

TITRE : État des lieux des béals de la vallée de l'Arre, étude des externalités induites par leur utilisation.



BOURET Gaël – M2 GEMO

L'Université Toulouse - Jean Jaurès

Stage effectué du 13/03/25 au 31/08/25 à
la communauté des communes Pays Viganais

Sous la direction de Doriane Morata



Attestation sur l'honneur

Je soussigné/soussignée :

Nom, prénom : BOURET Gaël

Master 1 GAED

Parcours : GEMO

Année universitaire : 2024-2025

Certifie sur l'honneur que le document joint à la présente déclaration :

- Est un travail original, c'est-à-dire que :

o toute idée ou formulation tirée d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, mentionne explicitement et précisément leur origine

o toute source (site internet, recueil de discours, etc.) est précisément citée

o les citations intégrales sont signalées entre guillemets ou sous la forme d'un paragraphe clairement identifié lorsqu'il s'agit de citations longues

- N'a pas été rédigé, même partiellement, par une intelligence artificielle

- N'a pas été structuré, même partiellement, par une intelligence artificielle

- Ne s'appuie pas sur une synthèse réalisée par une intelligence artificielle (synthèse bibliographique par exemple)

- Ne présente pas d'illustration, carte, image, etc. générée par une intelligence artificielle

Par ailleurs, je déclare avoir utilisé une intelligence artificielle pour : [cocher la ou les cases si nécessaire]

Fait à Corriger l'orthographe et le style de mon mémoire

Traduire des passages de publications en langue étrangère. Dans ce cas, les passages utilisés dans le mémoire sont clairement identifiés et précisent quel logiciel d'IA a été mobilisé

Fait à Arbérats-Sillègue

Le 01/09/2025

Signature



Résumé

Dans un contexte de changement climatique où la ressource en eau devient de plus en plus limitée, la gestion durable des systèmes d'irrigation traditionnels est un enjeu majeur. En raison de son fonctionnement basé sur le détournement de l'eau des rivières, l'utilisation des béals dans les Cévennes est de plus en plus controversée. Ce système d'irrigation traditionnel gravitaire par canaux est inscrit à l'inventaire national du Patrimoine Culturel Immatériel français. Il utilise la gravité pour acheminer l'eau aux cultures via des canaux à ciel ouvert (béals). Autrefois très répandus et utilisés, ils alimentaient les villages, les jardins et les moulins mais servaient surtout à l'irrigation agricole des différentes cultures de la région. Aujourd'hui, cette technique ancestrale d'une grande importance patrimoniale pour la région voit son usage remis en question pour plusieurs raisons, l'abandon lié à la déprise agricole, les contraintes réglementaires, la pression croissante sur la gestion de la ressource en eau et l'évolution des pratiques vers des techniques plus efficaces. Ce sont là les enjeux concernant les béals qui sont à l'origine de ce stage. Commandité par la Communauté de Communes du Pays Viganais (CCPV) et l'Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes, ce stage a pour objectifs de comprendre les services écosystémiques rendus par ces ouvrages ainsi que de faire un état des lieux de la perception et de leur utilisation dans la vallée de l'Arre. Nous étudions les principaux enjeux liés aux béals à travers la recherche d'une réponse à cette problématique : Dans quelle mesure l'utilisation des béals pour les usages agricoles cévenols est-elle encore pertinente ?

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs missions explorant les externalités engendrées par ces canaux d'irrigation gravitaire ont été réalisées. Différents inventaires naturalistes (faune, flore, habitat) ont été effectués afin de comprendre les interactions existantes entre le béal et l'environnement ainsi que ses agrosystèmes associés. Mais l'aspect central d'un béal reste l'utilisation de l'eau, à la fois considérée comme une externalité négative et comme un potentiel service écosystémique. Des mesures de débit de l'eau circulant dans ces canaux ont permis de comprendre le phénomène d'infiltration, sans pouvoir étudier sa répartition souterraine. Le dernier point étudié concerne la perception patrimoniale des béals par les habitants locaux. Cet aspect a été exploré à travers des entretiens réalisés auprès de plusieurs acteurs locaux.

Les résultats de cette étude ont permis d'approfondir les connaissances sur les différents services écosystémiques rendus par les béals, sur leur importance culturelle et patrimoniale ainsi que sur leur usage dans la vallée de l'Arre. Ils apportent surtout un regard objectif sur la pertinence de l'usage agricole actuel et à venir de ce système d'irrigation. Des pistes de réflexion sur la modernisation des béals conciliant gestion durable de l'eau et maintien d'un système d'intérêt patrimonial ont finalement pu être proposées.

Mots clefs : Irrigation gravitaire, externalité, changement climatique, patrimoine, hydrologie

Abstract

In a context of climate change where water resources are becoming increasingly limited, the sustainable management of traditional irrigation systems is a major issue. Due to its operation based on the diversion of river water, the use of béals in the Cévennes is increasingly controversial. This traditional gravity-fed canal irrigation system is listed in the French national inventory of Intangible Cultural Heritage. It uses gravity to convey water to crops via open-air canals (béals). Once widespread and widely used, they supplied villages, gardens and mills but were mainly used for agricultural irrigation of the region's various crops. Today, this ancestral technique, of great heritage importance for the region, is seeing its use called into question for several reasons: abandonment linked to agricultural decline, regulatory constraints, increasing pressure on water resource management and the evolution of practices towards more efficient techniques. These are the issues surrounding the béals that prompted this internship. Sponsored by the Communauté de Communes du Pays Viganais (CCPV) and the Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes, this internship aims to understand the ecosystem services provided by these structures and to assess their perception and use in the Arre Valley. We are studying the main issues related to béals by seeking answers to this question: To what extent is the use of béals for agricultural purposes in the Cévennes still relevant?

To achieve these objectives, several missions exploring the externalities generated by these gravity-fed irrigation canals were carried out. Various naturalist inventories (fauna, flora, habitat) were conducted to understand the existing interactions between the béal and the environment, as well as its associated agrosystems. But the central aspect of a béal remains water use, considered both a negative externality and a potential ecosystem service. Measurements of the flow rate of the water circulating in these canals have helped to understand the infiltration phenomenon, without being able to study its underground distribution. The final point studied concerns the heritage perception of béals by local residents. This aspect was explored through interviews with several local stakeholders.

The results of this study have allowed for a deeper understanding of the various ecosystem services provided by béals, their cultural and heritage importance, and their use in the Arre Valley. Above all, they provide an objective perspective on the relevance of the current and future agricultural use of this irrigation system. Avenues for reflection on the modernization of béals, combining sustainable water management with the maintenance of a system of heritage interest, have finally been proposed.

Keywords: Gravity irrigation, externality, climate change, heritage, hydrology

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Doriane Morata, Dominique Lyszczarz et Morgane Costes Marre, qui ont tous les trois encadré mon stage. Leur confiance et leur bienveillance m'ont permis d'organiser mon stage avec une certaine autonomie. Leurs conseils avisés, leur expertise ainsi que leurs réseaux et contacts ont été indispensables au bon déroulement du stage.

Je voudrais ensuite remercier Romain Volkmann, qui m'a également beaucoup apporté en m'accompagnant sur le terrain et en me partageant ses compétences et connaissances.

Je remercie également les autres stagiaires de la communauté de communes du Pays Viganais, Sango Mouzas-Lemanski et Marion Mangué, qui m'ont respectivement aidé pour les parties entretien et cartographie du stage.

Je remercie toute l'équipe de la Communauté de Communes du Pays Viganais pour son accueil et sa bienveillance.

Je voudrais enfin remercier toutes les personnes ayant accepté de participer aux entretiens.

Sommaire

1. Introduction	p7
2. Contextualisation	p8
2.1 Les structures commanditaires de la mission	p8
2.2 Les béals: une dualité entre enjeux environnementaux et patrimoine identitaire	p9
2.3 Des missions de stage centrées sur la compréhension des externalités des béals	p15
2.4 Un territoire marqué par ses contextes hydrauliques, géologiques et agricoles	p18
3. État de l’art	p21
4. Méthodologie	p28
4.1 Description des zones d’études et des béals étudiés	p28
4.2 Quantification des pertes d’eau par mesure de débit	p32
4.3 Méthodes d’inventaires naturalistes	p34
4.4 Entretien avec les acteurs locaux	p39
4.5 Diagnostic des béals de la vallée de l’Arre	p40
4.6 Organisation des différentes tâches	p41
5. Résultats	p42
5.1 Quantification des pertes d’eau par mesure de débit	p42
5.2 Inventaires naturalistes	p45
5.3 Entretiens avec les acteurs locaux	p56
5.4 Diagnostic des béals de la vallée de l’Arre	p59
6. Discussion	p60
6.1 Services écosystémiques de soutien	p60
6.2 Services écosystémiques d’approvisionnement	p64
6.3 Services écosystémiques de régulation	p64
6.4 Services écosystémiques culturel	p65
6.5 Externalités négatives	p67
Conclusion	p69
Bibliographie et Annexes	p71

1. Introduction

L'irrigation gravitaire, est un des modes d'irrigation les plus anciens inventés par l'homme. Cette technique a révolutionné l'agriculture il y a 5 000 ans, d'abord en Mésopotamie et Égypte, et est encore le système d'irrigation le plus utilisé au monde. Mais aujourd'hui, dans les Cévennes, un système d'irrigation à canaux ouverts typique de la région, les béals, voit son utilisation être remise en question. Introduit par les Romains dans la région, ce système a grandement participé au développement des sociétés cévenoles, notamment l'agriculture qui a pu s'étendre sur des zones autrefois inexploitable. Cet outil agricole d'une grande importance patrimoniale, témoigne de l'adaptation de la gestion des ressources naturelles dans les vallées cévenoles.

Ces réseaux de canaux acheminant l'eau aux cultures à travers les vallées ont modelé le paysage des Cévennes et dicté un mode de vie transmis depuis des générations. La présence de ces canaux est aujourd'hui relictuelle pour diverses raisons. Alors que dans un contexte de changement climatique, où la gestion de l'eau est de plus en plus complexe et que la perte de biodiversité est toujours plus inquiétante, les béals pourraient présenter un intérêt dans l'adaptation des pratiques agricoles ainsi que pour la préservation des écosystèmes. C'est d'après cette réflexion que le stage a été organisé de manière à pouvoir répondre à la problématique suivante : Dans quelle mesure l'utilisation des béals pour les usages agricoles cévenols est-elle encore pertinente ?

C'est dans cet objectif, de déterminer quelle pourrait être la place des béals dans les vallées cévenoles comme celle de l'Arre, que la Communauté de Communes du Pays Viganais (CCPV), en partenariat avec l'Entente Interdépartementale Causse et Cévennes, a proposé ce stage qui s'inscrit dans le projet Eau et Climat (2024-2026) porté par la CCPV et financé par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée.

Pour répondre à cet objectif, ce stage a eu pour axe principal d'étudier les services écosystémiques rendus par les béals, tout en prenant en compte le fait qu'il existe des effets induits négatifs. Les collectes de données et autres entretiens avec les acteurs ont été réalisés majoritairement dans la vallée de l'Arre, bien qu'il ait été nécessaire d'aller étudier des béals de différentes vallées des Cévennes. C'est au travers de recherches bibliographiques, d'études de terrain et d'entretiens avec les acteurs locaux que la problématique a été traitée. Cette étude permet d'explorer les potentiels services écosystémiques, agricoles et patrimoniaux de ces canaux d'irrigation, mais aussi de contribuer à leur état des lieux ainsi qu'à leur reconnaissance.

Ce rapport commence par une contextualisation du stage avec la présentation des structures, du territoire et des enjeux du stage. Elle est suivie par une étude bibliographique synthétisant les informations de la littérature sur les systèmes d'irrigation gravitaire en générale. Les méthodologies de collecte des données et des informations sont ensuite détaillées. Puis, les résultats obtenus seront présentés et interprétés, avant leur mise en relation et de leur comparaison. Enfin, une conclusion permet de faire un bilan sur la contribution du stage dans les différents domaines abordés.

2. Contexte du stage

2.1 Les structures commanditaires de la mission

La Communauté de communes du Pays Viganais (CCPV) est un établissement public de coopération intercommunale (EPCI) situé dans le département du Gard, en région Occitanie. Créée en 1993, elle regroupe aujourd'hui 21 communes autour de la ville principale du Vigan. Elle a été créée pour mutualiser les moyens et pour une gestion plus cohérente des communes membres. Elle assure différentes missions, grâce auxquelles elle participe à un développement équilibré et durable du territoire. Les domaines d'action sont par exemple le développement économique, l'aménagement du territoire, l'environnement ou les actions sociales et culturelles.

Le territoire de la communauté de communes est marqué par une forte identité patrimoniale avec un mode de vie et des traditions cévenoles, des enjeux de développement local ou encore des paysages ainsi qu'une nature typique. Une partie de la CCPV est d'ailleurs incluse dans le Parc national des Cévennes, ce qui lui demande une gestion du territoire conciliant préservation de l'environnement et développement économique et touristique.

L'Entente Interdépartementale Causses et Cévennes est une structure de coopération créée pour gérer et valoriser le territoire inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO au titre du paysage culturel de l'agropastoralisme méditerranéen depuis 2011.

L'Entente est en charge de la gestion du bien UNESCO "Causses et Cévennes", ce paysage façonné par l'agropastoralisme, exercé dans un environnement particulier. Elle est portée par les 4 départements concernés par l'inscription, l'Aveyron, le Gard, l'Hérault et la Lozère et s'appuie sur des co-gestionnaires, dont le Parc national des Cévennes. Bien que la gestion technique soit assurée par des collectivités territoriales, c'est l'État français qui est garant devant l'UNESCO de la conservation du site. À ce titre, la gouvernance est présidée par un préfet coordonnateur et s'appuie également sur les différents services de l'État concernés. Enfin, bien que les communautés de communes ne soient pas directement partie-prenantes dans la gouvernance du site, elles représentent néanmoins des partenaires essentiels en faveur d'un développement territorial conciliant les enjeux patrimoniaux du territoire. C'est en coopération avec toutes ces structures que l'entente peut mener à bien ses différentes missions telles que préserver et valoriser les paysages culturels liés au pastoralisme. Soutenir et accompagner les activités agricoles traditionnelles et les adapter aux enjeux actuels ou encore à la sensibilisation des habitants et visiteurs à l'histoire, à la culture et aux spécificités du territoire Causses et Cévennes.

2.2 Les béals: une dualité entre enjeux environnementaux et patrimoine identitaire

La gestion des ressources et de l'eau plus particulièrement est aujourd'hui l'une des préoccupations les plus importantes pour l'homme. Son utilisation a toujours influencé le mode de vie des sociétés humaines, mais de nos jours, face au changement climatique, la gestion de l'eau doit être adaptée aux contextes actuels et à venir afin de pérenniser son utilisation. Les montagnes sont des milieux particulièrement sensibles et sont les premiers impactés par les changements globaux. Malgré la diversité d'environnements montagnards due à leur topographie et leur situation géographique, les montagnes subissent généralement des modifications plus importantes et plus rapides que les milieux de plaine. Les premiers changements observables sont les températures et précipitations, qui sont les piliers de l'équilibre des dynamiques écosystémiques et des activités humaines. Les montagnes et vallées des Cévennes n'échappent pas à la règle, malgré les grandes quantités de pluie apportées notamment par les épisodes cévenols, le contexte climatique et topographique de ces vallées enclavées a nécessité une adaptation de la part des habitants qui voulaient conquérir ces versants escarpés. L'un des plus grands défis était l'expansion de l'agriculture, en effet les vallées étroites et versants abrupts n'étaient pas propices à la plantation et à l'exploitation de cultures. Pour pallier ces difficultés, des terrasses créant des surfaces planes sur les versants ont été construites. L'aménagement des pentes en terrasses s'associe à la mise en place de systèmes d'irrigation gravitaire indispensables aux cultures et dont les béals, nom vernaculaire désignant des canaux, sont l'élément central.

Le terme béal désigne le canal qui transporte l'eau pour irriguer les cultures, il n'est pas un système d'irrigation en tant que tel, c'est la manière dont l'agriculteur utilise cette eau pour irriguer qui détermine le type d'irrigation. Ce système permet d'acheminer l'eau depuis des cours d'eau ou des sources de surface et de la distribuer aux parcelles agricoles (voir figure 1 et 2), jardins privés et autres, par un réseau de canaux de différentes tailles et de différentes natures, utilisant la gravité comme force motrice. L'agriculture cévenole basée sur l'irrigation gravitaire par canaux concerne principalement l'arboriculture (pommiers), le maraîchage, la culture d'oignons et de prairies. Cette technique est surtout utilisée dans des zones où les parcelles n'ont pas d'accès direct à l'eau, soit trop éloignées des cours d'eau soit situées sur des versants de vallée. La faible pente des béals permet d'amener l'eau à plusieurs kilomètres de la prise, dans des zones naturellement pauvres en eau, où les différentes activités humaines seraient limitées sans ces aménagements. Les canaux peuvent être creusés directement dans le sol, dans la roche ou être des canaux maçonnés ou bétonnés. L'entrée de l'eau se fait grâce à un seuil en arc-en-ciel construit en travers de la rivière, il oriente le flux vers l'entrée du béal tout en laissant circuler une partie de l'eau dans le lit naturel. Leur construction et leur entretien nécessitent une bonne compréhension des notions hydrauliques comme la pente, le débit et l'infiltration, mais demandent également une maîtrise des gestes techniques artisanaux de la construction ou réparation (maçonnerie, curage ou creusement).

Historiquement, les béals étaient utilisés pour étendre ou améliorer l'agriculture (culture et élevage) dans des zones arides ou pentues, pour l'alimentation des moulins hydrauliques (à grain, à huile, etc.), pour l'approvisionnement en eau de certains hameaux et mas (fermes traditionnelles), structurant ainsi le paysage en formant un réseau hydraulique dense intégré à l'environnement.



Figure 1 : Photo du béal d'Arre avec le seuil et la martelière à la prise

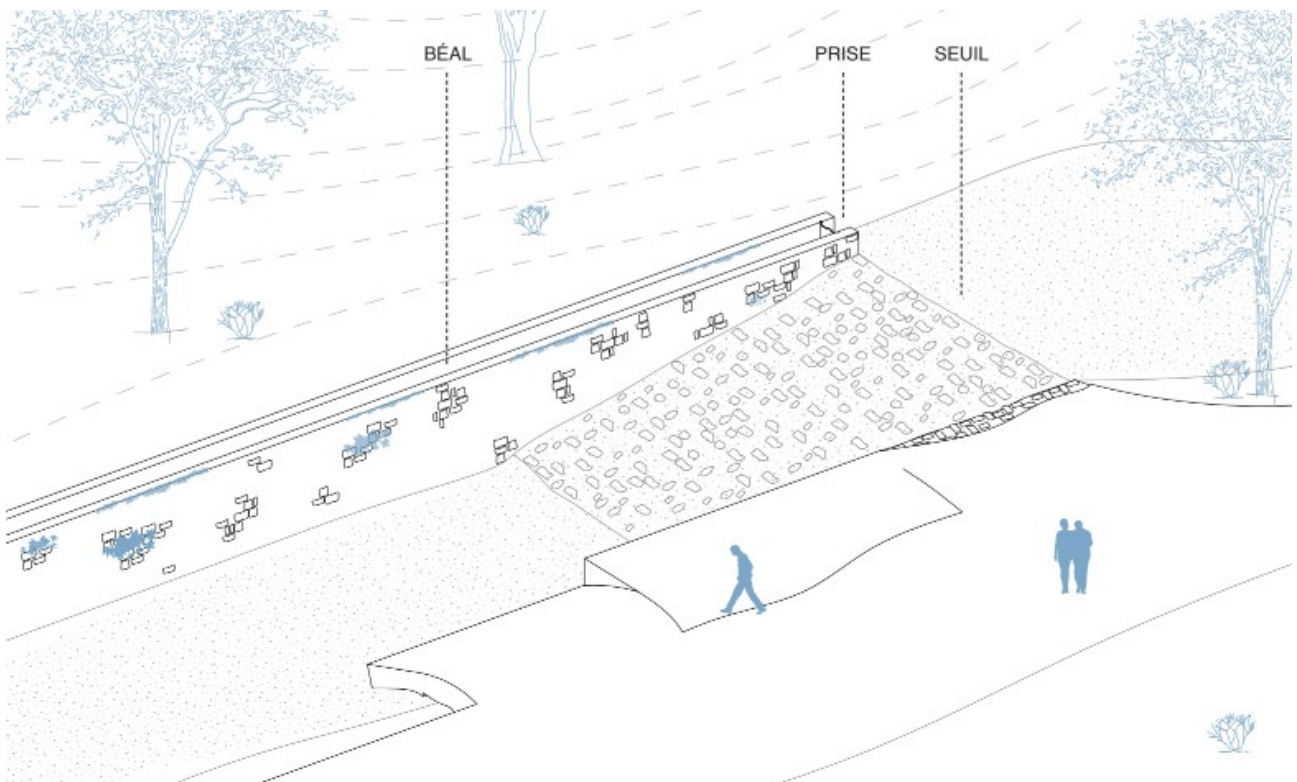


Figure 2 : Schéma de fonctionnement du béal d'Arre (réalisé par Mathieu Sauvage, stagiaire à la CCPV)

Les béals, principalement utilisés pour l'agriculture, sont le plus souvent en eau durant la période estivale, l'entrée d'eau et le débit sont contrôlés manuellement par des martellières faisant office de vannes. Les ramifications des canaux permettent d'approvisionner différents propriétaires qui se répartissent l'eau grâce à un système de tours d'eau, et ils se partagent également l'entretien des canaux. En effet, l'utilisation d'un béal est rarement individuelle, même s'il existe des canaux d'une centaine de mètres utilisés par un seul propriétaire. Mais la majorité du temps, un canal fait plusieurs centaines de mètres et traverse plusieurs propriétés, chaque propriétaire possédant un droit d'eau pouvant se servir de l'eau y circulant. Un droit d'eau peut être soit un titre, qui ne nécessite pas d'autorisation préfectorale, accordé avant la Révolution, soit une autorisation provisoire attribuée par l'administration (Pellaton., 2021).

Mais cette gestion partagée, ainsi que le respect des droits, peuvent être sources de conflits entre les usagers ou avec les autorités (DDTM), un voisin qui n'entretient pas sa partie du béal, des tours d'eau non respectés, droits d'eau perdus, etc.

Cependant, depuis 2004, il est possible pour plusieurs usagers de béal souhaitant structurer la gestion de l'ouvrage, de créer une ASA ou une ASL (moins adaptée). Une ASA (Association Syndicale Autorisée) est une association de propriétaires créée par arrêté préfectoral. Elles sont créées dans le but d'entretenir des ouvrages d'intérêt collectif et public à frais communs ; elles permettent également d'organiser plus rigoureusement l'entretien des canaux ou le partage des tours d'eau.

Quant aux ASL (Associations Syndicales Libres), elles reposent sur le volontariat, contrairement aux ASA où tous les utilisateurs sont concernés par l'association et les tâches partagées. Dans une ASL, une personne utilisant un béal peut ne pas adhérer à l'association et éviter ainsi les entretiens ou autres que les autres usagers doivent se partager.

Menaces actuelles et enjeux de conservation :

La vie dans les Cévennes a toujours été dépendante du climat et de l'accès à l'eau. Ce climat particulier de la région, avec des périodes de fortes pluies en automne (épisodes cévenols) et les sécheresses estivales, tend vers une instabilité de plus en plus importante avec le changement climatique. Une quantité d'eau pluviale générale constante, mais accompagnée d'épisodes cévenols et de sécheresses de plus en plus intenses, créant de fortes inondations hivernales. Il est également attendu une perte de 40 % du débit des cours d'eau en périodes d'étiage en France, d'après les données du projet Explore2 porté par INRAE et OiEau. Ces changements, entraînant des périodes alternant entre surabondance et déficit d'eau, contraignent les agriculteurs et autres utilisateurs à adapter leur activité.

C'est le cas des béals, dont la transmission est aujourd'hui en danger dans les Cévennes. D'abord abandonnés suite à la déprise agricole du 19^e siècle, leur utilisation se trouve aujourd'hui confrontée

au contexte socio-économique associé au contexte climatique, demandant une agriculture toujours plus efficiente, avec une productivité maximale tout en étant la plus économe et la moins consommatrice en eau possible. Ceci entraîne le plus souvent l'abandon du système ou son remplacement. Pour ceux conservant son utilisation, une réglementation est mise en place afin de contrôler le prélèvement dans les cours d'eau naturels.

En plus de la déprise agricole, l'urbanisation de la région, avec la construction d'habitations dans des zones agricoles et sur des propriétés associées à des canaux, impacte directement leur usage. Un autre phénomène croissant dans les Cévennes est l'arrivée de nouveaux propriétaires (beaucoup de résidents secondaires). Les anciennes parcelles agricoles achetées par d'autres propriétaires ne sont plus utilisées ou alors converties en un système d'irrigation plus moderne. Cet abandon ou conversion limite les potentielles réhabilitations d'anciens béals ainsi que le maintien de ceux encore utilisés. Si une partie du béal est toujours utilisée par un autre utilisateur, mais qu'il se retrouve seul à l'entretenir, alors sa gestion devient difficile à assumer. L'aspect patrimonial ne suffit pas aux gens pour investir du temps et de l'argent, ils doivent y trouver un intérêt. De plus, ils devraient payer une taxe sur le prélèvement d'eau du canal même en l'absence d'usage de l'eau. Il existe également une perte de membres au sein des associations collectives (ASA) qui préfèrent se tourner vers une irrigation sous pression moins contraignante.

Ces phénomènes réduisent l'activité agricole de la région et impactent l'utilisation et la transmission de cette technique d'irrigation. Les béals sont au cœur de tous ces enjeux, considérés comme un système « gaspilleur » d'eau, leur utilisation est de plus en plus réglementée.

Les différentes réglementations :

Un autre frein au maintien de ce système d'irrigation est les contraintes réglementaires qui lui sont appliquées. Les usages de l'eau sont divers, tourisme, industrie, consommation, agricole, tourisme et autres. Il paraît donc nécessaire de concilier répartition de l'eau pour les usagers et le maintien d'une certaine quantité et qualité d'eau des cours d'eau, ainsi que la préservation des écosystèmes associés, au travers d'une gestion équilibrée de la ressource.

L'usage de l'eau par les béals est considéré comme anthropique car elle repose sur un détournement artificiel des cours d'eau pour des usages humains ; cette pratique se voit donc concernée par certaines réglementations.

Pour commencer, tout prélèvement d'eau de surface pour un volume supérieur à 1 000 m³/an, ponctuel ou gravitaire, est encadré par l'article L 214-1 du code de l'environnement, et doit être autorisé par la DDT(M).

Pour diriger l'eau du cours d'eau vers l'entrée du béal, des seuils ou barrages sont construits en travers de la rivière ; ce détournement d'une partie de la rivière entraîne une obligation de restitution constante, avec une quantité minimale permettant de restituer l'eau en aval et ainsi

préservé les milieux aquatiques et la continuité écologique. C'est le principe de débit réservé d'une rivière. Ce débit réservé ne doit pas être inférieur au 1/10^e du module du cours d'eau. Le module est le débit moyen interannuel (sur 15 ans minimum).

