

Bilan 2021-2024

Programme d'actions pour la restauration des têtes de bassin versant des lacs médocains

Appel à projets de l'Entente pour l'eau



Lacs  
Médocains
SIAEBVELG - SAGE - NATURA 2000

**ENTENTE
POUR L'EAU**


RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
*Liberté
Égalité
Fraternité*

eau
GRAND SUD-OUEST
AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE


RÉGION
Nouvelle-
Aquitaine

 **Gironde**
LE DÉPARTEMENT

Partenaires du projet

ENTENTE POUR L'EAU



Table des matières

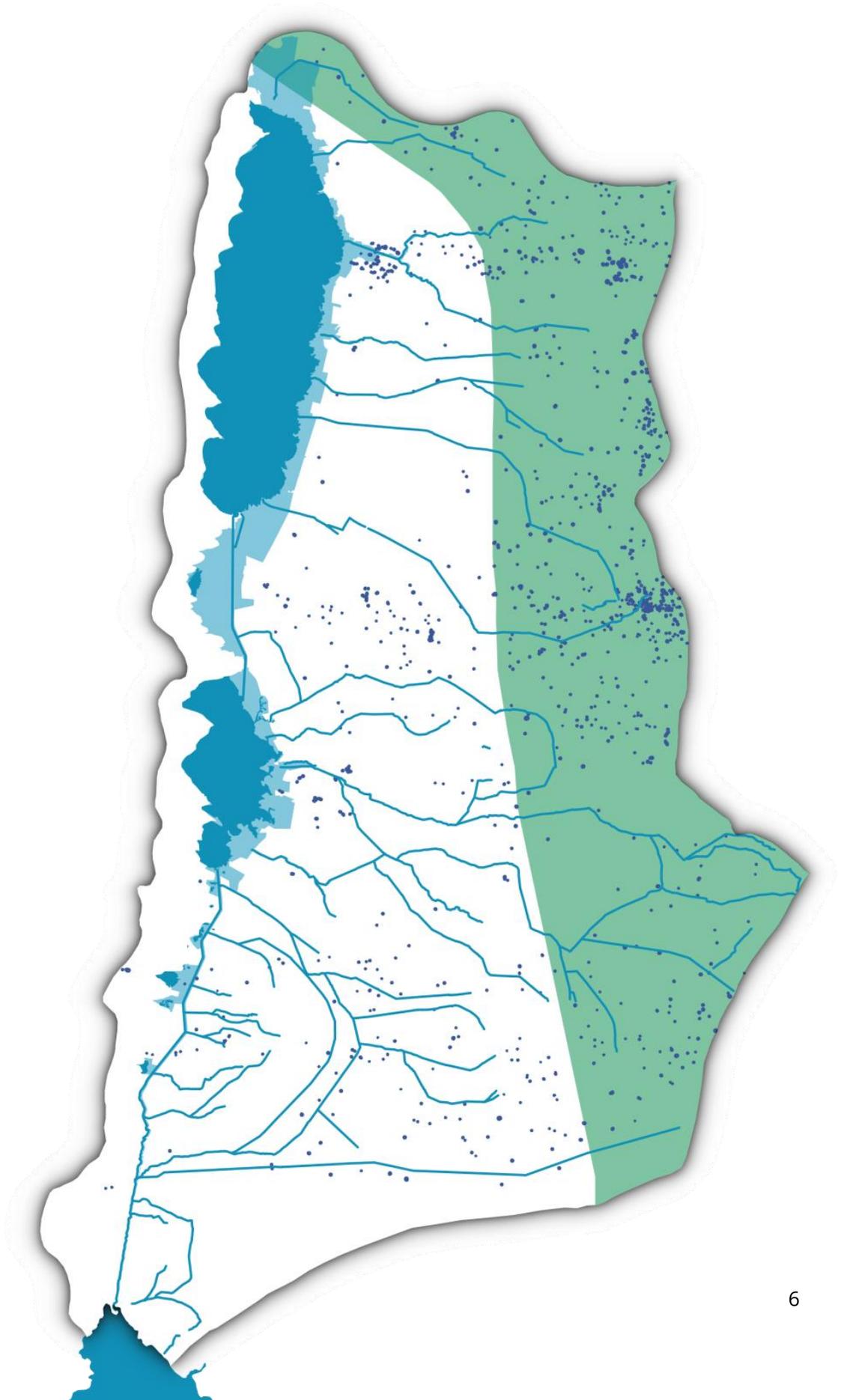
A.	Enjeux et objectifs du programme d'actions	7
a.	Contexte du projet.....	8
b.	Objectifs du projet	10
B.	Partenariats	11
C.	Relevés topographiques Lidar sur l'ensemble du bassin versant.....	12
D.	Dispositifs de suivis	13
a.	Volet 1 : Suivis et régulations des flux de nutriments issus de l'activité agricole.....	14
	Suivis physico-chimiques sur le continuum de la Caillava, depuis les zones agricoles jusqu'au lac et au sein des lagunages agricoles existants	15
	Suivis et échanges autour des pratiques agricoles notamment de fertilisation.....	15
b.	Volet 2 : Restauration d'écoulements plus doux et superficiels en forêt.....	16
	Suivi des niveaux d'eau et étude des liens nappe/ cours d'eau/ zones humides/ forêt	17
	Suivi de la productivité forestière.....	18
c.	Volet 3 : Restauration des profils naturels des lagunes forestières et zones humides .	19
	Suivi de la biodiversité	19
d.	Volet 4 : Services écosystémiques rendus par les lagunes forestières	19
	Etude du cycle du carbone et nutriments dans les lagunes forestières.....	20
E.	Bilan des actions menées sur la période 2021-2024	21
1.	Zones agricoles	21
a.	Amélioration continue des pratiques agricoles	21
•	Analyse des digestats de méthanisation	21
•	Suivi de l'évolution de la fertilité chimique des sols dans le temps dans un système avec méthanisation	22
•	Expérimentation sur l'optimisation des pratiques de fertilisation dans un système avec méthanisation	22
b.	Historique de création et perspectives autour des lagunages agricoles	24
c.	Suivis physico-chimiques et fonctionnement quantifié des lagunages	27
d.	Suivis de la biodiversité des lagunages.....	29
2.	Continuum de la Caillava vers les lacs	30
	Suivis physico-chimiques des eaux.....	30
•	Flux de nutriments parvenant au lac d'Hourtin-Carcans	30
•	Evolution des concentrations et flux de nutriments le long du continuum des cours d'eau.....	33
•	Evolution et processus affectant les flux de nutriments le long du continuum de la Caillava	34
2.	Zones forestières : optimisation des écoulements.....	36

a.	Travaux d'amélioration de la répartition des eaux en forêt	38
	Aval du Domaine St Jean.....	38
	Tronçon médian de la Caillava.....	41
	Biron et Lambrusse à Carcans	43
	Planquehaute et Berle à Lacanau.....	44
	Eyron-Castagnot à Saumos	46
b.	Expérimentation et réflexion sur un système de drainage optimal : modélisation et travaux.....	47
	Suivi des niveaux d'eau et étude des liens nappe/ cours d'eau/ zones humides/ forêt	48
	• Présentation du site et du dispositif expérimental à Sescousse.....	48
	• Contexte hydro-géologique.....	50
	• Acquisition et traitement des données.....	51
	○ Analyse des données topographiques.....	51
	○ Premières analyses des données de sondes de suivi.....	52
	• Approche par modélisation.....	55
	• Analyse des résultats issus de la modélisation.....	58
	○ Analyse historique	58
	▪ Comparaison des différentes profondeurs de drainage.....	58
	▪ Comparaison des différents maillages dans l'espace du réseau de drainage ...	59
	○ Analyse prospective.....	59
	• Présentation des travaux réalisés sur le site pilote de Sescousse.....	61
c.	Suivis « eau et forêt » : productivité des pins, liens avec le réseau de drainage et la nappe	62
	Suivi de la productivité forestière.....	62
	• Présentation du suivi et objectifs	62
	• Résultats.....	70
	○ Croissance : suivi de la circonférence	70
	• Conclusions et perspectives	74
3.	Lagunes forestières	78
a.	Travaux de restauration des profils naturels de lagunes forestières.....	79
	Lagune Mincouse à Hourtin	80
	Lagunes secteur Haut Bré à Hourtin.....	80
	Lagunes d'Argue à Hourtin	80
	Lagunes sur le massif du Jolles à Hourtin	80
	Lagune à la Garroueyre à Hourtin.....	80
	Lagune des Anguilles à Carcans.....	80
	Lagune Contact à Sainte-Hélène.....	80
	Lagune Moulugat à Saumos.....	81

Lagune Eyron à Saumos.....	81
b. Suivis de la biodiversité.....	82
c. Etude du cycle du carbone et des nutriments sur les lagunes.....	83
4. Zones aval des cours d'eau	97
Travaux de reconnexion hydraulique et de restauration de la continuité hydrologique sur l'aval des cours d'eau	97
Aval Caillava-Couture-Lupian	98
Aval Carlisse, Garroueyre à Hourtin et Clos des Ners, Pipeyrous, Queytive et Nègre de l'étang à Carcans	100
Aval de la Berle à Lacanau	103
5. Animation, communication et partages d'informations	104
6. Bilan général et perspectives.....	112



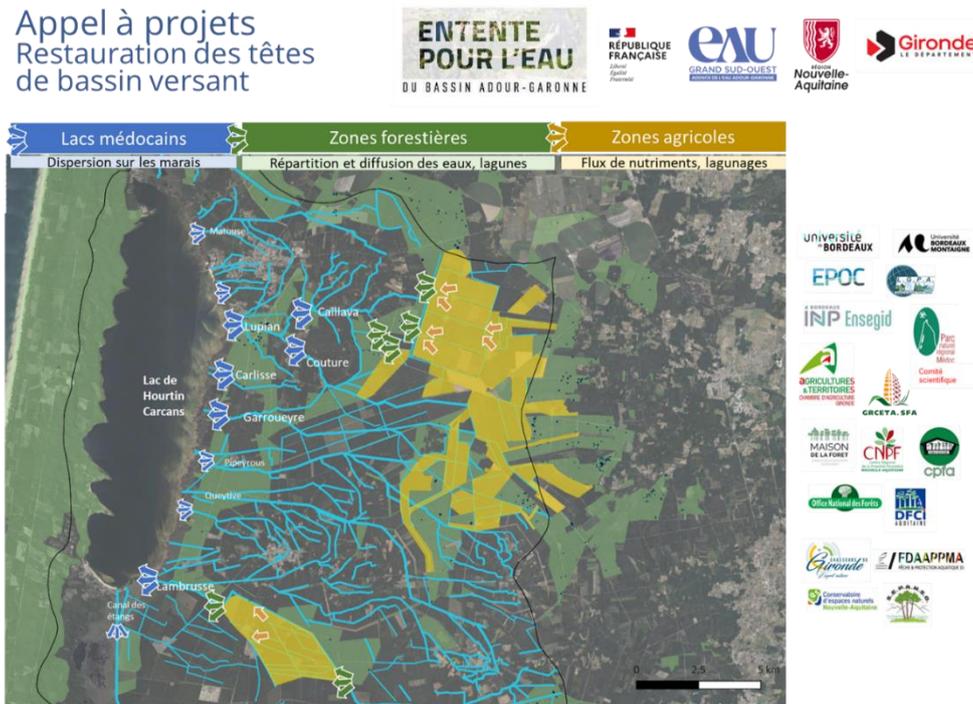
Programme d'actions pour la restauration des têtes de bassin versant



A. Enjeux et objectifs du programme d'actions

Le SIAEBVELG est lauréat de l'appel à projets de l'Entente pour l'Eau de restauration de zones humides en amont du bassin versant des Lacs Médocains pour la période 2021-2024.

Dans ce cadre, des projets de restauration ont été engagés sur la **période 2021-2024** sur les **têtes de bassin versant qui sont des zones stratégiques pour la gestion de l'eau**, d'autant plus dans le **contexte actuel de changements climatiques**.



Carte de présentation du projet d'ensemble

Appel à projets Restauration des têtes de bassin versant

Optimiser l'écoulement des eaux dès l'amont du bassin versant

Favoriser l'infiltration et l'épuration des eaux entre les zones agrosylvicoles, les lacs Médocains et le Bassin d'Arcachon

Restaurer les fonctionnalités des lagunes forestières

Rendre durables les activités du territoire (sylviculture, agriculture, tourisme, loisirs...) en s'adaptant aux changements climatiques, en préservant la ressource en eau et la biodiversité

Adaptation aux changements climatiques
Résilience territoriale

Projet pilote et répliquable sur le Massif des Landes de Gascogne
Valorisation des retours d'expérience

a. Contexte du projet

Le bassin versant des lacs médocains : des enjeux forts

- Le bassin versant des lacs médocains est un **territoire de 1 000 km² avec principalement des forêts, des zones humides et deux grands lacs**. C'est un plateau avec de faibles pentes où la nappe affleure en surface en hiver.
- Les lacs médocains sont des **écosystèmes remarquables** et sont aussi un **atout majeur de l'activité économique et touristique du territoire**.
- Les lacs sont néanmoins **très sensibles à l'enrichissement des eaux** (phénomène d'eutrophisation) avec des risques de dégradation de qualité des eaux et de déclin de la biodiversité, accentués par les **changements climatiques**.

