

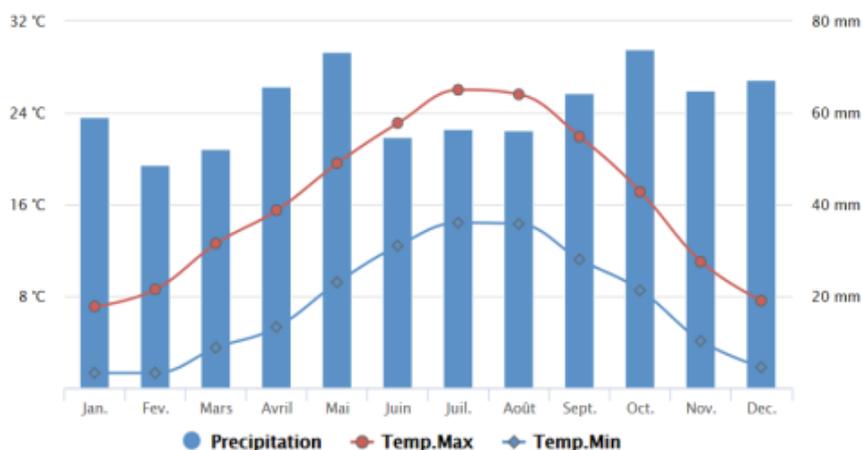


Figure 5 : : Diagramme ombrothermique du bassin de la Claise (Source : SMABCAC – Etude bilan, CTMA Claise, 2020)

Pour ce qui est du bassin de la Creuse, l'ensemble de celui-ci se trouve sous un climat océanique plus ou moins dégradé par la présence des reliefs du Massif Central. En effet, le climat de la partie amont du bassin va être affecté par sa proximité avec le Massif Central (type continental), alors que la partie aval du bassin versant ne va être que peu perturbé par les reliefs (LEVI, 2011). Pour ce qui est des précipitations maximales, en se rapportant aux relevés obtenus par la station de Météo France de la Station de Châteauroux, elles sont de 738mm/an. Pour les précipitations minimales, elles ont lieu en août (Figure 6).

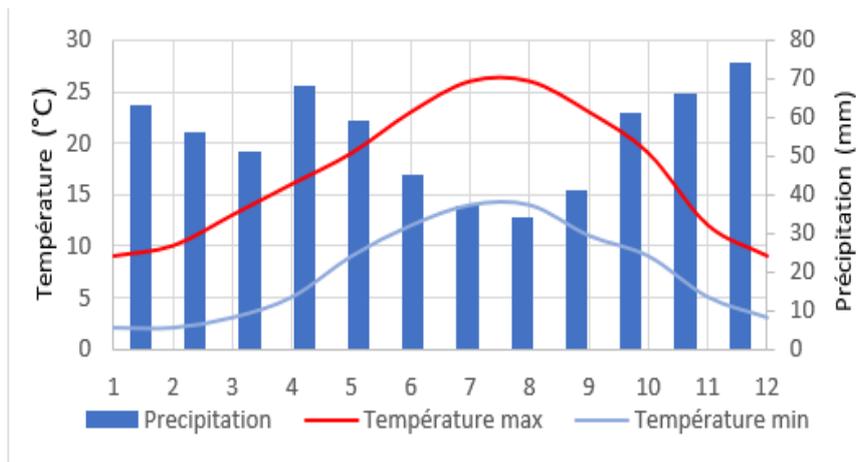


Figure 6 : Diagramme ombrothermique du bassin de la Creuse (Source : Météo France, Comte Théo)

Le bassin de l'Anglin est quant à lui sous l'influence de trois types de climats, ce qui lui apporte une certaine hétérogénéité à l'échelle locale. De cette manière, une zone située au nord-ouest présente un climat océanique qui se caractérise par sa faible pluviométrie et son ensoleillement. Au nord-est, c'est un climat océanique dégradé qui est observé au niveau de la Petite Brenne. Il se caractérise par un climat plus rude avec des précipitations plus élevées et des sécheresses estivales qui restent marquées. Le dernier climat est lui de montagne ou sous influence montagnarde au Sud-Est. Cela se traduit par une zone plus humide, avec des hivers froids et une pluviosité qui augmente rapidement avec l'altitude (Etude préalable CTMA Anglin, 2018). En ce qui concerne les précipitations, elles sont illustrées dans la figure 7. Cela fournit des données permettant d'observer une répartition de sa densité plus importante sur les saisons hivernales et printanières.

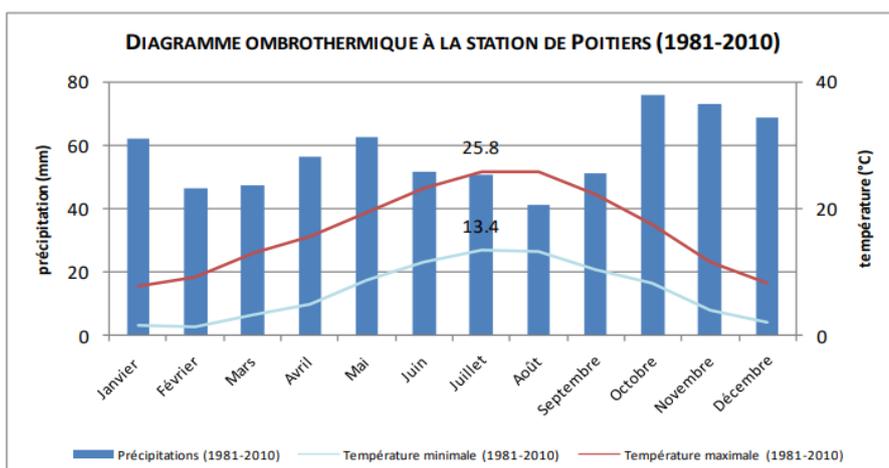


Figure 7 : Diagramme ombrothermique sur le bassin de l'Anglin (Source : Etude préalable CTMA Anglin, 2018)

2. Matériels et méthodes

Dans le but de répondre aux attentes de la structure d'accueil, l'inventaire des sources a été poursuivi avec quelques nouvelles réflexions sur le protocole déjà établi au cours de la première année de ce programme en 2022.

2.1. Méthodologie de la localisation des sources

Pour effectuer l'inventaire et la caractérisation des sources, il est nécessaire de réussir à localiser ces dites sources. Lors de cette sous partie, la méthode utilisée pour déterminer la spatialisation des sources potentielles sera énoncée. Une rétrospective sur le processus de localisation des sources sera exposée. Ensuite, la méthodologie utilisée au cours de ce stage sera présentée.

2.1.1. Méthodologie de localisation préparatoire des sources

2.1.1.1. Méthode utilisée au cours de la période 2022

En 2022, la localisation des sources a été effectuée par le biais de lectures cartographiques, l'utilisation de bases de données existantes (BD Indre Nature) mais aussi une campagne de communication auprès des communes et des citoyens.

La lecture cartographique a été réalisée sur le territoire du SMABCAC sur trois cartes différentes : la carte de Cassini (exemplaire dit de « Marie-Antoinette » du XVII^e), la carte de l'État-Major (1820-1866) et pour finir le SCAN 25 TOPO IGN (2022). Sur ces cartes, les sources et fontaines mentionnées ont été répertoriées comme des sources à visiter.

Les bases de données préexistantes utilisées ont été celle du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et de l'association Indre Nature qui a effectué un travail sur l'hydronymie des parcelles et des noms de lieu par Joël Moulin (Adhérent Indre Nature). Ces différents points ont été ajoutés aux sources à visiter.

Le volet communication a consisté en la mise en place d'une enquête auprès des communes pour recourir aux connaissances de ces dernières dans la localisation des sources et des fontaines. Chacune a donc reçu un mail comportant un questionnaire ainsi qu'une carte de sa commune pour indiquer l'emplacement de sources supposées. En plus de la communication auprès des communes, un inventaire participatif a été mis en place pour permettre aux citoyens et propriétaires privés de renseigner la présence de sources de leur connaissance. Pour promouvoir cet inventaire et faire connaître les actions du syndicat sur les sources et fontaines, des interviews radiophoniques, des articles dans des journaux locaux (La Nouvelle République) ainsi qu'un passage dans un reportage à la télévision (France 3) ont pu être organisés.

Cette méthodologie a permis de mettre en place à la fin du stage de cette première année d'activité 279 sources potentielles pour 166 sources vérifiées, caractérisées et inventoriées.

2.1.1.2. Méthode utilisée au cours de la période 2023

En 2023, le travail d'inventaire des sources a été repris sur les bases des actions et des méthodologies développées aux cours de la période de 2022. De nouvelles réflexions ont vu le jour pour permettre de répondre aux mieux aux attentes de cet inventaire. De légères variations ont été effectuées dans le protocole pour affiner cette recherche.

La lecture cartographique a été reprise. Le matériel cartographique, bien que similaire a été retravaillé pour permettre d'étendre notre champ de recherche. Pour ce faire, ce n'est plus exclusivement les sources ou fontaines annotées sur le SCAN 25 TOPO IGN qui ont été recensées mais toutes traces d'amorce d'écoulement telles que les débuts de cours d'eau temporaires, permanents. Toutes symbologies faisant référence aux sources, fontaines, lavoirs, pompages n'ayant pas été vu en 2022. En plus des cartes, nous avons aussi utilisé la base de données TOPAGE pour avoir la localisation précise de tous cours d'eau référencés et ainsi être exhaustif. Ce travail a demandé de présélectionner et de compiler tous ces points dans un Système d'Information Géographique (SIG) (« Sources potentielles », Qgis version 2.26.3). Chaque point marqué reçoit un identifiant numérique qui lui est propre.

Pour ce qui est des cartes anciennes, le travail fut similaire à l'année dernière avec la recherche de nomenclature de sources sur les cartes de Cassini (XVII^e siècle) et les cartes d'État-Major (1820-1866). Ainsi, les points pouvant abriter une source ou encore une fin de cours d'eau ayant été oubliés précédemment ont été ajoutés au SIG. Cela permet ainsi d'avoir une idée et de localiser des sources ou des fontaines aujourd'hui absentes des nouvelles cartes.

Ce travail de lecture cartographique a alimenté notre SIG « Sources potentielles » d'un total d'environ 1300 points à vérifier lors de la phase terrain. En comparaison à 2022, ce nombre conséquent apporte une vision plus générale des sources potentielles sur le territoire mais aussi un plus grand nombre de points ne présentant aucune source en leur localisation.

En complément de la lecture cartographique, la base de données de l'association environnementale du département : Indre Nature fut maintenue dans notre démarche d'inventaire. Cependant, leurs localisations ne sont pas des plus précises, notamment en ce qui concerne les points affiliés à des noms de lieu-dit car les points sont renseignés au centre de ces derniers. Pour les points s'appuyant sur la nomenclature des parcelles, ils sont quant à eux un peu plus précis puisqu'ils se rapportent aux échelles d'une parcelle. Ainsi un SIG « Point Indre Nature » a été mis en place pour abriter ces points. Ce sont

1000 points de sources potentielles en plus qui ont été ajoutés dans ce SIG se trouvant sur tout le territoire du SMABCAC.

Dans ce même thème, une recherche sur l'hydronymie des voiries des communes a été effectuée. Des noms comme « Rue de la Fontaine », « Impasse de la Fontaine », ... ont été ajoutés à notre SIG « Sources potentielles ». Ce sont 52 nouvelles localisations potentielles de sources qui ont été répertoriées.

Le volet communication a aussi été poursuivi pour déterminer les sources n'étant pas présentes dans nos points précédemment annotés. L'enquête, auprès des communes, a été relancée pour celles qui n'avaient pas répondu. Cependant, cette démarche ne fut pas des plus concluantes car seules deux nouvelles réponses ont été reçues. En parallèle de l'enquête, une nouvelle campagne d'inventaire participatif a été effectuée pour faire appel à la mémoire collective des habitants, principalement en ce qui concerne les sources disparues mais aussi des sources toujours viables. Cette démarche a été relayée sur les réseaux sociaux et affichée dans les mairies pour essayer de toucher le plus de monde possible. Grâce à cela, nous avons pu obtenir quatre retours supplémentaires et être en contacts directs avec des propriétaires.

Bien que ce principe général de la méthodologie de recherche de sources reste le même, un travail de cartographie plus poussé a été mis en place pour permettre d'augmenter notre rayon de localisation des sources. Plus de 2000 points de sources potentielles ont donc été déterminés et nécessitent pour chacun, une recherche de terrain. Par rapport au travail débuté en 2022, nous avons alors multiplié par sept le nombre de points à visiter uniquement grâce à un travail cartographique. La localisation de ces sources potentielles est visible sur la figure 8. Sur cette carte, une grande partie des points se situent en dehors du PNR de la Brenne et ne sont pas de ce fait dans le champ d'actions du CTZH menée par le Parc. Il faut aussi penser et s'attendre à ce que certains points soient inaccessibles, du fait de leur localisation sur des parcelles privées ou encore sur des zones moins praticables. De plus, ces marquages n'amèneront pas systématiquement à la découverte d'une source.

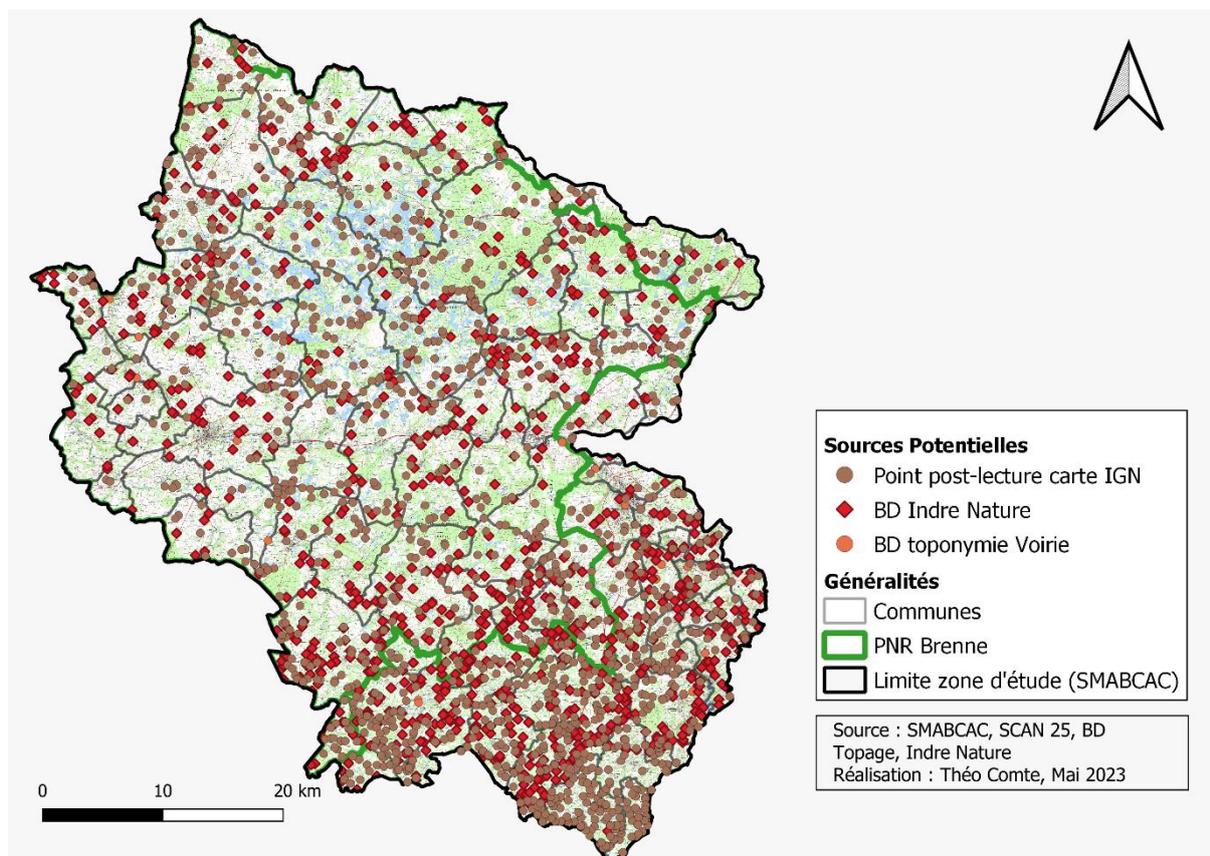


Figure 8 : Sources potentielles déterminées à la suite au travail de location des sources (Source : Comte, 2023)

2.1.2. Localisation des sources sur le terrain

Ces sources potentielles répertoriées devaient maintenant être vérifiées ou discréditées par une observation sur le terrain. Le nombre de points à visiter étant important et le territoire du SMABCAC conséquent, ce furent principalement les sources potentielles et les points Indre Nature présents sur les communes adhérentes au PNR de la Brenne qui seront prospectés. Cette décision a été motivée par le fait que ce stage s'inscrit dans le cadre du Contrat Territorial Zone Humide (CTZH) animé par le PNR Brenne. De plus, les actions de restaurations ont aussi vocation à se dérouler sur cette même délimitation.