En cas de sécheresse, et de débit du cours d'eau trop faible, le béal doit pouvoir être fermé pour arrêter la dérivation d'eau et ainsi maintenir un débit minimum biologique de la rivière. Ce débit réservé est imposé par l'article L 214-18 de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006 (LEMA).

Pour tout travail sur les béals considéré comme plus important que l'entretien courant, une autorisation auprès de la police de l'eau doit être obtenue. En cas de travaux sur un béal situé dans le cœur du Parc national des Cévennes, une autorisation du parc doit également être demandée d'après le décret de création du Parc (2009).

Enfin, il y a la redevance pour prélèvement sur la ressource en eau d'après l'article L.213-10-9 du code de l'environnement, que doivent payer les usagers de l'eau auprès des agences de l'eau. Cette redevance dépend de la quantité d'eau prélevée par le béal.

Les externalités :

Avant tout, il est nécessaire de définir certains termes qui seront souvent utilisés dans ce rapport. La notion de biodiversité sera abordée à deux échelles différentes. Quand nous étudierons les espèces de faune ou de flore, nous parlerons de diversité spécifique. La diversité écologique désignera elle, la compréhension des interactions entre les organismes vivants d'un environnement ainsi que les relations existantes avec celui-ci.

La disparition de ce type d'irrigation pourrait entraîner la perte de certaines activités traditionnelles qui ont forgé l'identité ainsi que le paysage de la région depuis des siècles. Mais pas seulement, c'est également des fonctions écologiques et hydrologiques qui risquent de ne plus être assurées en cas de disparition des béals. Ces fonctions sont considérées comme des externalités, ce sont des effets indirects et involontaires d'un système, d'une décision ou autre. Les effets induits par un béal peuvent être des bénéfiques, appelés externalités positives, ou alors des pertes ou contraintes, nommées externalités négatives.

Ces canaux en eau durant les périodes estivales ou toute l'année, apportent une certaine humidité dans un environnement méditerranéen sec. Ceci permet l'accueil d'une biodiversité spécifique naturellement absente dans des zones où la mosaïque des habitats a été diversifiée par l'implantation de béal. Les réseaux de canaux traversant le territoire favorisent la continuité écologique pour de nombreuses espèces qui utilisent ces canaux et leur végétation associée, faisant office de corridor, pour se déplacer. De potentiels rôles hydrologiques tels que la recharge des nappes, l'atténuation des inondations ou encore l'amélioration de la qualité du sol pourraient

également ne plus être remplis. En effet, la faible pente des canaux creusés permet une certaine infiltration dans le sol. Ces infiltrations peuvent participer à la régulation du cycle de l'eau dans une certaine mesure, même si la répartition de cette eau dans le sol est difficile à déterminer.

Malgré cela, l'utilisation de béal induit également des effets négatifs de plus en plus impactants en période de sécheresse estivale importante et plus longue. Du fait que l'eau utilisée pour l'irrigation provient directement du détournement d'un cours d'eau naturel, l'un des principaux impacts de ce système est la diminution de la quantité d'eau sur le tronçon court-circuité de la rivière. Cette diminution en période estivale représente un manque pour tous les autres usages et activités liés à la rivière, sans compter les impacts environnementaux avec une altération des milieux aquatiques notamment (assèchement, perte d'habitats, de continuité...). Un autre effet notable est la diffusion de produits phytosanitaires ou d'autres polluants dans l'environnement. Étant un système où la quantité d'eau apportée aux cultures est peu ou pas contrôlée, la quantité d'eau de ruissellement est plus importante que pour les autres systèmes d'irrigation, augmentant ainsi les risques de dispersion des polluants. L'eau circulant dans les cultures peut lessiver les sols agricoles, et entraîner les intrants (nitrates, engrais, pesticides) vers les cours d'eau (Ladki, 2004).

Tous ces effets, négatifs comme positifs, ne sont pas systématiques. Ils dépendent de nombreux facteurs et sont bien souvent difficiles à identifier ou quantifier. Il existe d'ailleurs très peu d'études traitant de ces effets induits. Mais ce sont des idées largement répandues et renforcées par des observations et ressentis d'utilisateurs. L'un des objectifs de ce stage est d'apporter des éléments concrets afin d'essayer de confirmer ou réfuter l'existence de certaines de ces externalités, positives comme négatives. Et si externalités il y a, il s'agira de comprendre si le béal est une technique d'irrigation durable ou qu'elle présente un intérêt face au changement climatique.

Les services écosystémiques : externalités positives

C'est en étudiant ces externalités positives qu'il nous sera possible de comprendre le rôle que joue ce système d'irrigation face aux enjeux actuels mêlant changement climatique, pression anthropique, préservation des écosystèmes, gestion de la ressource en eau et identité culturelle.

Si l'on se détache du simple rôle d'acheminement de l'eau, le système d'irrigation gravitaire par canaux ouverts crée des externalités positives. Ces avantages peuvent être appréhendés sous forme de services, ici, nous nous intéressons aux services écosystémiques.

Les services écosystémiques désignent l'ensemble des bénéfices que les écosystèmes naturels apportent aux êtres humains. Ces services sont indispensables à notre bien-être, à notre santé, à notre économie et à la préservation de l'environnement. Ils représentent une manière d'associer aux milieux naturels une valeur supérieure à leur "simple" importance dans l'équilibre écologique, en soulignant leur rôle pour nos sociétés. Ce principe est de plus en plus intégré dans les décisions économiques, politiques et territoriales, notamment en matière de gestion durable des ressources naturelles.

Les services écosystémiques regroupent différents types de bénéfices répartis en quatre formes de services :

-Service écosystémique de soutien

Il correspond aux processus écologiques qui sont vitaux pour la production des trois autres types de services. Cela comprend par exemple le bon fonctionnement du cycle des nutriments, le maintien d'une biodiversité écologique et spécifique, ou encore favoriser les producteurs primaires.

-Service écosystémique d'approvisionnement

Il fait référence à la récupération, l'utilisation et la consommation des produits directement extraits dans l'environnement, qui concerne essentiellement la fourniture d'eau pour l'agriculture dans le cas des béals.

-Service écosystémique de régulation

Ce sont les processus écologiques qui nous sont bénéfiques car ils permettent d'atténuer certains impacts mondiaux et locaux. Ils peuvent intervenir dans la régulation du cycle de l'eau ou dans l'atténuation des inondations et des sécheresses.

-Service écosystémique culturel

Désigne les avantages non matériels engendrés grâce aux écosystèmes, tels que la valeur patrimoniale et paysagère ou les relations sociales.

2.3 Des missions de stage centrées sur la compréhension des externalités des béals

Les béals font partie des attributs culturels du paysage de l'agropastoralisme des Causses et des Cévennes. Un attribut culturel représente une caractéristique paysagère constitutive de la valeur universelle exceptionnelle d'un site inscrit sur la Liste du Patrimoine Mondial. Matériel (bâti) ou immatériel (savoir-faire et pratique), chaque attribut permet de définir plus précisément les singularités paysagères et culturelles d'un site inscrit. Ainsi, dans le cas des Causses et des Cévennes, les béals, éléments linéaires bâtis par l'Homme, témoignent de la culture agropastorale et de ses évolutions.

Cette reconnaissance des béals, en tant qu'élément matériel patrimonial, se fait au titre de la convention du Patrimoine Mondial mise en place par l'UNESCO en 1972. Il s'agit d'un outil international de protection collective du patrimoine naturel et culturel de valeur exceptionnelle et universelle, c'est-à-dire concernant l'ensemble de l'humanité. Les Causses et les Cévennes sont inscrits sur la Liste du Patrimoine Mondial depuis 2011 dans la catégorie des paysages culturels. Cette catégorie, apparue en 1992, regroupe des sites, principalement ruraux, témoignant des établissements humains par leur interaction avec l'environnement résultant de paysages façonnés et de pratiques culturelles spécifiques. La catégorie des paysages culturels a la particularité d'intégrer

à la fois des attributs matériels et immatériels, mais il faudra attendre 2003 pour que l'UNESCO mette en place un outil spécifique visant la reconnaissance des savoir-faire et des pratiques, la convention du patrimoine culturel immatériel (PCI).

Alors que la liste du patrimoine mondial nécessite de justifier de l'exceptionnalité d'un site ou d'un monument au travers notamment d'études comparatives, la liste du patrimoine immatériel est quant à elle inclusive, l'existence de communautés pratiquantes et d'un consensus local sur la valeur patrimoniale de ces pratiques sont les principales conditions.

Les béals, en tant qu'élément patrimonial, ont la particularité d'avoir à la fois une dimension physique liée à leur mode constructif et leur place dans le paysage, ainsi qu'une dimension immatérielle liée à leur usage par les communautés irrigantes. Ce second aspect patrimonial fait l'objet de démarches spécifiques indépendamment de l'inscription des Causses et des Cévennes. En effet, l'irrigation gravitaire a été reconnue au PCI de l'UNESCO en 2023 à l'initiative de 7 pays : Autriche, Belgique, Allemagne, Italie, Luxembourg, Pays-Bas et Suisse.

La France pourrait porter prochainement un dossier avec d'autres États afin de s'agréger à cette inscription. Une des conditions préalables étant que l'État Partie ait par ailleurs déjà reconnu cette pratique dans son inventaire national du patrimoine immatériel. Concernant l'irrigation gravitaire par canaux, cette démarche a abouti en 2024, portée par l'Association pour la Sauvegarde de l'Irrigation Gravitaire et des ouvrages associés (ASAIG). L'inscription au PCI UNESCO implique par ailleurs l'élaboration d'un plan de sauvegarde et de valorisation, ce projet d'inscription renforcera donc le niveau d'engagement de l'État en faveur de la protection de ce patrimoine, par ailleurs déjà acté à travers l'inscription PCI France.

L'Entente Causses et Cévennes souhaiterait présenter un dossier de candidature auprès de l'UNESCO pour une reconnaissance internationale de l'irrigation traditionnelle.

C'est dans ce contexte et dans le cadre du projet Eau et Climat de la CCPV qu'a été proposé ce stage, qui est co-porté par l'Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes et la communauté de communes du Pays Viganais.

Il s'inscrit donc également dans le projet Eau et Climat : Agir plus vite, plus fort sur les territoires, porté par la CCPV et financé par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. Ce projet vise à comprendre comment adapter au mieux le territoire face au changement climatique et notamment à la rareté de la ressource en eau. Il est décliné en 3 axes :

-Mieux connaître la ressource et son devenir et proposer des outils d'aide à la décision pour les collectivités (Axe 1) ;

-Accompagner le monde agricole dans ses stratégies d'adaptation au changement climatique et favoriser les réflexions collectives et l'innovation (Axe 2) ;

-Faire monter en compétence l'ensemble de la population sur le sujet de l'eau en s'appuyant sur une démarche participative et un réseau d'experts et organiser une gouvernance locale et territorialisée de l'eau (Axe 3).

Le stage est concerné par l'Axe 2, pour lequel il va permettre de mieux comprendre la place des béals dans l'agriculture locale, ainsi que la viabilité de ce système face au changement climatique.

Cela pourra aiguillé les stratégies d'adaptation ou de remplacement des béals sur le territoire. En outre, ce travail permettra également de mieux comprendre les spécificités locales autour de la question des béals dans un contexte multi-acteurs ceci afin d'apporter un regard objectif, d'illustrer les problématiques actuelles et de confronter des points de vue différents.

Les informations obtenues sur les externalités positives des béals contribueront à alimenter les argumentaires et plaidoyers en faveur du maintien des béals sur le territoire des Causses et Cévennes dans un contexte marqué par l'évolution des pratiques agricoles (déprise, modernisation), la diminution de la ressource en eau et un cadre réglementaire plus contraignant. Le réseau international œuvrant actuellement à la reconnaissance de l'irrigation gravitaire par canaux représente par ailleurs une opportunité pour comparer les perceptions et cadres législatifs entre différents pays.

Les attentes de l'Entente et de la CCPV peuvent être regroupées en trois objectifs principaux :

- Comprendre les services écosystémiques rendus par ces ouvrages et leur importance dans le contexte climatique actuel,
- Faire un état des lieux de la gestion et perception des béals, en les comparants à d'autres systèmes d'irrigation gravitaire utilisés dans d'autres pays,
- Contribution à un diagnostic des béals de la vallée de l'Arre.

La réalisation de ces objectifs passera par des missions explorant différents domaines associés à ce mode d'irrigation. La détermination des potentiels services écosystémiques rendus par les béals nécessitera l'étude de l'agriculture, de la faune, de la flore, des habitats, de l'importance patrimoniale et de l'hydrologie. Pour explorer ces sujets, des inventaires naturalistes serviront à récolter des informations sur la biodiversité écologique et spécifique, ainsi qu'à leur interaction avec les béals. Des mesures de débit permettront d'appréhender la quantité d'eau perdue et restituée par le canal au milieu naturel.

Pour l'aspect agricole et patrimonial, les informations récoltées proviendront de la littérature et seront complétées par des entretiens effectués auprès d'acteurs. Ces entretiens serviront également à la compréhension de la perception de ce système d'irrigation. Des recherches bibliographiques sont aussi prévues pour comparer le béal avec d'autres systèmes plus ou moins similaires, utilisés dans d'autres pays.

La dernière partie concerne le diagnostic des béals de la vallée de l'Arre, qui a pour intérêt principal de réactualiser les données sur les béals et l'irrigation en général de la vallée. Ce qui est attendu est une cartographie des ouvrages avec un maximum d'informations les concernant. Cette centralisation des données facilitera la compréhension de leur organisation pour la CCPV, et servira de modèle pour d'autres vallées où le même travail doit être réalisé. La collecte d'informations passe par de la prospection ainsi que des entretiens avec les acteurs locaux. Cette réactualisation permettra aussi de se rendre compte de l'évolution de l'utilisation des béals dans la vallée en

comparant la cartographie actuelle avec une plus ancienne et grâce aux récits des personnes rencontrées.

De plus, l'Entente Causses Cévennes a pour mission de mener l'inventaire patrimonial des attributs culturels du site inscrit sur la Liste du Patrimoine Mondial. À ce titre, l'identification et la cartographie des béals de la vallée de l'Arre contribuera à faciliter le travail d'inventaire.

2.4 Un territoire marqué par ses contextes hydrauliques, géologiques et agricoles



Figure 3 : Carte de localisation des Cévennes

Les Cévennes forment un territoire montagneux situé au sud du Massif central, principalement à cheval sur les départements de la Lozère, du Gard et de l'Ardèche. Elles représentent la limite sud-est du massif central (voir figure 3), marquant la transition entre les hautes terres volcaniques et les plaines méditerranéennes. Ce territoire, inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO, possède une grande richesse paysagère, alternant entre des versants schisteux abrupts couverts de forêts denses et des monts granitiques culminant jusqu'à 1699 m d'altitude. Ces paysages sont le fruit d'une association entre une diversité géologique ainsi qu'un climat typique de la région.

On distingue les basses Cévennes des hautes Cévennes. Les basses Cévennes constituent un réseau de vallées parallèles aux profils encaissés (les valats), séparées par des crêtes (les serres). La géologie y est dominée par le schiste et plus localement par le granite (voire figure 4). Les hautes Cévennes regroupent, quant à elles, les principaux massifs granitiques, le Mont Lozère, le Mont Aigoual et le Mont Bougès. Bien que la topographie y soit moins tourmentée, le réseau hydrographique est riche et de nombreuses rivières prennent ici leur source, dont le Tarn et l'Hérault.

Ces contextes particuliers conditionnent un réseau hydrographique dense, composé de rivières de fonds de vallée ainsi que de ruisseaux sur les versants. Ils sont alimentés d'une part, par les causses calcaires qui font office de château d'eau, et d'autre part, par les montagnes granitiques qui présentent des zones humides importantes, stockant l'eau et la relâchant par des ruisseaux.

Les Cévennes sont notamment connues pour leur météo particulière, avec notamment les phénomènes du même nom, les épisodes cévenols. Situées à la croisée de plusieurs influences climatiques, on retrouve principalement l'influence d'un climat méditerranéen, montagnard et continental. Cette association climatique engendre des hivers froids avec d'importantes chutes de neige sur le haut bassin versant, ainsi que des étés chauds et secs. C'est en automne, lorsque la mer Méditerranée est encore relativement chaude, que les masses d'air qu'elle génère sont encore humides et chaudes, que les fameux épisodes cévenols vont se former. Lorsque ces masses d'air rencontrent les reliefs des montagnes cévenoles, elles sont contraintes de passer au-dessus. Cette montée en altitude s'accompagne d'une baisse de température qui entraîne la perte de la capacité de rétention d'eau des masses d'eau, qui vont donc relâcher leur stock sous forme de précipitations. De plus, ces masses d'air, plutôt que de s'élever au-dessus des sommets, restent bien souvent bloquées par le relief ainsi que par des masses d'air plus froides en altitude. C'est cette capture des masses qui rend les phénomènes aussi localisés et intenses

Carte des grands ensembles géologiques des Cévennes

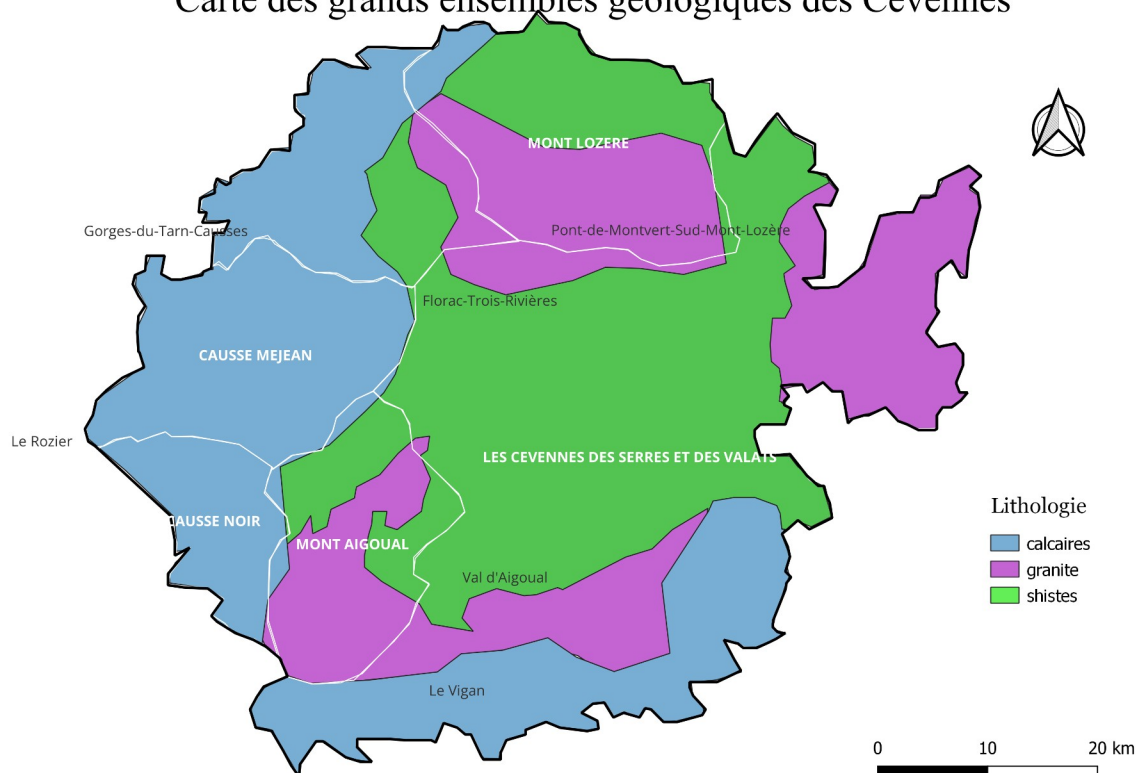


Figure 4 : Carte des ensembles géologique des Cévennes

Malgré le fait qu'il s'agisse du seul parc national français habité, ce territoire reste faiblement urbanisé, avec une densité de population inférieure à 30 habitants/km². Ce qui lui vaut d'ailleurs le label de Réserve internationale de ciel étoilé (RICE) du fait de sa faible pollution lumineuse.

La région est marquée par une forte identité, principalement liée à son agriculture. Autrefois connue pour la culture de la châtaigne, des pommiers, la sériciculture (élevage du ver à soie) ainsi que le pastoralisme sur les hautes terres. Les agriculteurs de la région utilisaient la technique typique de la culture en terrasse. Ce système, adapté à la topographie des versants escarpés, permet, grâce à la construction de murs en pierre sur les versants exposés, de créer des parcelles avec un sol plus horizontal, plus profond et retenant mieux l'eau de pluie ou de ruissellement. Associé à ces terrasses, le béal permet, grâce à son système gravitaire, d'irriguer les terrasses situées jusqu'à des centaines de mètres au-dessus du niveau des rivières.

Mais à la suite de nombreuses épidémies sur les cultures et la déprise agricole du vingtième siècle, les types de culture ont changé. Aujourd'hui, on y pratique principalement de l'arboriculture, du maraîchage et la culture d'oignons, mais les surfaces agricoles ont grandement diminué. Jusqu'au milieu du 19ème siècle, les vallées cévenoles étaient majoritairement ouvertes, la culture sur terrasses modelait fortement le paysage. Elles se trouvent aujourd'hui recouvertes à 74 % de forêt (contre 15 % en 1850), composée principalement de résineux introduits pour la sylviculture, de quelques châtaigneraies relictuelles, de chênaies, ainsi que de hêtraies et de landes en altitude.

3. État de l'art

Cet état de l'art répertorie les informations sur l'histoire et le fonctionnement de différents systèmes d'irrigation gravitaire associés à des canaux comme les béals. Il recense aussi ce que la littérature contient sur les services écosystémiques rendus par ce type d'irrigation. Il n'existe cependant que peu (voire aucune) d'études scientifiques relatant les potentiels rôles hydrologiques ou écologiques de ce genre de système. Des articles lus affirment l'existence d'externalités sans explication ni étude concrète. Cette synthèse bibliographique sert donc de point de repère pour déterminer les types d'actions à mener durant le stage, dont les résultats viendront conforter ou non les affirmations sans fondement de la littérature. Mais ces affirmations ne viennent en aucun cas appuyer ou remplacer les données récoltées durant ce stage.

Définition historique et fonctionnelle :

Les systèmes d'irrigation gravitaire à canaux ouverts sont parmi les plus anciens dispositifs d'irrigation utilisés par l'Homme. Leur origine remonte à environ 5000 ans, notamment dans des pays arides tels que l'Égypte, la Mésopotamie, l'Inde et également en Chine, où les premières civilisations ont développé des canaux pour détourner l'eau des rivières à des fins agricoles (Rieul., 1996). Au fil des siècles, les civilisations romaines, chinoises et arabes ont perfectionné ces systèmes en inventant des techniques complémentaires telles que les aqueducs, les qanats (tunnels souterrains) ou encore les barrages de dérivation (Bruins et al., 1986). Chaque région avait son contexte climatique et topographique particulier, engendrant, malgré le même principe de base, des techniques d'irrigation relativement différentes utilisant des canaux. On dénombre trois principales méthodes d'irrigation gravitaire de surface, l'irrigation à la raie, à la planche (ou irrigation aux calans) et par submersion.

La technique d'irrigation à la raie repose sur des sillons peu profonds et de tailles variées, dépendant des besoins des cultures. Ils sont creusés entre les rangs plantés dans les parcelles et présentent une pente très faible pour maximiser les quantités d'eau infiltrée et utilisée par les plantes (Barta et al., 2015).

L'irrigation par planches est l'apport d'eau sur des parcelles en pente rectangulaire, surélevées et délimitées par des bandes qui acheminent l'eau pendant l'irrigation. La pente est moins importante que pour l'irrigation à la raie et les bandes plus larges que des sillons, créant une saturation du sol plus importante. Cette technique est principalement utilisée sur des sols ayant une faible capacité d'infiltration pour augmenter la quantité d'eau utilisable, mais elle ne convient pas pour les cultures ne supportant pas une certaine saturation du sol en humidité (Barta et al., 2015).

Concernant l'irrigation par submersion, l'eau est prélevée dans une source d'eau de surface puis acheminée grâce à des canaux jusqu'à des parcelles nivelées. Elles sont délimitées par de petites digues en terre qui permettent de retenir l'eau dans la parcelle. L'eau y reste pendant des périodes pouvant aller jusqu'à plusieurs jours en fonction des besoins et du terrain. Ce système est particulièrement connu pour les rizières en Asie irriguées de cette manière sur d'impressionnantes terrasses (Barta et al., 2015).

Lorsque nous parlerons d'irrigation gravitaire, cela comprendra les canaux d'acheminement accompagnés des types d'irrigation. Bien souvent, aucune distinction n'est faite entre les trois techniques.

Les canaux tels que les béals se sont vu attribuer d'autres types de fonctions que leur rôle agricole au fil du temps. Ils peuvent être utilisés pour conduire l'eau pour l'abreuvement du bétail, pour des forges, scieries, moulins ou lavoirs, ainsi que pour l'alimentation de centrales hydroélectriques. Une fonction moins courante de nos jours, mais les canaux gravitaires pouvaient être les seules sources d'eau pour l'usage domestique de certains villages isolés (Marco., 2017). Aujourd'hui, ces fonctionnalités se sont beaucoup perdues.

En France, les premiers ouvrages ont été réalisés par les Romains autour de la Méditerranée. Ils ont été introduits et sont toujours principalement utilisés dans le sud-est de la France, jusqu'aux Hautes-

Pyénées ainsi que dans les Alpes. Les canaux et l'irrigation gravitaire sont beaucoup liés au contexte montagnard en France. La première grande phase d'organisation des réseaux de canaux de montagne, de vallée et de plaine a eu lieu entre 1300 et 1400. Une nouvelle période de construction de canaux apparaît au XIXe siècle. Plusieurs facteurs y contribuent, la demande sociale très forte (pic démographique) et l'ouverture des marchés avec le chemin de fer principalement (Ruf., 2000). Dans le sud-est, le développement de ces systèmes visait à contrer les déficits hydriques auxquels est soumise la région présentant un climat méditerranéen. À la même période (XIVe siècle), les nobles possédant des moulins hydrauliques alimentés par les rivières, ont profité de la fonction d'acheminement de l'eau des canaux pour multiplier le nombre de moulins sur le territoire. Mais l'expansion de ces ouvrages, accompagnée de l'insuffisance grandissante des sources d'eau, a occasionné des conflits entre usagers. C'est à cette période que les droits d'eau ont été octroyés et que le partage de la ressource en eau et de l'entretien des canaux se sont organisés. Le partage de l'eau se faisait sous forme de tours d'eau (toujours d'actualité) permettant aux agriculteurs de prélever l'eau à tour de rôle pendant une certaine période. Une autre division des prélèvements était possible, les périodes d'ouverture des canaux pouvaient aussi dépendre de la localisation des prises d'eau. Ceux situés en aval pouvaient prélever certains jours, différents de ceux situés en amont. Ce n'est qu'autour du XVIIIe siècle, lorsque toutes les activités agricoles se développaient de manière exponentielle sur le territoire, que ce partage de l'eau s'est généralisé dans différentes régions (Aspe et al., 2014). C'est ensuite au début du XIXe que l'utilisation et la construction des canaux gravitaires ont atteint leur apogée. Suite à cela, les multiples épidémies touchant les cultures, accompagnées d'une forte déprise agricole, ont engendré la diminution progressive de l'utilisation de ces canaux (Errero-Brancato., 2025).