Des modifications passées et des changements climatiques déjà à l'œuvre sur le territoire

- Les paysages de marais et marécages pâturés jusqu'au XIX^{ème} siècle ont peu à peu été modifiés. Le réseau hydrographique du territoire a été créé à cette période. La sylviculture s'est alors développée et représente aujourd'hui l'activité économique principale du territoire. L'agriculture s'est également mise en place avec aujourd'hui 6% du territoire en zones de cultures, principalement situées sur l'amont du bassin versant sur les communes d'Hourtin, Carcans et St Laurent.
- **Le réseau hydrographique s'écoule sur du sable meuble et s'approfondit au fil du temps** sous l'effet des **crues brutales** accentuant l'effet de drainage et **d'assèchement de la nappe phréatique** qui soutient l'ensemble des milieux et la **sylviculture**. Il y a ainsi **des enjeux forts à maintenir un fonctionnement optimal des flux d'eau au sein du bassin versant**, et ceci dès l'amont.



Vue sur les têtes de bassin versant à Hourtin, interface entre les zones agricoles, sylvicoles, lagunes forestières, et lacs

Les têtes de bassin versant : des secteurs stratégiques

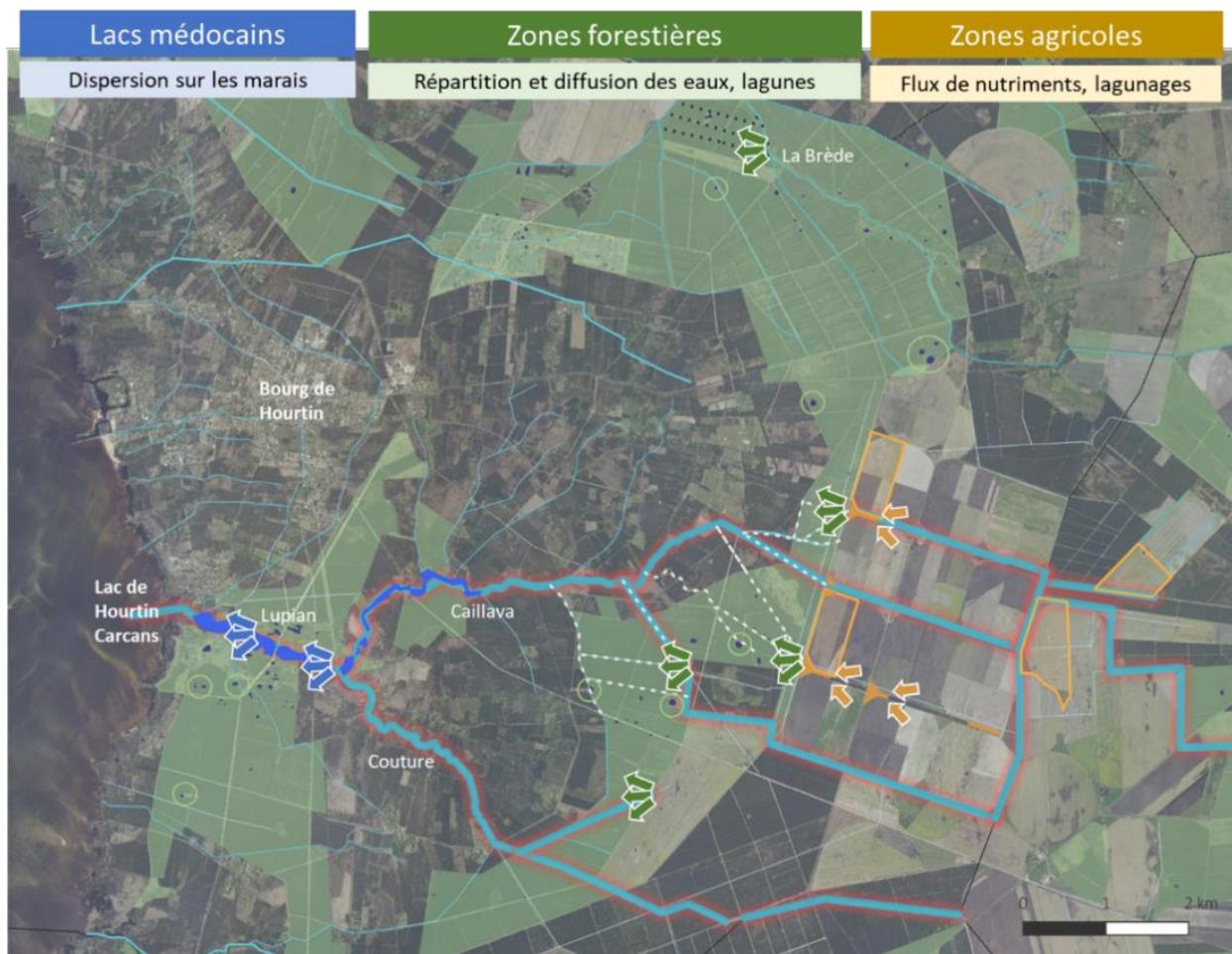
A l'interface entre les zones agricoles, forestières et les lacs puis le Bassin d'Arcachon, les têtes de bassin versant sont des zones stratégiques pour la gestion de la ressource en eau tant d'un point de vue de la qualité des eaux, de la gestion quantitative, de la biodiversité...

Les actions proposées s'orientent vers des expérimentations visant un niveau optimal de la nappe et des écoulements d'eau mieux répartis, dès l'amont du bassin versant depuis les zones agricoles et forestières jusqu'aux lacs. La forêt et les zones humides sont des atouts pour atteindre ces objectifs du fait de leur capacité à préserver la ressource en eau.

Des solutions fondées sur la nature seront ainsi recherchées afin de rendre durables les activités du territoire (agriculture, sylviculture, tourisme...) en s'adaptant aux changements climatiques, en préservant la ressource en eau et la biodiversité.

Les zones concernées par le projet seront surtout **situées vers Hourtin, Carcans, St Laurent**. L'objectif est toutefois **d'expérimenter** de nouvelles mesures et de pouvoir par la suite **répliquer ce qui donnera de bons résultats à l'ensemble du territoire**, voir sur le Massif des Landes de Gascogne qui présente des contextes et problématiques similaires.

Après une première année de mise en œuvre, il a été proposé d'élargir pour certaines thématiques les actions à d'autres secteurs du bassin versant.



Carte de présentation du projet autour de la zone pilote d'Hourtin

b. Objectifs du projet

Plus précisément, les objectifs de ce projet visent à répondre aux questions suivantes et sont directement liées à la mise en œuvre des dispositions du SAGE des Lacs Médocains :

- 1) Comment dès l'amont du bassin versant pourrait-on **optimiser l'écoulement des eaux** pour écrêter les crues, limiter les étiages et favoriser une recharge des nappes dans un contexte de changements climatiques ? (Dispositions B du SAGE « Assurer une gestion quantitative satisfaisant pour les milieux et les usages ».)
- 2) Comment **favoriser l'infiltration et l'épuration des eaux** entre les zones agro-sylvicoles, les lacs Médocains et le Bassin d'Arcachon sensibles à l'eutrophisation et où les activités touristiques, les milieux naturels dépendent de la qualité des eaux ? (Dispositions A1 à A5 du SAGE sur la qualité des eaux des lacs et du Bassin d'Arcachon).
- 3) Comment les fonctionnalités des **lagunes forestières peuvent être restaurées** en ce qui concerne notamment leurs rôles hydrologiques et de support d'une biodiversité remarquable ? (Dispositions D7 à D9 sur SAGE sur la préservation et la gestion des zones humides).

Pour mettre en œuvre ce projet sur l'amont du bassin versant, il est ainsi prévu de :

- 1) Expérimenter **la restauration des écoulements d'eau plus doux et superficiels en forêt**. Ils remplaceraient les systèmes de drains actuels centralisateurs qui se sont progressivement incisés et drainent de plus en plus le territoire, provoquant des crues brutales et des étiages sévères. Ce système favoriserait en même temps l'infiltration des eaux dans les zones humides, permettant la dénitrification, le stockage du phosphore et du carbone.
Objectifs chiffrés : intervention sur 600 ha de zones forestières sur les parcelles communales de Carcans et Hourtin où le potentiel de restauration est le plus fort et dans des secteurs stratégiques pour les enjeux du SAGE.
- 2) **Réguler les flux d'eau issus des drains agricoles** par des zones humides tampons artificiels à l'interface avec la forêt tout en poursuivant la démarche engagée par le SAGE avec la profession agricole depuis 2010 sur l'amélioration continue des pratiques.
Objectifs chiffrés : création d'une centaine d'hectares de lagunes tampons sur les parcelles agricoles
- 3) **Restaurer les lagunes forestières** notamment en limitant leur drainage. Elles permettent une régulation hydrologique et sont des sites exceptionnels de biodiversité.
Objectifs chiffrés : restauration de 20 lagunes forestières sur les parcelles des communes du SIAEBVELG.

B. Partenariats

Ce projet est préparé dans le cadre d'un partenariat avec les acteurs de l'eau et de la biodiversité de ce territoire : collectivités, exploitants agricoles, forestiers, universitaires, associations environnementales...



La gouvernance du projet est réalisée à l'échelle de la **Commission Locale de l'Eau du SAGE des lacs Médocains** qui réunit déjà l'ensemble des partenaires du projet précédemment cités ainsi que les services de l'Etat (OFB, DREAL, DDTM), la Région Nouvelle Aquitaine et l'Agence de l'Eau Adour Garonne.

Plusieurs conventions ont été établies pour la durée du projet avec des structures partenaires : communes, CEN, GPF, Université de Bordeaux et école ENSEGID, GRCETA...

Une thèse spécifique sur ce projet a été menée et encadrée par Pierre Anschutz et Cristina Ribaudo du laboratoire EPOC.



THÈSE PRÉSENTÉE

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR DE

L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

Par Romane DARUL

**Bilan des nutriments et du carbone dans les zones humides naturelles et artificielles de tête de bassin versant.
Cas du bassin versant du lac de Carcans-Hourtin**

Sous la direction de Pierre ANSCHUTZ et de Cristina RIBAUDO

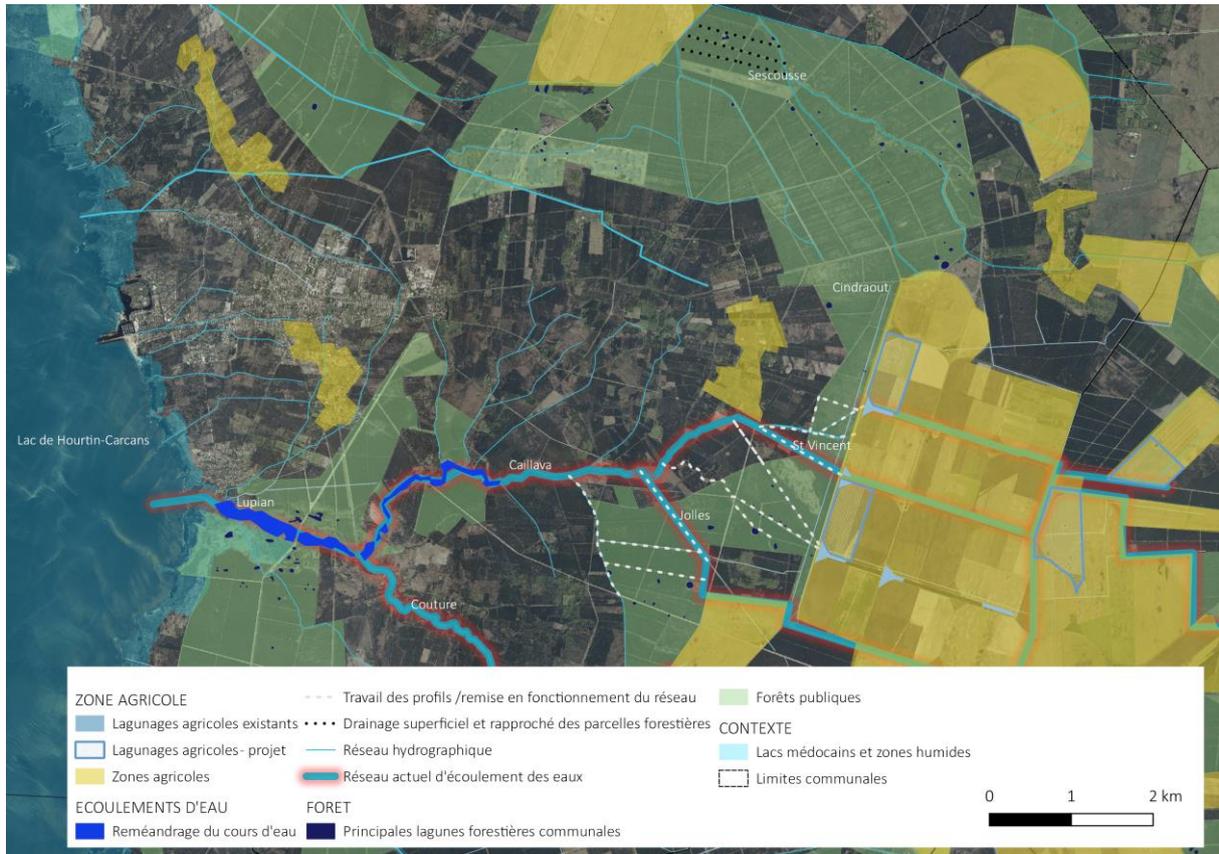
C. Relevés topographiques Lidar sur l'ensemble du bassin versant

Une des premières actions de l'appel à projets sur les têtes de bassin versant a consisté à la réalisation de relevés topographiques Lidar sur l'ensemble du bassin versant. Ces derniers ont été réalisés par APEI, entreprise recrutée par marché public, le 7 et 8 octobre 2021.