Pour que la phase puisse être efficace, il a été décidé de mettre en place une avancée commune par commune. En effet, cela permet de pouvoir se focaliser sur un nombre de points plus réduits et ainsi avoir une stratégie de déplacement optimale. Le travail à l'échelle communale permet également d'avoir une gestion plus précise des relevés qu'à l'échelle des trois grands bassins versants. Pour une meilleure efficacité sur le terrain, préalablement à la visite, les fiches de terrain pouvaient être

partiellement préremplies. Une lecture en vue aérienne est aussi recommandée pour essayer d'obtenir des informations pouvant laisser transparaître la présence d'eau ou d'écoulement.

Pour chaque sortie sur le terrain, le matériel indispensable était une cartographie communale localisant les points à vérifier, la fiche de terrain de chaque point, un décamètre pour assurer les relevés, une mire graduée au centimètre pour déterminer l'épaisseur de la couche de sédimentation fine. Pour les photographies et la géolocalisation des sites, le téléphone portable ou une tablette a pu être utilisé.

Lors de notre phase de terrain, différents points sont à observer pour pouvoir répondre au mieux aux attentes de la phase terrain.

Pour ce qui est des parcelles privées, il a fallu essayer de prendre contact avec le propriétaire des terres pour obtenir des informations sur la présence d'une source ou non mais aussi dans le cas où une source est présente d'obtenir l'autorisation d'accès à la zone. Pour les parcelles publiques, les démarches sont simplifiées car ce sont des parcelles accessibles sans nécessairement devoir demander l'autorisation. Cela peut tout de même dépendre des situations.

Dans un second temps, la présence ou l'absence d'écoulement d'eau au niveau de notre site d'étude est à déterminer. Cela peut être la présence d'un cours d'eau, un ruisseau ou un sillon visible sur la parcelle qui pourrait laisser penser à un écoulement d'eau. Si aucun écoulement ne semble visible, il n'y a que peu de chance qu'une source puisse être observée à cet endroit.

Outre la présence d'écoulement d'eau, la localisation d'une végétation caractéristique de milieux humides va nous apporter de nombreuses informations sur une présence potentielle d'eau. Cette étape consiste à repérer et identifier la végétation spécifique autour du site. Les arbres comme les saules et les frênes, ainsi que des plantes herbacées telles que les joncs, les carex, la consoude et le typha, sont souvent présents dans ces zones.

Par la suite, pour trouver les sources potentielles, les dépressions marquées dans le sol ou la présence d'un élément bâti sont des signes distinctifs dans le paysage. Les dépressions marquées dans le sol pourraient indiquer la présence d'un milieu humide plus naturel. À l'inverse, la présence d'un bâtiment ou d'une construction peut indiquer que la zone a été modifiée par l'homme et donc qu'elle est anthropisée.

À la suite de ce cheminement, si aucune source n'est trouvée, cette information doit être enregistrée dans les SIG créée dans notre projet « Sources non trouvées ». Ainsi, dans le cas où une source sur ou près du site examiné, des informations générales, des paramètres hydrogéologiques, biologique,

l'usage et des caractérisés sur l'état de conservation de cette source sont récupérés pour pouvoir remplir une fiche de terrain. Cette dernière étant la fiche source qui est le document permettant de caractériser et de déterminer l'état actuel de celles-ci. Elle est utilisée lors de l'enregistrement de cette source dans le SIG « Sources Observées ». Cette partie sur la fiche et les différents paramètres qui la composent sera approfondie dans la partie sur la caractérisation des sources et de l'état de dégradation.

Cette démarche est ainsi répétée pour chaque point jusqu'à finir le territoire de la commune investiguée. Certains points s'avèrent inaccessibles pour différentes raisons (végétation, barrières, ...). Ces sites non visités sont notifiés dans un SIG « Sources non accessible », et nécessiteront une nouvelle tentative de visite si possible accompagnée du propriétaire.

2.2. Caractérisation des sources et de l'état de dégradation

Nous allons ainsi maintenant aborder la méthode utilisée pour inventorier les sources mais aussi présenter les critères pour déterminer un état de dégradation. Cela pourra ainsi apporter un complément sur les caractéristiques observées au cours de la phase terrain mais aussi les fiches sources réalisées suite à leur découverte.

Le protocole qui est utilisé lors de cette étude a été créé et exploité au cours de la première année de ce programme sur les sources. Il a été élaboré en s'inspirant de l'inventaire, la caractérisation, l'évaluation et les préconisations de gestion des sources de la réserve naturelle de Nohèdes (MARTIN, 2013) et de l'inventaire des sources du département de la Vienne réalisé par l'association Vienne Nature. Il a été adapté pour adhérer au mieux aux spécificités du territoire du SMABCAC. Cette modification a permis d'ajouter des éléments complémentaires retenus dans la caractérisation de l'état de conservation des sources. Par exemple, le niveau de sédimentation et la fermeture du milieu par la végétation ont été rajoutés dans notre étude. La partie inventaire faune-flore fut quant à elle réduite car cela demande des connaissances spécifiques pour pouvoir être réalisés de manière adéquate. Cependant, lorsque des espèces sont présentes sur sites et facilement identifiables, elles ont tout de même été notées dans les remarques de la fiche source. Ce document est présenté dans l'annexe 4 de ce rapport.

2.2.1. Caractéristiques des sources retenues pour l'inventaire

2.2.1.1. Généralités

Dans un premier temps, lors de la phase terrain, certains éléments généraux sont à renseigner. Cela comprend la date d'observation de la source, l'identité de l'observateur, l'identifiant du point visité et la toponymie de la source (connaissances locales ou administratives).

Pour localiser précisément la source, des informations supplémentaires sont fournies, notamment la commune, le lieu-dit et les coordonnées X et Y, ainsi que l'altitude à laquelle la source se trouve. Le statut foncier, avec le nom du propriétaire, est également indiqué pour faciliter les prises de contacts lors de travaux de restauration futurs. Des photographies prises par l'observateur sont ajoutées à la fiche, accompagnées d'un plan de localisation IGN pour faciliter la localisation sur site.

D'un point de vue hydrologique, l'observateur doit de plus renseigner le nom du cours d'eau et la masse d'eau associée. Pour la masse d'eau, l'Agence de l'eau Loire Bretagne a requis la prise en compte du risque hydrologique des masses d'eau dans notre étude. Ce terme est défini dans la note méthodologique de caractérisation des pressions significatives sur l'hydrologie en cours d'eau pour la mise à jour de l'état de lieux 2019 du bassin Loire-Bretagne « Le débit est un élément-clé de la vie des cours d'eau. Les perturbations tant quantitatives (diminution par prélèvements) que qualitatives (altération des régimes hydrologiques) vont générer d'importantes modifications des communautés biologiques. Les altérations de l'hydrologie ont également un impact fort sur la dilution des polluants et les capacités d'autoépuration des cours d'eau. L'état écologique dans sa globalité a servi à l'analyse de risque pour cette thématique ».

Après avoir renseigné ces paramètres généraux, l'étude se concentre sur des informations plus techniques à caractériser.

2.2.1.2. Les paramètres hydrogéologiques

Dans cette catégorie, nous allons retrouver différents paramètres faisant référence à l'hydrogéologie de la source. Cela va nous permettre de mieux comprendre le fonctionnement de cette dernière mais aussi de compiler ces informations qui pourraient nous être utiles en cas de mesures de restauration ou de réhabilitation sur ce site.

Lors de cette étude de terrain, le substrat présent au niveau de la source sera mentionné. Il sera observé sur l'ensemble de la surface mais particulièrement en sortie de celle-ci. Pour définir le type de substrat, l'échelle de Wentworth modifiée par Malavoi et Souchon en 1989 est utilisée. Pour déterminer le type de substrat, il est pris en considération le diamètre (en mm) perpendiculairement à l'axe le plus large de l'élément concerné.

La condition d'émergence du cas d'étude est aussi renseignée lors du terrain. Pour cette étude, il a été décidé de ne retenir que les conditions suivantes : subaériennes, submergées, résurgences ou cavernicoles. Il est en effet impossible ou trop compliqué de déterminer avec exactitude certains modes d'émergence sur notre territoire d'étude. Des connaissances limitées sur la captivité des nappes par

exemple nécessitent cette adaptation. Pour ce qui est des sources thermales, cette typologie est à spécifier dans les remarques dans le cas où elles sont retrouvées.

La fréquence d'écoulement de la source est aussi un paramètre qui doit être spécifié et observé sur le terrain. Ainsi, les différentes sources pourront être pérennes, saisonnière, intermittente ou temporaire. Il reste cependant difficile de statuer précisément sur ce paramètre sans un suivi sur le long terme ou encore des connaissances apportées par le propriétaire ou une personne locale.

La formation hydrogéologique est indiquée permettant de connaître les différents aquifères qui sont liés aux sources dans ces zones. Ces données sont récupérées à l'aide de l'outil « Log Géo-Hydrogéologie » du Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines (SIGES) de la région Centre-Val-de-Loire. Ces résultats proviennent d'un travail de modélisation géologique réalisé en 2010-2011. Il a abouti à la création d'un maillage sur l'ensemble de la région Centre-Val-de-Loire permettant d'avoir accès aux profondeurs des grands aquifères et des entités hydrogéologiques de la zone sélectionnée. Cet outil se base essentiellement sur des connaissances géologiques et ne tient pas compte du degré de fissuration des formations.

2.2.1.3. Les paramètres physiques et chimiques

Après les paramètres hydrogéologiques, il est intéressant de présenter les paramètres physiques et chimiques de l'eau de la source. L'étude de ces paramètres n'est pas effectuée sur toutes les sources qui sont recensées au vu de la quantité des sources à traiter. Dans un contexte de restauration pour une source, ce dernier est effectué pour permettre d'apporter des informations sur la qualité de l'eau que nous retrouvons sur ce site. Cette pratique nécessite des conditions météorologiques favorables lors de leur échantillonnage. En effet, dans un cas de pluie importante, cela pourrait altérer la véracité de certains paramètres recherchés. Nos différents paramètres observés suivront les méthodologies énoncées dans le guide de prélèvement de l'eau en rivière (AELB, 2006) mis en place par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne et les mesures chimiques réalisées à l'aide d'un appareil à sondes multi paramètres

Un total de quatre paramètres physiques sont reportés sur la fiche source.

Le débit (en L/s) est mesuré à l'aide d'un micro moulinet. Dans le cas d'un débit ou d'une profondeur trop faible pour utiliser l'appareil, une estimation peut être faite à l'aide d'un seau ou d'un contenant dont le volume est connu et qui serviront à calculer la vitesse de remplissage en fonction du temps. Une dernière technique d'estimation consiste à délimiter à l'aide du décimètre une distance d'1 mètre sur l'écoulement et de se servir d'un bâton pour voir le temps de passage. Une mesure de la surface d'écoulement devra alors être faite pour bien estimer le débit.

La turbidité doit être effectuée par un photomètre dans un laboratoire pour être valide et recevable. Dans l'impossibilité d'avoir ce retour pour chaque source, il a été décidé de l'évaluer de manière visuelle. Pour ce faire, elle sera considérée comme faible lorsque l'eau est claire, moyenne lorsqu'elle est limpide mais présente quelques particules en suspension, et forte lorsqu'elle est trouble. Par la suite, lors des restaurations, des prélèvements seront effectués pour permettre un suivi poussé de ce paramètre.

La conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) à mesure sur place apporte des informations sur la qualité de l'eau (minéralisation), sa composition mais aussi certaines traces de pollutions. Dans les eaux douces françaises, la conductivité naturelle varie de 20 (terrain volcanique) à 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (terrain gypseux) (Loire Bretagne 2006). Pour effectuer ces relevés, la sonde du conductimètre doit être agitée dans notre échantillon d'étude jusqu'à stabilisation du résultat.

La température de l'eau (en $^{\circ}\text{C}$) va influencer la quantité d'oxygène dissous dans l'eau, car l'eau froide peut contenir plus d'oxygène que l'eau chaude. Elle va aussi avoir une place prépondérante de l'habitat de notre écosystème de source. Pour effectuer ces mesures, une sonde munie d'un capteur de température sera plongée dans l'eau jusqu'à stabilisation du résultat.

Trois paramètres chimiques supplémentaires viennent compléter ces mesures.

Les nitrates et les nitrites (en mg/L) apporteront une connaissance sur des sources de pollution éventuelles qui peuvent être provoquées par des activités agricoles, industrielles ou domestiques. S'ils sont retrouvés, cela nécessite une recherche de l'origine de pollution. Pour effectuer ces mesures, les sondes munies des capteurs de nitrate et de nitrite seront immergées dans l'eau jusqu'à stabilisation du résultat.

Le pH est un bon indicateur de l'activité biologique et particulièrement de la photosynthèse de notre milieu d'étude. Pour mesurer ce facteur, une électrode préalablement étalonnée sera plongée dans la solution à mesurer. Pour que la lecture soit correcte, la stabilisation du pH-mètre doit être observée.

Le taux d'oxygénation (en %) représentant l'oxygène dissout dans l'eau est un des paramètres essentiels à suivre pour la chimie des eaux. Il va conditionner la vie de la faune aquatique de ces sources. L'oxygénation de nos sources dépendra fortement de la température car il est plus élevé dans l'eau très froide que dans l'eau très chaude.

Ces paramètres permettent d'avoir un regard sur la qualité de l'eau que rend la source au cours d'eau ou à la masse d'eau affiliée. Dans un contexte de dérèglement climatique où les enjeux sur la qualité et la quantité de l'eau sont prépondérants. Il apparaît indispensable de suivre ces différents aspects sur

les sources. Pour permettre d'observer l'évolution des sources suite aux actions de restauration, ces points seront suivis avant et après travaux pour déterminer l'apport de nos actions.

2.2.1.4. Les paramètres biologiques

Certains paramètres biologiques qui composent la source sont également pris en compte dans notre étude. Nous retrouvons ainsi le type d'habitats créés par la source. Les habitats retenus : rhéocrène, limnocrène et hélocrène.

La surface de la source est aussi renseignée ainsi que le milieu (si possible en fonction de la typologie EUNIS et de la localisation dans un site Natura 2000).

Préalablement aux actions de restauration, ces inventaires permettent de s'assurer de la préservation des espèces protégées. En cas de présence avérée, un déplacement pourra être demandé après des services de Police de l'Environnement afin d'assurer les travaux de restauration dans les meilleures conditions.

De plus, dans le but de caractériser au mieux la source, lorsque les écoulements sont variables ou intermittents, des relevés macro-invertébrés peuvent présenter un intérêt plus significatif que les mesures de débits ponctuelles.

2.2.1.5. Les usages anthropiques

La présence d'aménagement sur les sources étudiées fait aussi l'objet de renseignement sur la fiche. Ces derniers sont classés en trois catégories : nul, faible ou important.

La première catégorie fait référence aux sources entièrement naturelles ne présentant aucun aménagement. La deuxième catégorie fait quant à elle référence à quelques éléments anthropiques mais n'impactant que très peu le fonctionnement naturel de la source. Les sources voyant leur fonctionnement naturel fortement impacté par des aménagements à un point tel que l'eau ne peut plus s'écouler de manière naturelle seront classées comme étant fortement aménagé.

2.2.2. Facteurs déterminant retenus relevant de l'état de dégradation des sources

Nous allons maintenant évoquer les facteurs qui ont été retenus pour faire ressortir l'état de dégradation d'une source. Il présente tous des indicateurs permettant de leur attribuer un degré de détérioration. Ils ont été regroupés en deux lots de dégradations avec des notations différentes.

Pour quantifier le premier lot de paramètres, nous utilisons un principe de pourcentage de présence ou d'affectation pour chaque indicateur. Ainsi, les 5 classes de pourcentages suivants ont été retenues : de 0 à 5% (0), de 5% à 25% (1), de 25% à 50% (2), de 50 à 75% (3), de 75% à 100% (4).

La fermeture du milieu qui est prise en compte (ainsi que la présence ou non d'Espèces Exotiques Envahissantes) va se diviser en deux indicateurs : la densité de végétation propre à la source et celle autour de la source.