Bien que les béals soient considérés comme un système d'irrigation gravitaire traditionnel, d'autres systèmes gravitaires ont un fonctionnement similaire dans de nombreuses régions du monde.

Evolution de l'irrigation gravitaire associée à des canaux dans le monde :

Jusqu'en 1960, l'irrigation gravitaire de surface représentait 90 % des surfaces irriguées dans le monde. Ce chiffre a diminué de 5 % par décennie jusqu'en 2010 en faveur de l'irrigation par aspersion et au goutte-à-goutte. Cette baisse est toujours en cours mais avec des chiffres qui varient (d'après les chiffres du site de la FAO, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture). La majorité de ces surfaces irriguées concerne les cultures céréalières telles que le blé et le riz, cultivés en Asie (Dubreuil., 2005).

Au Maroc, tout comme en Europe, l'irrigation gravitaire alimente différentes cultures, céréales, maraîchage et arboriculture (Taky et al., 2004). Il existe différents types d'irrigation, à la raie, qui repose sur le principe d'infiltration. Des sillons de faible profondeur (20 cm) sont creusés dans le sol entre les rangées des cultures, l'eau y circule et apporte l'eau aux plantes par le sol. L'irrigation à la robta est une technique spécifique au Maroc, la robta désigne la parcelle irriguée. La parcelle est délimitée par de petits talus de terre qui permettent de maintenir l'eau dans le périmètre. L'arrosage se fait par submersion, l'eau acheminée en une fois par des canaux jusqu'à l'inondation de la parcelle (Boundi., 2021).

En Afrique de l'Ouest, l'irrigation par aspersion peine à se développer car les contraintes liées à l'évaporation et aux coûts d'installation sont importantes. La tendance est plutôt au changement de culture avec l'apparition progressive du maraîchage qui consomme moins d'eau que le riz, mais le marché n'est pas encore très développé (Barbier., 2009). Dans les hauts plateaux de l'Ouest du Cameroun, des systèmes d'irrigation par aspersion à grande échelle sont implantés sans succès depuis des décennies. Mais depuis le début du XXI^e siècle, certaines exploitations (riz principalement) se tournent vers une irrigation traditionnelle à plus petite échelle. Ils utilisent un système gravitaire par aspersion, l'eau est fournie par de petits canaux en terre suivant les courbes de niveau. Des retenues d'eau en pierre sont construites dans les canaux secondaires, et par le biais d'une prise de fond, l'eau de la retenue est envoyée vers des tourniquets artisanaux (Ndongo et al., 2005).

Au Mali, de grandes surfaces de rizières dépendent de l'eau apportée par gravité dans des canaux d'irrigation. Dans les années 2000, de nombreuses exploitations ont connu de fortes pénuries d'eau causées par la mauvaise gestion de l'eau et du système d'irrigation. De grandes campagnes de réhabilitation des canaux ont donc été mises en place afin de rénover et d'étanchéifier les canaux pour limiter les pertes. Le système de distribution de l'eau a également changé, les agriculteurs sont en charge des canaux secondaires irriguant leurs parcelles, mais n'ont aucun contrôle sur le canal principal. L'eau circule en permanence dans l'axe principal et les agriculteurs ouvrent les vannes des canaux secondaires uniquement lorsqu'ils ont besoin d'irriguer, le reste du temps les vannes doivent rester fermées (Vandersypen et al., 2006).

L'évolution générale de l'irrigation gravitaire en Afrique ne prend pas la direction d'une conversion vers d'autres systèmes plus modernes, mais plutôt dans l'optimisation des techniques traditionnelles en place (Boundi, 2021). Certaines de ces modernisations pourraient potentiellement être appliquées aux béals afin de limiter leur consommation d'eau. Dans les autres régions du monde utilisatrices d'un système d'irrigation gravitaire avec canaux, la dynamique d'évolution de l'agriculture face au changement climatique vient modifier la perception de ce système.

Dans différentes régions des Andes équatoriennes situées à environ 3000 m d'altitude, l'agriculture, l'élevage bovin et le maraîchage étaient assurés par de l'irrigation gravitaire. Mais à partir des années 2000, les communautés de ces régions se sont vu installer des systèmes par aspersion accompagnés de réserves d'eau, n'incluant plus l'aspect gravitaire (Récalc., 2009). Ces changements ont permis des améliorations dans différents domaines, l'aspersion diminue le temps passé à la gestion de l'irrigation et consomme moins d'eau. Elle permet une irrigation sur de plus grandes surfaces et une diversification des types de cultures, associée à plus d'élevages bovins. Ce système a coûté plus cher à mettre en place que des systèmes gravitaires, mais l'efficacité est plus importante et optimise l'organisation des tâches agricoles (Communal et al., 2014).

En Argentine, les systèmes au goutte-à-goutte se développent de plus en plus pour la culture des arbres fruitiers et des vignes. En plus de la consommation d'eau limitée, cette conversion de l'irrigation gravitaire permet de ne pas avoir à terrasser les parcelles avant les plantations, ce qui rend le paysage de certaines régions à nouveau naturel avec des zones vallonnées (Lavie., 2018).

Le Mexique est composé en grande partie de milieux arides, la sédentarisation à l'époque précolombienne dans ces types de milieux a été possible grâce à la création de réseaux d'irrigation gravitaire (Latargère., 2021). Encore en 2017, 70 % de l'irrigation au Mexique se réalisait de façon gravitaire (INEGI., 2017). Mais depuis 2007, le Mexique a mis en place une politique de modernisation des périmètres irrigués, qui inclut notamment la substitution des canaux à ciel ouvert par des canalisations enterrées. Ils ont aussi remplacé certaines cultures trop consommatrices et l'arrosage se fait par aspersion ou au goutte-à-goutte, et non plus par immersion ou à la raie. Ces changements ont entraîné une augmentation du coût de l'irrigation ainsi qu'une banalisation du paysage agricole. Avec les canaux, une grande diversité de cultures était irriguée et pouvait donner plusieurs récoltes par an, mais elles ont été remplacées par la canne à sucre, qui ne donne qu'une récolte par an (Latargère., 2020).

Il existe d'autres formes de pression exercées sur l'irrigation traditionnelle mexicaine. Dans l'État du Morelos, l'urbanisation et les activités liées à la ressource en eau ont engendré l'assèchement et la pollution de sources d'eau également utilisées pour l'agriculture. De nombreux réseaux de canaux se sont vu détruits, entraînant un mécontentement des populations locales. En effet, cette technique traditionnelle a une place importante dans les communautés paysannes du Morelos, et pas uniquement, puisque ces canaux ont aussi un rôle dans les pratiques sociales. Ils n'assurent pas simplement un rôle agricole, ils ont une réelle valeur identitaire et territoriale (Latargère., 2020).

Dans certains états secs des États-Unis comme l'Utah, l'irrigation des cultures céréalières comme le blé repose sur l'acheminement de l'eau des lacs et rivières par des canaux gravitaires. Cependant, le niveau d'eau de ces deux sources présente des niveaux d'étiages de plus en plus bas, alors que les besoins agricoles augmentent. Des états comme l'Utah cherchent donc des moyens de stocker l'eau ou de l'acheminer avec moins de pertes jusqu'aux parcelles. Cela passe par l'étanchéité des canaux, ou alors par leur remplacement par des canalisations ou des systèmes de pompage (Lecina et al., 2011).

Dans le Nord-Ouest de la Chine, l'irrigation gravitaire est considérée comme inadaptée à la gestion durable de la ressource en eau. Les pénuries d'eau créent le recul de l'irrigation gravitaire, jugée trop consommatrice, en faveur de l'aspersion (Wulamu., 2008). Même constat pour les zones arides de l'Ouest de la Chine, où l'irrigation par aspersion et au goutte-à-goutte est majoritairement utilisée (Fan et al., 2022).

Les caractéristiques climatiques de certaines régions d'Asie, semblables à celles des Cévennes mais plus extrêmes, avec de fortes périodes de pluie (mousson) et de sécheresse, ont demandé une adaptation des systèmes d'irrigation. Dans plusieurs pays tels que l'Inde, le Népal ou le Pakistan, on constate un désintérêt de la part des paysans pour l'utilisation des canaux au profit du pompage depuis les années 1970. Les problèmes de gestion d'eau de ces pays à cette époque ont conduit les gouvernements à adopter de nouvelles techniques d'irrigation. Le pompage des eaux souterraines est apparu comme une solution puisque un grand nombre de systèmes dépendait de la pluie. Les gouvernements ont donc encouragé les paysans à adopter ces méthodes grâce à des aides financières sur le matériel notamment. L'irrigation par pompage individuel permet d'introduire une deuxième saison de cultures, en hiver (Aubriot et Valadaud., 2023). Dans certaines régions du Népal où l'irrigation gravitaire en terrasses est toujours utilisée, elle permet d'amener l'eau aux parcelles (riz principalement) pour les inonder. Dans certains cas, la rivière entière est court-circuitée, l'excédent

d'eau rejoindrait ensuite les nappes alluviales. Mais les agriculteurs cherchent à moderniser leur irrigation pour diminuer les quantités d'eau nécessaires, ils convertissent bien souvent leurs parcelles à l'irrigation pressurisée (Lavie., 2018).

En Europe, les pays méditerranéens sont les plus grands utilisateurs de l'irrigation gravitaire. Dans certains pays comme l'Espagne, l'Italie et le Portugal, l'irrigation de surface gravitaire est la forme dominante d'irrigation pour l'agriculture. Les cultures concernées par cette irrigation sont principalement les céréales, en particulier le maïs et le riz, qui exigent deux à trois fois plus d'eau que les autres cultures extensives (Masseroni et al., 2017).

La Suisse est également un pays présentant une grande proportion de cultures irriguées par gravité. Les premières traces de construction des bisses (béals en Suisse) dans le Valais remontent au XII^e siècle. Leur construction visait à assurer l'approvisionnement en eau des vallées à faibles précipitations. Leur organisation est très semblable à celle des béals cévenols, notamment au niveau du partage des tours d'eau et de l'entretien des canaux (Schweizer., 2014).

Malgré une utilisation de ce système plus importante en Suisse qu'en France, les bisses ne sont pas à l'abri des pressions climatiques. La modernisation des structures pour une meilleure efficacité est de plus en plus d'actualité. Des mesures ont déjà été prises, comme l'adaptation des « tournus », les tours d'eau, autrefois très stricts, qui sont maintenant modifiés en fonction de l'état des cours d'eau. Des paiements de compensation écologique peuvent également être mis en place afin d'assurer une irrigation respectueuse de l'environnement (Walther., 2015).

Bien que les contextes entre la France et la Suisse soient relativement similaires, les bisses, surtout dans le Valais, semblent bien plus utilisés avec moins d'abandon ou de conversion qu'en France. Plusieurs causes peuvent être à l'origine de cette divergence. Tout d'abord, les bisses jouissent d'une valorisation patrimoniale plus importante, avec des zones de montagnes encore entièrement dépendantes de l'irrigation gravitaire, aussi bien pour l'agriculture que pour l'usage domestique. La transmission de la technique ne connaît pas les mêmes difficultés qu'en France, les organismes en charge de la gestion des structures sont restés les mêmes depuis leur création sans changement d'organisation. Même si, comme précisé précédemment, des adaptations sont désormais nécessaires. Ils sont aussi une attractivité touristique à part entière avec des constructions à flanc de montagne, parfois dans le vide, qui impressionnent et attirent des touristes et visiteurs. Des sentiers longeant les béals sont aussi très appréciés, joignant paysage et patrimoine (Reynard., 2015).

Finalement, les bisses du Valais semblent engagés dans un avenir semblable à la situation actuelle des béals cévenols : malgré un fort attachement pour cette technique traditionnelle, l'attractivité d'un système plus efficace et nécessitant moins d'entretien semble se propager (Bär et al., 2020). À la fin du XIX^e siècle, les canaux gravitaires représentaient plus de 1400 km de réseau dans le Valais. En 2015, ces réseaux n'étaient plus composés que de 600 km de bisses, soit une perte de plus de la moitié des ouvrages, qui continue aujourd'hui de diminuer (Reynard, 2015).

Bien que le système d'irrigation de surface gravitaire soit encore la technique la plus utilisée dans le monde (d'après les données de la FAO), la littérature présente une conversion de ce système assez généralisée. Ces articles décrivent le plus souvent la situation agricole d'une région ou de quelques exploitations en conversion, mais ces exemples ne sont pas à généraliser à l'échelle d'un ou plusieurs pays. Il reste encore de nombreux utilisateurs de cette technique même s'il y a peu de

littérature sur ces cas et encore moins sur des situations inverses où cette technique reprendrait de l'intérêt. La tendance décrite par les chiffres du site de la FAO semble suivre son cours et même s'accélérer dans certaines régions. Cela est l'une des conséquences du changement climatique et de la pression démographique exercée sur l'alimentation. Les différents exemples de conversion évoqués ci-dessus montrent que les situations sont toutes différentes, avec des avantages et inconvénients qui varient pour un même système selon le contexte géographique.

Situation de l'irrigation gravitaire sur le territoire d'étude :

Concernant le territoire des Cévennes ou même à l'échelle de la France, il existe peu de documents décrivant l'état actuel de l'irrigation gravitaire. Seuls quelques cas décrivant la perte de l'utilisation de ce système ont pu être trouvés. Dans la Haute Vallée de la Cèze, le PNC accompagne les agriculteurs pour une optimisation des béals ayant toujours un intérêt économique. L'objectif principal est d'optimiser l'utilisation de la ressource en eau au travers d'une remise en état des ouvrages tout en conservant cette technique associée à un paysage patrimonial des Cévennes. Mais en parallèle, depuis 2015, le prélèvement d'eau des béals a été diminué de 50 % et les agriculteurs finissent par se tourner vers des techniques plus modernes. Pour un total de 38 béals utilisés dans la vallée en 2009, il n'y en avait plus que 23, dix ans après (Collard et al., 2022). Dans la vallée du Haut Vidourle, le constat est le même, deux études de l'EPTB ont successivement répertorié 30 béals utilisés dans la vallée puis 10, sans informer sur les dates d'inventaires (d'après le site de l'Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes).

Les services écosystémiques de l'irrigation gravitaire et leurs canaux :

L'inscription du savoir-faire lié à l'irrigation gravitaire par béals (canaux) au patrimoine culturel immatériel de France témoigne de l'importance historique, patrimoniale et culturelle de cette technique. Le béal est une technique ancestrale transmise de génération en génération depuis des siècles. Son apparition dans les Cévennes est difficile à dater, mais les premières traces écrites remontent au Moyen Âge (Marco., 2017). D'après la fiche d'inventaire du patrimoine culturel immatériel en France (Ministère de la Culture, 2019), leur construction demande une expertise spécifique en maçonnerie ainsi qu'une compréhension globale du terrain, de la pente, de l'hydrologie, du sol ou du climat. Différentes activités économiques dépendent de ces ouvrages, tout d'abord l'agriculture avec, dans les Cévennes, l'arboriculture, le maraîchage, les prairies de fauche et les cultures d'oignons. Les béals alimentent également des moulins, piscicultures et centrales hydroélectriques encore en activité. Des activités récréatives sont associées à ces canaux comme la marche ou la randonnée. Suivre le tracé du béal, souvent en sous-bois ou en terrasse, permet d'arpenter le territoire en suivant un parcours agréable et éducatif.

De nombreux services écosystémiques sont généralement associés à l'utilisation des béals, que ce soit dans le domaine de l'hydrologie avec la recharge des nappes ou dans l'environnement avec l'apport d'une diversité spécifique et écologique. Nous allons voir dans cette partie les types de services liés à l'irrigation gravitaire en général qui sont étudiés dans la littérature.

La plaine de la Crau (proche de la Camargue) est l'un des seuls sujets d'étude sur la participation de l'irrigation au réapprovisionnement des nappes qui a pu être consulté. L'étude de la nappe de la Crau a révélé un fonctionnement très particulier, elle présente une alimentation majoritairement d'origine artificielle. Cette spécificité serait en grande partie due à une nature de sol caillouteuse permettant un bon drainage. 70 % à 80 % de l'eau des canaux d'irrigation gravitaire serait restituée au milieu naturel, dont une grande majorité réapprovisionne les nappes. Cette étude de la SYMCRAU sur la sensibilité de la nappe de la Crau aux conditions de recharge et de prélèvements a également montré que la quantité d'eau de l'irrigation traditionnelle alimentant la nappe représente le double de la contribution de l'eau de pluie (SYMCRAU., 2020). Malgré un contexte méditerranéen et pédologique différent des vallées cévenoles, cette étude est la seule pouvant apporter des chiffres de référence pour l'apport de l'infiltration de l'eau des béals.

Dans quelques articles (Ladki., 2004 ; Faysse., 2006), une étude de l'ENSAM faite en 2003 est plusieurs fois citée, en parlant du rôle des béals dans l'hydrosystème. Les chiffres décrits sont les suivants, les résultats d'une étude réalisée en France sur 27 systèmes d'irrigation utilisant des canaux, mais sans préciser le mode d'irrigation utilisé, auraient démontré que 76 % du volume prélevé est restitué au milieu naturel, 40 % dans les nappes superficielles et 36 % directement à la rivière. Ces résultats sont des moyennes obtenues d'après des résultats hétérogènes oscillant entre 44 % et 97 % d'eau restituée au milieu naturel. Cette variabilité des résultats montre bien la complexité que représente la compréhension de la répartition de l'eau non utilisée par les cultures. Ces différences sont peut-être également dues aux différents paramètres susceptibles d'intervenir comme les types de cultures, la météo ou le type de sol. Sans que l'on puisse appliquer ces résultats aux béals cévenols car différents type d'irrigation gravitaire sont inclus dans ces chiffres. Ils semblent tout de même indiquer qu'il y a une part relativement importante de l'eau prélevée par l'irrigation gravitaire qui retourne dans le milieu naturel.

Des externalités positives sur la qualité du sol engendrées par l'humidification prolongée des sols agricoles ont été étudiées. Une irrigation prolongée ou continue, dans le cas des béals ouverts toute l'année, apporte un plus grand stock d'azote et améliore l'indice de qualité du sol. En effet, une saturation équilibrée de l'eau dans le sol favorise une meilleure absorption des nutriments par les plantes, améliore l'activité microbienne et la structure du sol. Tous ces services influencent positivement la croissance des plantes et des cultures (Fadl et al., 2024).

L'humidification du sol semble aussi contribuer à la croissance des arbres. Une étude menée sur un canal d'irrigation suisse traversant une forêt a démontré que les arbres à proximité présentent des cernes plus larges que le reste des arbres de la forêt. Des cernes plus larges indiquent une meilleure croissance, possible grâce à un plus grand apport en eau. Les prairies irriguées présentaient, elles, une plus grande diversité végétale que celles non irriguées (Walther., 2015).

Une autre externalité positive apportée par les béals peut être la lutte contre les incendies. Les canaux en eau toute l'année humidifient les berges en continu, créant un sol plus humide autour du

canal. De plus, sur ce sol, des plantes hygrophiles plus difficilement inflammables s’y développent (Ladki., 2004). Dans le cas de réseaux composés de plusieurs canaux, ils peuvent structurer le territoire en formant des frontières plus difficilement franchissables par le feu. Une autre possibilité est la conversion des canaux en réserves pour les lances à eau des pompiers. Lors de l’incendie de Méailles en 1999, les premiers pompiers avaient utilisé l’eau d’un béal pour contrôler la diffusion en attendant les hélicoptères (Ladki., 2004).

Les béals pourraient également participer à la lutte contre les inondations. Les canaux d’irrigation et leurs réseaux secondaires forment des zones de captage de l’eau de ruissellement durant les fortes pluies, organisant leur évacuation en une répartition plus étendue sur le territoire. Lors d’inondations, les eaux sortent du lit de la rivière en plusieurs points, ce qui répartit l’eau sur les pentes naturelles du terrain et disperse une partie de l’eau. En limitant la concentration de l’eau en un seul flux, les dégâts engendrés suite à la rencontre d’obstacles ou autres se voient diminués (Aspe., 2014).

Les externalités positives évoquées dans cet état de l’art ne sont présentées qu’à titre informatif. Peu de ces informations sont issues d’études scientifiques, elles n’apportent pas d’éléments de réponse ou d’analyse pour le stage. Certaines études sérieuses comme celle de Fadl (2024) ou de Walther (2015) pourront elles, venir compléter des données de terrains obtenues pendant le stage. L’intérêt pour le stage de les présenter, est qu’elles ont servi de base pour identifier les externalités à étudier.

4. Méthodologie

4.1 Description des zones d’études et des béals étudiés

La zone étudiée principalement durant le stage était la vallée de l’Arre, où se trouve la commune du Vigan, siège de la communauté de communes. Cependant, au fil de la phase de cartographie des béals de la vallée, il s’est avéré que le nombre de béals encore en usage ou simplement en bon état était très faible. Or, pour une question de représentativité, surtout pour les parties hydrologie et environnement, il fallait étudier un maximum de béals avec différentes caractéristiques. C’est pourquoi des béals hors de la vallée, qui m’ont été indiqués par mes tuteurs de l’Entente Causses et Cévennes, ont été étudiés. Finalement, une petite dizaine de canaux ont été sélectionnés, mais ne sont pas tous concernés par tous les types de collecte de données. En effet, des béals bétonnés ou dans un jardin entretenu ne présentent pas beaucoup d’intérêt du point de vue de la flore et des habitats, mais peuvent quand même accueillir une certaine faune et présenter des structures patrimoniales.

La majorité des béals étudiés se trouvent dans la vallée de l’Arre (voir figure 5). Comprise entre Alzon et le Vigan, la vallée de l’Arre suit le parcours de la rivière du même nom qui rejoint

l'Hérault. Principalement granitique, elle est la limite entre le massif schisteux du mont Aigoual au nord et les causses calcaires de Blandas au sud. Autrefois grande productrice de fruits (pommes et cerises), la vallée voit aujourd'hui une partie de ses parcelles recouverte de forêts sur les versants et remplacées par l'urbanisation en fond de vallée. L'activité agricole restante est diversifiée avec du maraîchage et de l'arboriculture principalement.

Deux béals étudiés, celui du Moulin d'Espaze et du Moulin d'Arnaud, se trouvent dans la haute vallée du Vidourle (voir figure 5). Le Vidourle est un fleuve côtier du Gard qui se jette dans la Méditerranée. La vallée, située à 30 km du Vigan, est la frontière entre les reliefs cévenols au nord et la plaine languedocienne. C'est une vallée plus urbanisée, avec encore de la culture en terrasse, mais les béals étudiés sont concernés par les prairies de fauche, le maraîchage et l'alimentation de moulins.

Le dernier, est le béal de Felgerolles présent dans le hameau du même nom, situé sur le versant sud du mont Lozère à 100 km du Vigan. C'est une zone très différente de la vallée de l'Arre car elle est à une altitude plus importante. Le climat est montagnard et méditerranéen avec des milieux typiques de ces altitudes, avec des hêtraies et des landes à genêts. Dans ce type de milieux, les activités agricoles sont les prairies de fauche et le pastoralisme. Contrairement aux deux autres vallées, ce béal ne suit pas la rivière qu'il détourne, il achemine de l'eau sur plusieurs kilomètres de toute source d'eau naturelle.

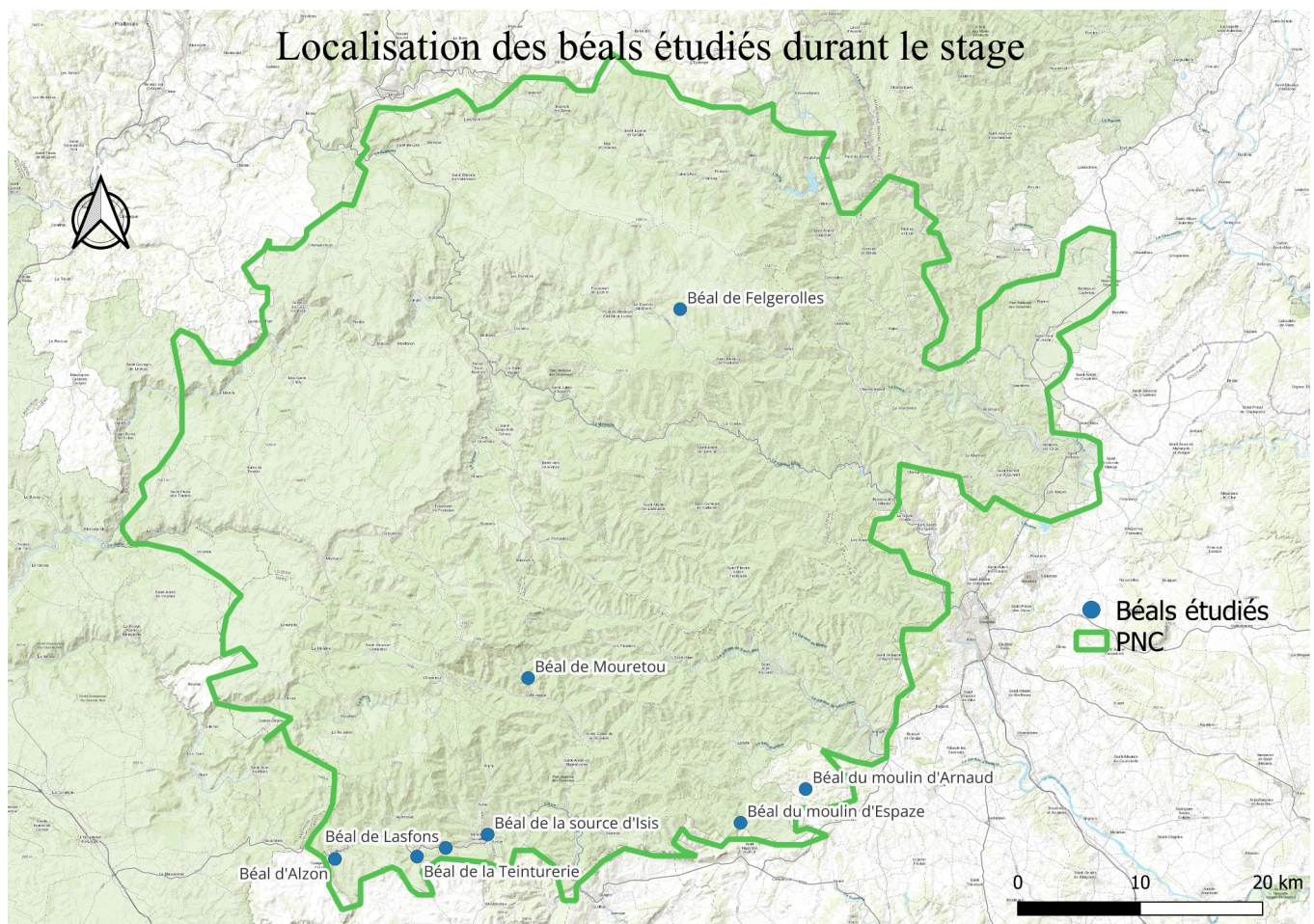


Figure 5 : Carte de localisation des béals étudiés

Présentation des béals :

Béal de Felgerolles :

Béal de 2,5 km creusé dans le sol à 1300 m d'altitude et situé au sud du mont Lozère. Il est utilisé pour irriguer des prairies de fauche et permet un accès à l'eau pour les habitants du hameau, qui est la seule source d'eau pour le moment. Il prend sa source dans le Tarn et passe par une hêtraie, des landes et des prairies de fauche (voir annexes 4 et 5). L'eau y circule toute l'année. Il a fait l'objet d'une étude de la faune, de la flore, des habitats et de mesures de débit.