Ces données topographiques réalisées avec une précision très fine permettent de connaître le fond des lits des cours d'eau et zones humides... Elles seront utiles pour la gestion de l'ensemble des milieux aquatiques des lacs médocains.

D. Dispositifs de suivis



Les actions envisagées se concentrent principalement autour du **secteur pilote de la Caillava à Hourtin**.

La période 2021-2022 constitue des données d'état « initial » sur de nombreux paramètres avant l'engagement des travaux.

Toutes les actions menées font l'objet de suivis précis avec l'appui de nombreux partenaires (GRCETA, exploitants agricoles, ONF, GPF, SYSSO, CRPF, Universités de Bordeaux, CEN...) sur l'ensemble de la durée du projet.

a. **Volet 1 : Suivis et régulations des flux de nutriments issus de l'activité agricole**

Un des objectifs de la restauration des zones humides en amont du bassin versant du lac de Carcans-Hourtin est d'améliorer les aspects de **qualité d'eau** et d'abattre notamment les flux de nutriments qui transitent des zones agricoles vers le lac, afin de **diminuer le risque d'eutrophisation**.

Il a été en effet montré par le passé que des apports importants en azote (nitrates) étaient responsables d'une baisse de la qualité des eaux du lac. Des efforts réalisés depuis les années 2010 sur les pratiques agricoles et la mise en place de premiers **lagunages agricoles** autour de 2016 ont montré que les flux de nitrate pouvaient être diminués de manière significative. Plus récemment, il a été montré (*Anschutz et al.*, sous presse) que le nutriment qui limitait la production biologique dans le lac était le phosphore, en particulier, parce que les flux de nitrate étaient significatifs et les phosphates étaient bien retenus par les sols. Ont également été suivies dans les lacs les teneurs en silice dissoute, qui jouent sur la nature des communautés phytoplanctoniques du lac. Une attention particulière a aussi été portée sur les flux de sulfate issus des zones agricoles et qui arrivent au lac. Ces flux sont suffisamment importants pour créer des conditions très favorables dans le lac pour méthyler le mercure issu du bruit de fond atmosphérique. Ceci a un impact direct sur la contamination des poissons du lac (cf. projet CLAQH).

Tout ceci justifie le fait que **les flux des composés azotés, phosphorés, de la silice et du sulfate sont suivis en priorité dans le projet**. Les travaux actuels nous permettent d'avoir un "état zéro". Des suivis des concentrations en ces composés (nitrate, nitrite, ammonium, silice, phosphate, sulfate) sont et seront réalisés dans les cours d'eau en amont et en aval des zones humides restaurées, ainsi que des lagunages agricoles qui pourraient être étendus en amont (cf. projet porté par les exploitants agricoles). Ce suivi sera réalisé à une fréquence mensuelle, avec une augmentation de la fréquence lors de la période automnale de remise en eau des cours d'eau. La chronologie des suivis s'adaptera aussi au rythme des travaux de restauration des zones humides.

Au-delà de la mesure des concentrations, le but est de **comprendre les mécanismes responsables de la transformation des nutriments dans les zones humides tampons artificielles (ZHTA)**. Pour cela des échantillonnages d'eau, mais aussi de sédiments et de leurs eaux interstitielles, sont menés dans les plans d'eau des lagunages, afin d'identifier les processus anaérobies et les flux de nutriments à l'interface eau-sédiments et ainsi, à terme, réaliser un bilan de masse des nutriments au sein des lagunages. Ces données sont collectées et analysées par l'Université de Bordeaux.

Les objectifs principaux de ce volet du projet sont :

- le suivi des concentrations et flux de nutriments dans les cours d'eau principaux du bassin versant du lac de Carcans-Hourtin
- la compréhension des processus affectant les cycles de l'azote, du phosphore et du carbone dans les cours d'eau du bassin versant
- le suivi des nutriments dans les ZHTA présentes en tête du bassin versant du Caillava et leur effet sur les concentrations retrouvées en aval dans le cours d'eau
- la compréhension des processus affectant les cycles de l'azote, du phosphore et du carbone dans les ZHTA

En parallèle, les actions d'amélioration des pratiques et les études sur ce volet sont poursuivies avec notamment un partenariat avec le GRCETA. Des tests et suivis sont notamment réalisés sur les digestats issus de la méthanisation et leur utilisation sur les cultures.



Suivis physico-chimiques sur le continuum de la Caillava, depuis les zones agricoles jusqu'au lac et au sein des lagunages agricoles existants

Environ 30 points de suivis, répartis de l'amont à l'aval, suivis par l'Université de Bordeaux avec les laboratoires EPOC et LGPA.



Prélèvement d'eaux de surface par le laboratoire EPOC



Suivis et échanges autour des pratiques agricoles notamment de fertilisation

Plusieurs actions de suivis pour l'amélioration des pratiques notamment autour de la fertilisation azotée sont mises en œuvre avec l'appui du GRCETA en lien direct avec les exploitants agricoles du secteur.



Réunion technique avec les exploitants agricoles

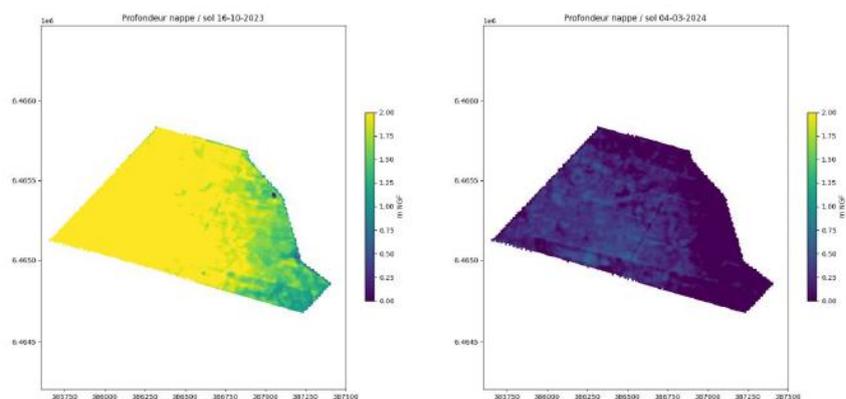
b. Volet 2 : Restauration d'écoulements plus doux et superficiels en forêt

Les terrains agricoles et forestiers font historiquement l'objet d'un drainage. Il permet de rabattre le niveau de la nappe et de favoriser la croissance des cultures. Plus spécifiquement pour la sylviculture, il améliore l'ancrage des racines et réduit le risque d'arrachage pendant les tempêtes hivernales. Mais « l'excès » d'eau ainsi évacué en hiver vers le réseau hydrographique de surface, constitué principalement par des crastes rectilignes jouant le rôle de drains centralisateurs, constitue une perte pour la nappe et peut conduire à une accentuation de la sévérité des étiages, et provoquer indirectement l'assèchement des zones humides. Dans un contexte de changement climatique et notamment d'accentuation des extrêmes de sécheresse, il s'agit de **mieux comprendre le fonctionnement du drainage et les liens entre nappe / crastes et cours d'eau / zones humides et forêt et d'expérimenter des géométries de drainage différentes**. Les modèles théoriques hydrogéologiques ont mis en évidence l'intérêt potentiel de réaliser des réseaux de drainage plus denses mais moins profonds pour réduire la vidange de la nappe et conserver le stock à l'interface avec les zones humides et les milieux de surface (forêt ...) pour la période estivale.

Cette approche est expérimentée sur le terrain et fait l'objet d'un **réseau de suivi piézométrique automatisé** ainsi que de mesures ponctuelles de débits en drain. Les mesures de la hauteur de nappe et de la hauteur des cours d'eau sont réalisées à l'aide de capteurs de pression autonomes corrigés de la valeur de la pression atmosphérique. Les hauteurs d'eau des cours d'eau sont traduites en débit à l'aide d'une courbe de tarage déterminée à l'aide de mesures ponctuelles de vitesses de courant.

Des sondes sont installées dans les lagunages agricoles afin d'apporter des données telles que le **temps de séjour hydrique au sein des lagunages** et pouvoir mener à bien les bilans hydriques et bilans de masse prévus dans le volet 1.

Sur une parcelle pilote dans le secteur de Sescousse au Nord d'Hourtin, ces données de niveaux d'eau seront complétées par des opérations d'hydrogéologie quantitative afin d'approfondir la réflexion sur la géométrie du réseau de drainage forestier. Un modèle de recharge permettra d'affiner les coefficients hydrauliques (conductivité et porosité de drainage) pour **réaliser le bilan hydrique dynamique de la parcelle et contraindre un modèle local de recharge et de drainage**. Différentes modalités de drainage seront mises à l'étude par le biais de ce modèle en amont de la programmation de travaux de recalibrage des fossés forestiers. L'impact potentiel du réseau de drainage sur les flux de nutriments vers le réseau hydrographique sera évalué.



Vue sur les sorties du modèle avec les profondeurs de nappe simulées en basses eaux et en hautes eaux sur le site expérimental de Sescousse

En parallèle, et comme la sylviculture occupe 80% du bassin versant, et constitue une des activités économiques majeures du territoire, des **suivis sont réalisés sur la production forestière afin d'évaluer l'effet du drainage et des opérations qui pourront être déployées sur du moyen et long terme**. L'objectif est de comparer les croissances (hauteur dominante, circonférence à 1m30) des arbres dans des zones témoin et dans des zones de travaux visant l'optimisation des écoulements hydrauliques. Ces actions sont menées en partenariat avec l'ONF gestionnaire des forêts communales d'Hourtin qui sont suivies et le GPF Médoc pour le suivi scientifique mis en œuvre.



Suivi des niveaux d'eau et étude des liens nappe/ cours d'eau/ zones humides/ forêt

50 points de suivi automatisés avec des sondes de pression sont répartis sur le bassin versant :

- Sur les cours d'eau et crastes
- Sur les lagunes forestières
- Dans la nappe du Plio-quaternaire
- Dans les lagunages agricoles

Des relevés réguliers des données et analyses avec l'appui de l'ENSEGID sont réalisés afin de mesurer le niveau de la nappe des sables dans des piézomètres mais également les niveaux de crastes, lagunes et drains pour identifier les **interactions entre ces différents compartiments hydrologiques**.



Points de suivi dans des drains, en hautes eaux et en basses eaux



Suivi de la productivité forestière

Suivi sur 5 placettes de 1000 m² :

- 1) Témoin n°1 sur les landes de Cindraout
- 2) Diffusion des eaux sur un linéaire plus important depuis zones agricoles au Jolles
- 3) Test de drainage optimal en forêt sur la base des modélisations de l'ENSEGID à Sescousse
- 4) Effet de l'incision du système de drainage à la Caillava
- 5) Témoin n°2 sur les landes le long de la craste Moure (ajout de cette placette pour l'année 2023)



Mesures sur les pins maritimes

c. Volet 3 : Restauration des profils naturels des lagunes forestières et zones humides

Les lagunes forestières sont des zones humides singulières du Massif des Landes de Gascogne. De façon naturelle, ces mares forestières aux berges en pentes douces sont alimentées par la nappe et les précipitations. Elles accueillent une biodiversité avec des espèces patrimoniales et sont le siège de processus écologiques, bio-géochimiques... Elles constituent un maillage paysager important avec les autres zones humides du territoire.



Suivi de la biodiversité

Plusieurs sites suivis d'après les protocoles MHEO sur les amphibiens, les odonates et la flore :

- Sur les lagunages agricoles existants (2 sites)
- Sur les lagunes forestières (réseau de lagunes communales à Hourtin)
- Sur les marais en bordure de lac



Suivis naturalistes sur les lagunes

L'objectif est de suivre et évaluer les dynamiques écologiques sur ces sites. Les suivis sont notamment réalisés par le CEN Nouvelle Aquitaine et le SIAEBVELG.

d. Volet 4 : Services écosystémiques rendus par les lagunes forestières

Les lagunes forestières sont des zones humides singulières du Massif des Landes de Gascogne. Elles sont considérées comme des mares temporaires. Leur fonctionnement biogéochimique, et notamment le cycle du carbone, n'est pas vraiment renseigné et fait l'objet d'une étude spécifique dans le cadre de ce projet.