Le piétinement a aussi été retenu comme facteur d'altération. Il est observé sur le prisme de trois indicateurs : celui par les animaux sauvages, par les animaux domestiques et enfin celui d'origine humaine.

Pour finir, l'encombrement est aussi jugé comme un facteur permettant de déterminer de l'état de dégradation d'une source avec la présence de chablis, branche, roches...

Les facteurs de présentations qui vont être abordés différemment du premier lot. Ils vont être évalués selon un degré de présence et d'impact sur la source : nul, faible, important.

La sédimentation d'une source est également jugée comme un facteur de dégradation pouvant dans certains cas entrainer une altération de son fonctionnement. L'épaisseur de ce surplus sédimentaire est déterminée à l'aide d'une mire graduée tous les 10 cm. Ainsi, pour la catégorisation, les seuils ont permis de définir ces classes : Nul (sédimentation de 0 à 10 cm), faible (sédimentation de 10 à 30 cm), Importante (sédimentation supérieure à 30 cm).

La pollution est aussi un facteur de dégradation des sources. Pour mettre un exergue ce facteur, deux indicateurs ont été mis en place d'une part : la pollution organique représentée par la présence de déchets (ordures ménagères et végétaux) et d'autre part la présence d'excréments. Pour la catégorisation, les classes sélectionnées sont : Nul (pas de déchet ou excréments), faible (présence de quelques déchets ou excréments), important (présence significative de déchet ou d'excréments)

Le niveau d'eutrophisation du milieu est déterminé par la présence d'espèces végétales indicatrices (algues et nitrophiles). Pour la catégorisation, les classes sont : Nul (pas de présence de signe d'eutrophisation), faible (présence de signe d'eutrophisation sur moins de 25% de la source), important (présence de signe d'eutrophisation sur plus de 25% de la source).

Le dernier facteur relevé est l'assèchement de la source en spécifiant s'il est d'origine anthropique (pompage, captage, ...) ou naturelle (diminution de la nappe, forte chaleur). Il faut être observateur pour déceler les indices permettant de voir une diminution de la hauteur d'eau. Par exemple, pour les sources alimentant des mares, le niveau de ces dernières sera scruté pour classer ce paramètre. Pour

l'aspect anthropique, la présence de tuyaux ou de dérivation de la source permettent plus facilement de le discerner. Pour la catégorisation, nous fonctionnerons comme suit : Nul (pas de présence de signe d'assèchement), faible (présence de signe d'assèchement léger), important (La source ne présente plus d'eau ou très peu).

2.3. Hiérarchisation de la dégradation des sources

Une fois que tous ces paramètres ont été évalués, la note de dégradation peut être octroyée à la source. Pour cela, les points précédemment attribués aux différents paramètres lors de la phase de terrain sont utilisés. Chaque facteur est considéré avec un poids relatif, qui diffère selon son importance, représenté par un coefficient spécifique. Les coefficients utilisés sont répertoriés dans le tableau 1.

| Paramètres | Coefficients |
|---------------------|--------------|
| Fermeture du milieu | 2 |
| Sédimentation | 2 |
| Encombrement | 1 |
| Piétinement | 1 |
| Pollution | 1 |
| Eutrophisation | 2 |
| Assèchement | 2 |

Tableau 1 : Coefficient des paramètres utilisés pour calculer la note de dégradation (Source : Deline, Comte 2022)

Suite à cette refonte, une note finale sur 52 avec un point bonus 1 point attribuable si des éléments supplémentaires viennent accentuer l'état de dégradation. La note de l'état de dégradation de la source est attribuée sur 53 (plus la valeur sera proche de 53 plus la source sera dégradée).

Dans l'analyse globale, le ou les facteurs de dégradation principaux (le/les paramètres ayant la note la plus élevée) seront spécifiés afin de les mettre en avant. De plus, les autres remarques et relevés réalisés seront également pris en compte dans l'analyse.

Les sources sont alors classées par état de dégradation selon la note obtenue :

| Analyse des données : | |
|---|--|
| Note de dégradation : /53 | Etat de dégradation : <input type="checkbox"/> Nul [0 ;1] <input type="checkbox"/> Faible [2 ;13] <input type="checkbox"/> Moyen [14 ;27] <input type="checkbox"/> Important [28 ;41] <input type="checkbox"/> Très Important [42 ;53] |
| Facteur de Dégradation principal : <input type="checkbox"/> Fermeture du milieu <input type="checkbox"/> Piétinement <input type="checkbox"/> Encombrement <input type="checkbox"/> Sédimentation <input type="checkbox"/> Pollution <input type="checkbox"/> Eutrophisation <input type="checkbox"/> Assèchement | |

Tableau 2 : Synthèse de notation et attribution de la classe de dégradation (Source : Comte Théo, 2023)

Comme représenté sur le tableau 2, chaque source sera rangée dans une classe de dégradation bornée par les valeurs présentées. Cela permettra de trier les différentes sources observées pour faire ressortir les sources prioritaires à restaurer mais aussi d'en faciliter leurs sélections.

Ce protocole permet donc d'obtenir toutes les informations qui pourraient être nécessaires au syndicat sur les différentes sources découvertes. Comme nous avons pu le voir, les sources sont jugées sur un large éventail de critères de dégradation. Cependant, il est important de rappeler que la détermination de certains de ces critères sur le terrain peut parfois faire l'objet de quelques limites et contraintes.

2.4. Sélection des sources à restaurer

Un des buts du programme « sources et fontaines » est de recenser et de caractériser ces milieux spécifiques sur le territoire du SMABCAC. Néanmoins, il doit répondre à d'autres objectifs tels que la mise en place d'un programme de restauration pour les sources. Cela vise donc à retrouver un bon état de fonctionnement hydrologique et écologique de ces derniers. Toutes les sources ne peuvent être restaurées, d'autant plus que la plupart ne présentent pas d'intérêts et une urgence quant à la détermination de leur état de dégradation. Différents critères de sélection ont été retenus :

Le principal est l'état de dégradation. Les sources présentant le plus d'impacts sont donc privilégiées et visées à retrouver leur fonctionnement passé dans le meilleur des cas où au moins un état de dégradation moins important qu'avant les travaux.

Un autre critère entrant en ligne de compte est la localisation du point d'eau de préférence dans les limites du territoire du Parc Naturel Régionale de la Brenne. En effet, comme nous avons pu voir lors

de la présentation du contexte du stage, ce dernier s'inscrit comme une action appartenant au contrat territorial zones humides (CTZH) du PNR de la Brenne dont le SMABCAC est l'un des maîtres d'ouvrage. Les actions s'effectuant en priorité sur le parc. Cette localisation au sein du PNR Brenne permet au SMABCAC de solliciter des financements publics auprès de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne. D'autant plus que cette année, les premières actions de restauration de ce programme seront mises en œuvre.

Une des données importantes à prendre en compte pour cette sélection est la localisation des sources dans une masse d'eau présentant des risques hydrologiques. En effet, le travail de restauration de ces masses d'eau permettrait ainsi de réduire quelque peu ce risque. Toutefois, les résultats ne seront pas immédiats et dépasseront la durée de mon stage. De plus, l'aspect prioritaire de ce type de masse d'eau est une demande du financeur principal, l'Agence de l'Eau Loire Bretagne. Suite à des discussions, elle a donc été ajoutée à notre protocole de sélection.

Une réflexion sur les nappes d'accompagnement des cours d'eau a aussi conduit à un nouveau critère de sélection. En effet, il n'a pas été jugé primordial dans l'immédiat d'effectuer des restaurations sur des sources ou des fontaines se trouvant dans la nappe d'accompagnement des cours d'eau. Ainsi, une zone de non-sélection a été établie à 100-200 mètres des cours d'eau pouvant abriter une nappe d'accompagnement.

Un dernier facteur pris en compte est l'accessibilité des parcelles et l'accord des propriétaires lors de la localisation sur du domaine privé, public communal ou départemental. Pour ce qui est de l'accord, cela paraît logique et impératif pour pouvoir opérer des travaux sur ces parcelles. Pour ce qui est de l'accessibilité de la zone, cela a mené à une réflexion, surtout sur les travaux, s'il est nécessaire de faire intervenir des engins de chantier tels que des pelles mécaniques. Cet aspect logistique entraîne par la suite des procédures administratives menées par le SMABCAC tels que la signature d'une convention détaillée et précise avec les propriétaires ou la demande d'une déclaration d'intérêt général des travaux.

Tous ces éléments doivent être étudiés lors de la nomination des sources à restaurer. Cependant, certaines sources possédant un degré de dégradation moindre peuvent aussi être choisies suite à des circonstances d'urgence, des opportunités et en fonction du degré d'intervention à effectuer. De nombreuses contraintes restent à prendre en compte et restreignent les sources sélectionnables. Les possibilités vont fortement dépendre du nombre de sources découvertes lors de l'inventaire.

3. Résultats et Analyses

3.1. Sources Identifiées

3.1.1. Généralités

À la fin de la campagne d'étude de 2023, un total de 346 sources a été recensé. Au cours de ce stage, ce sont 170 nouvelles sources qui ont pu être répertoriées lors de nos prospections. La répartition de toutes ces sources est visible sur la figure 9.

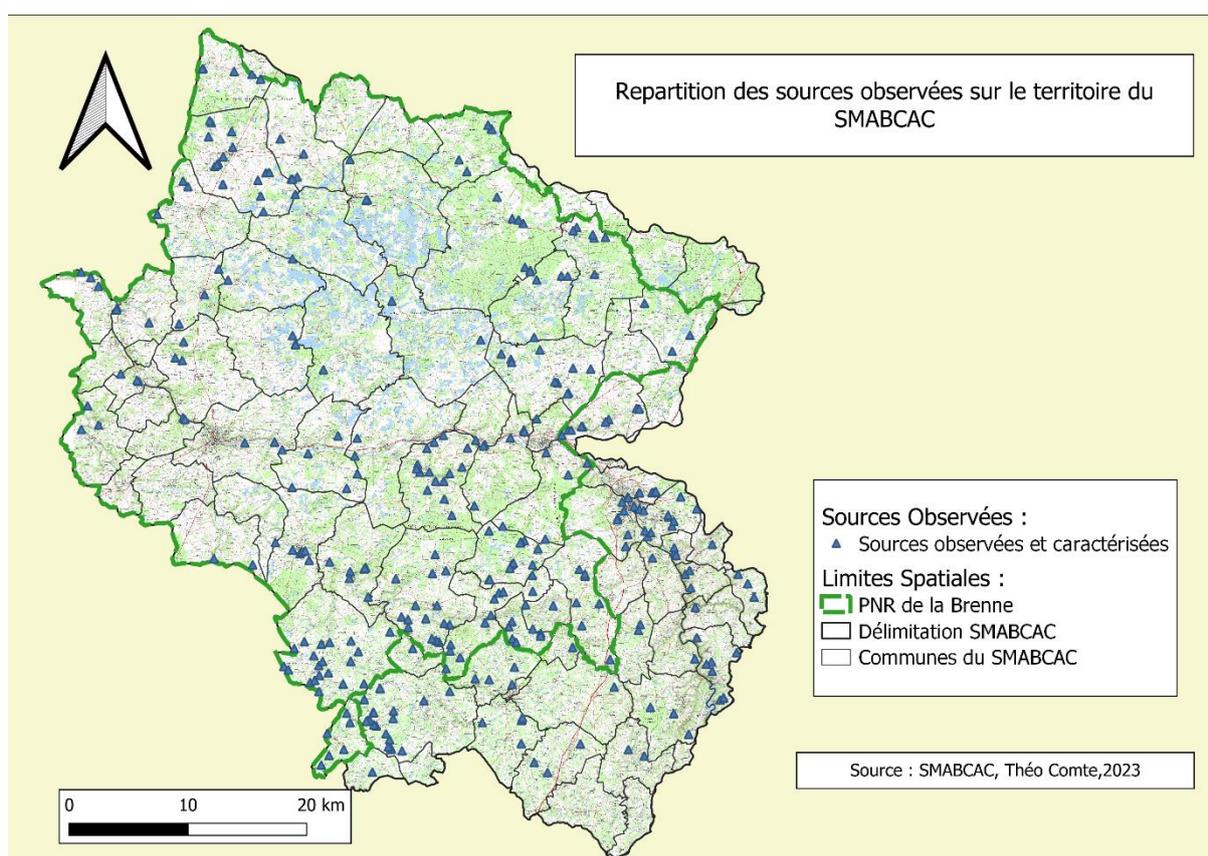


Figure 9 : Répartition des sources observées sur le territoire du SMABCAC (Source : Comte Théo, 2023)

Lors de cette étude, il n'était pas possible d'effectuer une visite sur tous les points pouvant présenter une source potentielle. Les recherches se sont donc cantonnées en priorité à des prospections sur le territoire du PNR de la Brenne, cela permettant de localiser des sources pouvant présenter des potentielles restaurations à privilégier. En effet, comme vu précédemment, le programme s'inscrivant dans le CTZH du PNR de la Brenne, cette méthode de prospection fut favorisée.

Les sources qui ont été répertoriées sont principalement localisées sur des terrains privés. Cela induit donc la nécessité d'un entretien privé. Elles peuvent parfois être délaissées ou subir des altérations par des activités agricoles ou d'élevage. Comme indiqué dans le tableau 3, ce sont 230 de nos sources qui sont localisées sur le domaine privé tandis que 100 proviennent du public. Des actions de restauration sont plus difficiles à mettre en place sur le domaine privé. Cela implique de toucher à leur bien et de

ce fait nécessite l'accord des propriétaires parfois réticents pour la mise en place de ces actions. Pour le domaine public, la réalisation de ces projets est plus facile puisque les communes propriétaires de ces parcelles sont adhérentes au syndicat et donc dans une démarche de soutien. Cependant, cela ne veut pas dire que des actions sur ce domaine se concrétisent.

| Statut foncier des sources observées | Nb de sources |
|--------------------------------------|---------------|
| Non défini | 16 |
| Privé | 100 |
| Public | 230 |

Tableau 3 : Répartition du statut foncier des sources observées (Source : Théo Comte, 2023)

Pour ce qui est de la localisation des sources par rapport aux masses d'eau en risque hydrologique, 215 sources (sur 346) sont dans cette situation. Ce sont, comme vu précédemment, ces points qui seront à privilégier dans la mise en place de notre programme de restauration. Un total de 130 sources présente un enjeu plus faible quant à leur restauration au vu de leur localisation dans des zones à risque moindre.

3.1.2. Paramètres Hydrogéologiques

Les conditions d'émergence ainsi que la fréquence d'écoulement constituent des paramètres qui ont été délicats à estimer.

La permanence de l'écoulement de surface observé au cours de cette étude ne peut être prise en compte. La plupart des sources n'ayant été visité qu'une seule fois, il n'est pas possible de statuer sur leur fréquence d'écoulements. Ainsi, pour que cette donnée soit valable, il faudra effectuer des recherches complémentaires auprès des propriétaires et des riverains ainsi que des passages réguliers auprès de ces sources.

Pour ce qui est de la condition d'écoulement, la très grande majorité des sources recensées présente une émergence subaérienne avec 302 sources découvertes jugées comme tels. La condition submergée compte quant à elle deux sources et la condition cavernicole est représentée par une source. La présence d'une résurgence a aussi été découverte sur le territoire. Pour le reste, les conditions d'émergence n'ont pu être définies : non visible du fait de sources captées ou fermées ; assèchement de la source ne permettant pas de déterminer ce paramètre.

L'étude sur les eaux souterraines liées aux sources démontre que les aquifères calcaires du jurassique est une couche géologique favorable à l'émergence de source sur notre territoire. Ces couches de roche calcaire permettent une bonne circulation de l'eau et forment de nombreux aquifères. Pour ce qui est des autres sources, elles sont liées à des couches géologiques telles que des sables du Cénomaniens (10), des sables et grès du trias (8) mais aussi des craies du Séno-turonien (35) comme il retranscrit sur

le résultat de cette étude. Il est à noter que la situation de certaines sources n'a pu être déterminé en raison d'un manque d'information hydrogéologique sur certaines zones.

| Aquifères liées aux sources | Nb de sources |
|-----------------------------|---------------|
| Calcaires du Jurassique | 220 |
| - Inférieur | 67 |
| - Moyen | 110 |
| - Supérieur | 43 |
| Sables du Cénomanién | 10 |
| Sables et Grès du Trias | 8 |
| Craie du Séno-turonien | 35 |

Tableau 4 : Répartition type d'aquifères liée aux sources observées (Source : SIGES 36, Comte Théo, 2023)

3.1.3. Paramètres physiques et chimiques

Lors de cette étude, les relevées n'ont pas pu être effectuées. Ces paramètres devaient être mesurés avant la phase de restauration. Cependant, cette dernière aura lieu courant septembre/octobre, ce qui n'a pas permis de les mettre en place au cours de la période de stage. Le protocole comme vu lors de sa présentation a néanmoins été décidé pour permettre d'effectuer un suivi sur ces sources reflétant la qualité et la quantité de la ressource en eau.