Béal du moulin d'Arnaud :

C'est un béal de 300 m qui alimente un moulin et est utilisé pour l'irrigation d'une exploitation maraîchère dans la commune de Saint-Félix-de-Pallières. Il se présente sous la forme d'un fossé en terre à ciel ouvert, sauf pour la partie servant de réserve pour le moulin, qui est plus large et bétonnée. Il prend sa source et se jette dans le ruisseau du moulin d'Arnaud. Il traverse une aulnaie et longe une prairie de fauche, intéressante pour des inventaires faune, flore et habitat. Il est en eau toute l'année et la zone de rétention d'eau forme une zone plus large et profonde, diversifiant le profil hydrologique du canal. La partie en terre n'est pas assez profonde pour pouvoir y faire une mesure de débit (voir annexes 2 et 3).

Béal du Moulin d'Espaze :

Long de 340 m, il traverse une propriété de la commune de Saint-Hippolyte-du-Fort, comprise dans la vallée du Vidourle. Il alimente un moulin aujourd'hui hors service, aucun autre usage ne semble lui être attribué, si ce n'est pour de l'agrément (voir annexes 8 et 9). Il détourne une partie de l'eau du Vidourle et l'eau y circule toute l'année. Le canal est construit en béton et présente également un bassin de stockage dans la continuité du béal au niveau du moulin. Étant situé entre une route et une propriété avec les berges colonisées par des bambous et ronces, seul un inventaire faunistique a été mené. L'accès au canal est trop compliqué pour pouvoir y mesurer le débit.

Béal d'Alzon :

C'est un canal de la ville d'Alzon présent dans la vallée de l'Arre, creusé en terre sur 350 m, avec une petite partie maçonnée. Il prend sa source dans la Vis et longe un verger avant de rejoindre la Vis. Il alimente également un étang servant de réserve d'eau. Il a fait l'objet d'un inventaire faune, flore, habitat ainsi que des mesures de son débit. Le propriétaire de ce canal irrigue son verger sans extraire l'eau du béal, partant du principe que l'infiltration suffit pour les besoins de ses arbres. Il était intéressé par les mesures de débit, qui indiquent la quantité approximative d'eau infiltrée, sans connaître la part mobilisée par les cultures.

Béal de Lasfons :

C'est un canal de 130 m qui détourne l'eau d'une source permanente qui se jette dans l'Arre, au moyen d'un canal bétonné ainsi qu'un réseau de petits canaux en terre. Ces derniers passent par des prairies et anciens vergers, mais ne sont aujourd'hui plus utilisés. Le béal bétonné, lui, traverse le hameau en desservant une propriété privée, une parcelle maraîchère ainsi qu'un vieux moulin plus en usage (voir annexes 10 et 11). Tous les béals sont maintenus en eau toute l'année, permettant la réalisation d'inventaires faune, flore et habitat pour le béal creusé et uniquement la faune pour le béal bétonné.

Béal de la source d'Isis :

Il est une portion du béal de Prat Pialoux long de 2 km qui traverse la commune d'Avèze dans la vallée de l'Arre. La portion étudiée est bétonnée et passe par des quartiers de la ville en longeant une route et des jardins (voir annexe 6). Il desservait anciennement des prairies, cultures maraîchères ainsi que des vergers, qui sont aujourd'hui des zones bâties. L'absence de végétation naturelle a restreint son étude à un inventaire faunistique.

Béal du Mouretou :

Béal bétonné de 350 m (voir annexe 7) détournant l'Hérault dans la vallée du mont Aigoual. Il irrigue des prairies et cultures maraîchères. Ne présentant pas d'intérêt pour l'accueil de la faune ou de la flore car bétonné et entouré de pelouse régulièrement entretenue, il a uniquement fait l'objet de mesures de débit.

Béal de la Teinturerie :

C'est un béal maçonné de 350 m qui prend sa source dans l'Arre. Il traverse plusieurs propriétés privées ainsi que des jardins partagés (maraîchage) dans le village d'Arre. Il est utilisé en période estivale pour arroser les jardins et potagers privés. Ils régulent l'arrivée d'eau grâce à une trappe à l'entrée du canal qu'ils ouvrent l'été, et une seconde à quelques mètres de la prise permet de restituer une partie de l'eau directement à la rivière durant les périodes de faible nécessité en eau.

4.2 Quantification des pertes d'eau par mesure de débit

À la suite de la phase de bibliographie, il s'est avéré que l'étude hydrologique des canaux et notamment la potentielle recharge des nappes était impossible à réaliser dans le cadre du stage. De plus, les informations ou études à ce sujet sont très rares. Déterminer les pertes d'eau du canal est

relativement simple, mais la compréhension du devenir de ces pertes est difficile. Tout d'abord, ce type de mesures nécessite du matériel comme des sondes d'humidité du sol, des piézomètres ou encore du matériel de géophysique plus poussé dont la CCPV ne disposait pas et n'avait pas de budget à y dédier. De plus, les résultats obtenus n'auraient pas pu être généralisés au système du béal. En effet, beaucoup de paramètres entrent en compte : la perméabilité du canal, la nature du sol, le débit qui varie d'un béal à l'autre et selon les saisons, la pente du canal, la présence de nappes, la conductivité hydraulique du sol... D'après plusieurs articles (Bruand et Coquet., 2005 ; Ladki 2004), il est difficile de différencier les types d'infiltration. L'eau peut s'infiltrer verticalement, latéralement, remonter par capillarité, ou rejoindre rapidement des drains/fissures.

Il a quand même été possible d'estimer les pertes d'eau par infiltration des canaux, sans pouvoir analyser précisément comment ces pertes sont restituées ou utilisées par l'environnement. En partant du principe que la perte d'eau du canal par évaporation est négligeable, car l'eau y circulant permet de garder une température basse, limitant ainsi l'évaporation. Le fait que l'eau soit continuellement renouvelée réduit le temps d'exposition des molécules de surface à l'évaporation (Aldomany., 2017). Il est donc possible d'estimer les pertes du canal en s'intéressant uniquement à l'infiltration. Deux mesures de débit de l'eau du canal permettent d'estimer la quantité infiltrée sur le tronçon délimité par les mesures. L'idéal est de réaliser une mesure à la prise d'eau et une à la sortie, mais la réalité du terrain fait que si l'on ne veut pas des mesures biaisées par une fuite ou le détournement par des canaux secondaires, plusieurs tronçons sur un même béal seront mesurés.

Pour comparer avec les différentes structures de béal et s'assurer que les pertes se faisaient bien par infiltration, des mesures dans des béals en terre et en béton ont été faites. Les mesures de débit ont été réalisées à l'aide d'un débitmètre électromagnétique OTT MF pro. Aucun protocole particulier n'a été suivi puisqu'il fallait adapter les mesures à chaque béal. Des tronçons, les plus homogènes possible sans fuite ou réapprovisionnement naturel, étaient sélectionnés pour être mesurés. Il fonctionne par induction magnétique, le capteur génère un champ magnétique vertical autour de sa sonde et lorsque l'eau entre dans ce champ, elle produit une tension détectée par des électrodes. En fonction de la largeur et de la profondeur, il faut réaliser un nombre différent de mesures sur la largeur du béal ainsi que sur la hauteur d'eau pour avoir une mesure de débit assez précise (voir figure 6). Par exemple, pour un canal d'un mètre de large, il faudra une dizaine de points de mesure. Et avec une profondeur de 10 cm, chacun de ces points sera composé de deux mesures, une au fond du canal et une à la surface. Pour chaque mesure, on indique la distance par rapport au bord du canal. À partir des données de profondeur, largeur de section et vitesse de courant, le système calcule le débit.

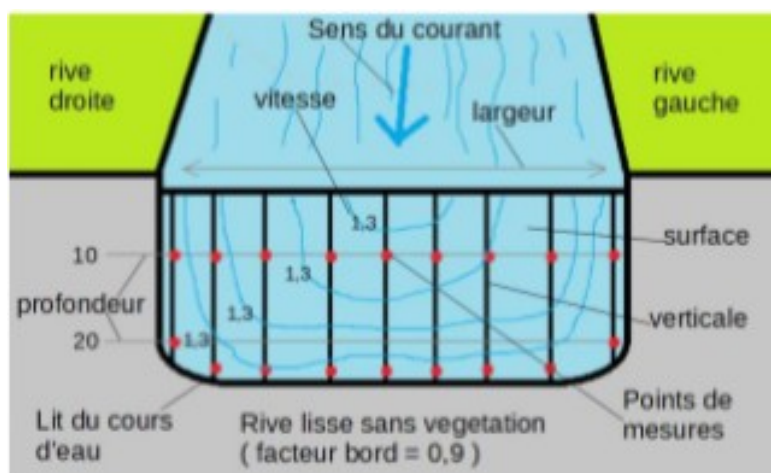


Figure 6 : Schéma du fonctionnement des mesures de débit, réalisé par Charlie Sanz, stagiaire

4.3 Méthodes d'inventaires naturalistes

Durant le stage, il a été compliqué de trouver des béals adaptés aux types de collecte de données souhaités. Pour étudier les liens entre les béals et l'environnement, il fallait que les canaux soient en eau et creusés dans le sol de préférence, pour les échanges hydrologiques. Les canaux devaient également traverser des milieux peu anthropisés comme des prairies ou forêts, afin de limiter l'influence de l'Homme sur l'environnement du béal (pas de jardin privé entretenu par exemple).

C'est pourquoi, les béals étudiés présentent différents profils, ce qui est bénéfique du point de vue de la représentativité des résultats, même si leur nombre reste faible. Il a été étudié des béals en terre en pierre et en béton, certains en eau toute l'année, d'autres en saison estivale, certains en prairie, d'autres en forêt mais également a des altitudes différentes variant de 200 à 1300 m.

Inventaires des types d'habitats :

Afin de déterminer si le canal du béal peut avoir une influence sur le type d'habitat présent autour des berges, des inventaires d'habitats ont été réalisés. En partant du principe que les phénomènes susceptibles de modeler les habitats sont principalement l'infiltration dans le sol et l'humidité ambiante induites par le béal, nous pouvons supposer que l'influence du béal, sans prendre en compte l'irrigation des cultures, sera limitée dans l'espace. En effet, au vu de la largeur restreinte des canaux étudiés (1 m maximum) et de la vitesse plus ou moins importante du courant, l'infiltration ne devrait pas se répartir sur de grandes surfaces autour du béal. Il semble donc suffisant de s'intéresser à l'environnement immédiat du canal (1 ou 2 m de berge), d'autant plus que, bien souvent, les canaux sont proches d'une route, d'une parcelle agricole ou d'un jardin, limitant fortement la présence d'une végétation naturelle/spontanée à des distances plus importantes.

C'est pourquoi, il a été décidé de se concentrer sur une bande de 1 m de chaque côté du béal pour l'inventaire et la cartographie des habitats. Nous verrons qu'il y a des exceptions en fonction de la nature du sol et de la topographie, dans ces cas-là, la surface d'étude a été élargie.

Il faut savoir que dans le domaine de l'écologie, la notion d'habitat ne dépend pas d'une certaine surface, mais plutôt d'une association d'espèces végétales et de sa faune associée ainsi que des conditions abiotiques spécifiques (humidité, sol, lumière...). Il est donc tout à fait possible d'identifier un ou plusieurs types d'habitats, même sur une bande étroite le long d'un béal.

Il a tout d'abord fallu sélectionner des béals adaptés à ce type d'inventaire, c'est-à-dire en eau, au moins durant la période d'étude, non busé et non bétonné, car cela limite les échanges entre le canal et l'environnement. Même si des béals en béton ont été étudiés, faisant office de témoin.

Il fallait ensuite repérer et définir grossièrement les limites des habitats sur la cartographie grâce aux images satellite et aux couches SIG. Par la suite, les prospections sur l'ensemble des béals ont eu lieu.

A chaque sortie :

-La composition des habitats est notée, c'est-à-dire, les espèces végétales présentes (phytosociologie), les strates végétales, l'exposition et autres (voir figure 7).

-La surface des habitats est délimité par cartographie directement sur place grâce au logiciel QField, qui permet de télécharger un dossier QGis sur le téléphone et de pouvoir le modifier sur le terrain.

La récolte de ces données a permis d'identifié les habitats observés, en se référant à la classification EUNIS. C'est une classification des habitats terrestres et marins d'Europe, elle permet d'identifié des habitats selon plusieurs critères comme les espèces de plantes présentent ou l'humidité du sol, grâce à une typologie standardisé à l'échelle européenne.

L'objectif premier n'est pas la cartographie ou le recensement des habitats le long des béals, c'est surtout de déterminer si des habitats présent sont liés à la présence du béal. Il est aussi intéressant de savoir si certains habitats représentent un intérêt communautaire ou si la diversité écologique est plus importante grâce au béal.

Bordereaux d'inventaires des types d'habitats

N° du site	Transect béal/ témoin	Date de sortie	Localisation

Habitat EUNIS	
---------------	--

Taille du transect	
Type d'habitat traversé	
Type de gestion	
Pente	
Versant	
Exposition	
Luminosité	
Altitude	

Taxons	A/D
Strate arborescente	
Strate arbustive	
Strate herbacée	

coefficient d'abondance/ dominance	Recouvrement
+	<1%
1	1-5%
2	5-25%
3	25-50%
4	50-75%
5	75-100%

Inventaires faune et flore :

L'étude de la faune et la flore présente dans ou aux abords du béal vise à récolter des informations sur l'impact de ce système sur l'environnement. Nous recherchons ici la présence d'espèces aquatiques ou inféodées (fortement liées ou dépendant) au milieu aquatique qui témoigneraient d'une potentielle importance écologique.

Inventaires faunistiques :

Avant d'aller prospecter le long des béals, il faut savoir ce que l'on cherche. Il existe de nombreuses espèces de différents groupes (amphibiens, insectes, oiseaux...), sans compter les espèces aquatiques (poissons...), qui dépendent de milieux aquatiques pour mener à bien leur cycle biologique. Certains y viennent ponctuellement pour la chasse, la reproduction, se déplacer, et d'autres y passent une partie de leur vie comme les larves d'amphibiens ou d'insectes. Mais toutes ces espèces ne sont pas présentes en même temps proche des points d'eau, les amphibiens s'y reproduisent entre la fin de l'hiver et le début du printemps, les insectes comme papillons ou libellules vivent au printemps ou en été, ou encore certains oiseaux migrateurs qui ne sont là qu'une partie de l'année.

Il existe des protocoles standardisés adaptés à ces groupes ou ordres qui permettent de les inventorier dans les bonnes conditions. Cependant, ces protocoles ne sont pas adaptés à la spécificité des béals pour différentes raisons. Tout d'abord, certains béals ne sont en eau que durant les périodes d'irrigation agricole, généralement autour du mois de mai selon les années. Or, un protocole comme POPamphibien demande un suivi dès le mois de janvier.

De plus, de manière générale, les différents inventaires ont pour objectif de réaliser un suivi temporel d'une population sur une zone donnée. Dans notre cas, nous cherchons à savoir si les béals permettent la présence d'espèces associées au milieu aquatique. Nous cherchons à observer un maximum d'espèces possible, bien que les résultats ne seront pas exhaustifs.

C'est pour ces raisons qu'il a été choisi d'adapter une méthode d'inventaire me permettant de suivre toutes les espèces cibles en même temps. Elle reprend le protocole STELI de suivi des odonates (libellules).

Avant de réaliser les inventaires, il a fallu sélectionner des béals adaptés et diversifiés. C'est-à-dire des béals en terre et en béton, traversant différents types d'environnements (forêt, prairie, ville...), à des altitudes différentes et en eau toute l'année ou à certaines périodes.

Le protocole consiste en un suivi de transects (chemins) longeant le béal entièrement ou en partie. Ces transects sont suivis à pied pendant une durée minimum de 30 min, et doivent être parcourus à différents moments de la journée pour couvrir les périodes d'activités de chaque groupe. Il faut un passage en début de matinée pour les oiseaux, un l'après-midi pour les insectes et reptiles, ainsi qu'un passage le soir ou la nuit pour les amphibiens. Mais à chaque passage, toutes les espèces potentiellement intéressantes sont notées. Plusieurs informations sont collectées, l'espèce de l'individu observé, le nombre, le sexe (si possible) et le stade de vie (voir figure 8). Chaque béal doit être visité au moins une fois par mois. Les passages se font durant les conditions les plus propices pour les observations, journées ensoleillées, avec peu de vent, mais des passages pendant

ou après une période de pluie peuvent être intéressants pour les amphibiens. Tout comme pour les habitats, les individus sont observés dans une zone proche du béal, afin de s'assurer que les individus observés sont bien liés au béal, surtout dans les cas où le béal est assez proche du cours d'eau naturel. La taille du transect importe peu puisque l'on ne cherche pas à comparer les béals entre eux.

En plus du transect le long du béal, 2 transects témoins (exemple voir annexe 17) sont inventoriés pour chaque béal. Un transect le long de la rivière détournée par le béal et un, dans un environnement semblable à celui traversé par le béal, mais sans béal. À travers ces deux témoins, nous cherchons à comparer la biodiversité d'une rivière naturelle avec celle du béal. Le deuxième témoin permet de comparer la biodiversité dans deux milieux similaires (culture, forêt, prairie), dont l'un est traversé par un béal et l'autre non. Cette deuxième comparaison permet de donner une idée de ce qui change ou pas avec un béal.

Bordereaux d'inventaires faunistiques

N° du site	Transect béal/ témoin	Date de sortie	Localisation

Taille du transect	
Type d'habitat traversé	
Type de gestion	
Pente	
Versant	
Exposition	
Luminosité	
Altitude	

Taxons	Nombre	Sexe	Stade de développement

Figure 8 : Bordereaux d'inventaires faunistiques

Inventaires floristiques :

L'aspect végétation est déjà en partie traité dans l'étude des habitats, mais on ne s'intéresse qu'à des ensembles écologiques regroupant plusieurs espèces de plantes. On ne s'attarde pas sur la composition spécifique de ces communautés végétales. Un inventaire phytosociologique permet une étude plus précise avec l'identification de potentielles espèces rares, protégées, indicatrices ou encore invasives. Avec la liste des espèces observées, il sera possible de calculer des indices botaniques comme des indicateurs d'humidité. Ce type d'inventaire permet une meilleure compréhension de l'influence du béal sur la biodiversité, avec notamment l'analyse des services écosystémiques rendues par certains types de plantes. Il y a, par exemple, les plantes mellifères qui sont une ressource pour les pollinisateurs, les plantes fixatrices d'azote qui participent à la fertilisation du sol, ou encore les plantes hôtes, essentielles pour certaines espèces d'insectes.

Tout comme pour les inventaires faunistiques, une fiche d'inventaire basée sur des préexistants comme les bordereaux d'inventaires floristiques et relevés phytosociologiques de conservatoires botaniques, a été adaptée à l'étude des béals (voir figure 9). Le principe reste le même, un transect est parcouru le long du béal et chaque espèce observée est notée sur une feuille avec des informations associées telles que le nom de l'espèce ainsi que le recouvrement de l'espèce exprimé à l'aide de coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet. Il peut y avoir plusieurs inventaires différents sur un seul béal si différents types de milieux longent le béal, forêt, prairies ou encore tourbières. Un inventaire différent est associé à chacun de ces milieux. Chaque béal est inventorié une fois par mois.

Un transect témoin pour chaque béal ou chaque transect passant dans un milieu différent (forêt, prairie...) a été sélectionné par cartographie puis confirmé sur le terrain. Ce témoin a été sélectionné de sorte à ce qu'il représente la zone dans laquelle se trouve le béal mais sans ses potentielles influences. Des zones relativement proches de celle du béal ont été choisies afin qu'elles ne soient ni trop proches, pour éviter l'influence du béal, ni trop éloignées, pour qu'elles ne soient pas trop différentes (voir annexe 16). Ce qui permet de se faire une idée de ce que apporte ou non le béal.

Grâce aux données récoltées, il est possible de déterminer l'humidité des sols autour des béals en se référant à la méthode d'Ellenberg. Cette méthode se base sur le référentiel Ellenberg qui associe une valeur d'humidité (F) aux différentes espèces végétales. En faisant la moyenne de ces valeurs pour les espèces d'une zone inventoriée, en ne prenant en compte que les espèces ayant un coefficient d'abondance-dominance de 2, 3, 4 et 5, nous obtenons une valeur indicatrice de l'humidité du sol (Perrin et al., 2023).

La limite principale de cette méthode est l'absence de valeur (F) associée à certaines espèces observées. Du fait que cette méthode est généralement utilisée pour évaluer des zones humides, la liste du référentiel ne comprend qu'un nombre limité d'espèces, le plus souvent associées aux zones humides. Il y a donc un risque pour qu'une partie des espèces inventoriées le long des béals ne soit pas comprise dans le référentiel, empêchant ainsi d'obtenir la valeur indicatrice moyenne.

Bordereaux d'inventaires floristiques et relevés phytosociologiques

N° du site	Transect béal/ témoin	Date de sortie	Localisation

Taille du transect	
Type d'habitat traversé	
Type de gestion	
Pente	
Versant	
Exposition	
Luminosité	
Altitude	

Taxons	A/D	Taxons	A/D

coefficient d'abondance/dominance	Recouvrement
+	<1%
1	1-5%
2	5-25%
3	25-50%
4	50-75%
5	75-100%

Figure 9 : Bordereaux d'inventaires des types d'habitats

4.4 Entretiens avec les acteurs locaux (agriculteurs, gestionnaires, habitants)

Afin de comprendre l'importance des béals pour les habitants, usagers ou non de ce système d'irrigation, des entretiens ont été faits auprès de différents profils d'acteurs. Le choix de réaliser des entretiens semi-directifs paraissait être le plus adapté au vu du type d'informations recherchées.

Les données récoltées n'ont pas pour finalité de permettre une analyse statistique. Il s'agit plutôt d'une enquête qualitative visant à connaître le point de vue de la personne interrogée, des informations historiques ou encore des expériences. Un entretien directif, composé de questions

fermées ou QCM, n'aurait pas permis d'obtenir les informations souhaitées, notamment sur l'opinion des acteurs.

Il était également possible d'interroger différents profils de personnes avec un entretien libre, mais la comparaison des réponses des différents acteurs aurait été difficile, car ils n'auraient pas forcément abordé les mêmes thèmes. C'est pourquoi cette approche a été écartée.

Une grille d'entretien a été imaginée (voir annexe 16). Malgré la diversité des profils, un seul entretien a été adapté, avec quelques questions de présentation qui variaient selon si la personne avait changé de système d'irrigation. Il y avait une partie sur l'histoire et l'avenir du béal, sur leur gestion, et les deux dernières parties concernant l'avis des personnes sur les intérêts écologiques et patrimoniaux de ce système. Tous les interviewés n'utilisaient pas forcément directement les systèmes d'irrigation, mais ils y étaient liés de près ou de loin, ou avaient au moins des informations et opinions. D'autres personnes ayant une expertise sur les béals ou les fonctionnements hydrologiques en général ont pu servir de personnes-ressources. Bien que la grille d'entretien n'ait pas été adaptée à leur profil, ils ont tout de même pu fournir des informations utiles sous la forme d'échanges ou de partage de documents.

4.5 Diagnostic des béals de la vallée de l'Arre

La dernière partie du stage, le diagnostic des béals de la vallée de l'Arre, a pour intérêt principal de réactualiser les données concernant les béals et l'irrigation de la vallée en général. En se basant sur une étude d'optimisation de la gestion de l'eau dans la vallée de l'Arre réalisée par Entech en 2011, répertoriant les béals de la vallée, il a fallu arpenter la vallée à la recherche des béals présentés dans l'étude et ceux manquants. Chaque béal a ensuite été cartographié sur le terrain de la même manière que pour les habitats, grâce à QField. Un formulaire associé au projet QField a été créé afin de répertorier toutes les informations récoltées sur les béals, telles que le type de structure, l'usage et autres (voir annexe). Les résultats des entretiens réalisés avec les acteurs locaux ont enrichi les informations sur les béals de la vallée.

nom	NULL
cours_eau	(NULL)
proprietaire	NULL
commune	(NULL)
parcelle_prise_eau	NULL
date du relevé	NULL
gestion	<NULL>
structure	<NULL>
longueur	NULL
etat	<NULL>
utilisé	(NULL)
type d'usage	<NULL>
sous type d'usage	<NULL>
état du seuil	<NULL>
débit amont	NULL
débit aval	NULL
commentaire	NULL

Figure 10 : Formulaire Qfield intégrant des informations sur les béals observés

4.6 Organisation des différentes tâches

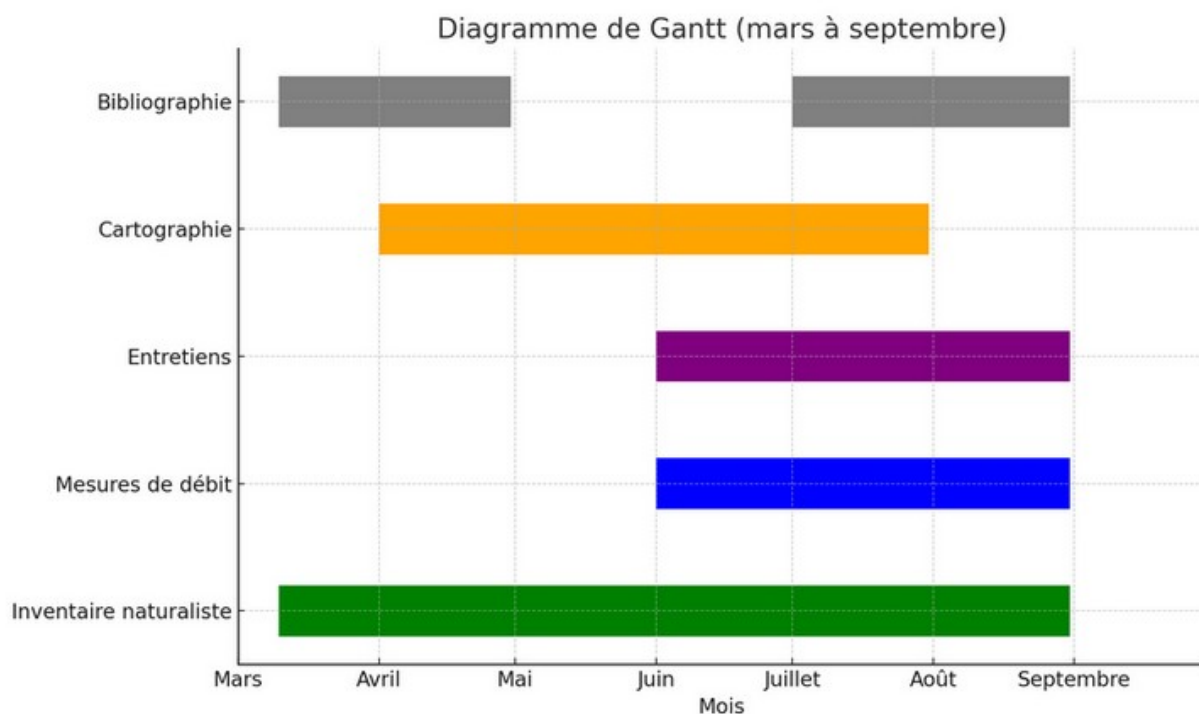


Figure 11 : Diagramme de Gantt

Voici l'organisation des différentes tâches du stage. À part les premiers inventaires réalisés sur des béals connus des référents, le reste des missions était entièrement dépendant de la phase de bibliographie et de cartographie. La phase de bibliographie était nécessaire pour la compréhension du système et la détermination des actions réalisables permettant d'étudier les services écosystémiques. Une fois les choix d'études faits, il fallait trouver sur quel béal les faire, c'est là que la phase de cartographie a permis de sélectionner les sujets d'études grâce à l'exploration de la vallée. La situation était la même pour les mesures de débit, puisqu'il fallait des béals aux caractéristiques particulières et surtout qu'ils soient en eau, sachant que la période d'irrigation a commencé fin mai. Pour finir, les entretiens dépendaient des contacts partagés par mes tuteurs ainsi que ceux rencontrés sur le terrain, ainsi que de leur emploi du temps.