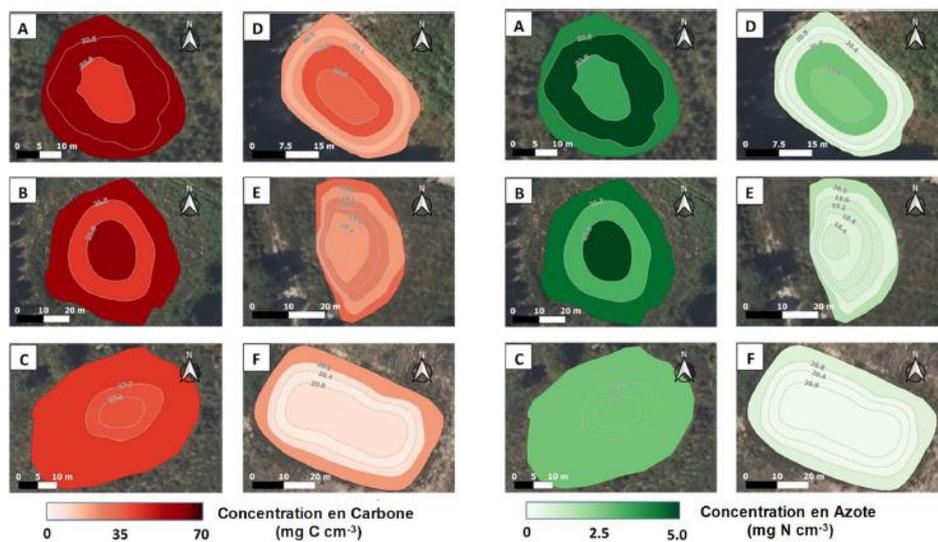
Les fluctuations saisonnières du niveau des eaux de la nappe ont des conséquences directes sur la durée d'immersion (hydropériode) des zones humides naturelles de tête de bassin. Suite à des épisodes prolongés d'assèchement, il est envisageable que la communauté végétale aquatique

subisse un changement, à partir d'espèces stablement submergées vers des espèces amphibiennes, plus adaptées à l'exposition à l'air. Les différentes communautés de végétation, ainsi que la durée d'exposition à l'air, modifient la biogéochimie benthique à travers l'oxygénation du sédiment et les services écosystémiques annexes, tel que la rétention de nutriments en biomasse et la dégradation de la matière organique. Cela a in fine un impact sur la capacité de stockage de carbone dans ces milieux et sur le réglage des émissions de gaz à effet de serre GES (CH₄, N₂O et CO₂).



Etude du cycle du carbone et nutriments dans les lagunes forestières

Des études sont menées sur le cycle du carbone et des nutriments sur un réseau de 10 lagunes communales d'Hourtin par le laboratoire EPOC avec une quantification précise grâce à de nombreuses mesures (chambres à flux, carottages, cartes sédimentaires...).



Cartographies sédimentaires de la concentration en carbone et en azote sur des lagunes

E. Bilan des actions menées sur la période 2021-2024

1. Zones agricoles

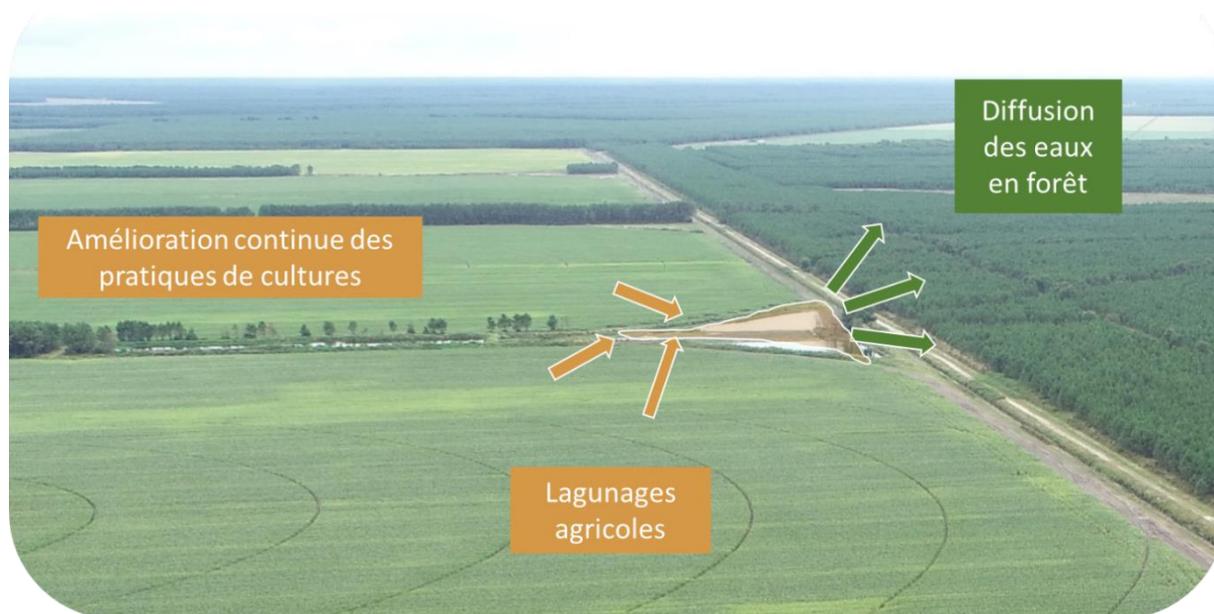
Une plaine agricole regroupant une dizaine d'agriculteurs se trouve en tête de bassin versant des deux grands lacs Médocains.

Les exploitants agricoles font partie intégrante du schéma de gestion de la qualité des eaux. Ils travaillent depuis dix ans en partenariat avec le SIAEBVELG, les Universitaires, le GRCETA et la Chambre d'Agriculture. Ils ont déjà pu obtenir des résultats significatifs d'amélioration de la qualité des eaux en particulier sur les nitrates. Ces améliorations sont liées à l'optimisation des pratiques de fertilisation mais aussi à l'installation de premiers dispositifs de lagunages tampons à la sortie des drains.



a. **Amélioration continue des pratiques agricoles**

Dans ce contexte, le volet agricole du projet consiste à optimiser les pratiques de fertilisation mises en place par les exploitants agricoles. Le GRCETA-SFA, association d'agriculteurs dont les missions principales sont l'expérimentation agricole de plein champ et le conseil indépendant, participe pleinement à cette optimisation des pratiques sur le territoire : conseils individuels, démonstrations, mise en place d'essais de plein champ, communication, participation aux différentes réunions du projet sont autant d'actions concrètement conduites sur le terrain.



- Analyse des digestats de méthanisation

Au-delà de la composition du digestat, les analyses ont pour objectif de caractériser la vitesse de minéralisation du digestat dans le temps, afin de mieux anticiper son comportement dans le sol, une fois épandu.

Des analyses (au nombre de 3) ont été faites à différentes périodes de l'année afin d'évaluer l'hétérogénéité des digestats en fonction de la période de production et/ou d'épandage (automne VS printemps / été).

Ces analyses, relativement coûteuses et difficiles à mettre en place, ont fourni des résultats assez contradictoires des résultats d'essais par ailleurs mis en place sur le terrain. La texture extrêmement sableuse des sols de Haute Lande perturbe sûrement les résultats obtenus en laboratoire.

Ce travail autour du digestat, produit issu de la méthanisation, dont l'utilisation tend à se développer est à poursuivre dans les années à venir.

- Suivi de l'évolution de la fertilité chimique des sols dans le temps dans un système avec méthanisation

Par un suivi mis en place depuis 2020 (12 parcelles dont le sol est analysé en mars juillet et octobre), il s'agit d'appréhender l'impact sur la fertilité chimique des sols (taux de MO, C/N, pH, ...) des systèmes avec méthanisation. Le maintien de la fertilité chimique des sols, notamment le taux de matière organique, est la condition sine qua none à la durabilité de la production agricole sur les sols sableux de Haute Lande, et à fortiori ceux du territoire des Lacs Médocains.

Des résultats très partiels mettent en évidence un maintien global du taux de matière organique des parcelles étudiées. A noter que ce travail de suivi se poursuit : la dynamique d'évolution de la matière organique s'étale sur un pas de temps plus long que les 4 ans de durée de vie du projet.

- Expérimentation sur l'optimisation des pratiques de fertilisation dans un système avec méthanisation

Depuis 2020, des essais sont conduits par le GRCETA-SFA pour construire des références techniques permettant de guider les agriculteurs dans la prise en compte du digestat sur les exploitations. Cet apport doit être maîtrisé et doit permettre d'adapter les fertilisations minérales des cultures, dans un souci économique mais également environnemental.

Des travaux sur les doses et périodes d'apport ont été réalisés. Ainsi, les apports de printemps et/ou d'été sont mieux valorisés que ceux d'automne ou de sortie hiver. Les doses apportées en période estivale peuvent être plus importantes que celles apportées à l'automne sur CIVE d'hiver par exemple.

De même, ces travaux ont permis de déterminer des ordres de grandeur de coefficient d'équivalence (kéq) à utiliser pour déterminer les unités apportées par le digestat pour la culture en place et ainsi adapter la fertilisation minérale qui viendra en complément. Les valeurs suivantes pour l'azote ont pu être déterminées :

- Apports de printemps / été = 0.7 à 0.75
- Apports d'automne (avant semis) = 0.2
- Apports sortie hiver = 0.5 à 0.6

Des travaux équivalents sont actuellement en cours pour évaluer le coefficient d'équivalence de la potasse.

L'ensemble de ces résultats est présenté dans un rapport annexe, rédigé par le GRCETA comme bilan de leurs actions sur le projet entre 2021-2024.



Mars 2025



Bilan des actions conduites par le GRCETA-SFA dans le cadre de la convention de financement liée au projet « Restauration de zones humides en amont du bassin versant des Lacs Médocains » porté par le SIAEBVELG



b. Historique de création et perspectives autour des lagunages agricoles

De façon générale, l'efficacité de l'élimination de l'azote est très variable et les principaux facteurs qui affectent l'efficacité de l'élimination sont la charge d'entrée et le rapport entre les surfaces du bassin versant drainé et des zones humides construites.

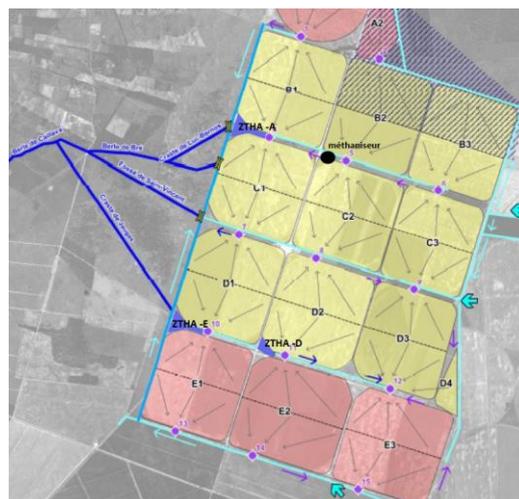
D'autres paramètres importants affectant l'élimination de l'azote sont le temps de rétention hydraulique et l'absorption par les plantes. Un temps de séjour plus long offre une plus grande possibilité de contact entre les sédiments et l'eau, favorisant ainsi les processus de rétention tels que la dénitrification et la sédimentation.

En complément, les zones humides le long des cours d'eau contribuent à abattre les flux de nutriments notamment pour les nitrates dans les zones anoxiques près du fond.

Les lagunages déjà en fonctionnement ont été finalisés en 2021 sur environ 20 ha sur le domaine St Jean à Hourtin. Jusqu'à présent ces zones ont été aménagées sur des jachères non cultivées. Ils permettent un rabattement des nitrates efficace mais l'augmentation du temps de résidence avec de plus grandes zones de plans d'eau et la complémentarité avec la diffusion des eaux sur des zones humides naturelles en aval permettra d'optimiser encore le rabattement des flux de nutriments qui transitent vers les lacs.



Travaux sur des lagunages agricoles – Domaine St Jean – Hourtin



Vue sur les lagunages agricoles aménagés

Les lagunages agricoles actuellement aménagés sont séparés en deux par un merlon central. Les bassins situés en amont sont alimentés par les pompes de drainage et les eaux se déversent dans le lagunage via un tuyau parfois aérien (site A et E) et parfois souterrain (site D). Deux buses de 40 cm de diamètre traversent la digue séparant les deux bassins et permettent le remplissage des

bassins situés en aval, par trop-plein des bassins en amont. De la même façon, les eaux contenues dans les bassins en aval rejoignent le réseau hydrographique en passant dans des buses de 20 cm de diamètre lorsque le niveau est assez haut dans le lagunage.

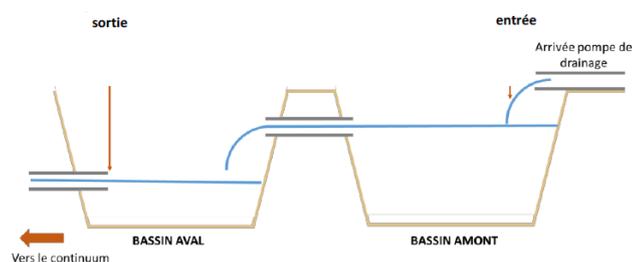


Schéma du fonctionnement d'un lagunage agricole

	Mise en fonctionnement	Surface
Site A	Hiver 2015-2016	<ul style="list-style-type: none"> - Bassin amont rectangulaire avec 6300 m² et profondeur moyenne de 1,5 m - Bassin aval triangulaire avec 17 000 m² et profondeur moyenne de 1,8 m
Site D	Agrandissement du site en 2020	Forme irrégulière, environ 9000 m ² pour le bassin amont et 2600 m ² pour le bassin aval
Site E	Hiver 2020-2021	<ul style="list-style-type: none"> - Bassin amont rectangulaire avec 4400 m² et profondeur maximale de 2,2 m - Bassin aval triangulaire avec 15 800 m² et profondeur maximale de 1,45 m

Un projet d'extension des lagunages agricoles existants est porté en direct par le collectif d'exploitants agricoles en parallèle des actions menées par le SIAEBVELG et ses partenaires dans le cadre de l'appel à projets. Ce projet concerne ce même secteur mais également d'autres exploitations agricoles voisines, et visent une surface de plus de 100 ha supplémentaires qui incluraient au-delà des jachères des zones de cultures dont la vocation serait modifiée. Avec l'appui d'un financement de la Région, des études environnementales ont été lancées par le collectif d'agriculteurs. Ce projet a été préparé jusqu'en 2024 pour un lancement de l'enquête publique premier semestre 2025.