3.1.4. Paramètres biologiques

En ce qui concerne les paramètres biologiques liés aux sources découvertes, trois cents sources ont été jugées comme étant rhéocrène donnant ainsi naissance à des écoulements alimentant le réseau hydrologique. Deux sources ont été affiliées à un habitat hélocrène étant ainsi à l'origine de zone humide alimenté par une source. Sept sources ont été catégorisées comme limnocrène formant ainsi des mares. Pour le reste des sources observées, les habitats n'ont pu être définis soit du fait d'un état d'assèchement, d'un captage. Ainsi, le fonctionnement originel ne pouvant pas être déterminé.

3.1.5. Usage anthropique

À la suite de cette étude effectuée en 2023, sur le territoire du SMABCAC. Il en ressort que les sources découvertes sont pour la moitié naturelle. Cependant, il est intéressant de noter que le reste de ces sources ont été modelées par l'action de l'Homme. Cette répartition est visible dans le tableau 5 ci-dessous et leur répartition spatiale est observable sur l'annexe 5 :

| Degrés d'aménagement des sources observées | Nb de sources |
|--|---------------|
| Non défini | 22 |
| Nul | 173 |
| Faible | 63 |
| Important | 88 |

Tableau 5 : Répartition des degrés d'aménagement des sources observées (Source : Comte Théo, 2023)

3.2. Niveau de dégradation des sources

Toutes ces visites de terrains ont permis de déterminer, en plus des paramètres exposés précédemment, le bilan des états de dégradation des sources (Tableau 6).

| Etat de dégradation | Nb de sources |
|---------------------|---------------|
| Non défini | 24 (7%) |
| Nul | 25 (7%) |
| Faible | 180 (52%) |
| Moyen | 112 (32%) |
| Important | 5 (2%) |

Tableau 6 : Répartition des états de dégradation des sources observées (Source : Comte Théo, 2023)

Lors de cette étude, 59% des sources observées présentent un état de dégradation jugé faible ou nul. La majorité des sources déterminées sur le territoire ne présente donc pas d'altération prononcée. Il est cependant à noter que certaines sources répertoriées dans la catégorie faible peuvent être touchées fortement par un facteur d'altération, bien que cela ne soit pas visible sur sa note. Par exemple, une source qui ne présente qu'un piétinement domestique sera catégorisée en faible selon nos critères. Il faut donc prendre en compte les altérations facteurs par facteurs pour avoir une vision plus précise lorsque le statut d'une source est évalué.

Malgré ces 59 % jugées en bon état, 32 % des sources présentent un état de dégradation moyen. Ces sources possèdent la plupart du temps plusieurs facteurs de dégradation qui se combinent et font ainsi augmenter la note. Les facteurs d'enrichissement interne et externe sont la plupart du temps présents sur ces sources moyennement dégradées et sont accompagnés de sédimentation et d'eutrophisation prononcées.

Pour finir, la catégorie d'état de dégradation importante cinq sources. La note de dégradation maximale au cours de cette étude a été de 30 sur 53. Ce sont des sources ayant subi de fortes détériorations combinées à plusieurs facteurs d'altération. Ces sources présentent donc le degré de priorisation le plus important et se verront priorisées lors du programme de restauration tout au long du contrat.

La recherche des sources dégradées doit être poursuivie pour permettre un recensement complet visant à des actions de restauration.

3.3. Actions de restauration et sources sélectionnées

3.3.1. Vision générale des actions de restauration

Au cours de cette étude, une analyse des mesures de restauration a été entreprise afin de mieux correspondre aux spécificités de chaque source en fonction de ses exigences particulières. Cette dernière a permis de faire ressortir des mesures générales à prendre en compte en fonction des facteurs de dégradations évoqués précédemment et de formuler des préconisations d'action (Tableau 7)

| Objectifs | Préconisations | Plus-value | Sources ciblées |
|--|--|---|---|
| Diminuer et limiter la fermeture du milieu et l'encombrement | <ul style="list-style-type: none"> • Débroussaillage • Tronçonnage • Nettoyage de la source | Permet d'éclaircir autour de la source et laisser libre cours au débit | Note de fermeture du milieu et d'encombrement compris entre 2 et 4 |
| Diminuer et limiter le piétinement | <ul style="list-style-type: none"> • Pose de clôture électrique ou barbelée • Aménagement d'abreuvoir | Permet d'éviter le passage du bétail au niveau de la source L'aménagement d'abreuvoir permet de donner une contrepartie aux éleveurs | Note de piétinement : faible ou important |
| Diminuer et limiter la sédimentation des sources | <ul style="list-style-type: none"> • Retirer le surplus sédimentaire | Permet d'éviter l'encombrement des sources Limite également les possibilités d'assec dû à ce paramètre | Note de sédimentation : faible ou important |
| Diminuer et limiter la pollution des sources | <ul style="list-style-type: none"> • Retirer les déchets ménagers observés • Mettre en place des panneaux de sensibilisation autour de la source | Permet de retrouver un milieu dépourvu de tout pollution | Note de pollution : faible ou important |
| Remettre en eau des sources asséchées | <ul style="list-style-type: none"> • Etude de la présence d'eau • Etude des causes d'assèchement • Intervention selon les facteurs d'assèchements | Permet de retrouver un milieu humide fonctionnel avec écoulement jusqu'au cours d'eau | Note assèchement : important Sources reconnues en état d'assèchement lors des visites de terrain |
| Restaurer le bâti | <ul style="list-style-type: none"> • Action de maçonnerie • Enlever une partie des sédiments • Redessiner un lit d'écoulement | Limite les éboulements et favorise les écoulements jusqu'au cours d'eau | Sources bâties avec sortie d'eau par déverse ou possèdent un bâti fortement dégradé impactant fonctionnement de la source |
| Protéger la faune d'intérêt | <ul style="list-style-type: none"> • Inventaire (Indre Nature) • Vérification du potentiel de déplacement des espèces | Limiter la mortalité d'espèce d'intérêt pouvant être bloquées dans des points d'eau | Voir dans les remarques des fiches source la présence de ces espèces |

Tableau 7 : Actions envisagées en fonction des facteurs de dégradation (Source : Comte Théo, 2023)

3.3.2. Présentation des sources proposées à la restauration

Les sources candidates à la restauration ont été identifiées au cours de l'inventaire, courant mai 2023. Ces projets ont été présentés aux élus lors d'un comité technique. Suite à cela, des prises de contact ont été effectuées auprès des propriétaires ou des institutions publiques propriétaires des parcelles rattachées à ces projets. Neuf projets ont été ciblés. Certains n'ont pu être poursuivis : soit aucun accord n'a pu être trouvé ; soit la faisabilité après discussion avec les propriétaires n'a pu aboutir à un fonctionnement viable pour les deux parties. Seuls les projets validés sont traités dans la suite de notre propos.

3.3.2.1. ID 225 - Saligot - Azay le Ferron

Cette source se situe sur le bassin de la Claise sur la commune de Azay-le-Ferron dans une parcelle privée dédiée à la fauche. Elle présente un enfrichement interne et externe important de la source, un piétinement marqué par les animaux sauvages ainsi qu'un encombrement important du milieu. Il est important de noter que cette dernière est en assec et que ce constat a été observé et vérifié sur plusieurs passages effectués en 2022 et sur l'année 2023. Ces différents facteurs lui ont valu une note de 28 sur 53 signifiants ainsi un état de dégradation important selon notre grille d'évaluation.

Dans une volonté de restaurer cette source, il a été proposé de mettre en place un suivi piézométrique de cette source pour évaluer la présence restante d'eau dans les sols. Cela permettant d'évaluer si la restauration a de l'intérêt quant à sa réussite ou si elle est d'ores et déjà vouée à ne pas fonctionner. Dans le cas où de l'eau serait encore présente, un débroussaillage pour une réouverture du milieu et un curage du lit pour réaménager naturellement la source était préconisé. En plus de ce curage, une recharge sédimentaire avec des matériaux disposant d'une granularité hétérogène (0-150 mm) devrait être mise en place pour retrouver un lit de bonne qualité. Le coût de ces travaux a été estimé à environ 1485 euros à la charge du syndicat.

Ce projet fait toujours l'objet de démarche avec les propriétaires visant à obtenir un accord. Cette prise de contact laborieuse est due à une indisponibilité (absence) des coordonnées du propriétaire. En effet, ils ne sont pas domiciliés en France et les précédentes approches effectuées par le syndicat lors de projet passée ont été très complexe.

3.3.2.2. ID 256 - Grand pré – Oulches

Cette source se situe sur le bassin de la Creuse sur la commune de Oulches dans une parcelle privée dédiée aux pâturages des bovins. C'est une source fortement aménagée qui présente un enfrichement externe important, un piétinement marqué par les bovins dans le lit d'écoulement de la source ainsi qu'un encombrement et une sédimentation faible. Lors de nos passages, aucun

écoulement n'a pu être observé car le niveau de l'eau n'est pas assez haut pour sortir par la buse. Ces différents facteurs lui ont valu une note de 17 sur 53 présentant ainsi un état de dégradation moyen selon notre grille d'évaluation.

Les actions proposées pour restaurer cette source sont un débroussaillage de la végétation autour de la source pour une réouverture du milieu. Il est aussi prévu d'effectuer un curage du lit pour réaménager l'écoulement jusqu'au cours d'eau. Ce lit sera accompagné d'une recharge granulométrique avec des matériaux mélangés 0-150 mm afin de retrouver un lit de bonne qualité. Pour alimenter cet aménagement nouvellement reformé, un abaissement de la sortie de l'eau est souhaité pour favoriser la pérennité de l'écoulement. Pour protéger ces nouveaux aménagements du piétinement des bovins, la source et son lit d'écoulement vont être clôturés pour en limiter l'accès. Les travaux sur cette source ont été estimés à 1 346 euros à la charge du syndicat.

Ce projet fait toujours l'objet de démarche auprès du propriétaire en vue d'obtenir leur accord. Le propriétaire ainsi que l'exploitant de la parcelle ont été contactés. Ils ne sont pas fermés à la proposition de restauration, mais restent quelque peu inquiets quant à la charge d'entretien que cela va impliquer. Pour répondre à ces inquiétudes, un rendez-vous sur site devait être effectué lors de la période de stage, mais n'a pu se concrétiser en raison de la disponibilité de chacun. Ce projet reste donc en bon voie pour être mené à terme (échanges fructueux et ouverts).

3.3.2.3. ID 335 - Beauvais – Prissac

Cette source se situe sur le bassin de l'Anglin sur la commune de Prissac. C'est un lavoir qui borde la départementale D32. Elle est donc rattachée au département. Fortement aménagée, avec une fermeture visible du milieu, un encombrement important, une eutrophisation et une sédimentation importante de la source, elle a reçu la note de 20 sur 53 et un état de dégradation jugé moyen.

Sur cette source, il est prévu de rouvrir le milieu en débroussaillant tout le lavoir et ses alentours. Un curage du bassin et du puits est aussi prévu pour retirer le surplus sédimentaire présent. Pour limiter les encombrements futurs, le bucheronnage de quelques arbres morts va aussi être effectué afin de palier à la chute de branche dans le lavoir. Les travaux vont s'élever à 1308 euros.

Après une visite du site avec le technicien territorial responsable de la départementale, un accord verbal a été donné pour effectuer ces travaux. Cependant, un accord écrit était nécessaire pour que tout soit valide. Un courrier a été envoyé aux unités territoriales du département pour obtenir leur approbation écrite. Malheureusement, aucun retour n'a été fait avant la fin de la période de stage. La suite devant être assumée par le technicien de rivière du syndicat. Cette source devrait pouvoir être effectués cette année après l'aval des instances concernées.

3.3.2.4. ID 714 - Les Rebissets – Vendœuvres

Cette source se situe sur le bassin de la Claise sur la commune de Vendœuvres. Elle a été découverte suite à l'inventaire participatif. L'exploitant ayant communiqué sa localisation sur son terrain. Ce dernier étant déjà engagé dans une démarche de restauration de la source, il était très ouvert à nos propositions d'action. Cette source a été jugée dans un état de dégradation moyen avec une note 14 sur 53. Les facteurs de dégradation observés étaient un enrichissement du milieu, une sédimentation importante, un encombrement d'une partie de la source ainsi qu'un assèchement faible.

Après réflexion et discussion avec le propriétaire et l'exploitant, un débroussaillage pour rouvrir le milieu est prévue. Deux arbres morts tombés dans la source vont aussi être retirés. Le surplus sédimentaire présent dans la mare va aussi être enlevé sur une profondeur de 20 à 30 cm. L'installation de clôtures barbelées pour empêcher le piétinement de la source par les animaux est également prévu. Les travaux ont été estimés à 1299 euros.

Un rendez-vous va être pris avec les propriétaires pour finaliser la convention pour les travaux. Elle n'a pu être signée lors du stage, l'exploitant étant occupé et des imprévus ayant eu lieu lors des précédents rendez-vous. Néanmoins, les démarches sont en bonne voie.

3.3.2.5. ID 830 - Grand pré – Vendœuvres

Cette source se situe sur le bassin de la Claise sur la commune de Vendœuvres sur un domaine privé. Elle a été trouvée grâce aux connaissances d'un technicien de rivière du syndicat qui a permis sa caractérisation. Cette dernière présente un enrichissement interne et externe à la source jugée important ainsi qu'un léger encombrement, une sédimentation et un assèchement faible. Cela conduit à un état de dégradation classé moyen avec une note de 19 sur 53.

Les actions de restauration qui sont prévues pour répondre à ces facteurs de dégradations sont le débroussaillage et le désencombrement de la source ainsi que le retrait du surplus sédimentaire au niveau de la source. Ces travaux ont été estimés à 935,33 euros à la charge du syndicat.

Pour ce qui est de l'avancée, aucune prise de contact n'a été encore effectuée avec le propriétaire. C'est un groupe agricole qui possède ces terres et après plusieurs tentatives par téléphone et par courrier, aucune réponse n'a été donnée. Ces sollicitations ayant été faites en pleine période d'activité agricole, les propriétaires n'ont peut-être pas eu de disponibilité. Des nouvelles tentatives sont donc prévues.

3.3.2.6. ID 1042 - Lavoir – Saint-Civran

Pour finir, c'est sur la commune de Saint-Civran qu'ont lieu nos dernières actions de restauration. Sur le domaine public, un lavoir a été trouvé. Il présente un fort enrichissement, une sédimentation très importante ainsi qu'un assèchement de la source important. Il a reçu la note de 24 sur 53 avec un état de dégradation moyenne.

Pour permettre de restaurer cette source, il a été décidé de retirer les 80 cm de sédiment qui se trouve dans le bassin et de débroussailler pour retrouver un milieu plus propre. Ces travaux ont été estimés à 770 euros.

Étant du domaine public, une prise de contact avec la municipalité a été effectuée. Suite à cela, deux nouvelles sources en plus de ce lavoir ont été recensées. Dans un souci de bien faire et pour que la commune accepte les actions sur le lavoir, ces deux nouvelles sources font également partie du projet de restauration : l'enlèvement du surplus sédimentaire (curage) au niveau de la source (ID 1604) pour l'une et pour l'autre un débroussaillage pour dégager la source. Pour cette localité, les initiatives sont déterminées en fonction des possibilités offertes par la commune.

Comme on peut le constater, ces différentes propositions pour les sources, le plus difficile n'est pas de trouver des actions à mener sur les sources, mais d'obtenir les accords auprès des propriétaires. Ces derniers ne sont pas toujours disponibles ou réceptifs quant aux actions qui sont souhaités. Lors des prospections, les deux extrêmes ont pu être observés : certaines personnes étaient très ouvertes aux enjeux que cela représente tandis que d'autres, ne voyaient pas l'intérêt d'agir sur des sources qui ne donnaient plus d'eau. Un travail de communication sur ce sujet donc inévitable pour sensibiliser le plus grand nombre.

4. Discussion

Lors de ce stage et de ce rapport, plusieurs réflexions ont émergé sur la thématique des sources aboutissant à un questionnement : Quelle est la place de la restauration des sources dans un contexte de dérèglement climatique ? Pour tenter d’y répondre, un retour sur l’impact du dérèglement climatique sera éclairé. Les restaurations des sources seront ensuite questionnées pour répondre au changement. Dans un dernier temps, la vision et l’avenir de nos ressources clôturera la réflexion.