5. Résultats

5.1 Quantification des pertes d'eau par mesure de débit

Il a été difficile de trouver des béals permettant une mesure de débit, ils étaient souvent mal entretenus, avec des fuites et obstacles. L'intérêt de ces mesures étant de quantifier les pertes par infiltration, les mesures devaient prioritairement être faites sur des canaux en terre. Malheureusement, ce type de béal, en eau et en bon état, est assez rare. Le débit de six tronçons sur quatre béals différents, deux en terre et un bétonné ont quand même pu être mesuré.

Béal de Mouretou :

Mesures faites (voir annexe 1) sur 120 m de tronçon bétonné

Le débit mesuré à la prise d'eau était de 0,072 m³/s,

0,072 m³/s = 72 L/s 2 % de 72 = 1,44 L/s représentant la marge d'erreur de l'appareil, indiqué sur son manuel.

En prenant en compte la marge d'erreur qui est de 2 % de la valeur mesurée, nous obtenons un débit compris entre 70,56 L/s et 73,44 L/s.

Le débit mesuré à la sortie d'eau était de 0,073 m³/s. Soit une valeur comprise entre 71,54 L/s et 74,46 L/s

Nous remarquons ici que le débit mesuré est plus important en aval qu'en amont. Sachant qu'il n'y a aucune entrée d'eau dans le canal, la seule explication possible est que les pertes sont proches de zéro et que la marge d'erreur des mesures fait que les intervalles de confiance des deux mesures se superposent. Ce qui donne une perte réelle comprise entre -3,90 L/s et +1,90 L/s (soit 0 L/s car il n'y a pas de perte positive) avec une perte maximale d'eau du canal de 2,5 %, exprimée par la différence entre la valeur la plus en amont et la plus basse en aval. Cette méthode de calcul a été appliquée à tous les tronçons.

Béal de la Teinturerie :

Mesures réalisées sur une portion de 350 m maçonné

Débit amont : 0,010 m³/s

Débit aval : 0,007 m³/s

Les pertes sont comprises entre 27,1 % à 32,7 % en prenant en compte la marge d'erreur, en sachant qu'une partie de l'eau était prélevé pour des jardins pendant les mesures et qu'une parois maçonné est moins étanche qu'une bétonné. Les pertes réelles par infiltration sont donc surestimé.

Béal d'Alzon

Trois mesures ont été effectuées sur un tronçon en terre de 350 m.

0,007 m³/s amont,

0,004 m³/s milieu,

0,002 m³/s aval

La perte d'eau du tronçon est comprise entre 4,82 et 5,18 L/s, correspondant à une perte maximal de 70 %.

Béal de Felgerolles :

Trois portions en terre ont été sélectionnées afin d'éviter les pertes et entrées d'eau visibles sur le béal. Ces entrées et sorties d'eau pourraient biaiser les résultats, car nous nous intéressons essentiellement à la perte par infiltration.

-1er tronçon (130m) : Débit amont de 0,015 m³/s ; Débit aval de 0,011 m³/s

Équivaut à une perte moyenne de 3,74 L/s, soit 25 % de l'eau entré dans le canal.

-2ème tronçon (400m) : Débit amont de 0,016 m³/s ; Débit aval de 0,012 m³/s

Équivaut à une perte moyenne de 3,72 L/s, soit 23 % de l'eau entré dans le canal. (95 000 m³ d'infiltration par an)

-3ème tronçon (180m) : Débit amont de 0,009 m³/s ; Débit aval de 0,007 m³/s

Équivaut à une perte moyenne de 1,84 L/s, soit 20% de l'eau entré dans le canal.

Entre chaque tronçon, il y avait une fuite par ruissellement due à la présence d'une trappe fermée mais pas hermétique. Il y avait également un apport d'eau provenant d'une source en amont entre les deux premiers tronçons, qui se reflète dans le débit amont du deuxième tronçon puisqu'il est supérieur au précédent. Finalement, sur une portion totale de plus de 600 m de canal, en comptant les fuites et les entrées d'eau, il n'y a que 47 % de l'eau entrée dans le canal qui y reste, sachant que

le béal fait 2,5 km de long. En plus de la marge d'erreur, il faut prendre en compte les potentielles réalimentations indétectables des béals par des sources naturelles.

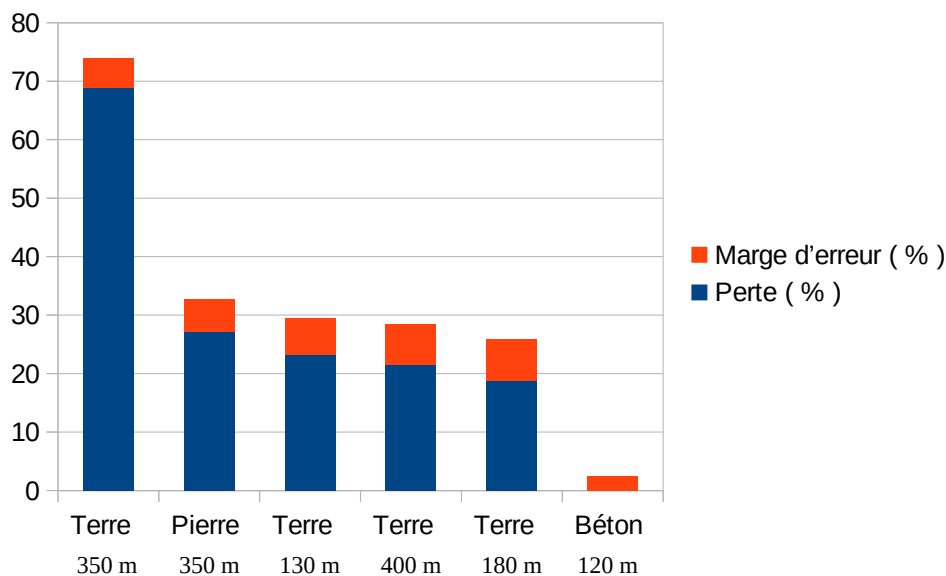


Figure 12 : Graphique présentant les pertes par infiltration de chaque béal en %

En comparant ces pertes (voir figure 12), on remarque que la partie ayant le moins de perte est la plus petite portion. Mais il ne faut pas se fier à la taille mais bien au pourcentage de perte, car pour une portion plus longue de seulement 10 m par rapport à celle bétonnée, on a 26 % de différence de perte entre les deux. Pour donner une idée, en partant du principe que le béal bétonné a une perte sur 400 m équivalente à ce qu'il perd sur 180 m, nous obtenons un pourcentage de perte de 6,6 % sur 400 m.

En comparant les portions en terre, on comprend que le type de canal n'est pas la seule variable influençant l'infiltration, au vu des différences de résultats obtenus. Si on s'intéresse aux différents types de canaux, il semble y avoir une logique puisque le béal bétonné présente moins d'infiltration que ceux en terre et en pierre. Et si on prend en compte le fait que le canal maçonné avait une partie de l'eau prélevée, cela donne une perte par infiltration proche voire inférieure à celle des béals creusés.

Mais le nombre de mesures effectuées est trop faible pour que ces résultats soient significatifs, nous ne pouvons pas généraliser ces résultats à tous les béals, même s'ils vont dans le sens des résultats attendus.

5.2 Inventaires naturalistes

Inventaire des types d'habitats :

La caractérisation des types d'habitats présents le long des béals s'est faite sur quatre béals. Ils étaient les seuls adaptés à ce type d'étude, puisque beaucoup sont bétonnés, sans lien avec le milieu naturel. D'autres se trouvent dans des jardins entretenus et plantés, ne laissant pas les plantes naturellement présentes se développer.

Voici deux des quatre cartes réalisées pour les habitats du béal de Felgerolles (voir figure 13) et du moulin d'Arnaud. Les cartes des béals d'Alzon (voir annexe 12) et de Lasfons (voir annexe 13) sont moins intéressantes à présenter, car elles décrivent une diversité d'habitats dépendants du béal moins importante (habitat similaire). Ces derniers sont longés par une frange de prairies méditerranéennes humides rases, en contraste avec une prairie de fauche pour Lasfons et un verger pour Alzon. L'entretien régulier des berges des béals peut limiter le développement de certaines espèces. De plus, le béal d'Alzon n'est en eau que depuis deux ans, son influence sur le sol est peut-être trop récente pour que des espèces hygrophiles s'y développent.

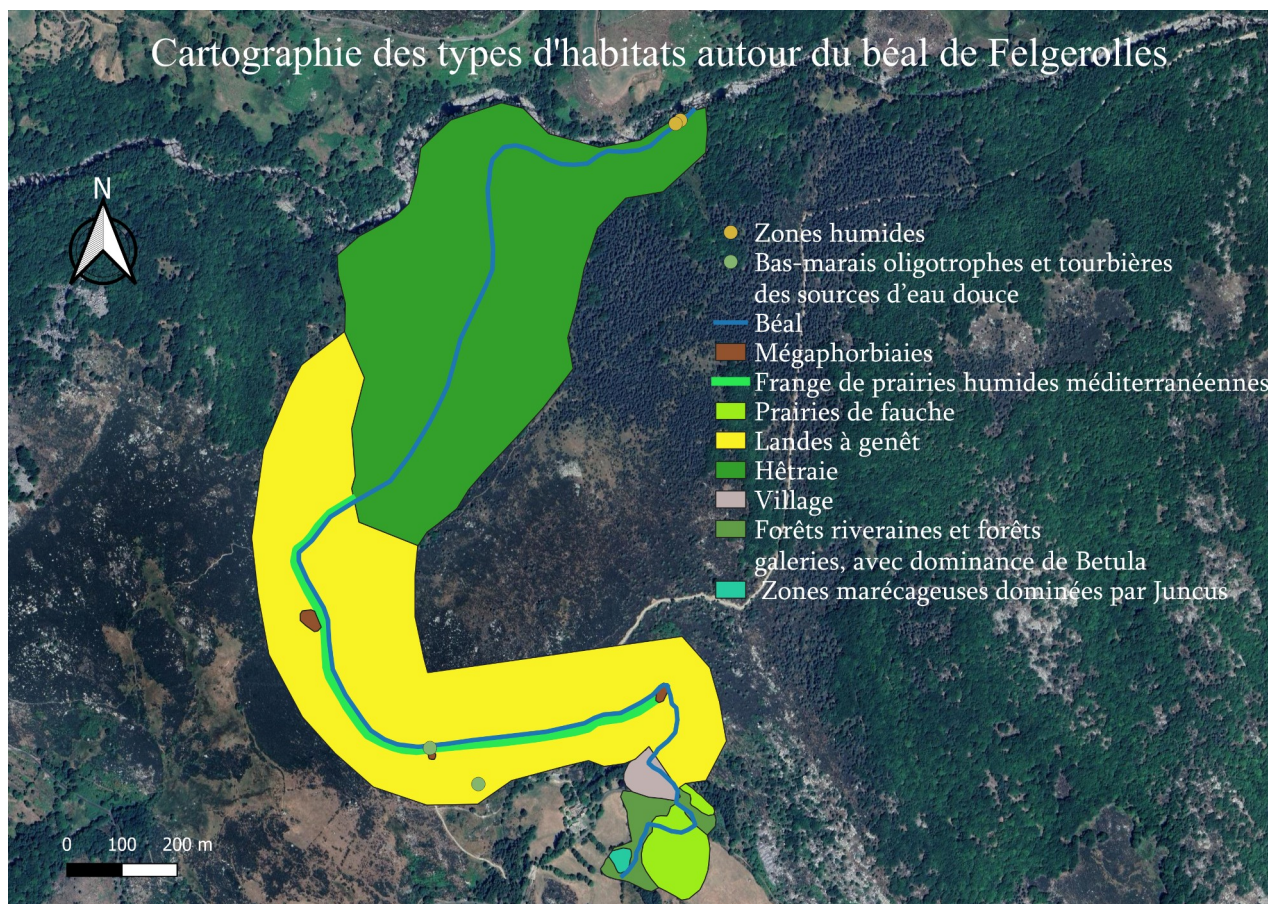


Figure 13 : Carte des habitats inventoriés autour du béal de Felgerolles

Sur cette carte apparaît, comme pour tous les béals étudiés, une bande le long du béal composée d'un type d'habitat différent du reste de l'environnement naturel. Cette différence peut être plus ou moins marquée selon les contextes. Ici, le milieu dominant étant des landes sèches, le moindre apport d'eau au sol fait varier la végétation présente. Cette frange de prairie humide n'existe pas dans les parties boisées, car le manque de lumière rend la zone pauvre en végétaux. Il y a quand même des habitats créés par la présence du béal dans cette partie. Il s'agit de zones humides sans végétation, formant des vasques ou petites mares plus ou moins permanentes, alimentées par des fuites et infiltrations du canal.

En plus de la frange longeant le béal, des mégaphorbiaies et tourbières sont également présentes aux abords du canal. La particularité de ce béal est la présence de fuites engendrées par des trappes laissant échapper de l'eau. Ces trappes, normalement utilisées pour irriguer les prairies en contrebas par immersion, ne sont pas totalement étanches et engendrent un ruissellement permanent sur les versants. Ce phénomène, non observé sur aucun autre béal inventorié (mais sur d'autres non étudiés), crée une saturation des sols en eau au niveau des fuites, expliquant la présence de zones humides. En aval du béal, une boulaie ainsi qu'une zone marécageuse sont maintenues au milieu d'une prairie de fauche par le canal.

Les habitats de zones et prairies humides observés le long de ce béal sont considérés comme des types d'habitats naturels d'intérêt communautaire, d'après l'annexe 1 de la Directive Habitats-Faune-Flore.



Figure 14 : Photo d'une mégaphorbiaie en contraste avec les landes autour du béal de Felgerolles

Sur cette photo prise au niveau d'une des fuites, nous observons bien le contraste entre la mégaphorbiaie au premier plan avec une jonchaie dense, et derrière, les landes à genêt recouvrant le reste du versant.

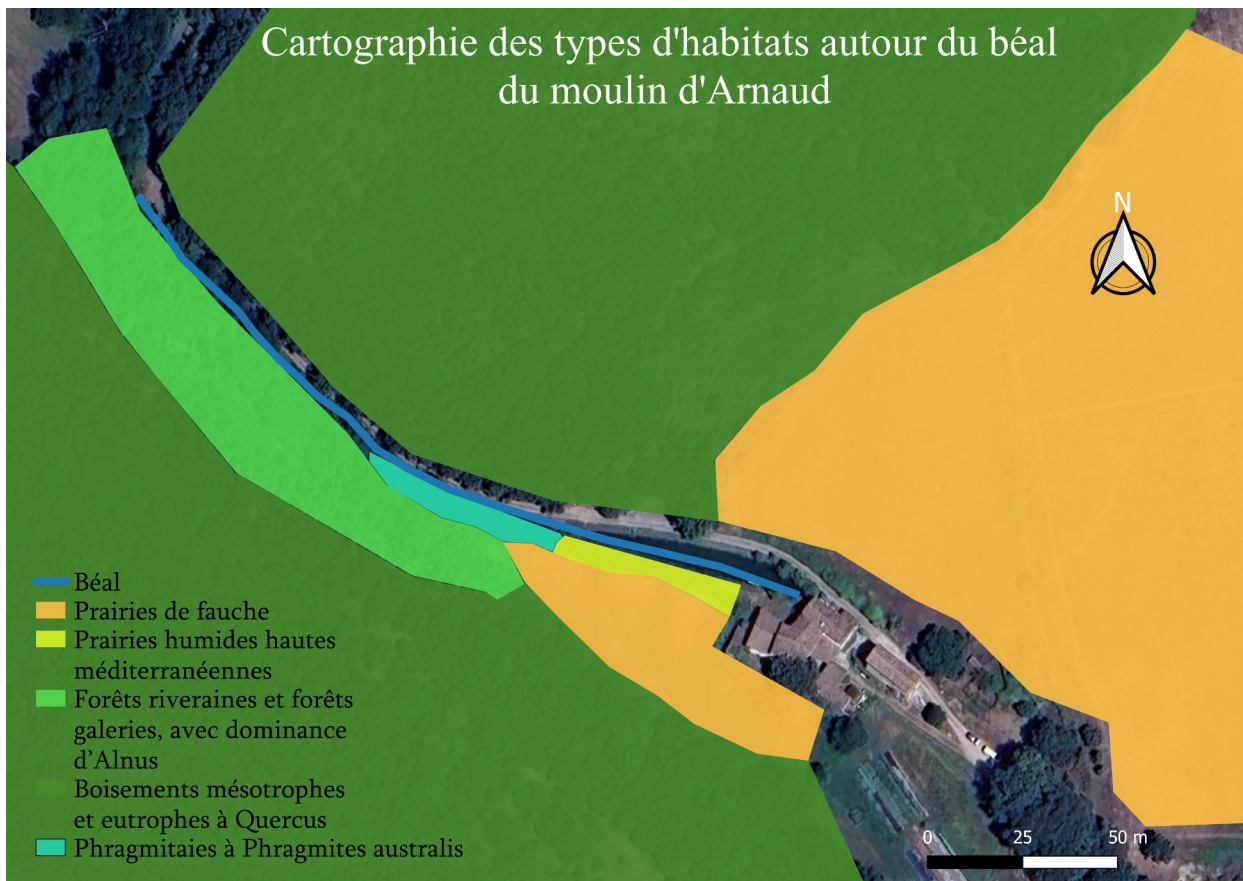


Figure 15 : Carte des habitats inventoriés autour du béal du moulin d'Arnaud

Pour ce béal, le contexte est différent de Felgerolles, mais similaire aux deux autres. On observe deux milieux dominants dans le paysage, la forêt de chêne vert et les prairies cultivées. Au milieu de ces espaces, sur la rive droite du canal, des habitats cantonnés à la proximité immédiate du béal ressortent du paysage. Le fait que ces habitats soient uniquement sur cette rive est sûrement dû à la pente descendante vers le sud qui dirige l'eau infiltrée de ce côté.

Tout en sachant que la moitié à droite du canal a les parois bétonnées, donc les infiltrations dans le sol ne peuvent se faire latéralement. Sur cette rive droite, une prairie à jonc et laîche s'est développée, en concurrence avec une roselière assez dense. Ces espèces nécessitent une certaine humidité du sol qui ne semble pas être retrouvée au-delà de quelques mètres autour du canal, sur une seule rive. C'est également le cas des aulnes, qui forment une véritable frontière avec la route, entre deux parties de chênaie.

Sur la photo ci-dessous, à gauche de la route passe le béal, la route fait office de frontière entre la aulnaie des berges du béal à gauche et la chênaie à droite. On voit la nette différence de végétation entre les deux cotés.



Figure 16 : Photo présentant le contraste entre la aulnaie le long du béal du moulin d'Arnaud à gauche avec la chênaie à droite

Inventaires faunistiques :

Six béals ont fait l'objet d'inventaires faunistiques. Comme évoqué précédemment, il s'est avéré difficile de trouver des béals encore fonctionnels, certains d'entre eux ont été trouvés ou indiqués au cours du stage, ce qui fait qu'ils n'ont pas tous pu être visités autant de fois.

Tableau 1 : Bilan des inventaires faunistiques

Nom béal	Type de béal	Transect prospecté	Milieu traversé	Taille des transects (m)	Nombre de passage
Béal d'Alzon	Terre	1	Entre verger et lisière de forêt	350	3
Béal de Felgerolles	Terre	3	Hêtraie, landes à genêt, prairie	1000 ; 760 ; 100	4
Béal de Lasfont	Terre et béton	2	Prairie, urbain	100 ; 50	5
Béal du moulin d'Arnaud	Terre et béton	2	Aulnaie, prairie	75 ; 110	4
Béal du moulin d'Espaze	Béton	1	Entre route en prairie	180	4
Béal de Prat Pialoux	Béton	1	Urbain	130	5

Bien qu'une comparaison entre les béals n'apporterait aucune information, comparer les résultats d'inventaires réalisés le long des béals, avec leurs transects témoins respectifs, est plus intéressant. En partant du principe que la zone (sans béal) dans laquelle l'inventaire témoin a été fait représente la même zone que celle où se trouve le béal, leur comparaison permet de voir s'il existe une différence avec et sans le béal, et selon les espèces observées, si le béal est à l'origine de cette différence.

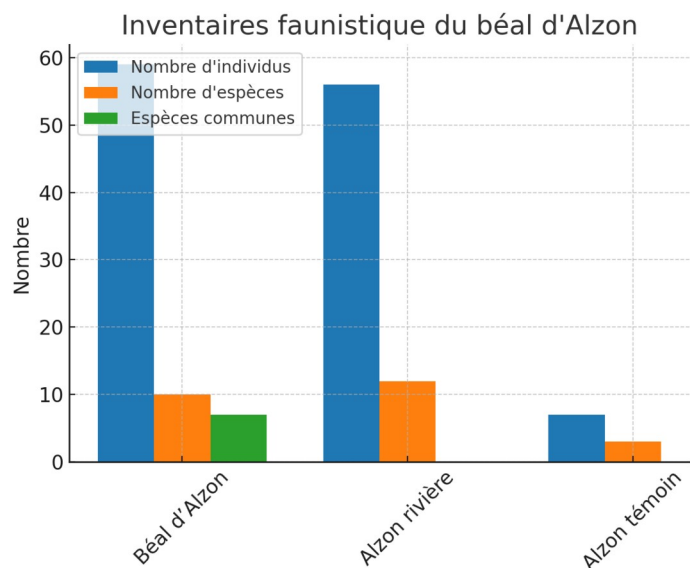


Figure 17 : Graphique présentant les résultats des inventaires faunistiques du béal d'Alzon

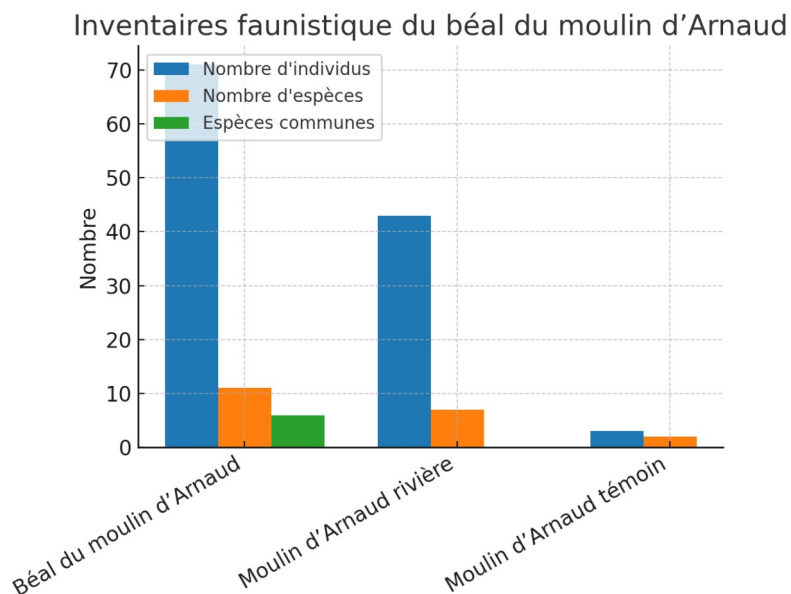


Figure 18 : Graphique présentant les résultats des inventaires faunistiques du béal du moulin d'Arnaud

Ces deux graphiques présentent les résultats de tous les inventaires faits durant le stage sur deux des six zones d'études, le béal d'Alzon et du moulin d'Arnaud. Ils représentent les deux cas de figure différents obtenus sur les différents béals. À savoir, soit un nombre d'espèces plus important sur le béal, soit sur la rivière. Aucun des transects témoins n'a révélé une quantité ou une diversité plus grande que pour le transect du béal. Les chiffres sur le graphique expriment la totalité des observations faites, tous inventaires sur un même transect compris. Comme les résultats varient d'une session (mois) à l'autre, présenter la totalité permet d'avoir une meilleure vue d'ensemble. Le nombre d'espèces et d'individus comprend des espèces liées au milieu aquatique, tel que certains oiseaux, reptiles, amphibiens et libellules. La variable « espèces communes » décrit le nombre d'espèces communes aux inventaires faits le long du béal et de la rivière. Le transect témoin est exclu car les espèces présentes sont systématiquement observées aussi sur le béal.

On remarque pour les inventaires du béal d'Alzon que le nombre d'espèces observées sur la rivière est plus important que celui dénombré sur le béal, pour une quantité d'individus équivalente. L'information intéressante est le nombre d'espèces communes aux deux, bien que le béal présente

moins d'espèces que la rivière, il semble quand même accueillir des espèces absentes sur la rivière. Sur ce site, le béal présente donc une diversité moins importante mais différente de celle de la rivière.

Quant au béal du moulin d'Arnaud, les résultats sont inversés puisqu'il y a plus d'espèces observées sur le béal que sur la rivière. Il y a là aussi une différence de la diversité spécifique observée entre les deux transects. Sur les six, il est le seul cas à présenter un plus grand nombre d'espèces sur le béal. Cela peut-être attribué à la variation de faciès du béal créée par la zone de stockage du moulin.

Beaucoup d'espèces n'ont pas pu être intégrés aux inventaires, mais présentent autant d'intérêt que les autres (voir tableau 2). C'est le cas de toutes les espèces aquatiques vivant dans le canal tel que les poissons, insectes et larves aquatiques, qui sont difficile à dénombrer. Ces espèces sont dépendante du substrats présent au fond du béal.

Tableau 2 : Espèces aquatiques observées par béal

Nom du béal	Type de canal	Type de substrat	Espèces ou groupes observés
Béal d'Alzon	terre	Gravier fin et vase	Gerris, poissons, gammares
Béal de Felgerolles	terre	Gravier varié	Gerris, gammares, Trichoptères, plécoptères
Béal de Lasfont	béton	Gravier et plantes	Gerris, poissons, larves de libellule, gammares
Béal du moulin d'Arnaud	terre	Gravier varié et terre	Gerris, poissons, larves de libellule et d'amphibiens, notonectes, dytiques, trichoptères
Béal du moulin d'Espaze	béton	Gravier fin	Gerris, poissons, larves de libellule, trichoptères
Béal de Prat Pialoux	béton	Algues et mousse	Gerris, trichoptères, éphéméroptères

Parmi ces espèces, certaines sont dites bioindicatrices. Elles nous informent, de par leur présence, de la qualité de l'eau. C'est le cas des Plécoptères et Ephéméroptères, qui sont sensibles à la pollution et à l'oxygénation de l'eau, ce qui témoigne d'une eau fraîche et d'une bonne qualité physico-chimique. Leur diversité est importante pour la stabilité de leur écosystème, puisque les populations observées se composent d'espèces appartenant à différents niveaux du réseau trophique. Les gammares et Ephéméroptères sont par exemple des détritivores importants à la base du réseau, prédatés par de nombreuses espèces, ou encore les dytiques et larves de libellules, qui sont des prédateurs régulateurs.