Carte du projet d'extension des lagunages agricoles à Hourtin et St Laurent sur 135 ha

Le projet prend en compte l'impact du point de vue financier sur ces structures agricoles, notamment par le déphasage entre des revenus immédiats suspendus et le retour qualitatif du point de vue agronomique sur le long terme. Les pistes d'étude pour le maintien de la rentabilité des exploitations pourraient se traduire par la mise en place d'activités compensatrices. Celles-ci doivent rester compatibles avec l'objectif de création de lagunages tampons et pouvant s'inscrire dans une agriculture durable. L'un des volets proposés s'appuie notamment sur la mise en place d'activités de production d'énergie renouvelable de densité maîtrisée en photovoltaïque sur les lagunages qui seraient créés avec un taux de couverture de 50%.

Un rapport de dimensionnement des lagunages a été préparé par les chercheurs du laboratoire EPOC et présenté en CLE en juin 2021. Les membres de la CLE ont donné leur accord de principe (unanimité moins une abstention) sur ce projet. Ce dernier modélise les bénéfices de l'extension des surfaces des lagunages pour l'amélioration globale de la qualité de l'eau sur le continuum jusqu'au lac.

Sur la base des données bibliographiques et des mesures sur le bassin versant des Lacs Médocains, il est possible de proposer un dimensionnement « optimal » des lagunages agricoles :

- **150 ha** pour avoir un **ratio ZH/BV supérieur à 7%**, ciblé dans la bibliographie pour une dénitrification optimisée
- **1 800 000 m³ de stockage** pour avoir un temps de **séjour des eaux compris entre 4 et 14 jours** permettant d'atteindre l'optimum de dénitrification autour de 50% dans les lagunages et de pouvoir réguler les flux d'eau dans les zones forestières aval favorisant ainsi la dénitrification dans les crastes même en hiver.
- **50 % de la surface des lagunages conservée en eau libre ou en roselières** pour maintenir une production de matière organique tout en maintenant des conditions anoxiques au niveau des sédiments.
- **Estimation de 120 ans supplémentaires obtenus avant la saturation en vases organiques du Lac d'Hourtin-Carcans** en réduisant l'eutrophisation dès l'amont du bassin versant

Pendant toute la période de l'appel à projets, des suivis physico-chimiques, de l'hydrologie et de la biodiversité sont déployés sur les lagunages agricoles existants afin d'évaluer leur efficacité.



c. Suivis physico-chimiques et fonctionnement quantifié des lagunages

Au cours du projet REZIN, 3 lagunages du Domaine Saint Jean ont été échantillonnées de novembre 2021 à juillet 2022 puis de novembre 2022 à mars 2023 (28 campagnes de prélèvement), pendant les périodes de mise en eau des systèmes, afin de déterminer les facteurs de contrôle et d'efficacité d'atténuation des nutriments et les processus impliqués. Pour cela, nous avons mesuré les concentrations en nutriments et éléments associés à l'entrée et à la sortie des lagunages. Un bilan hydrique a également été réalisé afin de permettre le calcul de bilans de masse des composés chimiques dans les lagunages. Des carottes sédimentaires ont été prélevées sur les lagunages accessibles afin d'identifier les processus présents dans les sédiments et les flux entre la colonne d'eau et les sédiments. Enfin, l'alcalinité, le CO₂ et le CH₄ ont également été suivis.

Face au risque d'**eutrophisation**, la création de lagunages à la sortie des zones agricoles est reconnue comme une mesure efficace de **rabattement des nutriments**.

Il y a peu de différence entre les concentrations en nitrate entre l'entrée et la sortie des lagunages : le **rabattement des nitrates est très faible**, essentiellement car les lagunages sont trop petits par rapport à la surface de champs drainée. Les processus clés du rabattement des nutriments sont toutefois observés dans les lagunages, en particulier la **dénitrification** dans les sédiments. La mesure de l'alcalinité est un bon moyen de suivre ce processus.

Les **travaux d'agrandissement** prévus des ZHTA permettront d'avoir un rapport ZH/BV d'environ 7%, ce qui devraient permettre un rabattement efficace des flux de nitrate.

Les sédiments constituent également un **piège efficace du phosphate** en raison de l'adsorption du phosphore sur les oxydes de fer, mais ce stockage n'est pas illimité. Lorsque les sites ont déjà eu des apports en phosphore (apports accidentels sur le site A), ce dernier peut être remobilisé en cas de réduction des oxydes de fer. Les fortes concentrations en nitrate dans les lagunages garantissent l'oxydation du fer dissous : il est à noter que si les ZHTA étaient très efficaces et que le nitrate était totalement rabattu, les oxydes de fer pourraient être réduits sans être re-oxydés par la suite, ce qui libérerait le phosphore stocké dans les sédiments et augmenterait le risque d'eutrophisation. Ce paradoxe consistant à imaginer un scénario où la diminution de nitrate pourrait augmenter le risque d'eutrophisation a cependant déjà été observé sur certains sites (marais en Charente Maritime).

Les lagunages sont **sources de gaz à effet de serre** (CO₂ et CH₄) vers l'atmosphère, essentiellement via le dégazage des eaux d'entrée et peu en raison des processus internes aux plans d'eau. Ces derniers favorisent le stockage du carbone sous forme d'alcalinité.

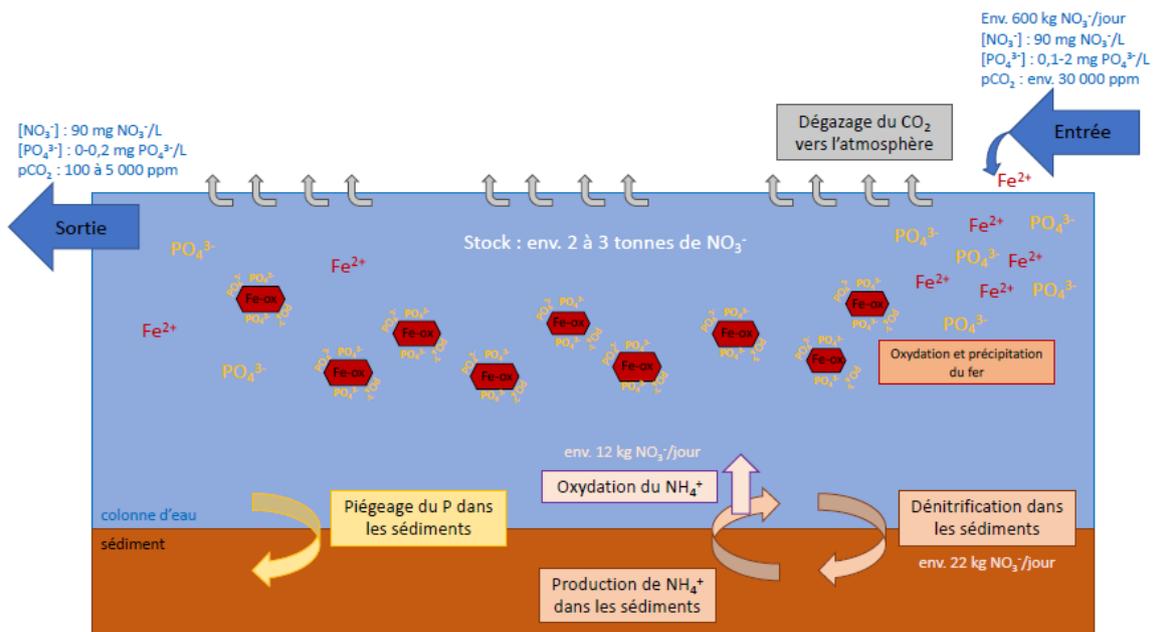


Schéma récapitulatif des principaux processus biogéochimiques observés dans les lagunages du Domaine Saint Jean, en lien avec le cycle de l'azote, du phosphore et du carbone

Rapport technique final

Suivi et régulation des flux de nutriments issus de l'activité agricole

Volet 1 du projet **REZIN**
REstauration de **Z**ones humides en amont du bassin versant des lacs médoca**INS**

Rédigé par :
Céline CHARBONNIER, Ingénieur de recherche
Pierre ANSCHUTZ, Professeur des Universités

Les résultats obtenus sur les lagunages font partiellement partie des travaux de thèse de Romane Darul (Darul, 2024) ainsi que de travaux de stages de Master et travaux de recherche menés par Céline Charbonnier et Pierre Anschutz.

L'ensemble de ces résultats est présenté dans un rapport annexe, rédigé par le laboratoire EPOC par Céline Charbonnier et Pierre Anschutz, comme bilan de leurs actions et résultats sur le projet entre 2021-2024 et une partie est également présentée dans la thèse de Romane Darul.



d. Suivis de la biodiversité des lagunages

Des suivis de la biodiversité sur la base des protocoles MHEO ont été déployés de 2021 à 2024 sur les lagunages agricoles existants par le CEN afin d'évaluer leur efficacité. Les suivis portent sur les odonates, les amphibiens et la flore, connus pour leur rôle bioindicateur.

Il apparaît que ces milieux à tendance eutrophe, accueillent des cortèges d'espèces assez variés. En 2024, les communautés ne sont pas encore stabilisées. Les espèces rencontrées sont globalement connues pour leur caractère ubiquiste ou pionnier. Alors que les espèces caractéristiques des zones humides semblent de plus en plus présentes, les espèces rudérales, et notamment les espèces exotiques envahissantes restent compétitives.



Vue sur le site A



Crocothemys erythrea



Les résultats obtenus sur les suivis naturalistes sont présentés dans des rapports annexes, rédigés par le CEN comme bilans de leurs actions et résultats sur le projet entre 2021-2024.

2. Continuum de la Caillava vers les lacs

Le bassin-versant de la Caillava est un secteur clé du territoire des Lacs Médocains, depuis l'aval des plaines agricoles jusqu'au Lac d'Hourtin-Carcans, les enjeux de qualité d'eau y sont primordiaux. Les réseaux de crastes et fossés, calibrés par le passé pour assainir le territoire, ont été incisés de façon importante au fil des épisodes de crues. Les écoulements sont, en conséquence, de plus en plus brutaux. Si cette dynamique persiste, la qualité d'eau du lac pourrait être durablement altérée. La réflexion sur cette zone vise à rehausser la ligne d'eau et à reconnecter les annexes hydrauliques, telles que les marais, les anciens méandres et les bras morts. L'objectif est de tirer parti de la fonction de filtre des zones humides attenantes à la craste de la Caillava, améliorant ainsi leur capacité de régulation tant sur le plan qualitatif que quantitatif.



Suivis physico-chimiques des eaux

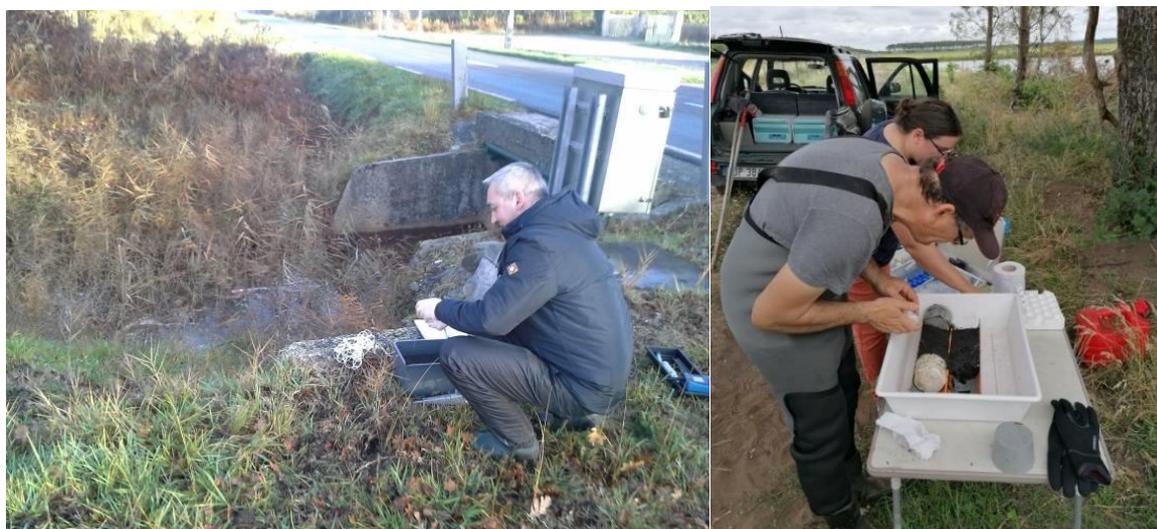
Dans le cadre du projet, une trentaine de points de suivi ont été mis en place sur ces zones humides et les principaux cours d'eau alimentant le lac de Carcans-Hourtin afin de **quantifier les flux de nutriments** et d'identifier et comprendre les **processus biogéochimiques** à l'oeuvre à l'échelle du bassin versant. Environ **25 000 données** nouvelles et originales ont ainsi été acquises au cours des 3 années hydrologiques du suivi mis en place.