4.1. Influence du changement climatique sur les sources

4.1.1. Dérèglement climatique et son influence sur les sources

Les préoccupations contemporaines et nos interrogations sur les sources ont un lien étroit avec l’importante problématique du changement climatique. Il va influencer significativement et profondément sur les écosystèmes grâce à son intervention dans leur caractéristique biotique et abiotique. Cela va modifier le fonctionnement et les différents cycles auxquels ils participent (Bellard et al. 2012 ; Blois et al. 2013 ; Butchart et al. 2010 ; Thomas et al. 2004). Les changements environnementaux ou dérèglements climatiques sont les phénomènes les plus étudiés dans cette modification globale que nous vivons. Ils sont définis par des variations de l’état du climat qui peuvent persister pendant des décennies ou plus (IPCC, 2014). Ce phénomène engendre une hausse des températures moyennes à l’échelle mondiale, des périodes de précipitation intense, l’augmentation de la fréquence d’enregistrement de températures particulièrement faibles ou élevées, et également une multiplication des événements climatiques extrêmes tels que les sécheresses, les inondations, les tempêtes et les ouragans (EASTERLING et al. ,2000 ; GOSSIAUX, 2019).

Différentes méthodes de modélisation climatique sont disponibles pour permettre de prédire ces changements. Elles proviennent de nombreuses simulations mathématiques qui sont basées sur de divers facteurs. À partir de ces résultats, des scénarios sont élaborés, ce qui permet d’avoir une vision à long terme pour prévenir et gérer ces changements climatiques. Ces scénarios peuvent être plus ou moins optimistes en fonction des facteurs sélectionnés. Il est important de s’intéresser à une large gamme de possibilité pour pouvoir répondre au mieux aux enjeux et attentes de notre société. S’il est important de s’intéresser à tous les cas de figure, il convient de rester raisonnable quant à la réalisation de certains modèles. Ainsi, les scénarios les plus extrêmes, même s’ils ne sont pas les plus réalistes, permettent de donner une idée de la meilleure et de la pire situation qui pourra voir le jour. Pour ce qui est des modèles présentant des situations intermédiaires au deux extrêmes, ils sont basés sur des objectifs plus réalisables et réalistes. Ils restent donc à privilégier.

Les modèles seront utilisés pour illustrer la manière dont le climat de notre région d'étude se modifie. Pour ce faire les scénarios RCP permettent de déterminer des voies représentatives de l'évolution des émissions et des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols. Ces scénarios sont désignés en fonction de la force radiative qu'ils projettent d'atteindre d'ici 2100. L'impact du dérèglement climatique sur les sources va être basé sur les données de trois modèles de projection : le RCP 2.6 dit « optimiste », le RCP 4.5 dit « intermédiaire » et pour finir le RCP 8.5 qui est quant à lui plus « pessimiste ». Cela apportera une vision globale des impacts du changement climatique sur notre territoire. Ces projections climatiques régionalisées proviennent des données recueillies à l'aide du projet DRIAS.

Les sources vont subir des effets néfastes sur leur fonctionnement du fait de l'influence du dérèglement climatique sur les cycles hydrologiques de l'eau mais aussi sur la gestion de l'eau. Les eaux souterraines fournissent l'eau d'alimentation des sources. De ce fait, les conditions d'écoulement des eaux souterraines et les paramètres de l'eau sont les principaux déterminants de l'apparence, des particularités, de la qualité, de la stabilité et de la longévité des sources (Tóth, 1971). De fait, si ces dernières sont impactées, les sources le seront aussi. Plusieurs facteurs sont impliqués dans ces altérations.

Des facteurs abiotiques sont à prendre en compte dans ces variations. Le changement climatique va avoir une incidence sur les régimes hydrologiques et hydrogéologiques. En effet, la recharge des aquifères va être impactée négativement par ce processus

Dans un premier temps, les modèles climatiques régionaux obtenus grâce au projet DRIAS, permettent de faire ressortir le régime des précipitations comme un responsable de cet aspect négatif. En s'intéressant à la situation de l'Indre, il est possible d'observer une diminution des précipitations, principalement en période estivale. Cette disparité de la répartition se traduit aussi par l'apparition plus prononcée de période de forte sécheresse. En effet, dans l'Indre, les projections prévoient une augmentation des périodes de sécheresse (D'ici 2050 : RCP 2.6 : +0 jour, RCP 4.5 : +2 jours, RCP 8.5 : +2 jours / D'ici 2100 : RCP 2.6 : +0 jour, RCP 4.5 : +2 jours, RCP 8.5 : +4 jours) sur le territoire du SMABCAC. Cette évolution des précipitations des périodes de sécheresse va avoir un impact sur la recharge des aquifères (Barron et al., 2011).

Un autre facteur qui joue sur la recharge va être l'évapotranspiration de la végétation. En effet, la température moyenne annuelle va augmenter sur notre territoire (D'ici 2050 : RCP 2.6 : + 0.92°C, RCP 4.5 : + 1.19°C, RCP 8.5 : + 1.27°C / D'ici 2100 : RCP 2.6 : + 1°C, RCP 4.5 : + 2.06°C, RCP 8.5 : +3.88°C) et cela va accentuer ce phénomène. Sur notre territoire, ce fait est vérifiable sur les simulations

climatiques avec l'évapotranspiration potentielle cumulée (D'ici 2050 : RCP 2.6 : + 72.42mm, RCP 4.5 : + 55.26mm, RCP 8.5 : + 50.67mm / D'ici 2100 : RCP 2.6 : + 74.40mm, RCP 4.5 : + 85.50mm, RCP 8.5 : +170.41mm). Cela induit une probable augmentation des besoins en eau de la végétation, qu'elle soit naturelle ou cultivée. Cette modification va par la suite, jouer un rôle sur la recharge des eaux souterraines. En effet, l'eau consommée par cette végétation va diminuer son infiltration dans les eaux souterraines (Barron et al., 2011).

Les facteurs présentés précédemment sont directement observables et en lien avec notre zone d'étude. Cependant, le cycle de l'eau souterrain va aussi être affecté au niveau de la cryosphère. Les aquifères sont approvisionnés par les précipitations mais aussi par l'eau provenant de la cryosphère pour certains. Dans un contexte où les températures augmentent, la fonte des neiges pourrait avoir de nombreuses conséquences. À court terme, la fonte accélérée des glaciers peut initialement augmenter l'approvisionnement en eau mais cela ne sera que limité dans le temps. À long terme, cela va retirer une partie de l'apport d'eau provenant de la cryosphère à certains aquifères qui en sont dépendants.

Le dérèglement climatique va avoir un impact sur des facteurs abiotiques mais aussi sur les méthodes de prélèvement d'eau en profondeur. En effet, il implique des périodes de sécheresse plus intense et de durée plus importante dans certaines zones du globe mais aussi à certaine période de l'année. A contrario, d'autres localisations vont se voir frappées par des périodes de précipitations importantes qui vont perturber l'équilibre des sources. Par exemple, en Australie, les prélèvements dans le Grand Bassin Artésien ont fait baisser la pression dans l'aquifère du bassin. Cela a eu pour conséquence de rendre totalement inactifs 30,4 % des complexes de sources et 26,7 % supplémentaires ont des sources inactives au sein du complexe (FENSHAM et al., 2016). Bien que la quantité d'eau extraite ne représente qu'une infime partie de l'aquifère du Grand Bassin Artésien, cela a eu des conséquences importantes sur sa pression (HABERMEHL, 2020) ce qui a induit des répercussions sur les sources aux alentours. Du fait de la diminution de notre ressource en eau, le dérèglement climatique va influencer son approvisionnement que ce soit pour les industries, l'agriculture, le domestique ou les écosystèmes aquatiques.

Tous ces aspects de dégradation du fonctionnement des aquifères vont influencer sur la quantité d'eau disponible dans les sols. La réduction de ce volume va rendre l'eau plus vulnérable à la concentration de polluant dans nos sources. Cela entraîne donc une diminution de la qualité de l'eau (DRAGONI et SUKHYJA, 2008).

L'augmentation des températures atmosphériques en plus de jouer sur l'évapotranspiration va influencer celle de l'eau qui va s'accroître. Ces facteurs peuvent perturber les habitats aquatiques et les

espèces qui en dépendent. Cela peut avoir des conséquences en cascade sur les chaînes alimentaires et la biodiversité. Un dernier point qui peut être dû à l'aspect naturel de ce changement climatique est la montée des eaux qui peut provoquer des incursions d'eaux salées dans les sources d'eaux douces côtières, contaminant ainsi les réserves d'eau potable souterraines et potentiellement leur utilisation. L'intrusion d'eau salée peut donc devenir un problème majeur pour les eaux souterraines (Cloutier et al., 2009). Cela peut jouer aussi sur la faune et la flore qui est liée à ces sources contaminées.

L'impact du dérèglement climatique sur les sources est utilisé comme signal d'alerte dans le plaidoyer de Cantonati et al, *Urgent plea for global protection of springs* de 2020. Cet appel a pour but de faire comprendre l'importance d'agir pour les sources. Elles font l'objet de nombreuses altérations comme présenté précédemment : les stress anthropiques locaux ou mondiaux, notamment l'altération de l'habitat (élimination de la végétation, introduction d'espèce exogène, bâties), l'utilisation récréative, l'épuisement des eaux souterraines (captage, ...), la pollution (pratique agricole, déchet) et le changement climatique (Glazier 2014 ; Knight 2015). Ces sources, grâce à leurs grandes diversités, accueillent aussi une faune et une flore riches. Si elles sont fortement dégradées, cela entrainera la disparition d'écosystèmes et d'espèces qui peuvent parfois être endémiques. Par exemple, suite à des perturbations locales des sources, deux escargots de Tryonia (Cochliopidae) et le scarabée riffle (*Heterelmis stephani*) ont disparu. D'autres espèces sont aussi en danger d'extinction suite à des altérations constatées sur les sources.

De manière générale, le dérèglement climatique va engendrer des pressions sur les sources et menacer le fonctionnement et la biodiversité de ces dernières. Au cours de cette étude, il a été possible d'observer les traces de ce dérèglement. Certaines sources visitées furent en assec. De plus, après discussion avec des personnes sur site, il en est ressorti que certaines sources présentent des débits moins importants depuis plusieurs années (ces mêmes points d'eau qui jusque-là ne donnaient aucun signe de dysfonctionnements). Il est donc nécessaire d'agir pour gérer au mieux ces écosystèmes qui restent vulnérables. Cela peut ainsi passer par des actions de restauration. Tout en prenant compte que ces milieux fontinaux peuvent présenter des intérêts écosystémiques pour lutter contre le changement climatique.

4.1.2. Les services écosystémiques rendus par les sources sur les ressources en eau

Dans un contexte de changement climatique, il s'avère important de prendre connaissances des services rendus par les sources. Au cours de l'état des connaissances sur le sujet des sources, leurs typologies ont été présentées. Ces dernières participent à la formation des nombreuses zones humides. Ces milieux vont ainsi regrouper les eaux dormantes (lacs, étangs, mares, retenues d'eau et barrage, ...), les eaux courantes (fleuve, rivières, ruisseaux, sources), les zones inondables ou inondées (ripisylves, forêts alluviales, marécages) et les zones hydromorphes végétales remarquables (mangroves, les tourbières ou encore les rizières). Ces différents milieux vont être ainsi à l'origine de quatre types de services qui vont être présentés indépendamment.

4.1.2.1. *Les services de soutien et de support*

Lorsque les services écosystémiques sont abordés, le rôle de soutien et de support a une importance primordiale pour tous les autres services. Il englobe les fonctions écologiques essentielles que chaque écosystème doit remplir pour son propre fonctionnement. En ce qui concerne les zones humides, leur rôle principal réside dans leur contribution aux cycles de l'eau et de la matière grâce à la présence de producteurs primaires. En plus de ces cycles, ces environnements jouent un rôle crucial dans le maintien de la diversité biologique et contribuent également à la formation des sols (pédogenèse). Ces fonctions biologiques fondamentales constituent la base sur laquelle reposent les services écosystémiques ultérieurs que nous allons aborder. Par conséquent, ce service de soutien et de support représente le fondement même de l'écosystème.

4.1.2.2. *Les services d'approvisionnement*

« Les services d'approvisionnement sont des services écosystémiques qui décrivent la production matérielle ou énergétique des écosystèmes. Cela inclut les aliments, l'eau et d'autres ressources. » (AZUR, 2014).

Les services d'approvisionnement liés aux sources englobent diverses facettes. Du point de vue hydrologique, les aquifères et les zones humides associées aux sources jouent un rôle crucial dans la production d'eau et la recharge des eaux souterraines (MALTBY et ACREMAN, 2011 ; OFB, 2009).

Ces réservoirs d'eau peuvent être utilisés pour des activités telles que l'agriculture (abreuvement du bétail ou irrigation des cultures), l'industrie ou encore l'approvisionnement domestique en eau potable pour la population. Lors de l'inventaire, de nombreuses sources ont démontré leur utilité dans ces différents domaines. Par exemple, certaines sources étaient exploitées pour répondre aux besoins en eau potable

des habitants ou pour des usages domestiques historiques tels que les lavoirs. Dans le contexte agricole et de l'élevage, des sources spécialement aménagées pour l'abreuvement du bétail ont été observées.

En plus de ce rôle de réserve d'eau, les sources peuvent être à l'origine de production de ressource. En effet, la création d'infrastructures telle que les barrages peut induire la production d'électricité en utilisant la force hydrique pour la formation d'énergie. En plus de cette capacité énergétique, un aspect important est la production biologique. Cela peut être une production agricole (utilisation de la ressource en eau pour la production alimentaire et non alimentaire) ou piscicole (comme avec la création d'étangs piscicoles alimentés par des sources).

4.1.2.3. Les services de régulation

« Les services de régulation sont les services fournis par les écosystèmes par l'intermédiaire de leur action régulatrice, par la régulation de la qualité de l'air et du sol ou le contrôle des inondations et des maladies. » (AZUR, 2014).

Les zones humides liées à des sources ont une importance dans l'hydrologie des systèmes à des échelles locales. En effet, elles vont avoir un rôle dans la maîtrise des crues. Cette atténuation des crues va être possible grâce au phénomène de rétention dans des mares ou des lacs ainsi qu'à la redistribution progressive du débit de la crue (laminage des crues) dans les plaines alluviales et les marais adjacentes (BAYLE, 2019 ; OFB, 2009). Cette restitution peut parfois s'étaler jusqu'à la période d'étiage, ce qui contribue au maintien du débit d'étiage (OFB, 2009). De plus, grâce à leur végétation hygrophile (roseaux, molinies, saules, bryophytes, etc.), elles réduisent la vitesse d'écoulement de l'eau et protègent les berges contre l'érosion (AZUR, 2014 ; OFB, 2009)

Une autre fonction importante des zones humides est l'épuration des eaux pour réguler la qualité de l'eau. Les milieux aquatiques continentaux permettent de réguler la qualité de l'eau, notamment de par leur capacité de rétention de l'azote, du phosphore, des matières en suspension et de certains micropolluants organiques (BAYLE, 2019). Agissant comme des filtres naturels, elles contribuent à maintenir et à améliorer la qualité de l'eau. Cela est possible en piégeant et en éliminant les particules en suspension et les polluants présents dans l'eau. Cependant, s'il y a rétention et accumulation d'une trop grande quantité cela peut entraîner la pollution du système. L'efficacité de cette purification varie en fonction des écosystèmes et principalement en fonction de la durée de transit de l'eau. Une longue période favorise une performance plus élevée, tandis qu'une durée plus courte a tendance à la réduire.

4.1.2.4. *Les services sociaux et culturels*

Les derniers services que nous allons traiter sont ceux en rapport avec la culture et le social : « Les services culturels incluent les avantages non matériels que retirent les personnes de leur interaction avec les écosystèmes. Ils comprennent les avantages esthétiques, spirituels et psychologiques. » (AZUR, 2014).

Dans le passé, les premières grandes civilisations se sont implantées près des cours d'eau ou des côtes. Les Hommes ont donc toujours eu une relation étroite avec ces espaces naturels. Les sources voient leur existence comme précisées dans la définition d'Azur d'aspect social, culturel, mais aussi économique.