Mais le tableau 2 ne comprend que la faune vue au sein du canal, alors que, comme nous l'avons vu dans la partie habitats, des zones humides sont associées aux béals. Principalement visibles sur les béals d'Alzon et Felgerolles, elles se présentent sous des formes allant de la flaqué à la petite marre. Dans ces zones humides, ce sont notamment des amphibiens (grenouilles, crapauds) qui ont été observés. Des œufs, en passant par les têtards, jusqu'aux formes adultes de crapauds et grenouilles ont été détectés dans ces milieux.

Il n'est pas nécessaire de présenter toutes les espèces observées, mais une attention particulière peut être accordée à certaines d'intérêt ou protégées. Toutes les espèces ci-dessous sont protégées au niveau national par l'arrêté ministériel du 23 avril 2007, mais elles peuvent être également protégées à l'échelle européenne ou internationale d'après la directive Habitats, Faune, Flore et d'après la convention de Berne. Les annexes correspondent à différents types de protection, par exemple l'Annexe IV (protection stricte) et l'Annexe V (gestion de l'exploitation réglementée) pour la directive Habitats, ainsi que l'Annexe III (protection avec exploitation réglementée) et l'Annexe II (strictement protégée) pour la convention de Berne.

Tableau 3 : Présentation d'espèces d'intérêt patrimoniale ou protégées

Espèce (Nom vernaculaire)	Nom latin	Directive habitats	Convention de Berne	Statut UICN France	Zone d'observation
Grenouille rousse	<i>Rana temporaria</i>	Annexe V	Annexe III	LC (préoccupation mineure)	Béal de Felgerolles
Grenouille verte	<i>Pelophylax</i>	Annexe IV	Annexe II	LC	Tous le béals
Crapaud épineux	<i>Bufo spinosus</i>	Annexe V	Annexe III	LC	Béal de Felgerolles
Couleuvre vipérine	<i>Natrix maura</i>	Annexe IV	Annexe III	LC	Béal du moulin d'Espaze
Couleuvre d'Esculape	<i>Zamenis longissimus</i>	Annexe IV	Annexe II	LC	Béal de Felgerolles
Lézard vivipare	<i>Zootoca vivipara</i>	Annexe IV	Annexe III	LC	Béal de Felgerolles
Lézard à deux raies	<i>Lacerta bilineata</i>	Annexe IV	Annexe II	LC	Béal de Felgerolles
Cordulie à corps fin	<i>Oxygastra curtisii</i>	Annexe IV	Annexe II	NT (Quasi menacée)	Béal du moulin d'Arnaud



Figure 19 : Photo d'un Lézard vivipare (*Zootoca vivipara*) observé sur le béal de Felgerolles



Figure 20 : Photo d'un Cordulégastré annelé (*Cordulegaster boltonii*) observé sur tout les béals

Inventaires floristiques :

Dans cette partie, on ne s'attardera pas sur les plantes aquatiques. Un béal nécessite un entretien annuel pour éviter le comblement du canal par les sédiments. Aucune plante ne peut donc s'installer durablement ses racines dans le substrat curé plusieurs fois par an. Malgré cela, deux béals comportaient des espèces aquatiques, le béal du moulin d'Espaze, dans lequel de la jussie a été observée, ainsi que le béal de Lasfont qui, malgré des parois bétonnées, possède un substrat idéal pour l'Ache faux-cresson et la Véronique des ruisseaux.

Tout comme pour les habitats, les inventaires floristiques ont pu être faits seulement sur quatre des six béals étudiés pour la faune. Durant les inventaires, toutes les espèces observées étaient notées afin de pouvoir comparer la diversité autour du béal et celle du transect témoin. Le pourcentage de recouvrement était noté uniquement pour les espèces dominantes puisque ce sont elles qui permettent de déterminer l'humidité du sol d'après la méthode d'Ellenberg. Un intérêt particulier était apporté pour les espèces hygrophytes (de milieu humide), ou présentant un intérêt tel que les plantes mellifères, ZNIEFF ou encore protégées (voir tableau 4).

Tableau 4 : Présentation des résultats des inventaires floristiques

Nom du béal	Nombre d'espèce	Espèces communes aux transects	Espèces hygrophiles	Espèces d'intérêts (mellifère, ZNIEFF, protégé)
Béal de Lasfont	25	6	5	6
Lasfont témoin	12		2	4
Béal du moulin d'Arnaud	22	3	4	3
Moulin d'Arnaud témoin	9		0	5
Béal de Felgerolles	41	11	19	12
Felgerolles témoin	14		0	8
Béal d'Alzon	17	6	3	4
Alzon témoin	13		1	4

On observe une grande disparité avec le béal de Felgerolles. Ce béal est différent des autres sur plusieurs aspects. Tout d'abord, il est le béal présent à la plus haute altitude (1300-1400 m) et est très éloigné des autres béals (100 km). Ces éléments créent un contexte différent autour du béal qui se trouve dans un environnement différent. Le grand nombre d'espèces observées peut-être expliqué par la taille du béal, bien supérieure aux autres, 2500 m contre 400 m pour le deuxième plus grand. Bien que la quasi totalité du béal ait été prospectée, la plus grande partie qui se trouve dans une hêtraie (1 km) n'a présenté d'intérêt que pour les petites mares. Un autre point intéressant est la présence de fuites qui, comme expliqué dans la partie habitats, créent des zones humides où prospèrent des espèces typiques de ces milieux.

Dans le tableau (4), on constate que tous les béals présentent une diversité plus grande ou équivalente par rapport aux transects témoins. Ce qui montre une influence relative du béal. Plusieurs facteurs sont à prendre en compte. Tout d'abord, nous ne pouvons pas nous attendre à ce que les résultats obtenus sur quatre béals, aussi similaires soient-ils, soient représentatifs. De plus, certains béals étudiés (deux) se trouvent dans des milieux cultivés du type prairie de fauche. Ce qui fait que les berges sont entretenues différemment des milieux dans lesquels ils se trouvent. En maintenant une bande clairsemée le long du béal, on favorise la pousse d'espèces qui ne se développeraient peut-être pas si la végétation était plus haute comme dans le reste de la prairie.

Il est donc difficile de déterminer si les espèces observées sont présentes grâce au béal ou si c'est la végétation qui pousse naturellement avec une gestion différente. C'est dans cette situation que l'étude des espèces hygrophytes est intéressante, puisque ce type de plante dépend de l'humidité, dont le béal est la seule source constante, donc moins de confusion possible sur l'influence. Tous les béals étudiés comportaient une certaine population de plantes hygrophytes.

Il ne faut pas forcément se fier au nombre d'espèces, car pour le béal du moulin d'Arnaud par exemple, qui présente 4 espèces, il est en réalité composé d'une roselière (phragmitaie) sur 20 m de berges. Ce type d'habitat, en forte régression, a une forte valeur écologique. Tout comme les autres types de zones humides telles que les tourbières ou mégaphorbiaies, présentes sur le béal de Felgerolles. Ces habitats sont formés par des associations d'espèces exigeant un sol saturé en humidité. Des espèces rares ou protégées ont été observées dans ces zones. Parmi elles, nous retrouvons le Drosera à feuilles rondes (voir figure 21), protégée au niveau national, des espèces d'intérêt patrimonial comme la Linaigrette à feuilles étroites ou des espèces déterminantes ZNIEFF comme la Narcisse des poètes (voir figure 22) dans les prairies moins humides.

Dans le tableau (4), la colonne contenant les espèces communes aux transects témoin et au béal nous indique que la flore le long du canal se compose d'une diversité spécifique différente des milieux sans béals. Pour le béal d'Alzon, qui compte un nombre d'espèces proche du transect témoin, le fait que seulement 6 espèces soient communes aux deux montre que ce ne sont pas les mêmes populations.



Figure 21 : Photo d'un Drosera à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*) observé sur les tourbières du béal de Felgerolles



Figure 22 : Photo d'un Narcisse des poètes (*Narcissus poeticus*) observé sur les berges du béal de Felgerolles

Méthode d'Ellenberg :

Le calcul de la valeur d'humidité (Ellenberg F) s'est fait en moyenne pondérée par l'abondance. Prendre en compte l'abondance des espèces dans le calcul de la valeur d'humidité permet de mieux refléter l'organisation de la végétation. Sans cela, on part du principe que chaque espèce est répartie équitablement sur la zone d'étude. Voici un exemple de valeur d'humidité calculée d'après le relevé du transect (voir tableau 5) longeant la partie du béal du moulin d'Arnaud passant dans la prairie.

On fait la somme de toutes les valeurs F multipliées respectivement par le coefficient d'abondance (a) soit $\sum(F \times a) = 109$, que l'on divise ensuite par la somme des abondances : $\sum(F \times a) / \sum a = 109 / 18 \approx 6,06$.

Tableau 5 : Valeur d'humidité d'Ellenberg des espèces de l'inventaire du béal du moulin d'Arnaud

Espèce	Valeur F
<i>Phragmites australis</i>	10
<i>Juncus effusus</i>	8
<i>Bituminaria bituminosa</i>	3
<i>Carex cuprina</i>	8
Fétuque	5,5
<i>Schoenus nigricans</i>	9
<i>Sanguisorba minor</i>	3
<i>Muscari comosum</i>	3
<i>Euphorbia helioscopia</i>	4
<i>Erigeron acris</i>	4
<i>Taraxacum officinale</i>	3
<i>Taraxacum officinale</i>	5
<i>Alnus glutinosa</i>	9

D'après le référentiel d'Ellenberg avec des valeurs allant de 1 à 12 où 1 représente un sol très sec à aride et 12 un sol en permanence ou presque constamment sous l'eau. Ici pour le béal du moulin d'Arnaud, la valeur d'humidité du sol est de 6, nous sommes donc en présence d'un sol frais ou modérément humide d'après la méthode d'Ellenberg. A titre de comparaison, sur le transect témoin, nous obtenons une valeur de 4,1 soit un sol plutôt sec à mésophile .

Voici les résultats de tous les transects de béal :

- Béal du moulin d'Arnaud, transect passant par la prairie : sol frais ou humide (F=6)
- Béal du moulin d'Arnaud, transect passant par la aulnaie : sol humide ou peu mouillé (F=7,3)
- Béal d'Alzon : sol frais ou modérément humide (F=5,3) mettre type d'habitats a coté pour comparé
- Béal de lasfont : sol frais ou humide (F=5,9)
- Béal de Felgerolles, transect dans la hêtraie : sol frais ou humide (F=6,5)
- Béal de Felgerolles, transect en zone ouverte sans fuite : sol frais ou humide (F=6,1)

- Béal de Felgerolles, transect dans la prairie humide : sol humide, souvent dans des eaux saturées ou des sols mal aérés (F=8,2)
- Béal de Felgerolles, zones humides : sol humide, souvent dans des eaux saturées ou des sols mal aérés (F=8,6).

Ces résultats ne font bien évidemment pas foi. À part pour les espèces de zones humides du béal de Felgerolles, aucun inventaire n'a pu avoir une valeur F associée à toutes les espèces inventoriées. Une majorité a été comprise dans les calculs, mais il subsiste une certaine marge d'erreur. Ils viennent néanmoins nous informer de la potentielle influence du béal sur l'humidité du sol de ces berges. On remarque également que les valeurs obtenues vont dans le même sens que les types d'habitats inventoriés le long des béals. Malheureusement, excepté pour le béal du moulin d'Arnaud, aucun des inventaires témoins n'a pu se voir attribuer une valeur d'humidité. Il n'y avait pas assez d'espèces observées qui étaient comprises dans le référentiel d'Ellenberg pour pouvoir faire une moyenne. Bien que l'on ne puisse pas comparer la valeur d'humidité du sol proche du béal avec la zone témoin, l'absence d'espèces représentées dans le référentiel d'Ellenberg indique une plus faible proportion d'espèces hygrophiles dans les inventaires témoins.

5.3 Entretiens avec les acteurs locaux

Profil des personnes interrogées :

Huit personnes ont accepté de répondre aux questionnaires (anonymement) et de parler de différents sujets concernant les béals. Parmi ces personnes, il y a quatre gestionnaires et utilisateurs de béal structurés en ASA et un individuel. Ils ont un point de vue conservateur avec des connaissances sur le fonctionnement et la gestion du système.

Un membre d'ASA utilisant un système d'irrigation par aspersion, qui a remplacé un réseau de béal, est aussi président d'une fédération de pêcheurs. Il permet de comparer les deux systèmes d'irrigation et apporte un point de vue différent sur les enjeux environnementaux grâce à sa sensibilisation due à la pêche.

Un agriculteur des Hautes-Pyrénées, qui utilisait des canaux gravitaires avant qu'ils ne soient fermés et remplacés par de l'aspersion, a pu témoigner des avantages et inconvénients des deux systèmes.

Enfin, un hydrologue a apporté une certaine expertise sur l'aspect environnemental et hydrologique.

Malgré le faible nombre de personnes interrogées, elles présentent des profils et points de vue différents qui ont notamment permis de comprendre les conflits entre enjeux patrimoniaux, agricoles, domestiques et touristiques face aux risques environnementaux.

Enjeux environnementaux

De manière générale, tous les acteurs interrogés semblent conscients de l'importance identitaire. Ils sont également tous unanimes sur le fait que cette technique disparaîtra si aucun moyen pour les conserver n'est mis en place. Mais c'est ici que les avis divergent, puisque les utilisateurs actuels de béal veulent absolument maintenir ce système d'irrigation, alors que les personnes ne les utilisant pas estiment qu'il n'est plus adapté aux conditions climatiques actuelles. D'après eux, le rendement des béals (en terre) est trop faible, avec de trop grandes pertes d'eau. Le pourcentage d'eau restitué au milieu naturel ne leur paraît assez important, surtout pour la potentielle partie rendue par infiltration qui, si elle existe, serait insuffisante et irrégulière selon le type de sol et la topographie. De plus, certains béals ne respectent pas les réglementations, les usagers ne contrôlent pas toujours la quantité d'eau prélevée et ne prennent pas en compte le débit réservé de la rivière. Ces personnes interrogées partent du principe que même si un petit béal peut avoir un impact modéré sur la ressource en eau, l'effet cumulatif de plusieurs béals sur un cours d'eau est, lui, bien plus impactant. Une comparaison a été faite par l'hydrologue, pour les béals en eau toute l'année, il considère que « utiliser un béal pour l'eau courante, c'est l'équivalent de laisser couler un robinet non stop, ça ne viendrait à l'idée de personne ».

Les utilisateurs actuels et passés, quant à eux, assurent observer une réelle importance de ces quantités d'eau infiltrée, aussi bien pour le sol que pour les écosystèmes en général. Cette apport d'humidité soutiendrait le niveau des nappes d'accompagnement du béal et de la rivière (pour ceux proches de la rivière), ainsi que les nappes phréatiques. L'agriculteur des Hautes-Pyrénées a observé un appauvrissement du sol des parcelles suite à l'abandon de l'irrigation gravitaire. Les infiltrations participeraient également à la diversification des types d'habitats et donc des populations animales et végétales les peuplant. Ils observent aussi un effet de rétention des ruissellements sur les versants. Ils estiment ne rien prélever en soi, que la majorité est restituée d'une façon ou d'une autre, ils utilisent le terme de détournement plutôt que prélèvement.

Les activités associées

Au-delà des besoins environnementaux, l'autre problème des prélèvements non contrôlés, d'après certains, est le partage avec les autres usages de la ressource en aval. En prélevant en amont, on baisse le niveau en aval et restreint les activités et usages. Mais pour les gestionnaires du béal de Felgerolles, un béal peut également participer au développement de certaines de ces activités. Ils ont

notamment abordé le thème du tourisme, très important pour eux, qui n'a été mentionné que pour ce béal. Il s'avère que ce béal longe un chemin de randonnée très prisé dans la région et attire beaucoup de touristes. Ce chemin est en grande partie connu pour le béal, qui apporte fraîcheur et authenticité à la balade. Le hameau de Felgerolles, composé de 15 foyers dont un seul est habité toute l'année, repose essentiellement sur le tourisme basé sur la randonnée, grâce aux chambres d'hôtes. De plus, le béal pourrait être un frein aux éventuels incendies, lui qui traverse notamment des landes à genêts sèches. L'autre aspect important est que le canal est la seule source d'eau pour les villageois n'ayant pas d'eau courante. Étant situé à plus de deux kilomètres à pied du Tarn, il est aujourd'hui leur seul moyen d'accéder à l'eau pour les usages domestiques.

L'usage agricole et sa gestion

Le point qui reste le plus important pour tous ces béals est leur utilisation pour l'irrigation agricole. Utilisés de différentes manières, par immersion, par pompage de l'eau du béal ou grâce aux réseaux secondaires dans les cultures, d'après les utilisateurs, il reste le système le moins coûteux et le plus adapté. Pour eux, le système d'irrigation à canaux ouverts ne se réduit pas à un simple canal acheminant de l'eau. « Il est un système complexe composé d'une artère principale, le béal, qui dessert des veines, les canaux secondaires, alimentant les jardins, les maisons, les cultures et les moulins ». Ils considèrent ce fonctionnement comme intégré à l'environnement et au paysage. Mais ils sont conscients qu'aujourd'hui leur usage a beaucoup changé.

L'un des principaux problèmes qu'ils rencontrent, surtout pour les grands béals, est l'entretien. Ils observent que la diminution du nombre d'utilisateurs entraîne une charge d'entretien plus importante pour ceux qui conservent son usage. Entre les différents propriétaires utilisant un même béal, dans les cas où il n'y a pas d'ASA, le partage de l'entretien et de l'eau est la source de nombreux conflits.

La patrimonialité

Ils ont entendu parler de l'époque des grands réseaux de béal organisés sur plusieurs étages et traversant les vallées. Le paysage était alors structuré par l'agriculture locale. Les terrasses de culture maraîchère ou d'arboriculture recouvraient une grande partie des versants cévenols, mais aujourd'hui, ils déclarent être témoins de l'abandon de cette technique, qu'ils associent à une fermeture du paysage. Mais ils le ressentent aussi comme une perte de patrimoine avec la disparition d'une technique ancestrale ainsi que l'abandon des structures architecturales telles que les aqueducs, gourgues (réservoirs d'eau aménagés), canaux et autres moulins.

L'avenir des béals

Leur inquiétude principale est la perte des béals à cause des restrictions réglementaires et du désintérêt des gens pour cette technique peu coûteuse, mais non moins chronophage. Si les gens perdent l'utilité d'un béal, alors ils arrêtent de l'entretenir, et dans les cas où de nouveaux agriculteurs s'installent sur une propriété avec un béal, ils optent quand même pour une autre technique d'irrigation.

5.4 Diagnostic des béals de la vallée de l'Arre

Voici la cartographie réalisée tout au long du stage, elle répertorie tous les béals de la vallée qui ont pu être trouvés. La prospection était basée sur la cartographie de 2011 et incomplète, tous les béals de la vallée n'ont sans doute pas été trouvés. D'autant plus que la vallée n'a sûrement pas été couverte dans sa totalité.



Figure 23 : Carte de localisation des béals de la vallée de l'Arre (partie Ouest)



Figure 24 : Carte de localisation des béals de la vallée de l'Arre (partie Est)

Dans la vallée, 24 béals ont été recensés, dont un à Alzon qui n'apparaît pas sur la carte. Parmi eux, six sont encore utilisés (béals en bleu), pour l'arboriculture, le maraîchage et principalement pour l'agrément ou des potagers privés. D'après les entretiens avec les usagers, peu de béals ont été abandonnés ces 20 dernières années, la majorité ayant été fermés par la police de l'eau. La grande dynamique d'abandon semble avoir eu lieu vers les années 1950, lorsque l'irrigation par aspersion était déjà bien implantée en France. En plus de la diminution de l'agriculture, les exploitants ayant changé de système d'irrigation ont cessé l'entretien des canaux, aujourd'hui, des béals utilisés il y a quarante ans ne sont plus visibles.

Parmi les béals inutilisés, seules deux abandonnés ou fermés dans les 15 dernières années sont en bon état. Cela est dû à leur structure bétonnée qui se dégrade plus lentement que ceux en terre, mais aucun béal sans usage ne semble être encore entretenu (voir annexes 14 et 15).

La seule difficulté à trouver des béals, surtout dans les villages sur les versants, témoigne de la disparition grandissante de ces ouvrages autrefois abondants sur les versants. Dans certains villages, la recherche de canaux relevait plus d'une fouille archéologique que d'une prospection.

6. Discussion

6.1 Services écosystémiques de soutien

Ces types de services ne sont pas directement utiles aux humains, ils interviennent dans des processus écologiques essentiels au fonctionnement des écosystèmes. Ils apportent des éléments, des interactions ou une diversité écologique qui forment les conditions indispensables à la production des autres types de services écosystémiques.

Avant tout, il convient d'expliquer l'apport des inventaires pour l'étude. Ces études de biodiversité, que ce soit pour la faune, la flore ou les habitats, ne permettent pas de déterminer si un béal attire une plus grande biodiversité que dans des zones sans béal. Cela peut donner un aperçu de la diversité spécifique et écologique qu'un béal peut apporter, mais pour savoir si elle est plus importante, il faudrait s'intéresser à toutes les espèces vivant dans les zones étudiées. Or, nous nous intéressons ici principalement aux espèces liées aux milieux aquatiques, que nous ne retrouverons évidemment pas dans des milieux secs. Mais une prairie sèche peut accueillir une biodiversité au moins aussi importante qu'une prairie humide. Ce qui est intéressant, c'est que le canal passe dans ces habitats et les modifie à son échelle.

Avant de rentrer dans le détail des espèces observées, si l'on s'intéresse aux espèces et types d'habitats côtoyant les béals, nous nous rendons compte que le béal semble bien créer des conditions spécifiques. En prenant en compte le fait qu'il n'y a pas de variables différentes entre les inventaires et leurs témoins, mis à part la présence du béal, alors les différences entre eux peuvent être expliquées par la présence du béal. Les différents types d'habitats observés le long des canaux sont directement liés à l'humidité du sol et aux populations végétales. Au vu des espèces hygrophiles trouvées ainsi que des valeurs d'humidité du sol obtenues d'après la méthode d'Ellenberg, les berges présentent une humidité apportée par l'eau infiltrée du béal.

Cet apport d'humidité, plus ou moins important selon les conditions (sols, fuites...), permet à des espèces de plantes dépendantes d'une certaine humidité, comme la Linaigrette à feuilles étroites, de prospérer. Mais pas seulement, nous avons vu dans l'état de l'art qu'une humidité prolongée sans être excessive favorise également un meilleur développement des plantes et arbres en général, pas seulement pour les espèces hygrophytes (Walther, 2015). Ces communautés de plantes hygrophiles forment des habitats spécifiques à cet apport d'humidité. La diversité des habitats de manière générale ainsi que le canal en lui-même fournissent des espaces de vie, de reproduction, de développement ou encore de dispersion à un grand nombre d'espèces de faune et de flore, dont certaines sont rares ou menacées. Les habitats qualifiés de zones humides, comme les roselières, tourbières ou mégaphorbiées, ont d'autres rôles que l'accueil d'espèces. Ces zones saturées en humidité stockent l'eau pendant une certaine durée avant de la restituer au milieu naturel, ce qui contribue à la résilience des écosystèmes face aux périodes de sécheresse notamment. En plus de stocker l'eau, les tourbières, de par leur accumulation de matière organique, sont d'importants pièges à carbone.

L'un des derniers rôles des habitats qui ressort des résultats du stage est la continuité écologique. La frange de végétation naturelle suivant les canaux forme des corridors écologiques empruntés par de nombreuses espèces. Les espèces de reptiles, amphibiens, insectes et oiseaux observés utilisent ces voies pour se déplacer ou étendre leur territoire, tout en limitant leur exposition aux prédateurs. Les prairies humides basses sont principalement parcourues par les petites espèces comme les grenouilles ou papillons, mais les habitats tels que les roselières ou aulnaies forment des zones de passage pour des animaux allant des oiseaux au chevreuil. Cela vaut également pour les plantes, qui se dispersent le long des canaux en suivant l'humidité des berges. Le béal peut lui aussi être considéré comme un corridor écologique. En effet, bien que des béals soient au bord des routes ou de jardins tondu ou plantés, il fait office de couloir de passage pour certaines espèces. Dans une époque où l'urbanisation grignote et morcelle les zones naturelles encore existantes, les corridors écologiques liant ces zones entre elles sont d'une importance grandissante. Certains béals, à condition que l'eau y circule, peuvent remplir cette fonction, même s'ils sont en béton et qu'ils n'apportent pas d'humidité au sol. Pour prendre un exemple concret, un des béals étudiés (béal de la source d'Isis) durant le stage, traverse une zone urbaine composée de maisons. Dans un des jardins, une mare a été creusée et accueille une population de libellules en plein quartier. Certains individus ont pu s'aventurer dans le quartier et s'installer dans ce jardin, mais il est plus que probable que le béal longeant le jardin et connecté à la rivière (Arre) ait servi de connexion entre les deux. Certaines espèces ont besoin de ces corridors pour se déplacer et coloniser de nouvelles zones. Les poissons, libellules et autres insectes comme les plécoptères utilisent le canal pour se nourrir, se reproduire et se déplacer. Le maraîcher de Lasfons habitant en face de son béal raconte que « l'été on voit plein de libellules sur le béal,... certains matins, il y a même des renards et chevreuils qui viennent y boire ».

La phytosociologie des berges des béals a révélé la présence de plantes présentant divers intérêts. Des espèces dites plantes hôtes et mellifères favorisent la présence d'une biodiversité fonctionnelle en contribuant aux services de soutien. Cette contribution passe par des fonctions essentielles aussi bien aux milieux naturels qu'agricoles. Cela comprend la pollinisation, qui permet la reproduction de certaines plantes entre autres, la régulation par prédation qui assure un équilibre des parasites ou ravageurs par exemple, ainsi que la fertilité des sols, possible grâce à la présence de divers organismes du sol décomposant la matière organique. Des espèces comme la Valériane officinale ou la Succise des prés produisent du nectar et du pollen qui attirent les insectes pollinisateurs. Parmi ces insectes, des espèces clé de voûte comme les abeilles ont été inventoriées, elles favorisent la durabilité des écosystèmes en pollinisant de nombreuses espèces végétales.

La richesse des espèces colonisant les béals diversifie les fonctions qu'elles peuvent assurer. Par exemple, un certain type de plantes présente des bactéries fixatrices d'azote sur leurs racines. Ces bactéries sont capables de capter l'azote et de le transformer en élément assimilable par les plantes. Quand ces plantes fixatrices d'azote meurent, la dégradation des racines et nodosités (bactéries) vient enrichir le sol en azote. Certaines de ces plantes, telles que l'Aulne glutineux ou des espèces de trèfles présentes dans les inventaires, assurent cette fonction et participent ainsi au cycle des nutriments.