- Flux de nutriments parvenant au lac d'Hourtin-Carcans

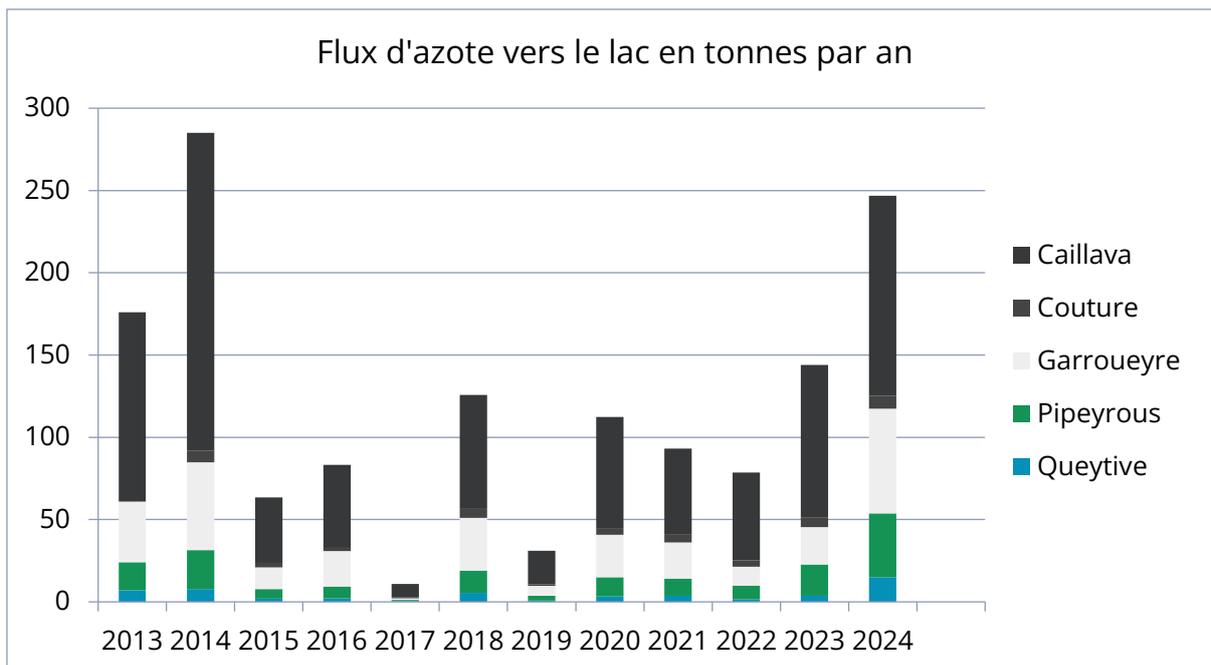
Un des objectifs du projet est d'abattre les flux de nutriments qui transitent des zones agricoles vers le lac, afin de diminuer le risque d'eutrophisation sur les milieux aquatiques. Il a été en effet montré par le passé que des apports importants en azote (nitrates) étaient responsables d'une baisse de la qualité des eaux du lac.

Depuis 10 ans, des suivis sont réalisés sur les zones aval des principaux affluents du lac de Hourtin-Carcans et ont montré une tendance à la diminution des flux d'azote vers les lacs en lien avec les mesures mises en place par le monde agricole.

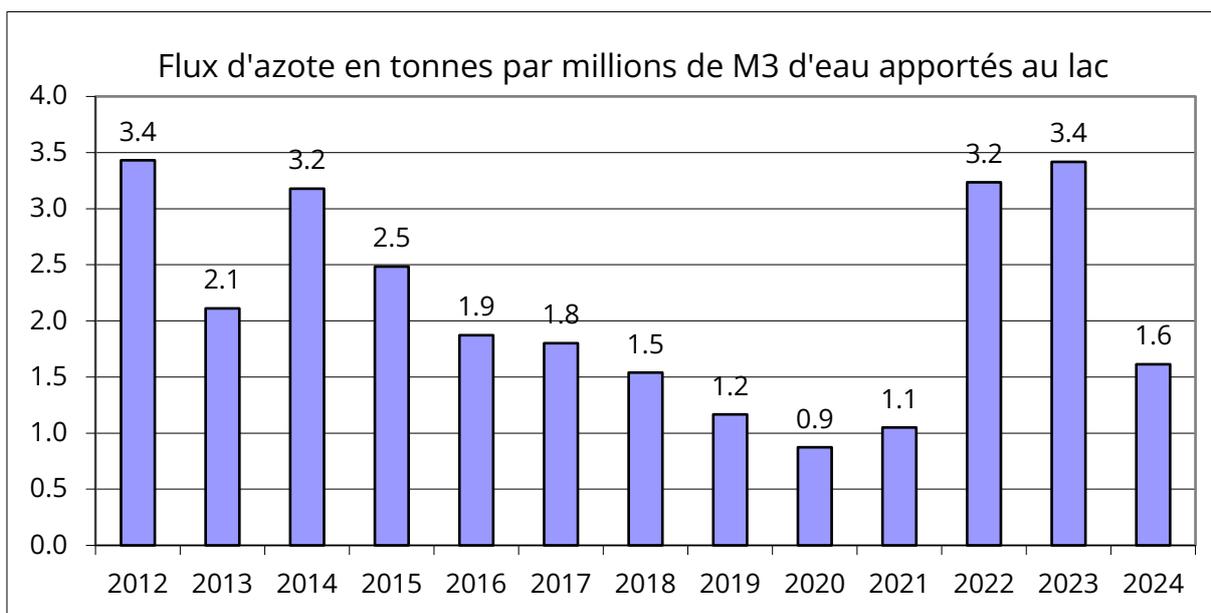
Les points aval des cinq principaux cours d'eau alimentant le lac de Carcans-Hourtin ont été suivis pendant les trois années du projet. Il s'agit des cours d'eau nommés Queytime, Pipeyrous, Garroueyre, Caillava et Lambrusse.



Analyses physico-chimiques sur les milieux aquatiques – Laboratoires LGPA et EPOC



Histogramme de l'évolution des flux d'azote transitant vers le lac de Hourtin-Carcans par an (données issues d'estimation)



Histogramme de l'évolution des flux d'azote normalisés par les flux d'eau transitant vers le lac de Hourtin-Carcans par an (données issues d'estimation)

Les trois années de suivi du projet REZIN ont été **météorologiquement différentes**, avec deux extrêmes : un été 2022 marqué par un épisode de sécheresse/canicule et un hiver 2023-2024 marqué par des précipitations intenses.

	Queytive	Pipeyrous	Garroueyre	Caillava (H)	Lambrusse
2021-2022	3,0	2,3	2,5	8,3	5,9
2022-2023	2,2	1,7	1,9	6,6	4,4
2023-2024	12,0	9,3	10,2	27,4	23,9

Tableau des débits annuels moyens sur les cours d'eau principaux affluents du lac d'Hourtin-Carcans

Les conductivités et concentrations en nitrate et sulfate mesurées dans les cours d'eau sont reliées, ces paramètres étant marqueurs des **eaux d'origine agricole**.

Le **nitrate** est la principale forme d'azote présente dans les cours d'eau du bassin versant du lac de Carcans-Hourtin.

Au cours de la saison, ces flux ont été étudiés et on observe de façon assez intuitive, des flux faibles vers les lacs en été car il existe une rupture hydrologique entre l'amont et l'aval du cours d'eau et à contrario des flux importants dès la remise en eau du système à l'automne.

Les **flux annuels de nitrate** (en tonnes de NO₃/an) sont similaires aux années précédentes pour 2021-2022 et 2022-2023 (entre 300 et 450 tonnes de NO₃/an) mais une forte augmentation est visible sur tous les cours d'eau pour l'année 2023-2024 (env. 900 tonnes de NO₃/an), en relation avec les très forts débits observés durant l'automne et l'hiver (plus de 1000 mm de précipitations entre octobre et mars). Cela montre la nécessité de poursuivre les actions sur les nutriments (amélioration et ajustement des pratiques agricoles notamment de fertilisation, projet de lagunages agricoles, travail sur la répartition des eaux en forêt...)

	Flux d'eau annuel (Mm ³ /an)					
	Queytive	Pipeyrous	Garroueyre	Caillava (H)	Lambrusse	Somme
2021-2022	3,0	2,3	2,5	8,3	5,9	16,1*
2022-2023	2,2	1,7	1,9	6,6	4,4	16,8
2023-2024	12,0	9,3	10,2	27,4	23,9	82,8

	Flux annuel de nitrate (tonnes de NO ₃ /an)					
	Queytive	Pipeyrous	Garroueyre	Caillava (H)	Lambrusse	Somme
2021-2022	10,2	67,2	63,3	307,3	-	448
2022-2023	6,8	36,1	38,8	181,9	30,5	294
2023-2024	51,5	142,8	165,0	445,8	94,4	900

	Flux annuel de nitrate (tonnes de NO ₃ /Mm ³ /an)					
	Queytive	Pipeyrous	Garroueyre	Caillava (H)	Lambrusse	Somme
2021-2022	3,4	29,2	25,3	37,0	-	27,8
2022-2023	3,1	21,2	20,4	27,6	6,9	17,5
2023-2024	4,3	15,4	16,2	16,3	3,9	10,9

Tableau reprenant le flux d'eau annuel (en Mm³/an), flux annuel de nitrate (en tonnes de NO₃/an) et flux annuel de nitrate normalisé par la quantité d'eau (en tonnes de NO₃/Mm³/an) pour les cinq principaux cours d'eau alimentant le lac de Carcans-Hourtin. La dernière colonne des deux premiers tableaux montre l'addition de la somme des flux des cinq cours d'eau étudiés. La dernière colonne du dernier tableau montre la moyenne pondérée au débit des 5 cours d'eau.

Le nitrate est la forme majoritaire de l'azote inorganique dissous dans les cours d'eau étudiés : les flux de nitrite et d'ammonium sont ainsi beaucoup plus faibles que les flux de nitrate. Les flux d'ammonium varient saisonnièrement sur tous les cours d'eau, avec des flux quasi nuls en été.

En considérant l'ensemble des cours d'eau étudiés, les flux d'ammonium parvenant au lac de Carcans-Hourtin sont assez stables pour les deux premières années étudiées, avec une valeur

comprise entre 2 et 3 tonnes de NH_4^+ /an tandis que les flux d'ammonium NH_4^+ , de CO_2 et de CH_4 (en $\text{kg}/\text{Mm}^3/\text{an}$) augmentent significativement sur **le Caillava** en 2023-2024.

Une **augmentation des flux de phosphate** est également visible sur l'ensemble des cours d'eau en 2023-2024 en lien avec les conditions hydrologiques exceptionnelles (apports accidentels de phosphore vers un des lagunages et le sous bassin-versant de la Caillava).

En complément des paramètres physico-chimiques et des sels nutritifs, certains paramètres liés au cycle du carbone ont également été suivis, tels que le méthane CH_4 et la pression partielle en CO_2 . Pour les cinq cours d'eau étudiés et les trois années de suivi, les pCO_2 sont toujours supérieures à la valeur atmosphérique (420 ppm) : les cours d'eau sont donc une source de CO_2 pour l'atmosphère. Ces concentrations sont inversement reliées aux teneurs en oxygène dissous : ainsi, les eaux riches en CO_2 sont pauvres en oxygène et inversement.

Cette relation traduit la présence d'eaux marquées par des processus de respiration : il s'agit soit de processus ayant lieu dans le cours d'eau, soit d'apports d'eaux souterraines forestières anoxiques et riches en CO_2 .

Les forts flux de nitrate en provenance des cours d'eau expliquent l'augmentation des concentrations en nitrate observées en hiver dans le **lac de Carcans-Hourtin**. En revanche, les flux des crastes n'expliquent pas les concentrations en ammonium et en phosphate mesurées dans le lac : la **dynamique interne du lac** doit donc aussi être prise en compte.

La production primaire du lac est limitée par le phosphore en raison des flux importants d'azote. Une augmentation additionnelle de flux de phosphore augmente le **risque d'eutrophisation**. Un point de vigilance doit donc être porté sur ce sujet.