De tout temps, les sources ont eu une influence dans nos coutumes et nos mœurs. D'un point de vue spirituel et religieux, nous leur attribuons des croyances (pouvoirs magiques, vœux), des mythes (Fontaine de Jouvence) qui les ont ancrées dans la culture collective. Par exemple, dans la mythologie, le nombre de dieux évoquant les sources sont nombreux : Borvo, Dieu celtique des sources thermales ; Damona, Déesse celtique gauloise des sources et des rivières, Fontus, Dieu Romains des Sources et des eaux courantes ; ou encore Apollon chez les Grecs (source purificatrice donc guérisseuse).

En plus de l'aspect spirituel et religieux, elles ont par leur beauté, leur bien-être et leur ambiance inspirés de nombreux artistes de tout domaine. Par exemple pour la peinture, Monet s'est inspiré des sources pour réaliser le tableau « Le Bassin aux nymphéas, harmonie verte ».

Au-delà de l'aspect imaginaire, nous avons un patrimoine important lié aux sources. Le besoin en eau a toujours été présent dans toutes les civilisations et a amené les différentes populations à s'intéresser aux sources. Cela se traduit par des toponymies de lieu lié aux sources (« Laveau », « Fontaudiger », ...). À commencer dans l'Indre, où j'ai pu effectuer l'inventaire de 346 sources dans des états différents, ce qui a permis de faire ressortir un patrimoine de l'eau délaissé (lavoir, fontaine, ...).

Il est possible de retrouver un aspect économique et touristique avec les sources. Nous avons notamment des sources chaudes qui amènent le succès touristique comme la Source de Croizat, dans le Puy-de-Dôme au Mont Dore. D'autres sites français font l'objet de visites touristiques tels que la Cascade de L'Hérison dans le Jura, ou encore la Fontaine de la Vierge à Paris, une source associée à l'emblématique Cathédrale Notre Dame de Paris. Même si les deux sites sont gratuits pour la visite, ils permettent tout de même de participer à l'économie française par la nécessité d'avoir des hôtels proches ou de consommer à proximité. Cette attractivité touristique est aussi l'occasion de mettre en place une sensibilisation auprès du grand public des différents enjeux qui touchent notre ressource en eau. En plus du tourisme, il est possible de voir une économie de l'eau en bouteille émerger de ces

sources. En exemple, nous pouvons citer les sources de Volvic dans le Puy-de-Dôme qui sont exploitées pour un usage commercial.

Les sources sont impactées par le changement climatique. Aux vues de la trajectoire actuelle que suit notre climat que cela soit à l'échelle globale ou plus locale. Une amélioration est peu probable. Les sources de par leur diversité et leur place dans le fonctionnement du cycle de l'eau nous rendent de nombreux services. Toutefois, si elles ne peuvent plus jouer ce rôle du fait des altérations sur leur écosystème les effets deviennent caducs. Il est alors nécessaire d'agir pour rétablir leurs services et cela peut passer par des actions de restauration.

4.2. La restauration des sources hydrologique

Le changement climatique a une influence sur les sources à l'heure actuelle et d'autant plus dans un futur proche. De plus, les avantages procurés par la présence de ces points d'eau ont mis en exergues la nécessité de maintenir ces systèmes dans un bon état. Maintenant, il sera question de savoir comment avoir des sources dans un état de fonctionnement favorisant la mise en place des services écosystémiques.

Avec cette situation changeante, la restauration peut être vue comme une solution permettant de remédier à une partie des altérations qui vont y être liés. Cependant, la notion et les actions de restauration peuvent quand même soulever des questionnements et avoir des limites. Pour développer cette notion, une rétrospective des actions nécessaires à mettre en place sera couplée à l'expérience acquise au cours de ce stage.

4.2.1. Evaluation et caractérisation de la situation des sources

Pour mener à bien une restauration dans les meilleures conditions et pour que les attentes environnementales soient atteintes, une pleine connaissance et compréhension du milieu s'impose. Cette idée se retrouve dans les travaux de Marthe L., doctorante en droit de l'environnement. Pour elle, l'efficacité des actions environnementales telles que la restauration d'un milieu dépend entièrement de la qualité des études d'impact et des recherches préalables effectuées en amont. Il est essentiel de rappeler que les écosystèmes regroupent des organismes vivants (humains, faune, flore) qui agissent comme des unités fonctionnelles grâce à leurs interactions étroites entre eux et avec leur environnement, comprenant l'air, le sol, l'eau, et autres éléments (UICN, 1988). Ces interactions complexes rendent les écosystèmes à la fois fragiles et sujets aux changements. Cette fragilité est très prégnante à l'heure actuelle avec les bouleversements environnementaux multiples liés à l'eau, tels que les variations de précipitations, les périodes de sécheresse, les taux d'évapotranspiration, et divers

autres facteurs. Au cours de notre étude, pour tenter de connaître au mieux nos milieux, des informations générales, des paramètres hydrogéologiques, physiques-chimiques, biologiques et anthropiques ont été caractérisés. Cette démarche avait pour but de permettre une compréhension globale de nos objets d'étude pour une possible restauration. Néanmoins, au vu du temps imparti et de connaissances limitées dus à un suivi restreint, une compréhension générale et spécialisée de chaque source n'a pas pu être réalisée. Cela nécessite une approche pointue pour permettre de mener au mieux les actions de restaurations.

Dans le cas de notre étude, bien que la fiche source ait été pensée pour être la plus intuitive, complète et fonctionnelle à remplir, elle reste basée sur des observations de terrain effectuées par un individu. Elle peut faire l'objet d'une lecture biaisée en fonction de l'observateur. Visions et barèmes peuvent occasionnellement différer en fonction des connaissances. Malgré la volonté de mettre en place des critères précis et factuels, leur multiplicité accroît ce risque.

4.2.2. Sélection et planification des sources à restaurer

Une fois cette identification et cette caractérisation effectuées au mieux, il a été nécessaire de mettre en place une sélection des sources qui seraient restaurées. De nombreux critères rentrent en compte pour permettre de choisir au mieux les objets des restaurations. Dans notre étude, le critère principal était l'état de dégradation des sources en fonction de nos paramètres de dégradation préalablement définies pour la caractérisation dans le protocole.

L'aspect financier va aussi dicter les restaurations. Leur coût ainsi que la logistique sont des paramètres déterminants. Rentrant également ligne de compte leur altération et les besoins ce qui rend indispensable une bonne compréhension du milieu, et la prise en compte de la faisabilité du projet.

Il peut être tout d'abord logistique en fonction de l'accessibilité au site, des accords à mettre en place pour valider les travaux, mais aussi de l'aspect environnemental recherché suite à ces restaurations. Par exemple, comme il a été présenté lors de ce rapport, les actions proposées vont dépendre des altérations et de leurs degrés observés sur les sources. Un travail de sélection est nécessaire au cas par cas pour que l'efficacité soit la plus optimale possible.

Il ne faut pas négliger la partie financement des travaux qui va être à l'origine de modifications de nos stratégies de restauration. En effet, l'argent est fréquemment un frein au déroulé de projet de restauration. Il n'est pas possible de mettre en place des actions sur toutes nos sources. De plus, il est souvent question d'approche économique de l'environnement pour certaines branches de notre société. Si ce n'est pas le cas, cela peut amener à des complications (actions moins efficaces pour

l'environnement, mais beaucoup moins coûteuses). Cette réflexion va tout de même être orientée en fonction des ambitions des structures qui portent ces types de projet. Elle peut avoir un enjeu politique et se voir cloisonnée à un certain type d'espaces aux dépens de zone a plus fort intérêt. Pour faire écho à notre étude, notre sélection des sources s'est vue encadrée par le contrat courant sur le territoire du PNR de la Brenne. Ainsi, nos actions doivent être ciblées pour répondre aux attentes du porteur du contrat. De plus, le choix des sources se voit influencé par l'ajout d'un paramètre de sélection qui a été "imposé" par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne pour pouvoir obtenir les financements.

Une fois la sélection de la source effectuée, la trajectoire à suivre pour sa restauration est de fixer le but et l'objectif final de la source. Pour ce faire, il est nécessaire de déterminer l'écosystème de référence de la restauration. Selon Le Floc'h et al. (1995), ce dernier est vu comme une représentation d'un état préférable. Cette référence est sélectionnée parmi divers états alternatifs envisageables et accessibles par le biais d'une séquence d'étapes appelée trajectoire. Cette sélection va fortement être impactée par la vision du projet qui est porté lors des actions de restauration. Cet état de référence va devoir s'appuyer sur des facteurs temporels et spatiaux. Cependant, des recherches approfondies sont nécessaires pour une sélection affinée.

Dans un premier temps l'aspect temporel, il faut bien penser que les états précédent se situent dans des conjonctures différentes. Dans lesquelles le dérèglement climatique n'était pas aussi impactant que de nos jours. Il faut donc réussir à définir jusqu'à quelle période et échelle de temps nous allons nous arrêter. Des recherches historiques ou des discussions avec des personnes locales sont parfois indispensables. Pour ce qui est de la sélection par les facteurs spatiaux, il faut spécifier si notre état de référence sera sélectionné par rapport à l'objet des restaurations ou s'il est plus intéressant de recourir à des sites plus éloignés géographiquement mais qui restent similaires sur ces caractéristiques (physiques, biologiques et sociologiques) (BORIET, CHLOUS-DUCHARME, 2011). Cependant, au cours de cette étude, l'inventaire a fait ressortir une très forte diversité des sources observées avec chacune des spécificités. Cela revient souvent à des décisions qui vont fortement dépendre de l'orientation politique de la structure, et des propriétaires des sources à restaurer.

Une fois que l'écosystème de référence a été sélectionné, le but est de se rapprocher au plus près de ce dernier. Cependant, il est impossible de retrouver les espèces et les habitats à l'identique. Il sera plus question d'une équivalence pour récupérer l'écosystème perdu. De plus, certaines des sources répertoriées ont vu leur utilisation changer au cours du temps et certains aménagements apparaître pour répondre aux besoins des différents propriétaires. Ainsi, ces interférences ont eu un impact sur les interactions de l'écosystème de la source, ce qui amène inévitablement des modifications qui ne peuvent être compensées à l'identique. De plus, Les actions de restauration vont

soulever beaucoup d'incertitudes quant à leur exécution, (les connaissances écologiques, des choix des actions, mais aussi leurs réalisations techniques). L'imprévisibilité des dynamiques futures, qu'elles soient écologiques (dynamiques des populations), climatiques ou sociétales (évolution de la réglementation) viennent se rajouter (QUETIER et al, 2012). Dans notre cas, il a été recherché un aspect quantitatif et qualitatif de l'eau en plus de la biodiversité, cependant avec le changement climatique, on peut se questionner quant à la viabilité de la restauration. Il est très compliqué de savoir si certaines sources restaurées vont voir leur alimentation détériorée ou s'améliorer dans le futur. L'aspect expérimental de notre étude lançant une dynamique de travaux sur les sources dans le département est à relever. Les effets n'en sont pas encore perceptibles. La restauration se conforme à des objectifs écologiques, mais lorsque nous manquons de recul et d'analyse au long cours cela n'aboutit qu'à peu d'impact. Une réflexion globale et le long terme s'impose pour être efficace et probant.

4.2.3. Evaluation et suivi de la réussite des restaurations

Une fois les restaurations effectuées, comment savoir si elles répondent aux attentes du programme. Dans chaque entreprise de restauration, il est important d'établir des buts limpides et spécifiques. Le suivi de ces sources est primordial pour évaluer l'étendue des changements que les actions mises en place ont amenés. Cela permet de savoir si elles sont en bonne voie ou s'il est nécessaire de réévaluer et d'apporter des changements. Malheureusement, comme le souligne Lake (2001). De nombreux projets sont mal menés et aboutissent à des résultats décevants.

Hiers dans son étude, *pourquoi la restauration écologique produit-elle des échecs ?* de 2016, évoque quelques problèmes rencontrés par les gestionnaires qui induisent des mauvaises restaurations de milieu. Il met aussi en évidence leur tendance à adopter une approche excessivement rigoureuse. En raison d'un manque de données empiriques robustes pour étayer leurs efforts, ils ont souvent recours à l'élaboration de projets très spécifiques et localisés, mais ces projets ne garantissent pas nécessairement une durabilité.

Plusieurs facteurs restent manquants dans les projets de restauration des gestionnaires selon Hiers. Dans un premier temps, les conditions de maintien des populations et des écosystèmes sont sous-estimées et ne permettent pas d'obtenir une gestion durable suite à la restauration. Un autre aspect concerne la négligence et le défaut de prise de recul vis-à-vis des conséquences à long terme des perturbations climatiques. Au-delà de ces deux réflexions, il soulève un déséquilibre des restaurations qui est dû aux différences entre les conditions réelles sur le terrain et certaines politiques mises en place. Cela engendre un gaspillage des ressources, des initiatives qui sont mal orientées et conduisent

à l'échec. Cette problématique risque de devenir prévalente à mesure que les impacts du changement climatique s'intensifient.

Pour que les restaurations soient un outil d'avenir pour lutter contre le réchauffement climatique, il est donc nécessaire de lier la science, la politique et la gestion de la meilleure des façons. Cela permettra de mieux comprendre les limites actuelles de certaines actions en écologie de la restauration, et d'élargir l'horizon des scénarios d'intervention.

4.3. Vision et avenir des sources dans ce contexte changeant

Dans ce contexte climatique en constante évolution, les restaurations émergent comme une solution pour s'adapter voire « réduire » cette situation. Elles jouent un rôle dans l'équilibre des écosystèmes et permettent de rendre des services écosystémiques à différentes échelles. Cependant, comme vu lors de ce stage leur bon fonctionnement se voit altéré par les variations des régimes climatiques mais aussi d'autres facteurs anthropiques (pollution, piétinement, ...).

Pour qu'elles puissent perdurer dans le temps et continuer d'apporter leur service écosystémique, il est nécessaire d'agir pour leur préservation et leur protection. Cela implique de restaurer les écosystèmes dégradés, de protéger les zones de captage et de promouvoir des pratiques durables pour maintenir leur vitalité. C'est pour cela que notre programme s'inscrit dans une démarche d'avenir et doit être poursuivi et généralisé à des échelles plus importantes. En effet, bien que vertueuses, les actions qui sont entreprises à l'heure actuelle restent exclusivement locales ou à des échelles restreintes spatialement ce qui peut réduire leur impact. Ce constat nécessite donc de revoir notre stratégie.

Une gestion intégrée et équilibrée des ressources hydriques avec des décisions prises en tenant compte des besoins humains, agricoles, industriels et environnementaux permettant de limiter les tensions entre les acteurs. Cependant, il semble que les trajectoires que suit notre climat vont induire des effets néfastes qui peuvent attiser ces tensions pour la disponibilité de l'eau. Comme il a pu être observé au cours de ce stage, les sources possèdent des utilités multiples et des usages qui restent encore aujourd'hui d'actualité. C'est le cas notamment dans le domaine de l'agriculture, de l'élevage, ou de la consommation d'eau potable, ...

Pour limiter ces tensions, la sensibilisation du public à l'importance des sources d'eau et aux défis liés au changement climatique est également essentielle pour un engagement commun. En effet, j'ai pu au cours du stage rencontrer bon nombre de personnes issues de différentes classes de notre société. Toutes ne relèvent pas l'urgence et la gravité de la situation actuelle et future. Cette méconnaissance peut expliquer des retours que j'ai eus suite à des propositions de restauration auprès de certains

propriétaires. Pour certain, ils jugent que cela est sans intérêt pour eux. Notamment, les privés qui voient les sources ou les cours d'eau comme des biens utilitaires et non comme une pièce d'un puzzle. De plus, si la sensibilisation sur ces enjeux est effectuée de manière plus large et efficace alors des engouements collectifs autour de projet environnemental pourraient naître. Ce n'est pas encore complètement le cas. Au cours de ce stage, il a été possible de voir la limite de cette implication actuelle avec l'inventaire participatif. Le résultat de ce dernier s'est concrétisé par une poignée de réponses sur une campagne à grande échelle. Au cours de discussion avec des propriétaires, il a été possible de collecter quelques informations pour expliquer cette inertie. L'une d'entre elle était la peur de voir des réglementations imposées sur les sources recensées. Cette position met en exergue la notion de bien écologique (possession des cours à des fins personnelles ou privées) qui a été évoqué plus haut. En contrepartie, des éléments positifs émergent. En résultent l'ouverture et la réceptivité de certains propriétaires qui ont perçu et reçu positivement notre approche et ont ainsi permis des projets de restaurations sur des parcelles privées ou publiques.