D'autres encore, comme la Reine-des-prés et les carex, participent à la stabilisation des berges grâce à leur système racinaire. Cela limite l'érosion et le comblement des béals en terre, diminuant l'entretien fastidieux des canaux comme le curage.

Les habitats et les plantes qui composent les berges des canaux attirent une faune riche. Parmi elle, des espèces dites auxiliaires ont été observées. Elles sont des organismes qui rendent différents services écosystémiques de soutien tels que la pollinisation, la structuration et la vie du sol ou la régulation des ravageurs. Ces organismes peuvent être des insectes, des vers de terre, des oiseaux, amphibiens et autres.

Le béal attire différents oiseaux qui l'utilisent pour s'hydrater, se nourrir ou se protéger. Certains de ces oiseaux insectivores, comme les espèces de mésanges, fauvettes ou bergeronnettes observées le long des béals, participent à la lutte contre les insectes ravageurs des cultures. Mais cette lutte est collective, les insectes prédateurs comme les fameuses coccinelles ou les guêpes parasitoïdes, les lézards, les grenouilles, les serpents ou encore les renards éliminent tous une quantité non négligeable de bioagresseurs, phytopathogènes et ravageurs de culture, allant des pucerons aux rongeurs. Le béal est également un refuge pour des espèces rares et protégées dépendantes de ces habitats.

Des animaux invisibles et pourtant d'une importance capitale sont aussi favorisés par les béals (en terre). En effet, nous avons vu dans l'état de l'art que l'eau s'infiltrant en continu contribue à maintenir une humidité stable, en favorisant l'activité microbienne et la présence d'invertébrés détritivores comme les vers de terre (Fadl, 2024). En se nourrissant des déchets organiques du sol, fragmentés en amont par d'autres micro-organismes pédologiques, les détritivores restituent des éléments minéraux, participant ainsi à la minéralisation de la matière organique. Bien qu'aucune étude n'ait été menée sur les cultures ou les sols cultivés pendant le stage, il est possible que cette influence du béal sur la qualité du sol et sur la croissance des végétaux s'étende, au moins en partie, aux parcelles agricoles adjacentes.

Il faut savoir que seuls les béals susceptibles de rendre des services écosystémiques ont été inventoriés. Des béals bétonnés comme ceux de Mouretou ou d'Arrigas, qui étaient en eau, n'ont pas fait l'objet d'inventaires naturalistes. L'absence de vie en leur sein ou sur les berges, mise à part quelques poissons, peut révéler que certains béals (principalement bétonnés) ne sont pas favorables à l'accueil d'une certaine faune ou flore. Plusieurs raisons peuvent intervenir. Tout d'abord, les béals concernés par des inventaires naturalistes présentent tous une circulation continue de l'eau à l'année. Ce qui permet à des populations de faune et de flore de réellement coloniser le canal et ses berges, contrairement à une utilisation ponctuelle du béal qui est à sec durant des mois. L'absence de substrat peut également être un facteur limitant, un canal avec un fond bétonné ou creusé dans la roche ne permet pas l'accueil de plantes ou d'invertébrés. Mais de manière générale, nous pouvons dire que les béals étudiés influencent l'environnement de différentes manières. Nous ne pouvons néanmoins pas généraliser ces résultats à tous les béals de la vallée ou même des Cévennes. Les béals peuvent apporter des services de soutien dans certaines conditions, mais ce n'est pas systématique.

6.2 Services écosystémiques d’approvisionnement

Les béals assurent un approvisionnement en nourriture des vallées cévenoles où ils sont encore utilisés, en irrigant différents types de cultures et des potagers de particuliers. Le maraîcher d’Alzon explique « Avant que le béal des voisins soit fermé, leur potager qu’ils arrosaient avec le béal leur permettait de ne pas aller acheter de légumes au supermarché l’été. ». Bien que peu de béals soient encore utilisés pour l’agriculture, certains irriguent toujours des vergers, prairies de fauche ou cultures maraîchères. Leur importance est amoindrie, mais ils permettent toujours à des particuliers de se nourrir, aux agriculteurs de vendre des fruits et légumes ou de produire du fourrage pour les élevages.

6.3 Services écosystémiques de régulation

La circulation de l’eau en été maintient une humidité locale, atténuant les effets des vagues de chaleur sur la végétation et la biodiversité locale. D’après le gestionnaire du béal d’Alzon « On voit un dégradé de végétation différente entre le canal et le verger ». Les espèces hygrophiles présentes le long des béals peuvent nous laisser penser que le béal a bien une influence sur l’humidité du sol. Que ce soit par infiltration, ruissellement ou humidité ambiante, les bordures immédiates accueillent des plantes qui ne seraient sûrement pas là sans le béal. Les types d’habitats dominants présents sur les berges, tels que les prairies ou zones humides, ainsi que les valeurs d’Ellenberg calculées sur les sols des berges, vont eux aussi dans le sens d’une influence sur l’humidité du sol.

L’existence d’un microclimat généré par le béal n’a pas été étudiée avec des mesures ou autres. Mais ce qui peut laisser penser que le béal crée une humidité ambiante à l’échelle du canal, est notamment la présence de plantes sur les parois en terre ou bétonnées de certains canaux. En effet, une *Drosera* à feuilles rondes à une dizaine de centimètres au-dessus de l’eau sur une paroi du canal a été observée. C’est une espèce vivant dans les tourbières, elle nécessite donc une humidité très importante, qui semble insuffisante sur les berges ne présentant pas de ruissellement. Le même cas a été observé avec des mousses et fougères hygrophiles sur les parois de béal bétonné.

Sur le béal du moulin d’Arnaud, la présence d’*Aulnes glutineux*, espèce nécessitant une bonne humidité, sur une bande relativement étroite le long du béal, peut indiquer une dispersion limitée des arbres, par une extension relativement restreinte de l’eau infiltrée. Bien que d’autres variables comme la luminosité puissent intervenir dans la faible colonisation de l’espèce.

Cette observation d’une influence sur la flore limitée à un périmètre de plus ou moins un mètre autour du canal vient appuyer l’opinion de 3 personnes interviewées. Ils expliquent que d’après eux, si le canal apporte une humidité au sol, c’est à une échelle restreinte. Pour eux, ce qui permet d’étendre cette humidité dans l’espace, ce sont les canaux secondaires et les fuites qui répartissent

l'eau sur de plus grandes surfaces. C'est notamment le cas sur le béal de Felgerolles qui alimente diverses zones humides et sources, jusqu'à des dizaines de mètres du béal. L'échelle de l'influence du béal semble dépendre de plusieurs facteurs comme le type de sol ou la pente.

Malgré l'influence évidente du béal sur l'humidité des berges confirmée par les habitats et plantes observées, ainsi que les pertes par infiltration mises en évidence par les mesures de débit, la quantité d'eau restituée au milieu ou perdue n'est pas mesurable dans le cadre du stage.

En effet, l'infiltration dans le sol dépend de facteurs tels que la nature de la couverture pédologique, sa conductivité hydraulique ou la pente du canal (Gilli et al., 2021) et (Bruand et Y. Coquet., 2005), qui rendent les interprétations délicates. D'autres phénomènes comme l'évapotranspiration sont à prendre en compte. Ce processus désigne les pertes d'eau du sol, soit par évaporation directe, soit par transpiration des plantes qui peuvent avoir une réelle importance dans les quantités d'eau prélevée.

6.4 Services écosystémiques culturel

La valeur paysagère des béals est aujourd'hui peu perceptible, du moins dans la vallée de l'Arre. Les témoignages des personnes questionnées décrivant les vallées aux périodes où l'irrigation gravitaire avec béals était la seule technique, parlent de versants fleuris par les arbres fruitiers, des terrasses d'oignons sur des centaines d'étages structurant les versants et des fonds de vallée recouverts de prairie et de cultures maraîchères. Toutes ces plantations dépendaient des réseaux de béals longeant les versants sur plusieurs niveaux et traversant les vallées. Mais aujourd'hui les versants sont abandonnés, colonisés par les châtaigneraies inexploitées ou par les forêts de chêne vert ou de pins, faisant disparaître les béals et terrasses sous la végétation. Les fonds de vallée laissent moins de place aux cultures en faveur de l'urbanisation et les béals sont petit à petit fermés ou remplacés par d'autres irrigations. Les terrasses d'oignons, de pommiers et les cultures maraîchères modèlent toujours le paysage mais ne sont bien souvent plus irriguées par les canaux gravitaires. Seules les béals entretenus et utilisés longeant les jardins et propriétés ou traversant les villes et villages, participent encore à la structuration d'un paysage à échelle plus modeste. Ces ouvrages autrefois fonctionnels, se convertissent au fil du temps en structures historiques témoignant d'un ancien mode de vie centré sur une autre gestion de l'eau et l'agriculture. Sur les hautes montagnes de Cévennes comme les monts Aigoual ou Lozère, la valeur paysagère des béals est plus importante. Le cas du hameau de Felgerolles au sud du mont Lozère est un bon exemple. Un béal de 2,5 kilomètres y a été construit, il traverse une forêt, des landes et prairies, le hameau est organisé autour du canal car il est la seule source d'eau utilisable. Un chemin de randonnée le suivant attire beaucoup de touristes, et en prenant du recul sur le versant, un replat composé d'une végétation différente traversant le versant est observable depuis le village en contrebas.

Pour tous les acteurs interrogés, même ceux ayant changé de système d'irrigation, les béals sont très importants pour le patrimoine cévenol. Ils représentent un savoir-faire traditionnel d'ingénierie

hydraulique avec une interaction entre agriculture et environnement que l'on ne retrouve pas sur d'autres systèmes. Les ouvrages en terre ou maçonnés, demandent la maîtrise d'une certaine technique pour leur construction et entretien. Les abandons ou modernisation de béals entraînent la perte de ce savoir-faire, pour l'un des gestionnaires du béal de Felgerolles « Un béal perdu, c'est des siècles de travail de main d'homme perdu ».

Ils participent à l'identité locale, les personnes vivant à proximité de béal, sans forcément les utiliser, sont rattachées aux canaux. Les béals font partie de leur quotidien (voir figure 25), les gens se baladent sur les berges, un des gestionnaires du béal de Felgerolles ayant sa maison au bord raconte que « L'été je fais des siestes au bord du béal, bercé par l'eau qui coule ».

L'histoire des béals en activité ou abandonnés est encore bien connue par certaines générations qui ne demandent qu'à les partager pour conserver cette identité culturelle faisant partie intégrante des vallées. Le propriétaire du béal d'Alzon a racheté le terrain comportant le béal à un membre de sa famille. Cette personne a pu lui transmettre l'histoire du béal et des bâtiments associés ainsi que son fonctionnement.

Dans les zones où les béals sont encore couramment utilisés, de réels liens sociaux se créent autour de la gestion et l'utilisation des béals. L'entretien peut se partager entre les différents usagers et les méthodes d'entretien et d'utilisation peuvent se transmettre d'une génération à l'autre, créant des liens intergénérationnels. Mais ces transmissions se sont beaucoup perdues.

Les canaux sont des lieux de découverte et d'échange. Les berges des canaux ont une certaine attractivité touristique et des activités récréatives peuvent s'y dérouler, telles que la pêche, le cyclisme, la randonnée, les sentiers de découverte du patrimoine. L'association gérant le béal de Felgerolles organise notamment plusieurs sessions d'entretien du canal, ouvertes au public, et une soirée au bord du béal est organisée chaque été en son honneur, pour éduquer et sensibiliser les gens.

Des activités économiques autres que l'agriculture sont encore associées aux béals. Par exemple, deux centrales hydroélectriques sont alimentées par des béals sur le Vigan, des moulins dépendant de béal sont en activité plus à l'est et en Lozère, et leur utilisation pour l'irrigation agricole ou d'agrément est encore d'actualité (voir figure 25). Les béals ont également un rôle dans le tourisme du territoire, c'est le cas du béal de Felgerolles connu pour la randonnée qui longe le béal sur plusieurs kilomètres. Le village de Felgerolles est constitué de quelques maisons dont une partie sont des chambres d'hôtes. Le béal, en plus de son utilité d'irrigation, attire les touristes et fait vivre le village à la belle saison. Les béals de hautes montagnes sont plus propices à ce genre de tourisme que ceux en fond de vallée, comme nous l'avons vu dans l'état de l'art avec les bisses qui sont plus touristique en Suisse.



Figure 25 : Photo du canal secondaire du béal de Lasfons (à droite) alimentant un jardin, un potager et une fontaine

6.5 Les externalités négatives

Les béals sont désignés comme un système excessivement consommateur en eau et trop peu efficace, ce genre de système est considéré comme gaspilleur d'eau dans un contexte où cette ressource manque. C'est la raison principale qui justifie les réglementations restrictives qui leur sont appliquées. N'ayant pas pu étudier l'écoulement souterrain de l'eau des canaux infiltrés, des données scientifiques sur les pertes réelles pour l'hydrosystème et les impacts sur l'écologie des rivières ont été recherchées.

Hormis l'étude sur la plaine de la Crau située dans l'état de l'art, aucune étude sérieuse apportant des résultats scientifiques n'a été trouvée dans la littérature. Il existe cependant des documents ou rapports internes à des structures, qui n'ont malheureusement pas pu être consultés. Mais différentes personnes qualifiées, telles que Yannick Manche (chargé de mission Eau du Parc national des Cévennes) avec qui j'ai discuté, affirment l'existence d'impacts significatifs sur les cours d'eau, sans donner de chiffres précis. Cette baisse de la qualité et la quantité d'eau des rivières impacterait

les activités touristiques, de loisir et agricoles qui se déroulent en aval. La pêche, la baignade et les sports nautiques nécessitent une qualité et quantité d'eau minimale, surtout en période estivale. L'irrigation agricole en aval est également directement concernée par les diminutions des prélèvements en amont. M. Manche a imaginé ses propos avec la comparaison suivante : « L'utilisation d'un béal, c'est comme laisser un robinet constamment coulé, et prendre l'eau quand on en a besoin. Cette idée ne viendrait à personne. »

Parmi les personnes interrogées, le président d'une fédération de pêche ainsi qu'un utilisateur de béal, physicien de profession, ont expliqué que la baisse du niveau des rivières et de la vitesse du courant entraîne une augmentation de la température de l'eau. Ce qui entraîne notamment une diminution de l'oxygénation des cours d'eau, impactant directement les populations de poissons ainsi que la faune et la flore en général. Un facteur aggravant ces externalités négatives a été observé dans la vallée de l'Arre. Il s'agit de l'abandon des ouvrages révélaté par le diagnostic des béals de la vallée. Certains béals plus utilisés et dont l'entretien n'est plus assuré, continuent de prélever l'eau de la rivière. En effet, les prises d'eau de certains béals abandonnés n'ont pas été fermées ou condamnées et acheminement de l'eau, dans un canal souvent dégradé, entraînant un détournement ainsi qu'une perte par infiltration inutile.

Des études sur des conversions de systèmes d'irrigation gravitaire en systèmes plus modernes ont été menées dans d'autres pays présentant des problématiques similaires. Une expérience menée dans l'État de Victoria, en Australie (Spenser., 2010) a démontré qu'en modernisant des systèmes d'irrigation gravitaire, il était possible de les rendre plus efficaces à 70 % et ainsi limiter les pertes d'eau pour les redistribuer dans d'autres domaines. Bien que cette étude ait été réalisée dans des contextes différents de celui des Cévennes, elle reste néanmoins intéressante comme solution pour la conservation des béals. Des modifications apportées sur des béals visant à améliorer leur efficacité pourraient permettre de conserver leur utilisation tout en réduisant les impacts sur les cours d'eau. Mais les modernisations présentées sont très importantes, avec de la technologie de pointe pour tout automatiser et contrôler. La question est de savoir si après de telles modifications, les béals pourront encore être considérés comme tels. Le changement de structure des béals et le remplacement d'éléments patrimoniaux tels que les martelières, nuira à l'aspect patrimonial des béals. De plus, une automatisation de son utilisation et de sa gestion éliminerait tous les savoir-faire accumulés depuis des siècles et transmis de génération en génération.

L'autre point limitant pour rendre cette expérience possible aujourd'hui est le coût. Dans l'article, il n'est pas expliqué pourquoi ce système est modernisé plutôt que remplacé par un autre. Malgré une économie d'eau et de temps, les coûts d'une telle modernisation sont très importants, il existe actuellement des systèmes moins coûteux à mettre en place et tout aussi efficaces, c'est le cas des systèmes pressurisés tels que l'aspersion ou le goutte-à-goutte.

Sans pouvoir s'appuyer sur des données scientifiques, en prenant en compte les différents avis et la tendance mondiale décrite dans l'état de l'art, qui penche vers une conversion des systèmes d'irrigation gravitaire, l'utilisation des béals n'est peut-être plus adaptée à une gestion durable de l'eau, même si de nombreux bénéfices sont apportés par ce système. De même pour l'aspect identitaire des béals pour les Cévennes ou patrimonial à plus grande échelle, qui représente un enjeu fort et non négligeable.

Conclusion

Ce stage a permis d'explorer la place des béals dans la vallée de l'Arre et plus largement dans les Cévennes, en mettant en lumière leurs divers intérêts agricole, écologique, hydrologique et patrimoniaux. L'analyse des données de terrain, des inventaires naturalistes, des mesures de débits et des entretiens a montré que ce système d'irrigation traditionnel, bien qu'il soit de plus en plus critiqué, continue de rendre des services écosystémiques essentiels. Les béals participent à l'approvisionnement en eau et en nourriture, favorisent la biodiversité spécifique et écologique, contribuent à la régulation hydrologique et représentent une forte valeur identitaire et culturelle pour les habitants.

Ces multiples services écosystémiques ont une influence sur le territoire difficilement appréciable. Les avantages apportés semblent limités à l'échelle du canal, au moins pour les externalités étudiées. Ces services rendus ne sont pas systématiques, seuls les béals présentant des intérêts pour les inventaires ont été étudiés. Par exemple, sur les six béals utilisés dans la vallée de l'Arre, trois ont été étudiés, les autres n'étaient pas concernés par les externalités étudiées.

En opposition, les impacts sur les écosystèmes aquatiques naturels détournés, ou ceux sur l'utilisation de l'eau en aval, semblent bien réels, bien qu'ils n'aient pas été étudiés pendant ce stage. Mais en l'absence d'étude scientifique quantitative, permettant une comparaison objective des externalités positives et négatives, il paraît impossible d'être catégorique sur la pertinence de l'usage des béals pour s'adapter aux variations du changement climatique.

Ce stage permet de comprendre les enjeux liés aux béals, qui font face à de nombreux défis. L'abandon lié à la déprise agricole, les contraintes réglementaires, la pression croissante sur la gestion de la ressource en eau et l'évolution des pratiques vers des techniques plus efficaces, sont tous les facteurs responsables de la forte diminution de leur utilisation.

Dans un contexte de changement climatique, l'avenir des béals repose sur la capacité à concilier leur rôle écologique et patrimonial avec une gestion durable et équitable de la ressource.

Pour y parvenir, différentes solutions semblent envisageables. Pour les ouvrages toujours utilisés, il paraît nécessaire de mesurer et contrôler précisément les entrées d'eau afin de protéger le débit minimum biologique de la rivière. Certaines solutions sont indiquées par des réglementations déjà existantes. C'est le cas de PGRE (Plan de Gestion de la Ressource en Eau) associé à des SAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux), qui fixent les règles locales de gestion de l'eau, et peuvent mentionner des actions précises concernant les béals. Par exemple, le PGRE du fleuve Hérault recommande la modernisation de certains canaux et vannes afin de limiter les pertes par infiltration ou encore la fermeture des béals inutilisés ou trop dégradés afin d'éviter des tronçons de cours d'eau court-circuités inutilement.

Concernant la période de circulation de l'eau dans les canaux, c'est plus complexe. Les résultats de ce stage montrent bien l'importance du maintien en eau des canaux toute l'année pour les différents services rendus, mais c'est ce mode de gestion qui est le plus consommateur en eau. Même si cela paraît difficilement réalisable, bien que le nombre de béals soit de moins en moins important, l'idéal

serait de réfléchir au cas par cas. Des béals en bord de route, de mur, de maison ou tout autre contexte limitant les possibles services écosystémiques, pourraient être ouverts uniquement en période d'irrigation. Ce contrôle du potentiel « gaspillage » permettrait peut-être de pouvoir maintenir en eau toute l'année les béals ayant une réelle importance écosystémique, tout en limitant leur impact général. De plus, les canaux bétonnés peuvent détourner de l'eau toute l'année sans grand impact au vu des très faibles pertes par infiltration, bien que les services rendus par ce type de canal soient plus modérés.

Pour l'aspect agricole, une des solutions déjà développées sur le territoire, principalement pour des réseaux sous pression, est la création de cuves de stockage. Elles stockent l'eau récoltée en période hivernale par prélèvement des eaux de surface ou par ruissellement, afin de soutenir l'irrigation durant les périodes critiques de débit d'étiage. Une autre possibilité est l'association de l'irrigation par aspersion et par gravité. L'irrigation par aspersion est moins consommatrice en eau que des béals (Mengoub et al., 2021). Donc, si les cultures sont irriguées par aspersion en pompant l'eau du béal, cela permettra de maintenir la fonction d'acheminement de l'eau aux cultures, tout en détournant une plus petite quantité d'eau adaptée à l'aspersion. Conservant ainsi l'utilisation du béal, bien que l'irrigation associée ne soit plus traditionnelle.

Enfin, ce stage a contribué à l'apport de connaissances sur les béals cévenols et a souligné leur importance écologique et patrimoniale. Malgré l'apport indiscutable de ces services, du point de vue de la gestion de la ressource en eau et des étiages de plus en plus sévères, ce système d'irrigation ne semble plus pertinent pour une utilisation agricole en l'état actuel.

Dans un contexte climatique actuel et futur marqué par des sécheresses plus fréquentes et une disponibilité en eau limitée, chaque prélèvement doit être mesuré et justifié. Le maintien de canaux d'irrigation dont l'efficacité est considérée comme faible pourrait accentuer la pression actuelle exercée sur la ressource en eau et sur les écosystèmes aquatiques. Une gestion non optimisée des béals ne paraît pas pertinente pour une utilisation durable et équitable de l'eau. La conservation de ce patrimoine est encore possible, sans être forcément en contradiction avec une gestion durable de l'eau utilisée pour l'agriculture. La reconnaissance des béals au patrimoine culturel immatériel de l'UNESCO représente une opportunité pour conserver cette technique traditionnelle en repensant leur utilisation et leur gouvernance.

Pour compléter ce stage, une étude dédiée à la compréhension de la contribution de l'eau des béals dans l'hydrosystème, viendrait préciser les réels impacts des béals. Une attention particulière pourrait être portée sur l'impact de l'évapotranspiration des végétaux et notamment des arbres, qui colonisent de plus en plus les berges des béals depuis la fermeture des milieux dans la région. En prélevant l'eau du canal et de l'infiltration, les végétaux pourraient faire diminuer la quantité d'eau potentiellement rendue directement à la rivière ou par l'infiltration en rechargeant les nappes. Ce phénomène d'évapotranspiration tend à s'intensifier avec la hausse des températures occasionnée par le changement climatique.

Références bibliographiques

Références scientifiques :

- Aldomany, M. (2017). *L'évaporation dans le bilan hydrologique des étangs du Centre-Ouest de la France (Brenne et Limousin)* (Thèse de doctorat). Université d'Orléans.
- Aspe, C., Gilles, A., Jacqué, M. (2014). *Analyse socio-environnementale des canaux d'irrigation en Durance. Des outils d'ajustement aux effets du changement climatique sur la variation des ressources en eau*. Revue d'Études en Agriculture et Environnement / Volume 95 / Issue 02 / June 2014, pp 151 - 176
- Aubriot, O., Valadaud, R. (2023). *Gestion de l'eau en Asie du Sud*. Études rurales, (211).
- Bär, R., et al. (2020). *Traditionelle Bewässerung – ein Kulturerbe mit Zukunft? Einblicke*.
- Barbier, B. (2009). *Le retour des grands investissements hydrauliques en Afrique de l'Ouest : perspectives et enjeux*. Les grands projets hydrauliques et leurs dérives. Vol 84/ 1-2
- Boundi, A. (2021). *Résilience aux changements climatiques : reconversion du système d'irrigation gravitaire au système d'irrigation localisée en zone semi-aride* (Thèse de doctorat). Université Sultan Moulay Slimane.
- Bruins, H. J., Evenari, M., Nessler, U. (1986). *Rainwater harvesting agriculture for food production in arid zones: The challenge of the African famine*. Applied Geography, 6(1), 13–32.
- Bruand, A., Coquet, Y. (2005). Chapitre 15 : Les sols et le cycle de l'eau. In *Hydrogéologie* (5e éd.). Paris : Dunod.
- Collard, A-L., Molle, F., Rivière-Honegger, A. *Le devenir des canaux d'irrigation gravitaire en Cévennes: entre gestion locale et nouvelle réglementation*. [Rapport de recherche] INRAE / Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala, 34090 Montpellier; EVS- UMR 5600. 2022. hal 03795660
- Errero-Brancato, F. (2025). *Habiter avec l'eau – Reconstruction de trajectoires sociohydrologiques en Cévennes*.
- Fadl, M. E., Sayed, Y. A., El-Desoky, A. I., Shams, E. M., & Zekari, M. (2024). Irrigation practices and their effects on soil quality and soil characteristics in arid lands: A comprehensive geomatic analysis. *Soil Systems*, MDPI.
- Nicolas Faysse, M. Ladki, D. Vega, M. Béchar. *L'urbanisation des périmètres irrigués gravitaires: problèmes, opportunités et choix difficiles. Leçons tirées des expériences française et bolivienne*, 3e Séminaire Wademed "L'avenir de l'agriculture irriguée en méditerranée- Nouveaux arrangements institutionnels pour une gestion de la demande en eau", Nov 2006, Cahors, France. 18 p. hal 00468527
- Gilli, E., Mangan, C., Mudry, J. (2021). *Hydrogéologie – 5e éd. Objets, méthodes, applications*. Paris : Dunod.