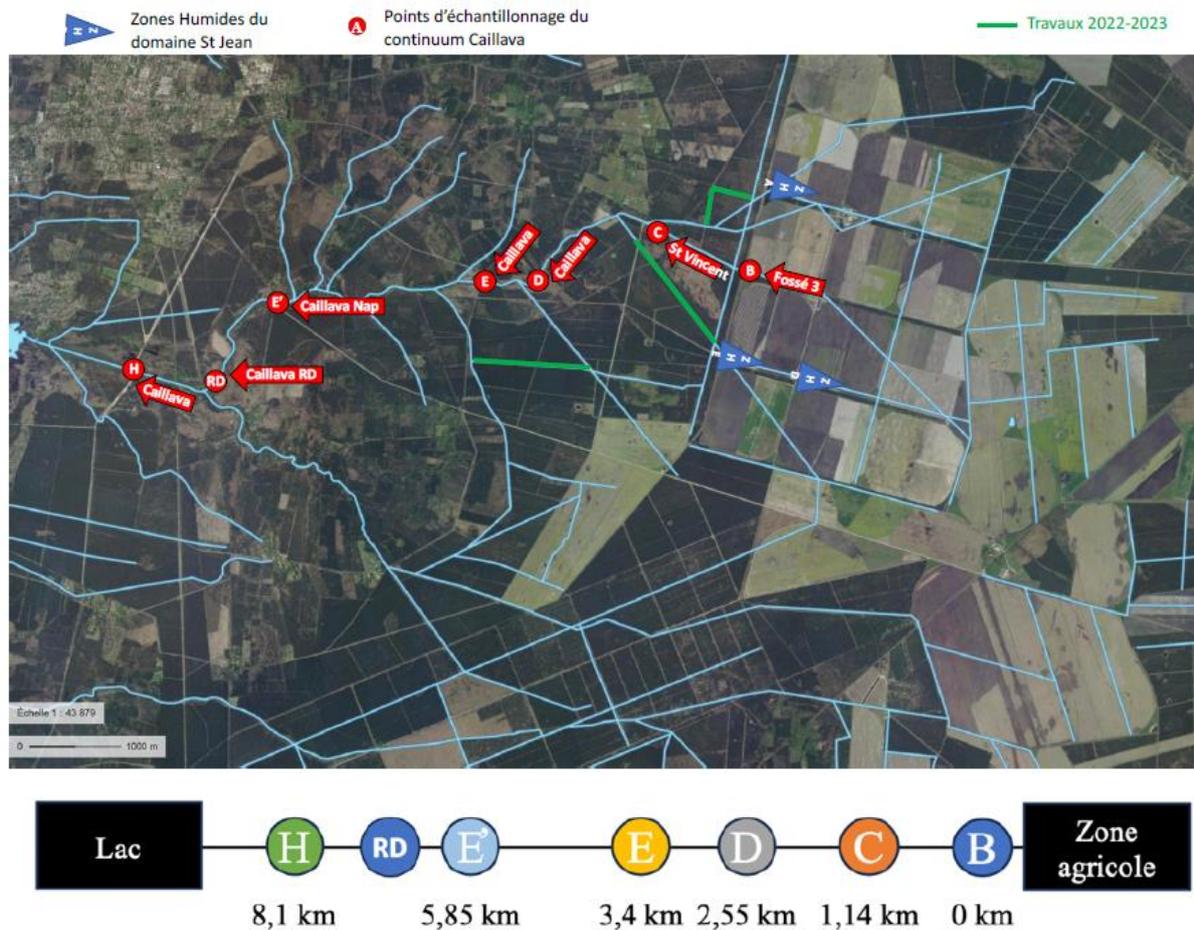
- Evolution des concentrations et flux de nutriments le long du continuum des cours d'eau

Le cours d'eau Queytime, uniquement forestier, présente peu de variations de concentrations entre amont et aval car les eaux sont de **même origine** (forestière) tout au long de son tracé.

En parallèle, les cours d'eau drainant des zones agricoles résultent du mélange entre deux masses d'eau **chimiquement différentes** : les eaux d'origine agricole (oxygénées, riches en nutriments) et les eaux souterraines forestières (anoxiques, riches en CO_2) : les concentrations varient le long du continuum amont-aval. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer les variations de concentrations observées : apport d'affluents, dilution par les eaux souterraines forestières, processus internes au cours d'eau : il est nécessaire de raisonner sur les **flux des composés chimiques** et non les concentrations pour mieux comprendre.

Ces flux ont été calculés pour 6 stations réparties d'amont en aval le long du **continuum** du cours d'eau Caillava (signature agricole très forte), révélant une augmentation des flux de tous les composés pour l'année 2023-2024 : il y a donc un fort impact de l'**hydrologie**. Toutefois, **l'évolution spatiale des flux** le long du continuum montre des différences selon les années et selon les paramètres considérés l'hydrologie n'explique donc pas tout.

- Evolution et processus affectant les flux de nutriments le long du continuum de la Caillava



Cartographie des points de suivi des eaux sur le sous bassin versant de la Caillava

Ce sont près de 10 000 données de mesures in situ sur la Caillava qui ont été analysées. Des mesures de débits et courbes de tarage ont été réalisées et ont permis de quantifier avec précision les flux de nutriments vers les lacs.

Les variations de flux entre deux points du cours d'eau Caillava sont en grande partie expliqués par les **apports des affluents**, en particulier Couture (10 à 30 tonnes de NO₃-/an) et Jolles (40 à 80 tonnes de NO₃-/an). Une petite partie des flux provient des **apports par les eaux souterraines**, en particulier pour la silice dissoute, le sulfate et l'ammonium.

Les **travaux de rediffusion des eaux** effectués sur l'amont du bassin versant n'ont pas modifié les flux de composés chimiques, mais leur répartition spatiale. Les **travaux d'étalement du cours d'eau** effectués à l'aval du Caillava, créant 150 ha de marais, ont un léger impact sur les flux d'azote inorganique dissous : le nitrate est dénitrifié dans les sédiments, et la proportion d'ammonium augmente dans le total de l'azote inorganique dissous. Cet ammonium supplémentaire peut provenir soit d'apports d'eaux souterraines, soit de processus de minéralisation de la matière organique dans les sédiments, et ce d'autant plus que les travaux effectués sur l'aval du Caillava et le débordement du cours d'eau sur les rives, ont augmenté la surface de sédiment existante via l'enneigement des sols forestiers.

Les sédiments sont le lieu de réactions de **dénitrification**, de **sulfatoréduction** et de **méthanogenèse** mais les **flux benthiques** ont peu d'impact sur les flux transitant dans les cours d'eau.

Ils constituent un **piège efficace du phosphate** en raison de l'adsorption du phosphore sur les oxydes de fer, mais ce stockage n'est pas illimité : les particules en amont du bassin versant sont déjà saturées en phosphore, et ce dernier peut être remobilisé en cas de réduction des oxydes de fer.

La colonne d'eau des cours d'eau est ponctuellement le lieu d'une **assimilation des nutriments** par les végétaux et de **dénitrification**. Les flux journaliers de nitrates sortant des zones agricoles sont de l'ordre de 9 à 1700 kg de NO₃, en moyenne 300kg de NO₃ par jour et les processus diffusifs consomment 3 à 20 kg de NO₃ par jour.

L'essentiel des apports en composés chimiques provient de la tête de bassin versant, avec le nitrate provenant des engrais azotés, le sulfate provenant des eaux d'irrigation et le phosphate pouvant accidentellement être libéré en quantité en cas de débordement des bassins de stockage de digestat associés au méthaniseur : la tête de bassin versant est la zone clé où concentrer les efforts de réduction des flux de nutriments.

Les **actions de répartition des eaux en forêt travaillées** sont donc complémentaires avec les **projets envisagés d'extension des lagunages agricoles**.



Rapport technique final

Suivi et régulation des flux de nutriments issus de l'activité agricole

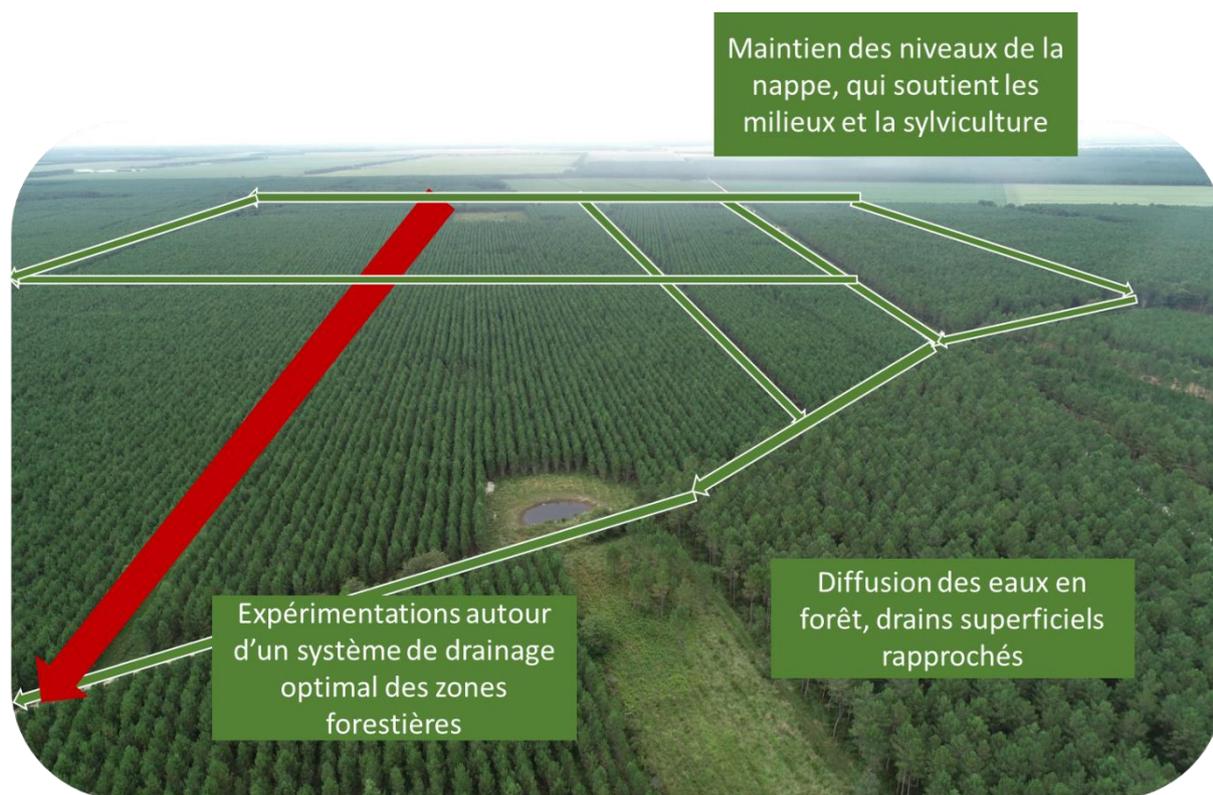
Volet 1 du projet **REZIN**
REstaurat**ION** de **Z**ones humides en amont du bassin versant des lacs médoca**INS**

Rédigé par :
Céline CHARBONNIER, Ingénieur de recherche
Pierre ANSCHUTZ, Professeur des Universités

Les résultats obtenus sur le continuum de la Caillava à Hourtin sont relatifs à des travaux de recherche menés par Céline Charbonnier et Pierre Anschutz.

L'ensemble de ces résultats est présenté dans un rapport annexe, rédigé par le laboratoire EPOC comme bilan de leurs actions et résultats sur le projet entre 2021-2024.

2. Zones forestières : optimisation des écoulements



Le massif forestier représente 80% de l'occupation du sol sur le bassin versant des lacs médocains.

Dans un objectif partagé par tous les acteurs du territoire de préserver la **qualité des milieux aquatiques**, un travail de **diffusion des eaux** pouvant être chargées en nutriments à la sortie des plaines agricoles est proposé afin de mieux répartir les écoulements, augmenter le temps de résidence de l'eau dans les crastes et bénéficier du rôle de **filtre naturel** de ces milieux.

En parallèle de ces aspects bénéfiques pour la qualité des eaux, la diffusion des eaux et l'optimisation du réseau de drains pourra favoriser l'**infiltration et le maintien de niveaux de nappe**, ce qui semble être une priorité dans un contexte de changements climatiques avec des étages de plus en plus marqués. Les terrains agricoles et forestiers font historiquement l'objet d'un **drainage important**. Dans ce contexte de changement climatique et notamment d'accentuation des extrêmes de sécheresse, une réflexion mérite d'être faite sur l'adaptation de la **géométrie du réseau de drainage** afin d'éviter d'accentuer la sévérité des étages et l'assèchement des zones humides en période estivale.

Il s'agit donc ainsi de deux objectifs différents travaillés sur la répartition des eaux en forêt :

- **Un travail sur la répartition des eaux en forêt à l'aval des plaines agricoles afin d'utiliser les rôles de filtres naturels des cours d'eau**
- **Un travail en plein cœur des zones forestières pour permettre un meilleur équilibre entre excès et déficit d'eau grâce à la restauration d'écoulements doux et superficiels**

Initialement fléchés sur le sous bassin-versant de la Caillava uniquement, comme zone pilote du projet, les opérations ont pu être étendues à d'autres secteurs géographiques. Les objectifs

poursuivis sur les autres sites visent également le maintien d'un équilibre entre hautes et basses eaux, la répartition des eaux en forêt afin de ne pas aggraver les situations de hautes eaux.

Toutes les opérations ont fait l'objet de dossiers réglementaires au titre de la loi sur l'eau.

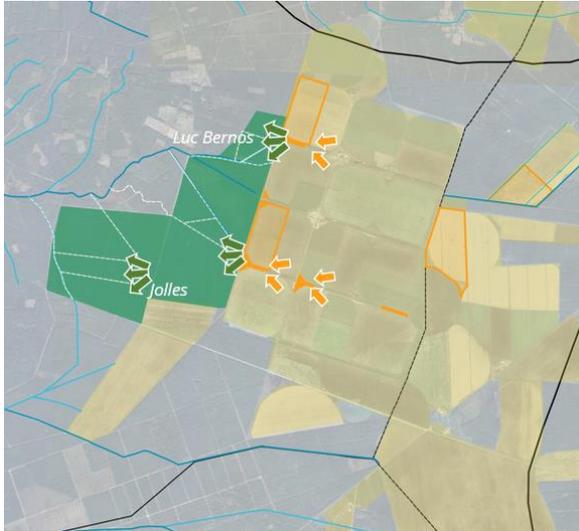
Au total, ce **sont 25 km de crastes qui ont fait l'objet d'opérations sur leurs profils de berges et leurs espaces de mobilité et 3500 ha de zones forestières qui ont bénéficié d'une optimisation de la répartition des eaux**



a. Travaux d'amélioration de la répartition des eaux en forêt

Aval du Domaine St Jean

Les travaux réalisés à l'aval des plaines agricoles visent à mieux répartir les eaux en forêt depuis les cultures pour favoriser l'infiltration dans la nappe pour limiter l'effet des sécheresses, tamponner les crues en s'appuyant sur un réseau de fossés superficiels.