Pour que les actions soient résilientes par rapport à ces changements, il faudra que les communautés et les gestionnaires de l'eau anticipent les impacts futurs du changement climatique et mettre en œuvre des mesures d'adaptation pour préserver la disponibilité de l'eau malgré les fluctuations climatiques. Cela peut aussi passer par l'utilisation d'innovations technologiques et techniques. Il est possible de citer la mise en place de la surveillance en temps réel, la collecte et le stockage des eaux de pluie, ainsi que la réutilisation des eaux traitées. Ces démarches peuvent contribuer à optimiser l'utilisation des ressources hydriques. Comme solutions issues d'innovation technologique, on peut mentionner la réalimentation artificielle des nappes phréatiques lorsqu'une planification durable des différents usages n'est pas possible. Cette méthode reste principalement utilisée dans les zones d'exploitation. Selon le SIGES Seine- Normandie, « La recharge artificielle des nappes est une pratique qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, l'infiltration d'eaux extérieures (ex. rivière) jusqu'à l'aquifère. C'est une des mesures qui peut être mise en œuvre pour sécuriser l'approvisionnement en eau, compenser certains effets du changement climatique et, plus généralement, aménager la pression quantitative et qualitative sur les masses d'eau souterraine ». Il faut cependant rester raisonnable et privilégier une gestion durable et intégrée de cette ressource pour limiter au minimum nos interventions qui peuvent parfois être contre-productive car très complexe à réaliser.

La réflexion sur la place des sources et de leur restauration dans un contexte de changement climatique doit s'inscrire dans un questionnement et une recherche de vérité plus importante.

Quel cours d'eau veut-on pour demain ?

Cette pensée doit être faite par l'intermédiaire de l'analyse du fonctionnement et de la gestion des cours d'eau. Néanmoins, elle ne doit pas être effectuée que par les chercheurs mais bien par tous les acteurs de l'eau. Il n'est plus question de s'appuyer exclusivement sur les sciences pour y répondre mais bien tenir compte des aspects socio-politiques, territoriaux, des représentations sociales pour aboutir à un projet politique des cours d'eau de manière à garantir la disponibilité d'eau pour les générations futures. (Univ Limoges, 2017).

Conclusion

Ce rapport est le fruit d'un stage de 6 mois effectué au sein du syndicat mixte d'aménagement de la Brenne, de la Creuse, de l'Anglin et de la Claise. Dans ce dernier, il était question de poursuivre l'inventaire et la caractérisation des sources et fontaines. De plus, des programmes de restauration de ces milieux devaient aussi être envisagés pour répondre au changement climatique que nous connaissons.

Lors de cette période de stage, une réflexion est ressortie sur la place des restaurations de sources dans un contexte climatique évolutif.

Pour pouvoir répondre à ce questionnement, il a tout d'abord été important de bien comprendre ce qu'était une source et quel était son fonctionnement. Pour cela, une rétrospective sur cet objet d'étude a été faite. Il en est ressorti que les sources présentaient une diversité importante et la compréhension de son fonctionnement nécessitait de bonnes connaissances dans de nombreux domaines des sciences de l'eau. Ces aspects peuvent donc expliquer la difficulté qu'ont eu les scientifiques au cours du temps pour permettre de classer et d'expliquer le fonctionnement de ces dernières.

À partir de cette base, nous avons pu développer notre réflexion pour pouvoir répondre à notre problématique. Pour ce faire, nous avons cherché à savoir qu'elle était les impacts du changement climatique sur les sources. Ils sont liés au fonctionnement des aquifères car les sources sont principalement alimentées par ces derniers. Ainsi, c'est la recharge aquifère qui va être la plus impactée de par la diminution des précipitations, l'augmentation des périodes de sécheresse, les modifications des prélèvements ou encore l'augmentation de l'évapotranspiration et des risques de pollution. Ces facteurs sont visibles et vont affecter notre territoire d'étude. Cependant, certaines altérations vont être observées et ne sont pas présentes sur notre zone telle que la fonte de la cryosphère, la contamination des sources par l'eau salée sur les littoraux.

Pour voir, l'importance des sources dans ce contexte, une recherche sur les services écosystémiques qu'elles nous rendent a aussi été menée pour savoir s'il était intéressant de pratiquer des actions sur ce type de milieu. Il en est ressorti que les sources présentent des avantages et un rôle dans la lutte contre le dérèglement climatique, notamment avec ces services de régulation tels que la maîtrise des crues, d'épuration de l'eau, et de protection des berges.

Au vu de ces aspects, il est intéressant d'effectuer des actions de restauration sur ces zones d'eau pour retrouver un bon fonctionnement de ces sources. Cependant, nous avons pu voir que cette restauration doit être menée de manière rigoureuse pour que celle-ci soit efficace. Cela passe donc par une bonne

connaissance de l'objet et de son écosystème, une sélection adéquate des sources et des actions à mener selon de nombreux critères techniques logistiques et sociaux qui peuvent parfois être un frein. Cela favorise la mise en place des actions performantes permettant de répondre aux attentes et enjeux évoqués sur le changement climatique.

Bien que la restauration des sources reste une action importante à mener, faut-il encore que cette dernière soit réalisée de la bonne manière pour être efficace et puisse permettre une gestion durable de cette ressource. Nous avons donc pu voir que la restauration des sources avait en rôle important dans la lutte et l'adaptation au changement climatique.

Finalement, les défis à ce jour pour nos sociétés sont de répondre aux problèmes liés au changement climatique. Ce dernier ne touche pas exclusivement les ressources en eau. Il est nécessaire de faire évoluer nos problématiques à une échelle plus large pour des répercussions profitables. Il faudrait donc un abaissement du niveau de vie mondial et une gestion plus globale, durable et collective de nos ressources et de notre environnement pour un effet optimal.

Webographie

- Aquaportail, Hélocrène : Définition. Consulté sur : <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/2789/helocrene>, le : 26/08/23
- Aquaportail, Limnocrène : Définition. Consulté sur : <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/2658/limnocrene>, le : 26/08/23
- Aquaportail, Rhéocrène : Définition. Consulté sur : <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/5758/rheocrene>, le : 26/08/23
- Fondation pour la recherche sur la biodiversité, BAYLE N., 2019. Les services rendus par les écosystèmes forestiers : une évaluation dans le cadre du programme EFES. Consulté sur : <https://www.fondationbiodiversite.fr/les-services-rendus-par-les-ecosystemes-forestiers-une-evaluation-dans-le-cadre-du-programme-efese/>, le 25/08/23
- OFB, Fonctions hydrologiques des cours d'eau. Consulté sur : <https://patbiodiv.ofb.fr/fiche-methodologique/zones-humides/fonctions-hydrologiques-zones-humides-376>, le 25/08/23
- SANDRE, Type de source. Consulté sur : <https://www.sandre.eaufrance.fr/?urn=urn:sandre:donnees:918:::referentiel:3.1:html>, le 03/08/23
- SIGES Seine-Normandie, La recharge artificielle des nappes. Consulté sur : <https://sigessn.brgm.fr/spip.php?article103>, le 25/08/23
- SMABCAC, Historique. Consulté sur : <https://www.smabcac.fr/qui-sommes-nous/historique/>, le : 03/08/23.
- SMABCAC, La Creuse. Consulté sur : <https://www.smabcac.fr/qui-sommes-nous/le-territoire/la-creuse/>, le : 03/08/23.
- SMABCAC, l'Anglin. Consulté sur : <https://www.smabcac.fr/qui-sommes-nous/le-territoire/anglin/>, le : 03/08/23.
- SMABCAC, La Claise. Consulté sur : <https://www.smabcac.fr/qui-sommes-nous/le-territoire/la-claise/>, le : 03/08/23.
- Springs Stewardship Institute, Accueil. Consulté sur : <https://springstewardshipinstitute.org/>, le 03/08/23

Bibliographie

- AELB documentation – Agence de bassin Loire-Bretagne. Onzième programme d'intervention de l'agence de bassin Loire-Bretagne 2019-2024.
- AELB, 2006. Le prélèvement d'échantillons en rivière – guide technique de prélèvement de l'eau en rivière, Guide technique, 134p
- AELB, 2019. Élaboration du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux Loire-Bretagne 2022-2027 - État des lieux du bassin Loire-Bretagne établi en application de la directive cadre sur l'eau, version adoptée du 12 décembre 2019
- ALFARO C., WALLACE M., 1994. Origin and classification of springs and historical review with current applications, *Environmental Geology*, 24, p112-124
- AZUR C., 2014, Valorisation des services rendus par les zones humides & paiements des services environnementaux, Université Paris – Sud XI
- BARRON O. et al., 2011. Impact du changement climatique sur les ressources en eaux souterraines en Australie : rapport de synthèse, CSIRO
- BELLARD C. et al., 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity, *Ecology Letters*, volume 15, Issue 4, p. 365-377
- BLOIS J. L. et al., 2013. Climate Change and the Past, Present, and Future of Biotic Interactions, *Science*, volume 341, issue 6145, p 499-504.
- BIORET F., CHLOUS-DUCHARME F., 2011. Évaluer la dégradation en écologie de la restauration, une question d'échelles de références et de perception, *Sciences Eaux & Territoires*, volume 5, no. 2, p3-5.
- BRYAN K., 1919. Classification of spring, *The Journal of Geology*, 27, p489-584
- BRUTCHART S. H. M. et al., 2010. Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines, *Science*, volume 328, issue 5982, p 1164-1168.
- CANTONATI M., MORESCHINI R., BERTUZZI E., OSS P., 2007. Detailed spring inventory of two areas of special interest for nature conservation within the Adamello-Brenta Natural Park (south-eastern Alps, Trentino, Italy).
- CANTONATI M., et al., 2016. A global review on ambient Limestone-Precipitating Springs (LPS): Hydrogeological setting, ecology, and conservation, *Science of The Total Environment*, Volume 568, p624-637,
- CANTONATI M, FENSHAM RJ, STEVENS LE, GERECKE R, GLAZIER DS, GOLDSHEIDER N, KNIGHT RL, et al, 2021. Urgent plea for global protection of springs, *Conserv Biol.*, volume 35, p378-382
- CASTANY G., 1991. Origine et évolution des concepts des eaux souterraines, Comité français d'Histoire de la Géologie, 3ème série (tome 5), p1-7
- CASTANY G., MARGAT J., 1977. Dictionnaire français d'hydrogéologie, édition du BRGM
- CASTELLI S., 2012. Hydrogéochimie des sources associées aux Eskers de l'Abitibi, Québec [Master's thesis, École Polytechnique de Montréal]
- Direction territoriale départementale de l'Indre, 2019. Portrait de territoire – département de l'Indre - DDT-SATTE- UCP, 11p
- CLOUTIER V. et al., 2009. Desalination of a sedimentary rock aquifer system invaded by Pleistocene Champlain Sea water and processes controlling groundwater geochemistry. *Environ. Earth Sci*, volume 59, p977–994.
- DRAGONI W., SUKHIJA B.S., 2008. Climate change and groundwater: a short review, *Geol. Soc. London, Spec*, volume 288, p1–12.

- EASTERLING D. R., GERALD A. M., CAMILLE P. et al., 2000. Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts, Sciences, Volume 289, p2068-2074.
- Glazier D. S., 2014. Springs. Reference module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elias SA, editor. Elsevier, Waltham, MA
- GOSSIAUX A., 2019. Effets des changements environnementaux sur le fonctionnement des ruisseaux de tête de bassin versant, thèse, Université de Lorraine
- HIERS J. K. et al., 2016. The Precision Problem in conservation and restoration, Trends in Ecology & Evolution, tome 31, numéro 11, p820–830
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- FENSHAM et al., 2016. A la recherche des sources perdues : Un protocole pour localiser les sources actives et inactives, Eaux souterraines, 54, p374-383
- HABERMEHL, 2020. Bilan : L'évolution de la compréhension du Grand Bassin Artésien (Australie), de la découverte aux interprétations hydrogéologiques actuelles, Hydrogéol. J. , 28, p . 13-36
- KEILHACK K., 1912. Lehrbuch der Grundwasser und Quellenkunde, 3^{ème} édition, Borntraeger, Berlin
- Knight R. L., 2015. Silenced Springs – Moving from Tragedy to Hope. High Springs: Florida Springs Institute Press
- LAMOREAUX P. E., TANNER J. T., 2001. Springs and Bottled Waters of the World: Ancient History, Source, Occurrence, Quality and Use: Berlin, Springer-Verlag.
- LEVI C., 2011. Diagnostic environnemental et bilan des procédures de gestion de l'eau du bassin versant de la Creuse, Université de Limoges, 114p
- Le FLOC'H E. et ARONSON J., 1995. Écologie de la restauration. Définition de quelques concepts de base, Natures Sciences Sociétés, volume 3, p29-35.
- LUCAS M., 2009. La compensation environnementale, un mécanisme inefficace à améliorer, Revue juridique de l'Environnement pp. 59-68
- MALAVOI JR., SOUCHON Y., 1989. Méthodologie de description et quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux. Exemple d'une station sur la Filière (Haute-Savoie), Rev.Géo.Lyon, p252-259
- MALTBY, ACREMAN M.C., 2011, Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm, Hydrological Sciences Journal, volume 56, p1341-1359
- MARTIN L., 2013. Les sources de Nohèdes : inventaire, caractérisation, évaluation et préconisations de gestion - Nohèdes, Réserve Naturelle de Nohèdes, 54p
- Meinzer O. E, 1923. Outline of ground-water hydrology, with definitions. Water Supply Paper 494. U.S. Geological Survey, Washington, D.C., USA.
- PARAMELLE, 1856. L'art de découvrir les sources, Imprimerie de Bailly Divry et Cie, Paris, 376p
- PERRAULT P., 1674. De l'origine des Fontaines, Pierre le Petit, Paris, 353p
- QUÉTIER F., QUENOUILLE B., SCHWOERTZIG E., GAUCHERAND S., LAVOREL S., THIÉVENT P., 2012. Les enjeux de l'équivalence écologique pour la conception et le dimensionnement de mesures compensatoires d'impacts sur la biodiversité et les milieux naturels, Revue Science Eaux & Territoires, article hors-série, 7p
- SCOTT T. M., et al., 2004. Springs of Florida, Florida Geological Survey, Bulletin 66, 667p
- Society for Ecological Restoration Internationale, 2004. l'Abcdaire sur l'écologie de la restauration, Science & Policy Working Group, version 2, 15p

- SIABA, 2014. Pré diagnostic hydromorphologique des masses d'eau du bassin de l'Anglin, 70p
- SIABA, 2018. Étude préalable à l'élaboration d'un Contrat Territorial sur le bassin de l'Anglin, 81p
- SMABCAC, 2020. Etude bilan du CTMA 2014-2019 du bassin de la Claise et de ses affluents dans l'Indre et élaboration d'un nouveau programme d'actions 2021-2026, 179p
- SPRINGER, STEVENS, 2009. Le Sphères de décharge des ressorts. Hydrogéol, Journal 17, p83-93.
- STEVENS L. E., MERETSKY V. J., 2008. Aridland Springs en Amérique du Nord : écologie et conservation. University of Arizona Press et Arizona-Sonora Desert Museum, Tucson, Arizona.
- STEVENS E. L., SCHENK R. E., SPRINGER A., 2020. Springs ecosystem classification, Ecological Application, 31, 28p
- STEVENS E. L., SPRINGER A., LEDBETTER J.D., 2023. Spring Ecosystem Inventory Protocols, Springs Stewardship Institute, Version 8, 80p
- STINY J., 1933. Springs: the geological foundations of springs for engineers of all disciplines as well as students of natural science. Julius Springer, Vienna.
- THOMAS C. D. et al., 2004. Extinction risk from climate change, Nature, volume 427, p145-148
- TOTH J., 1971. Décharge des eaux souterraines : un générateur commun de divers phénomènes géologiques et morphologiques, Journal des sciences hydrologiques, volume 16, p7-24
- Université de Limoges, 2017. Colloque « Si nous imaginons le devenir des cours d'eau, ils ressembleraient à... » ?, 28-29 juin 2017



Annexe 1 : Clé de détermination de Bryan (1919) (CASTELLI, 2012)