- Ladki, M. (2004). *Les externalités de l'irrigation gravitaire : identification, quantification, évaluation, gestion* (Sciences de l'environnement). HAL : hal-02583515.
- Latargère, J. (2020). Towards a new interpretation on water conflicts in Mexico: From disputes for water access to patrimonial claims.
- Latargère, J. (2021). *The role of gravity irrigation networks in territorial construction: the case of the irrigation network supplied by the spring Las Tazas in the State of Morelos, Mexico. Trace (Méz. DF)* [online]. 2021, n.79, pp.151-181. Epub 24-Mayo-2021. ISSN 2007-2392.
- Lavie, É. (2018). *Les nouvelles irrigations pressurisées : un défi pour la cartographie des réseaux d'irrigation*. Déclinaisons géographiques du changement social en Iran.
- Lecina, S., et al. (2011). Irrigation evaluation based on performance analysis and water accounting at the Bear River Irrigation Project (USA). *Agricultural Water Management*, Elsevier.
- Ezzahra Mengoub F., Lejars C. & Rachid Doukkali M. (2021). *Impacts De La Politique De Reconversion Des Systèmes D'irrigation Gravitaire vers l'irrigation Localisée : Cas Du Sous Bassin Du Tadla Azilal*. *European Scientific Journal, ESJ*, 17(24), 46.
- Masseroni, D., Ricart, S., Ramirez de Cartagena, F. (2017). Prospects for improving gravity-fed surface irrigation systems in Mediterranean European contexts.
- Ndongo, B., Fonteh, M., Ayangma, F (2005). *Typologie et efficacité des systèmes traditionnels d'irrigation gravitaire par aspersion dans les Hauts Plateaux de l'Ouest-Cameroun*. *Revue de l'académie des sciences du Cameroun* vol. No.1
- Recalt, C. (2009). *Entre partage et exclusion : les politiques de l'eau en Équateur depuis trente ans – l'exemple de Píllaro (Tungurahua)*. (Thèse de doctorat). Université Pierre Mendès France
- Rieul, L. (1996). Irrigation et gestion de la ressource en eau. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, 5, 33–42.
- Ruf, T. (2000). Droits d'eau et institutions communautaires dans les Pyrénées-Orientales. *Histoire & Sociétés Rurales*, 2001/2, 11–44.
- Schweizer, R. (2014). Accessibilité, équité et partage des ressources en eau. *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, 101(3).
- Spencer, G. (2010). *Making large gravity irrigation systems perform*. Sustainable Irrigation Management, Technologies and Policies III
- Taky, A., Mailhol, J.-C., Debbarh, A., Bouarfa, S., Hammani, A., et al. (2004). Diagnostic des pratiques d'irrigation gravitaire et possibilités d'amélioration dans le Gharb (Maroc). Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, Rabat, Maroc. CIRAD.
- Vandersypen, K., et al. (2006). Irrigation performance at tertiary level in the rice schemes of the Office du Niger (Mali): Adequate water delivery through over-supply. *Agricultural Water Management*, Elsevier.
- Wulamu, M. (2008). Les problèmes de la ressource en eau dans les villes du nord-ouest de la Chine. *Cahiers d'Asie Centrale*, (72).

Yanwei, F., Zhu, C., Bai, G., Ma, T., & Wang, Z. (2022). Numerical simulation of soil water movement by gravity subsurface hole irrigation. *Water Supply* 22 (7): 6389–6404.

Autres sources :

Barta, R., Broner, I., Schneekloth, J., & Waskom, R. (2015, 9 octobre). Les techniques d'irrigation agricole. *Colorado High Plains Irrigation Practices Guide. Irrigazette*.

Communal, T. 2014. *Etude des effets de l'installation de l'irrigation par aspersion en conditions d'irrigation paysanne andine – Cangahua – Equateur*. Montpellier : Montpellier SupAgro, 85 p. Mémoire de master 2 : Gestion sociale de l'eau : Institut des régions chaudes

Dubreuil, P. (2005). *Coup d'œil sur la diversité des irrigations dans le monde*. Les Colloques de l'Académie d'Agriculture de France, 2005, n° 1. Colloque du 19 mai 2005.

Gayet, G., Baptist, F., Maciejewski, L., Poncet, R., Bensettiti, F. *Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS - Version 1.0 - Janvier 2025*

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. *Encuesta Nacional Agropecuaria*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Marco, S. (2017, 21 juin). *Les savoir-faire liés à l'irrigation gravitaire par béals (canaux) en Lozère* [Fiche d'inventaire du patrimoine culturel immatériel]. Ministère de la Culture.

Ministère de la Culture. (2019). *Fiche d'inventaire du patrimoine culturel immatériel en France : Les béals*. Paris : Ministère de la Culture.

MNHN & OFB [Ed]. (2003-2024). Inventaire national du patrimoine naturel (INPN). [Lien](#)

Office français de la biodiversité. *DRIAS Les futurs de l'eau* : <https://www.drias-eau.fr/>

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2025). FAOSTAT (base de données statistiques) : <https://www.fao.org/faostat/fr/#data>

Pellaton, L. (2021). *État des lieux des réseaux collectifs d'irrigation en Occitanie* (Rapport technique).

Perrin, G., Rapinel, S., Choisnet, G., Clément, B., Bouzillé, J.-B., & Hubert-Moy, L. (2023). La démarche Ellenberg : une alternative simple et robuste à la démarche réglementaire pour la délimitation des zones humides en France métropolitaine. *Sciences Eaux & Territoires*, (43)

Reynard, E. (2015). L'utilisation touristique des bisses du Valais (Suisse).

SYMCRAU. (2020, septembre). *Analyse prospective de la sensibilité de la nappe de la Crau aux conditions de recharge et de prélèvement pour définir les termes quantitatifs d'une gestion durable de la ressource à l'horizon 2050* (Rapport technique).

Walther, P. (2015). *Gestion durable de l'eau en Suisse : Le PNR 61 montre les voies à suivre pour l'avenir* (Monographie). Synthèse globale dans le cadre du Programme national de recherche «Gestion durable de l'eau» (PNR 61), Berne.

Annexes

Nom profil: BEALMOU
 Nom opérateur: RV
 10:05:38 24.07.2025

Modèle: MF pro
 n/s: 000000339449
 Dém: v.1,00
 Application: v.2,05

Type capt.: Vitesse et profond.
 n/s: 231300340263
 Dém: v.1,00
 Application: v.1,02

Filtre: MPF Paramètre: 20 s
 Pré-filtre: Marche Rang: 5
 IEM: 50 Hz.

Saisie station: Non fixe
 Calcul débit: Section méd.
 Rive de départ: Rive gauche
 Nb de stations: 6
 Largeur du flux: 0,850 m
 Débit total: 0,072 m³/s
 Surface totale: 0,164 m²
 Prof. moy.: 0,194 m
 Vitesse moy.: 0,436 m/s

Résultats de mesure:

Tps	Station	Emplac. (m)	Méthode	Méthode	Prof. (m)	Epaisseur de la glace (m)				Référence de longueur (m)			
09:58:36	1	0,320	Rive gauche		0,190	-	1,000	0,900	-	0,000	0,000	0,000	0,000
10:00:30	2	0,500	2 point 2		0,193	-	1,000	-	0,000	0,000	0,465	0,046	0,000
10:01:50	3	0,650	2 point 2		0,193	-	1,000	-	0,000	0,000	0,526	0,037	0,000
10:03:21	4	0,800	2 point 2		0,200	-	1,000	-	0,000	0,000	0,519	0,040	0,000
10:04:39	5	1,000	2 point 2		0,197	-	1,000	-	0,000	0,000	0,441	0,044	0,000
10:05:33	6	1,170	Rive droite		0,179	-	1,000	0,800	-	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 1 : Exemple de résultats de mesures de débit obtenues avec le débitmètre
 (prise d'eau du béal de Mouretou)





Annexe 4 : Photo du béal de Felgerolles dans la partie hêtraie



Annexe 5 : Photo du béal de Felgerolles dans la partie prairie



Annexe 6 : Photo du béal de la source d'Isis



Annexe 7 : Photo du béal de Mouretou

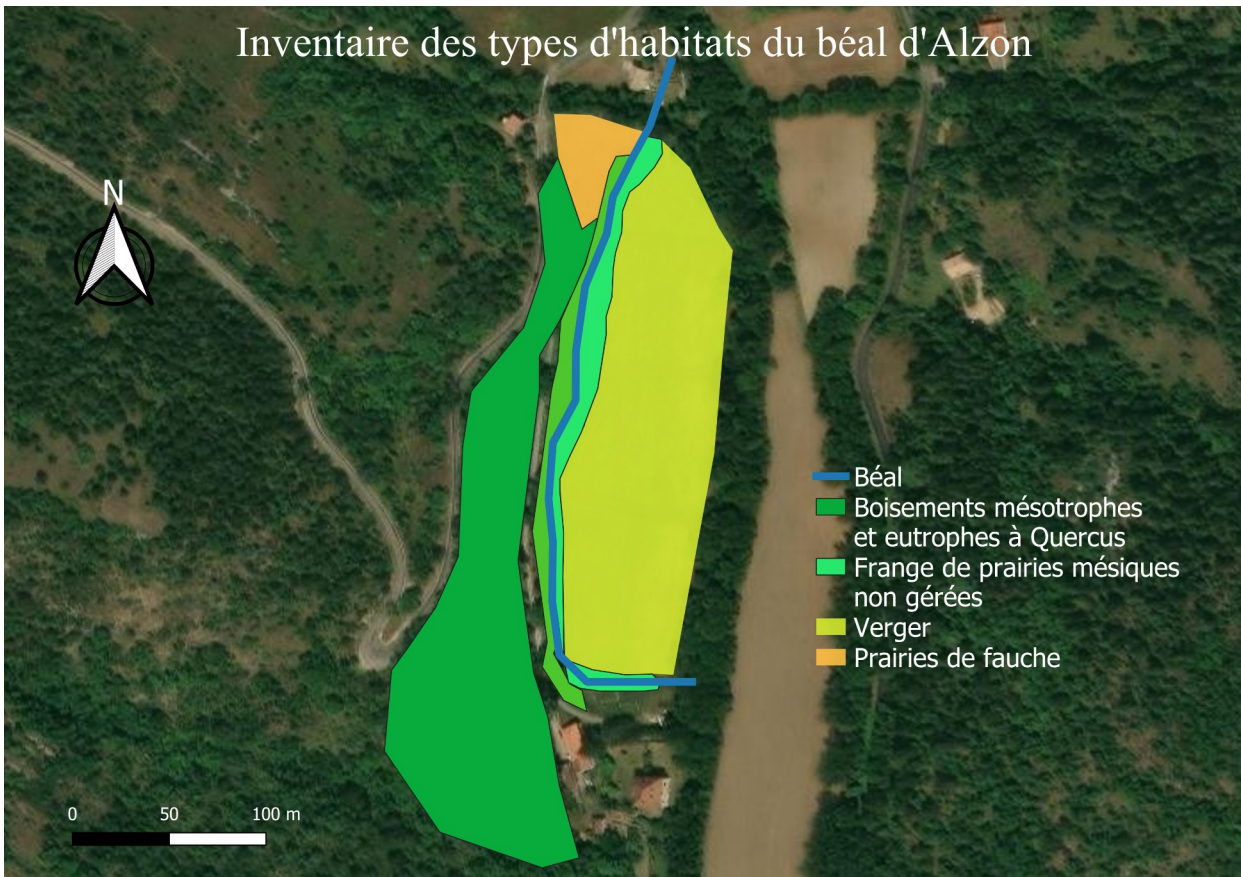


Annexe 8 : Photo du béal du moulin d'Espaze

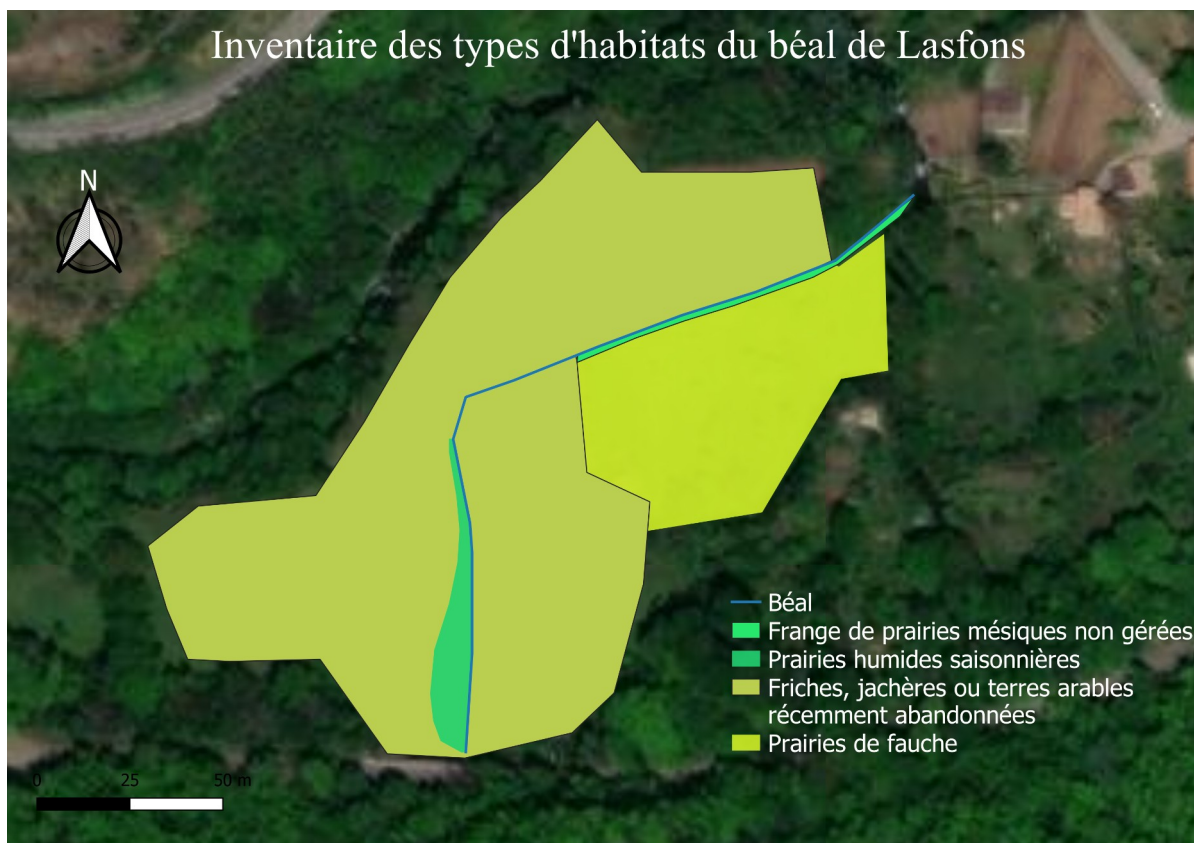


Annexe 9 : Photo du béal du moulin d'Espaze





Annexe 12 : Carte des habitats inventoriés sur le béal d'Alzon



Annexe 13 : Carte des habitats inventoriés sur le béal de Lasfons



Annexe 14 : Photo d'un béal abandonné dans la vallée de l'Arre



Annexe 15 : Photo d'un béal abandonné dans la vallée de l'Arre

Annexe 16 :Grille d'entretien

Généralités

Lien avec les béals (agriculteur, riverain, historien, élu, chercheur, gestionnaire...)

Utilisez-vous seul le béal ? Si non, quel mode d'organisation ?

Pour quel type d'usage utilisez-vous le béal ?

Quelle surface est concernée ?

Quand votre béal a-t-il été construit et depuis quand l'utilisez-vous ?

Comment avez-vous appris à utiliser et entretenir le béal ?

La transmission de ce savoir-faire a-t-elle changé au cours du temps ?

Y a-t-il eu une évolution de ce béal depuis sa création ? (changement de gestion, entretien, bétonnage, amélioration...)

Pensez-vous changer de système d'irrigation ? Pourquoi ?

Quels sont pour vous les avantages et les inconvénients de ce type d'irrigation par rapport aux autres ?

Gestion associative

Comment se structure l'organisation de l'association, d'un point de vue humain et financier ?

Rencontrez-vous des difficultés particulières dans cette organisation ? Lesquelles ?

D'un point de vue juridique, connaissez-vous les réglementations ? Qu'en pensez-vous ?

Avez-vous accès à des aides publiques pour la gestion ou l'entretien des béals ?

Intérêts social

À l'instar des différents types d'agriculture, l'utilisation des canaux entraîne-t-elle un mode de vie particulier ? (connaissance du territoire, gestion des canaux, modes constructifs)

Ce système d'irrigation renforce-t-il les liens sociaux entre les habitants ou crée-t-il des tensions ? Comment ?

Comment percevez-vous l'évolution des béals au fil du temps ? Y a-t-il une perte de savoir-faire ou d'intérêt ? Ou, au contraire, un regain d'engouement ?

Pensez-vous que cette tradition pourrait disparaître si elle n'est pas protégée ? Que faudrait-il pour revitaliser l'irrigation gravitaire et lui redonner du sens (nouveaux usages) ?

Intérêts culturel

Avez-vous des exemples d'événements, de traditions ou de récits populaires liés aux béals ?

Rôle des béals dans l'environnement et la gestion de l'eau

Les béals contribuent-ils à la gestion durable de l'eau ? Comment ?

Ont-ils un impact sur la biodiversité locale et les paysages ? Pouvez-vous donner des exemples concrets ?

En quoi les béals peuvent-ils être une solution face aux changements climatiques (sécheresse, inondations, gestion des nappes phréatiques) ?

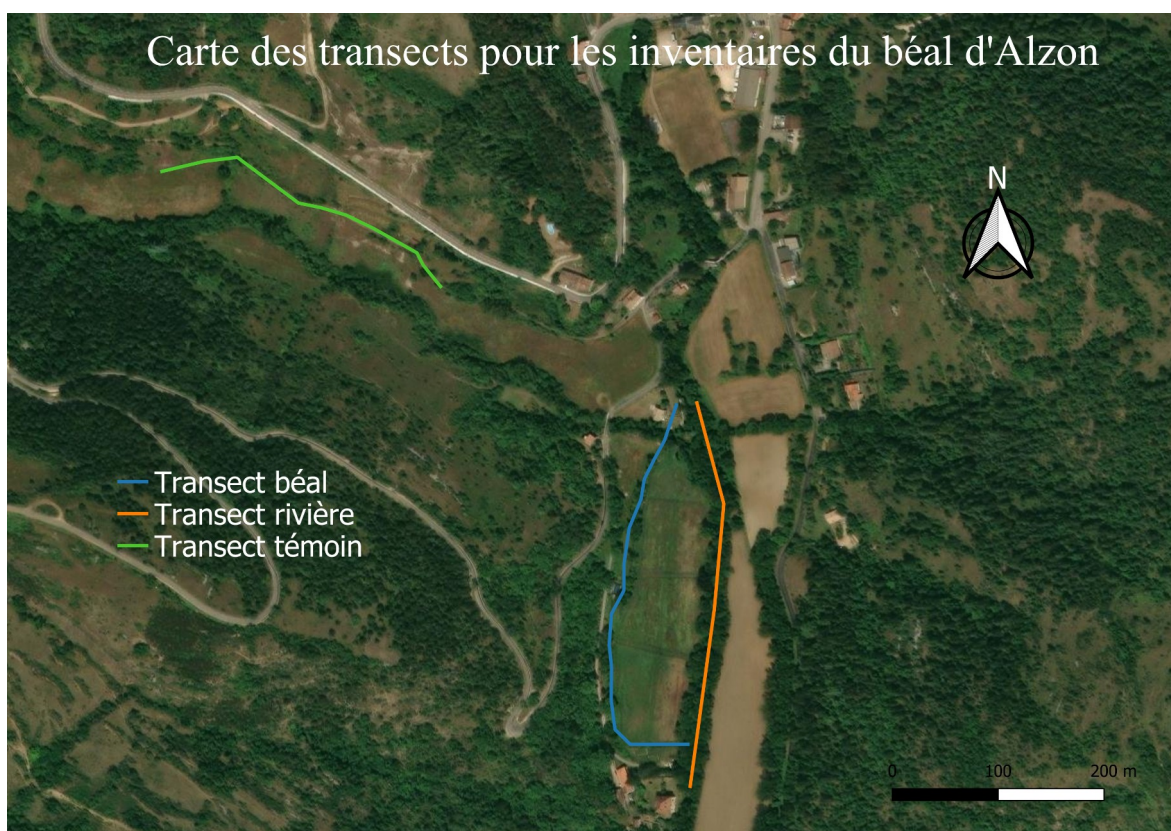
Pour les agriculteurs ayant changé de mode d'irrigation

Depuis quand avez-vous changé ?

Pourquoi avez-vous changé de système ?

Quels sont les avantages et inconvénients par rapport aux béals ? Meilleure croissance, meilleur rendement ?

Avez-vous remarqué une augmentation des maladies ou parasites sur vos cultures ?



Annexe 17 : Carte des transects inventoriés pour les inventaires du béal d'Alzon

Liste des figures et/ou tableaux

Figure 1 : Photo du béal d'Arre avec le seuil et la martelière à la prise p10

Figure 2 : Schéma de fonctionnement du béal d'Arre (réalisé par Mathieu Sauvage, stagiaire à la CCPV) p10

Figure 3 : Carte de localisation des Cévennes p18

Figure 4 : Carte des ensembles géologique des Cévennes p20

Figure 5 : Carte de la localisation des béals étudiés p30

Figure 6 : Schéma du fonctionnement des mesures de débit, réalisé par Charlie Sanz, stagiaire p33

Figure 7 : Bordereaux d'inventaires des types d'habitats p35

Figure 8 : Bordereaux d'inventaires faunistiques p37

Figure 9 : Bordereaux d'inventaires des types d'habitats p39

Figure 10 : Formulaire Qfield intégrant des informations sur les béals observés p40

Figure 11 : Diagramme de Gantt p41

Figure 12 : Graphique présentant les pertes par infiltration de chaque béal en % p44

Figure 13 : Carte des habitats inventoriés autour du béal de Felgerolles p45

Figure 14 : Photo d'une mégaphorbiaie en contraste avec les landes autour du béal de Felgerolles p46

Figure 15 : Carte des habitats inventoriés autour du béal du moulin d'Arnaud p47

Figure 16 : Photo présentant le contraste entre la aulnaie le long du béal du moulin d'Arnaud à gauche avec la chênaie à droite p48

Tableau 1 : Bilan des inventaires faunistiques p48

Figure 17 : Graphique présentant les résultats des inventaires faunistiques du béal d'Alzon p49

Figure 17 : Graphique présentant les résultats des inventaires faunistiques du béal du moulin d'Arnaud p49

Tableau 2 : Espèces aquatiques observées par béal p50

Tableau 3 : Présentation d'espèces d'intérêt patrimoniale ou protégées p51

Tableau 4 : Présentation des résultats des inventaires floristiques p53

Figure 21 : Photo d'un Droséra à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*) observé sur les tourbières du béal de Felgerolles p54

Figure 22 : Photo d'un Narcisse des poètes (*Narcissus poeticus*) observé sur les berges du béal de Felgerolles p54

Tableau 5 : Valeur d'humidité d'Ellenberg des espèces de l'inventaire du béal du moulin d'Arnaud p55

Figure 23 : Carte de localisation des béals de la vallée de l'Arre (partie Ouest) p59

Figure 24 : Carte de localisation des béals de la vallée de l'Arre (partie Ouest) p60

Figure 25 : Photo du canal secondaire du béal de Lasfons (à droite) alimentant un jardin, un potager et une fontaine p67

Résumé

Dans un contexte de changement climatique où la ressource en eau devient de plus en plus limitée, la gestion durable des systèmes d'irrigation traditionnels est un enjeu majeur. En raison de son fonctionnement basé sur le détournement de l'eau des rivières, l'utilisation des béals dans les Cévennes est de plus en plus controversée. Ce système d'irrigation traditionnel gravitaire par canaux est inscrit à l'inventaire national du Patrimoine Culturel Immatériel français. Il utilise la gravité pour acheminer l'eau aux cultures via des canaux à ciel ouvert (béals). Autrefois très répandus et utilisés, ils alimentaient les villages, les jardins et les moulins mais servaient surtout à l'irrigation agricole des différentes cultures de la région. Aujourd'hui, cette technique ancestrale d'une grande importance patrimoniale pour la région voit son usage remis en question pour plusieurs raisons : l'abandon lié à la déprise agricole, les contraintes réglementaires, la pression croissante sur la gestion de la ressource en eau et l'évolution des pratiques vers des techniques plus efficaces. Ce sont là les enjeux concernant les béals qui sont à l'origine de ce stage. Commandité par la Communauté de Communes du Pays Viganais (CCPV) et l'Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes, ce stage a pour objectifs de comprendre les services écosystémiques rendus par ces ouvrages ainsi que de faire un état des lieux de la perception et de leur utilisation dans la vallée de l'Arre. Nous étudions les principaux enjeux liés aux béals à travers la recherche d'une réponse à cette problématique : Dans quelle mesure l'utilisation des béals pour les usages agricoles cévenols est-elle encore pertinente ?

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs missions explorant les externalités engendrées par ces canaux d'irrigation gravitaire ont été réalisées. Différents inventaires naturalistes (faune, flore, habitat) ont été effectués afin de comprendre les interactions existantes entre le béal et l'environnement ainsi que ses agrosystèmes associés. Mais l'aspect central d'un béal reste l'utilisation de l'eau, à la fois considérée comme une externalité négative et comme un potentiel service écosystémique. Des mesures de débit de l'eau circulant dans ces canaux ont permis de comprendre le phénomène d'infiltration, sans pouvoir étudier sa répartition souterraine. Le dernier point étudié concerne la perception patrimoniale des béals par les habitants locaux. Cet aspect a été exploré à travers des entretiens réalisés auprès de plusieurs acteurs locaux.

Les résultats de cette étude ont permis d'approfondir les connaissances sur les différents services écosystémiques rendus par les béals, sur leur importance culturelle et patrimoniale ainsi que sur leur usage dans la vallée de l'Arre. Ils apportent surtout un regard objectif sur la pertinence de l'usage agricole actuel et à venir de ce système d'irrigation. Des pistes de réflexion sur la modernisation des béals conciliant gestion durable de l'eau et maintien d'un système d'intérêt patrimonial ont finalement pu être proposées.

Mots clefs : Irrigation gravitaire, externalité, changement climatique, patrimoine, hydrologie

Abstract

In a context of climate change where water resources are becoming increasingly limited, the sustainable management of traditional irrigation systems is a major issue. Due to its operation based on the diversion of river water, the use of béals in the Cévennes is increasingly controversial. This traditional gravity-fed canal irrigation system is listed in the French national inventory of Intangible Cultural Heritage. It uses gravity to convey water to crops via open-air canals (béals). Once widespread and widely used, they supplied villages, gardens and mills but were mainly used for agricultural irrigation of the region's various crops. Today, this ancestral technique, of great heritage importance for the region, is seeing its use called into question for several reasons: abandonment linked to agricultural decline, regulatory constraints, increasing pressure on water resource management and the evolution of practices towards more efficient techniques. These are the issues surrounding the béals that prompted this internship. Sponsored by the Communauté de Communes du Pays Viganais (CCPV) and the Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes, this internship aims to understand the ecosystem services provided by these structures and to assess their perception and use in the Arre Valley. We are studying the main issues related to béals by seeking answers to this question: To what extent is the use of béals for agricultural purposes in the Cévennes still relevant?

To achieve these objectives, several missions exploring the externalities generated by these gravity-fed irrigation canals were carried out. Various naturalist inventories (fauna, flora, habitat) were conducted to understand the existing interactions between the béal and the environment, as well as its associated agrosystems. But the central aspect of a béal remains water use, considered both a negative externality and a potential ecosystem service. Measurements of the flow rate of the water circulating in these canals have helped to understand the infiltration phenomenon, without being able to study its underground distribution. The final point studied concerns the heritage perception of béals by local residents. This aspect was explored through interviews with several local stakeholders.

The results of this study have allowed for a deeper understanding of the various ecosystem services provided by béals, their cultural and heritage importance, and their use in the Arre Valley. Above all, they provide an objective perspective on the relevance of the current and future agricultural use of this irrigation system. Avenues for reflection on the modernization of béals, combining sustainable water management with the maintenance of a system of heritage interest, have finally been proposed.

Keywords: Gravity irrigation, externality, climate change, heritage, hydrology