- I. Source d'eau due à l'eau jeune et apparentée, mélangé à l'eau météorite plus profonde; ne s'écoule pas sous le niveau hydrostatique et ne sont habituellement pas sujet aux fluctuations saisonnières
 - A. Sources Volcaniques : Associées au volcanisme ou roches volcaniques
 - B. les eaux généralement chaudes hautement minéralisées contenant des gaz. Les catégories de gaz des conduits à l'intérieur des sources ou de sources thermales sont difficilement différenciables des autres gaz
 - C. Source provenant de fissure : due aux fractures s'étendant à l'intérieur des parties plus profondes de la croûte, les eaux habituellement hautement minéralisés sont généralement tièdes et chaudes.
 - 1. Source provenant de faille : Associées avec failles récentes de grande magnitude
 - 2. Source provenant de fissure, pas d'évidence structurelle direct à l'origine, mais à cause de la température et de l'écoulement stable, qui aurait une origine profonde.
- II. Sources due à l'origine des eaux météorite et occasionnelles d'autres eaux circulant comme étant de l'eau souterraine, sous le niveau hydrostatique; beaucoup de fluctuations en écoulement avec l'eau de pluie.
 - A. Les sources par dépression dû à la surface du terrain coupant la nappe phréatique dans les roches poreuses.
 - 1. Source creuse : due aux dépressions dans les pentes
 - 2. Source dans les vallées : due aux changements abrupts des pistes sur les bords des vallées inondées
 - 3. Source en canal : due aux dépressions dans les plaines inondées ou dans les plaines alluviales creusées par des canaux qui coupent des ruisseaux
 - 4. Source frontière : due aux changements de la pente à la frontière entre les

- (2) Sources méso : le matériel dur, habituellement du grès ou de l'écoulement de lave; de l'eau contenue dans les pores et joints du roc ou la formation géologique
 - b) Le lit sous-jacent est de petite étendue, commun dans des alluvions non consolidés, lits imperméables sont habituellement de l'argile, du gravier cimenté, du « lit de mortier », du caliche ou base ferme.
 - (1) Source de base ferme
 - 2. lit imperméable à une surface inclinée est imperméable et régulière, toutes les sources sur les côtés bas à moins que le lit soit très épais et l'immersion basse.
 - a) Le lit sous-jacent est d'une étendue large
 - (1) Les sources gravitaires inclinées, le matériel est doux
 - (2) Les sources cuesta, le matériel sur le dessus est dur, de même caractéristique que les sources mesa.
 - b) Le lit sous-jacent est de petite étendue comme dans les sources à base ferme
 - (1) L'immersion des couches imperméables loin des collines; sources d'eau possibles éloignées
 - (2) L'immersion des couches imperméables à l'intérieur des collines; sources d'eau possibles seulement dans les ravins.
 - 3. Les lits imperméables ont des surfaces irrégulières
 - a) Le matériel poreux couché est épais et de large étendue; le contact est la non-conformité des sources de gravité, de gravité incliné, de mesa et de cuesta peuvent se produire, mais les sources vont être brusquement localisées au plus basses parties de contact.
 - b) Les sources de poches, le matériel poreux est non consolidé (talus, débris de glissement, de terrain, l'alluvion, du till, sédiments stratifiées, du sable emporté par le vent, des cendres volcaniques).
 - c) Source par débordement : le plancher irrégulier n'est pas continu, mais le lit poreux est saturé et déborde au contact latéral et ensuite commun à la fin de la réception des systèmes artésiens.
 - d) Source de barrage de formations géologiques. Irrégularités du sol ou plancher rocheux sous une plaine alluviale force l'eau à faire surface. Ceux-ci peuvent être des projections du sol du bassin, des projections de plus vieilles alluvions partiellement consolidées, des barrages lignés ou prises volcaniques.
 - e) Source de barrage de faille : barrage creusé par la formation de failles.
- C. Source Artésienne, due à des lits perméables entre des matériaux imperméables

1. Source artésienne immergée. Roche litée plus ou moins régulièrement, lits poreux inclinés, affleurant dans la vallée, habituellement sédimentaires et aussi une alternance d'écoulement de lave, d'écoulement de brèche, de tufs, de graviers.
2. Source artésienne par siphon. Roc en repli avec affleurement dans la vallée.
3. Source artésienne non litée. Roc non régulièrement lité mais la masse du matériel poreux est exposé pour recevoir l'eau et affleure dans la vallée. Se produit dans des tills et peut être dans d'autres roc.
4. Source artésienne par fracture. Toutes les conditions ci-haut (excepté celles sur les lits poreux) n'affleurent pas mais une ouverture permet à l'eau de s'échapper. Cette ouverture est due à la fracture avec ou sans faille.

D. Source dans le roc imperméable

1. Source tubulaire. Due aux canaux plus ou moins arrondis dans le roc ou roche imperméable.
 - a) Solution tubulaire ou source caverneuse due aux canaux de solution dans le calcaire, grès calcaire, gypse, sel.
 - b) Source tubulaire de lave : due aux cavernes et tunnels dans les écoulements de lave.
 - c) Source tubulaire mineur due aux canaux faits par le mouvement de l'eau, décomposition de racines d'arbres, des bandes de sables ou crique de rétraction, habituellement dans des sédiments non consolidés.
2. Source par fracture : due à des fractures composés de joints, de plaines litées, des joints colonnaire, ouverture due à un clivage en fissilité schisteux, de plaines inter-lité et de failles sédimentaires imperméables, ignées et métamorphiques rocs.
 - a) Source par fracture quadrillé. Due au système de fractures plus ou moins rectangulaires, une desquelles est parallèle à l'horizon.
 - b) Source par fracture hachée. Due à un système de fractures plus ou moins rectangulaire incliné vers l'horizon.

Source par fracture incliné. Due à des fractures inclinées, pas nécessairement systématique.

Annexe 2 : Clé de détermination de Meinzer : Classification basée sur le taux de décharge moyen
(CASTELLI, 2012)

| Classification basée sur le taux de décharge moyen | |
|---|------------------------------------|
| Valeur numérique | Décharge en unités métrique |
| 1 | Plus de 10 m ³ /s |
| 2 | 1 à 10 m ³ /s |
| 3 | 0,1 à 1 m ³ /s |
| 4 | 10 à 100 l/s |
| 5 | 1 à 10 l/s |
| 6 | 0,1 à 1 l/s |
| 7 | 10 à 100 cm ³ /s |
| 8 | Moins de 10 cm ³ /s |

Annexe 3 : Clé de dichotomique de Steven et Lawrence adaptée de Stevens et al. 2020 (SPRINGER et LEDBETTER, 2023)

| | | |
|---|--|---|
| 1 | Groundwater expression of flow is subterranean, emerging within a cave (a water passage, often through limestone or basalt), before emerging into the atmosphere or subaqueously into a surface pool or channel. Lentic (standing or slow-moving) and/or lotic (fast-moving) flow conditions can exist. | Cave Spring |
| | Groundwater expression of flow emerges or emerged in a subaerial setting (in direct contact with the atmosphere), including within a sandstone alcove or subaqueously (beneath a body of water), but not from within a cave. Lentic and/or lotic flow conditions can exist. | 2 |
| 2 | Groundwater is not expressed at the time of visit (the springs ecosystem is not flowing; the soil may be dry or moist, but not saturated). | 3 |
| | Groundwater is expressed at the time of visit; saturation, seepage, and/or flow are actively expressed (water and/or saturated soil are evident); Lentic and/or lotic flow conditions can exist. | 5 |
| 3 | Evidence of prehistoric groundwater presence and/or flow exists (e.g., paleotraverse, paleosols, fossil springs-dependent species, etc.), but no evidence of contemporary flow or aquatic, wetland, or riparian vegetation. | Paleospring |
| | Not as above. | 4 |
| 4 | Soil is dry or moist but is not saturated by groundwater. Groundwater is expressed solely through wetland or obligate riparian vegetation. | Hypocrene Spring |
| | Groundwater is expressed through saturated soil, or as standing or flowing water. Lentic and/or lotic flow conditions can exist. | 5 |
| 5 | Groundwater is expressed, but discharge is primarily lentic (standing or slow-moving), and flow downstream from the springs ecosystem may be absent or very limited. | 6 |
| | Groundwater is expressed; discharge is primarily lotic (fast-moving) and flows actively within and/or downstream, away from the springs ecosystem. | 11 |
| 6 | Groundwater is expressed as a patch of shallow standing water or saturated fine sediment or soil, usually strongly dominated by hydric soils and emergent herbaceous wetland vegetation, but sometimes can include woodland or forest vegetation (e.g., palm oases, swamp forests). The slope is usually low (<16°). These sites are colloquially called wet meadows or ciénegas and include some GDE fens. Lotic flow conditions prevail. | 7 |
| | Subaqueous flow creates an open, lentic body of water, typically more than a few square meters in area, not dominated by emergent wetland vegetation, and with or without outflow. | 8 |
| 7 | A wet meadow with seepage emerging from the margin of an active surface flow-dominated channel or floodplain, and subject to regular flood scour by the stream channel into which it feeds. | Helocrene Spring; secondarily Rheocrene |
| | A wet meadow with seepage emerging outside and away from an active surface flow-dominated channel or floodplain, and not subject to regular flood scour by a stream. | Helocrene Spring |
| 8 | The groundwater table surface is exposed as a pool with standing water, without a focused inflow source, and with no outflow. Lotic flow conditions exist. Many prairie pothole springs are classified as this springs type. | Exposure Spring |
| | A pool is formed by one or more focused, usually subaqueous, inflow sources; generally with outflow, if not frozen. | 9 |

| | | |
|----|---|---|
| 9 | Springs source is surrounded by, and has contributed to the formation of, a mound composed of chemical precipitate (e.g., travertine), ice, or organic matter. Both lentic and lotic flow conditions can occur. | 10 |
| | Springs source forms an open pool which is not surrounded by a springs-created mineral, ice, or organic mound; often with a focused outflow channel. Lentic flow conditions prevail, but lotic flow may occur in the outflow channel. | Limnocene Spring |
| 10 | Springs source is surrounded by, and/or emerges from a mound composed of carbonate (including travertine) or other chemical precipitate. Both lentic and lotic flow conditions can occur. | Mound-form Spring (Carbonate) |
| | Springs source is surrounded by, and/or emerges from a mound composed of ice in an ice-dominated landscape. Flow may be seasonal, and both lentic and lotic flow conditions can occur. Also colloquially called pingos or aufeis springs. | Mound-form Spring (Ice) |
| | Springs source is surrounded by, and/or emerges from a mound composed of organic matter, such as decomposing vegetation or peat. Lentic flow conditions generally prevail. Some GDE fens are classified as this springs type. | Mound-form Spring (Organic) |
| 11 | Springs flow emerges explosively and periodically, either by geothermally-derived or gas-derived pressure. Lotic flow conditions generally prevail. This springs type includes geothermal geysers and "coke-bottle" (CO ₂ gas-driven) geysers. | Geyser |
| | Springs flow emerges non-explosively, but by the action of gravity. | 12 |
| 12 | Artesian flow emerges from one or more focused points and rises 10 cm or more above ground level due to gravity-driven head pressure. After the flow falls to the ground, lentic or lotic flow conditions may prevail. Colloquially called artesian springs. | Fountain |
| | Springs flow may emerge from a focused point, but without substantial artesian rise above ground level. | 13 |
| 13 | Springs flow emerges from a bedrock cliff and not within an established surface flow channel (although a surface flow channel may exist on top of the cliff, directly above the source). | 14 |
| | Not as above. | 15 |
| 14 | Focused lotic flow emerges from a bedrock cliff and immediately cascades, usually as a madicolous sheet of whitewater flow, down the cliff face. | Gushet |
| | Flow emerges along a horizontal geologic contact, typically dripping along a seepage front and often creating a wet backwall. This springs type includes unvegetated or vegetated seepage patches on near-vertical or overhung bedrock walls. Both lentic and lotic flow conditions can occur. | Hanging Garden |
| 15 | Flow emerges from a surface flow-dominated channel bed. Upstream of the spring source, the channel may be a perennial stream or it may be dry. Lotic flow conditions generally prevail. These springs are subject to channel flood scour. | Rheocrene Spring |
| | Flow emerges from a non-bedrock dominated slope that does not have a surface flow channel upslope of the springs source. Sources may emerge within an upland habitat or a floodplain, but not within the bed of a surface flow channel. In some cases, these springs may emerge from the base of a cliff, but not from the cliff itself. Lotic flow conditions generally prevail. | 16 |
| 16 | Flow emerges from a 16-60° slope in an uplands habitat, not associated with a floodplain or channel that is subject to regular surface flow stream flood scouring. | Hillslope Spring |
| | Flow emerges from the bank or terrace of an active riparian channel or floodplain and the source is subject to regular flood scour by the stream into which it feeds. | Hillslope Spring; secondarily Rheocrene |

Annexe 4 : « Fiche Source »

Fiche Source : ID

| | |
|--|---|
| Date d'observation : Observateur : | Nom de la Source : |
| Cours d'eau et Masse d'eau associée : | Commune : |
| | Lieu-dit : |
| Risqué Hydrologique sur la masse d'eau : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | Coordonnée X : |
| | Coordonnée Y : |
| Sur PNR Brenne : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | Statut Foncier : <input type="checkbox"/> Privé <input type="checkbox"/> Public |
| | Propriétaire : |
| | Altitude : m |

Localisation sur Carte IGN :

Photo de la source :

Condition météo lors du passage :

Milieu naturel :

Précipitation récente : mm

| Paramètres Hydrogéologique | Typologie de la Source : (si résurgence à préciser / classement à part) |
|--------------------------------------|---|
| Substrat : Choisissez un élément. | Conditions d'émergence de l'écoulement <input type="checkbox"/> Subaérienne <input type="checkbox"/> Submergée <input type="checkbox"/> Cavernicole |
| Système aquifère associé : | Fréquence d'écoulement : <input type="checkbox"/> Pérenne <input type="checkbox"/> Saisonnier <input type="checkbox"/> Temporaire <input type="checkbox"/> Intermittent |

| Paramètres physiques : | Paramètres Chimiques |
|---|---|
| Température (°C) : | Taux d'oxygénation (en %) : |
| pH : | Nitrates (mg/L) : |
| | Nitrites (mg/L) : |
| Conductivité (en $\mu\text{S.cm}^{-1}$) : | Habitats liés à la source : |
| Débit (L.s-1) : | Type : <input type="checkbox"/> Rhéocrène ¹ <input type="checkbox"/> Limnocrène ² <input type="checkbox"/> Hélocrène ³ |
| Turbidité : <input checked="" type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyenne <input type="checkbox"/> Forte | Surface de la source : |
| Usage(s) de la source : | Aménagement : |
| | <input type="checkbox"/> Nul / <input type="checkbox"/> Faible / <input type="checkbox"/> Fort Description : |

| Etat de dégradation : | | | | | | |
|---|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Longueur de l'écoulement et état général du lit : | | | | | | |
| Paramètres | Indicateurs | 0 <5% | 1 5-25% | 2 25-50% | 3 50-75% | 4 75-100% |
| Fermeture du milieu (densité de végétation) EEE : | Propre à la source | <input type="checkbox"/> |
| | Autour de la source (extérieur) | <input type="checkbox"/> |
| Piétinement | Animaux Sauvages | <input type="checkbox"/> |
| | Animaux Domestiques (Bovins, ...) | <input type="checkbox"/> |
| | Humains (Tourismes, ...) | <input type="checkbox"/> |
| Encombrement | Présence de Chablis, Branches, rochers, ... | <input type="checkbox"/> |

| Paramètres | Indicateurs | Nul | Faible | Important |
|----------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Sédimentation | Accumulation de sédiments | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Pollution | Présence de déchets (Ménagers, végétaux) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | Présence d'excréments | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Eutrophisation | Espèces végétales indicatrices (Algues et espèces nitrophiles) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Assèchement | Anthropique (Captage, drainage, ...) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | Naturel | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

¹ **rhéocrène** : Sortant en un seul point précis du sol, elles sont à l'origine des cours d'eau.

² **limnocrène** : Ce sont des sources submergées, formant ainsi des milieux tels que des mares, des étangs, des lacs...

³ **hélocrène** : Elles apparaissent à la surface par suintement en plusieurs localisations d'un espace donné. Elles engendrent des habitats de type mouillères, tourbières ...

| Analyse des données : | |
|---|--|
| Note de dégradation : /53 | Etat de dégradation : <input type="checkbox"/> Nul [0 ;1] <input type="checkbox"/> Faible [2 ;13] <input type="checkbox"/> Moyen [14 ;27] <input type="checkbox"/> Important [28 ;41] <input type="checkbox"/> Très Important [42 ;53] |
| Facteur de Dégradation principal : <input type="checkbox"/> Fermeture du milieu <input type="checkbox"/> Piétinement <input type="checkbox"/> Encombrement <input type="checkbox"/> Sédimentation <input type="checkbox"/> Pollution <input type="checkbox"/> Eutrophisation <input type="checkbox"/> Assèchement | |
| Proposition à la restauration : | Si oui type d'action(s) envisagée(s) : |
| Remarques : | |

Annexe 5 : Répartition spatial des aménagements anthropique des sources (COMTE Théo, 2023)