500 hectares de zones forestières où la répartition des eaux a été optimisée

Un ouvrage hydraulique a été aménagé à l'aval du domaine St Jean dans un objectif de mieux répartir les eaux sur les fossés forestiers en aval.



Ecluse en aval direct des plaines agricoles sur le fossé Saint-Vincent

Des opérations de reprofilage de crastes ont également été entreprises afin de mieux disperser les eaux en aval des plaines agricoles pour répartir les flux, d'eau comme de nutriments et de soutenir la forêt. Les profils des crastes sont retravaillées pour présenter une section d'écoulement calibrée aux flux provenant de l'amont mais avec un profil qui ne favorise pas la profondeur mais plutôt l'évasement des berges. Des busages ont également été installés afin de connecter les différents linéaires entre eux, selon le sens de la pente et les flux amont et capacités d'écoulement de chaque secteur.

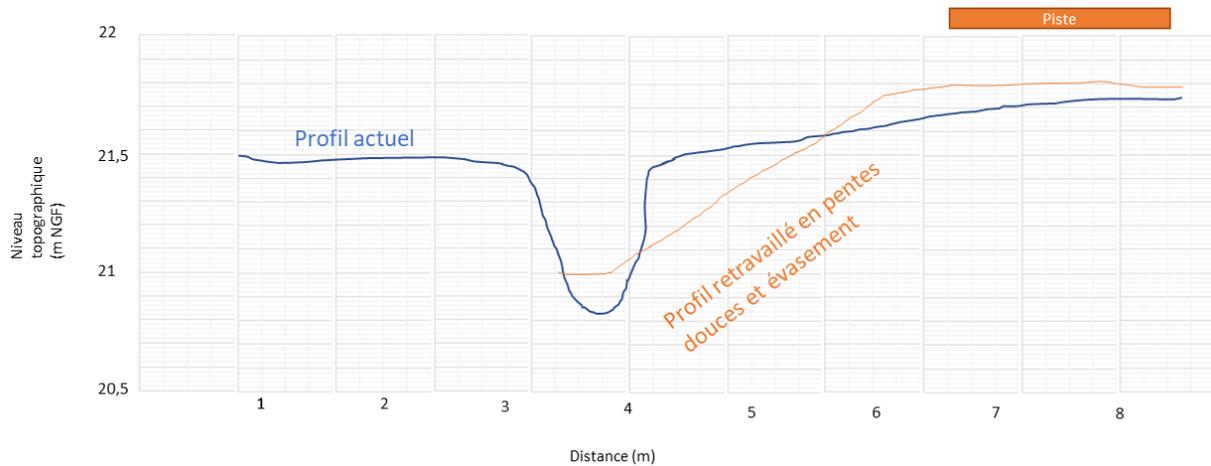


Schéma de principe du reprofilage des berges des crastes forestières

Selon les possibilités, le profil des cours d'eau est également travaillé de façon à être moins rectiligne qu'à l'initial. Des petits méandres ou atterrissements sont formés afin de diversifier les écoulements et **optimiser le piégeage des nutriments** dès l'amont.

Sur la craste Luc Bernos, 3 km de crastes ont été reprofilées et reconnectées.



Vue sur la connexion entre deux crastes – secteur de Luc Bernos

Des opérations similaires ont été réalisées en 2024 sur la craste Jaugas, au Sud du domaine St Jean sur 1.2 km.



Vue sur la craste Jaugas reconnectée et reprofilée

Encore plus au Sud, les crastes du secteur du Jolles ont bénéficié en 2022 et 2024 de mêmes opérations sur 2.5 km.

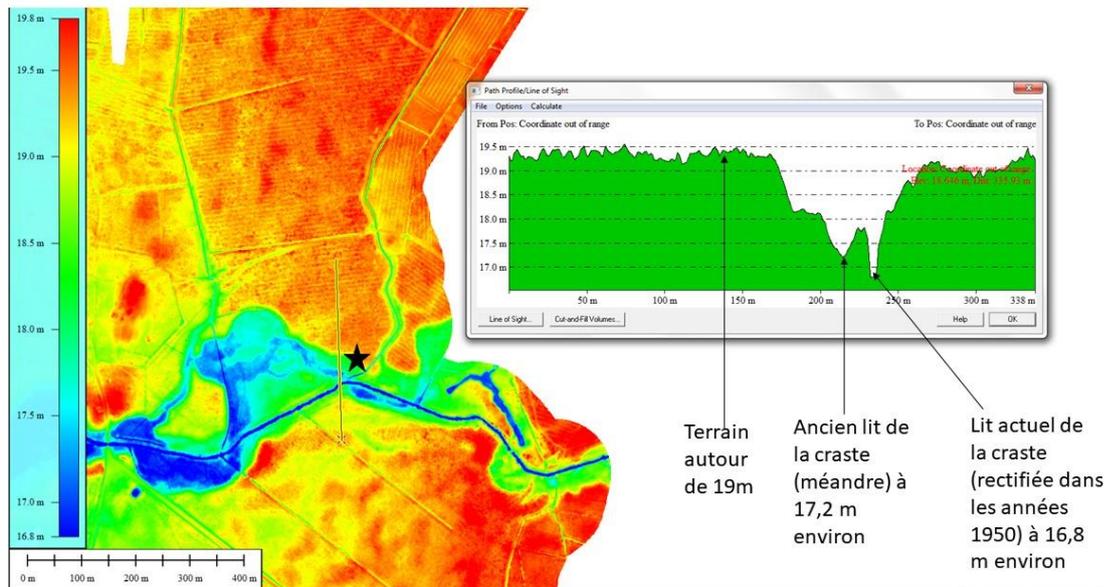


Vue sur le fossé du Jolles Sud

Tronçon médian de la Caillava

Le bassin-versant de la Caillava est un secteur clé du territoire des Lacs Médocains, depuis l'aval des plaines agricoles jusqu'au Lac d'Hourtin-Carcans, les enjeux de qualité d'eau y sont primordiaux. Les réseaux de crastes et fossés, calibrés par le passé pour assainir le territoire, ont été incisés de façon importante au fil des épisodes de crues. Les écoulements sont, en conséquence, de plus en plus brutaux. Si cette dynamique persiste, la qualité d'eau du lac pourrait être durablement altérée tout comme la forêt et les milieux naturels du secteur pour lesquels la nappe est rabattue en profondeur et devient inaccessible une partie de l'année.

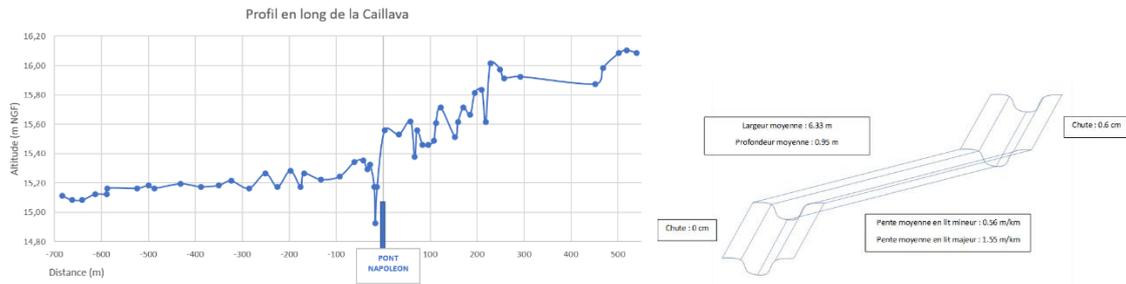
Sur la partie aval et sous l'effet cumulés des épisodes de crues brutaux, le lit sableux de la Caillava s'est progressivement incisé et déconnecté de ses annexes hydrauliques. Des travaux visant à restituer la connexion hydraulique de la Caillava avec ses marais attenants ont été réalisés. Il s'agissait, sur la partie la plus aval, d'écrêter le bourrelet de curage afin de rehausser la ligne d'eau et de laisser déborder la craste sur le marais de Lupian en période de crue. Des merlons de sables appuyés sur des points durs, tels que des souches ou des arbres en travers, ont également été réalisés afin de favoriser le passage de l'eau par les annexes hydrauliques latérales.



Données topographiques issues du Lidar sur la Caillava (amont du pont Napoléon)

La problématique d'incision la plus marquée sur la Caillava se situe sur sa partie amont et médiane.

Les travaux réalisés sur la partie aval ont permis de réduire considérablement la chute d'eau présente au niveau de certains ponts (pont Napoléon). Les effets des travaux se font ressentir jusqu'à environ 5 km vers l'amont cependant une chute subsiste au pont de la citerne DFCI, dans la partie médiane de la Caillava.



Profil en long et description de la chute existante initialement au pont Napoléon

En 2023, l'étude d'assistance technique en matière d'hydromorphologie et d'hydraulique fluviale a été menée et finalisée par le bureau d'études NCA Environnement. Cette étude a mis en évidence la problématique du substrat de granulométrie très fine et donc facilement mobilisable. Une vitesse de courant de quelques centimètres par seconde suffit à transporter ce sable constitué à 80% de grains de l'ordre de 0,3 mm. La volonté du SIAEBVELG est d'opter pour une solution sans intervention lourde, pour rehausser le lit, permettre la reconnexion des annexes hydrauliques et assurer le maintien de la recharge en fond de lit. Les micro-seuils, les fascines et les épis sont les premières pistes de réflexion afin de trouver un équilibre entre les usages et la restauration.

Aucune opération n'a pour le moment été lancée sur ce secteur.

Biron et Lambrusse à Carcans



940 hectares de zones forestières où la répartition des eaux a été optimisée

Sur les secteurs du Biron et du Lambrusse à Carcans, des opérations de répartition des eaux ont été menées entre 2022 et 2024. Concrètement, des busages ont été installés pour favoriser des connexions qui n'étaient plus fonctionnelles ainsi qu'un entretien des linéaires de crastes pour permettre les écoulements.

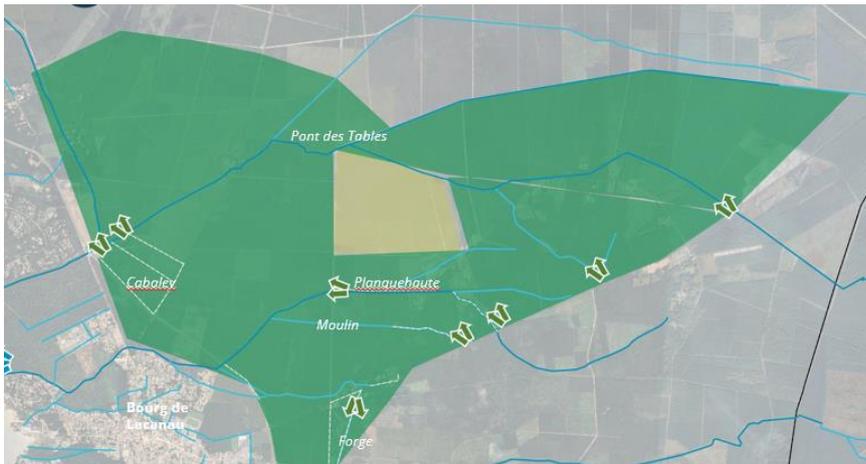


Vue sur les aménagements Biron - Lambrusse

Ces opérations permettent ainsi de diffuser les eaux sur plusieurs crastes plutôt que de centraliser les flux sur un unique cours d'eau. Ces actions bénéficient ainsi à toute la forêt riveraine sur près de 940 ha avec un écoulement optimisé de l'eau et une meilleure infiltration en nappe, dont la forêt dépend.

Il est à noter sur ce secteur les effets positifs des travaux de façon qualitative (pas de systèmes de mesure installés) : un dysfonctionnement hydraulique avait été observé en janvier 2014 et en mai 2020 sur des épisodes pluvieux intenses avec une déviation de l'eau du Lambrusse vers le bourg de Carcans. Cette situation, malgré des précipitations intenses et une situation plus critique qu'en 2014 et 2020, n'a pas été rencontrée à nouveau sur les crues de l'hiver 2023-2024. Les zones forestières du secteur ont également bénéficié d'une meilleure répartition des eaux globale.

Planquehaute et Berle à Lacanau



1900 hectares de zones forestières où la répartition des eaux a été optimisée

Des travaux visant à répartir les eaux sur les parcelles forestières ont été réalisés en amont du bourg de Lacanau en 2023-2024. Les crues importantes de la saison 2023-2024 ont mis en évidence des dysfonctionnements majeurs du sous bassin versant de Planquehaute et de la Berle. Les opérations menées, basées sur des méthodologies simples et douces (mise en place de merlon pour diriger les eaux, remise en fonction de petits drains anciens et abandonnées au fil du temps, reprofilage de crastes...) ont permis d'améliorer les écoulements d'eau et l'infiltration dans la nappe.

Près d'un kilomètre de la craste de Planquehaute a ainsi été retravaillé afin de restaurer des écoulements doux : la même section d'écoulement de la craste a été maintenue avec un profil évasé des berges. Le lit a quant à lui été réhaussé grâce aux matériaux récupérés sur le bourrelet de curage (sable).



Vue sur la craste de Planquehaute reprofilée et méandree

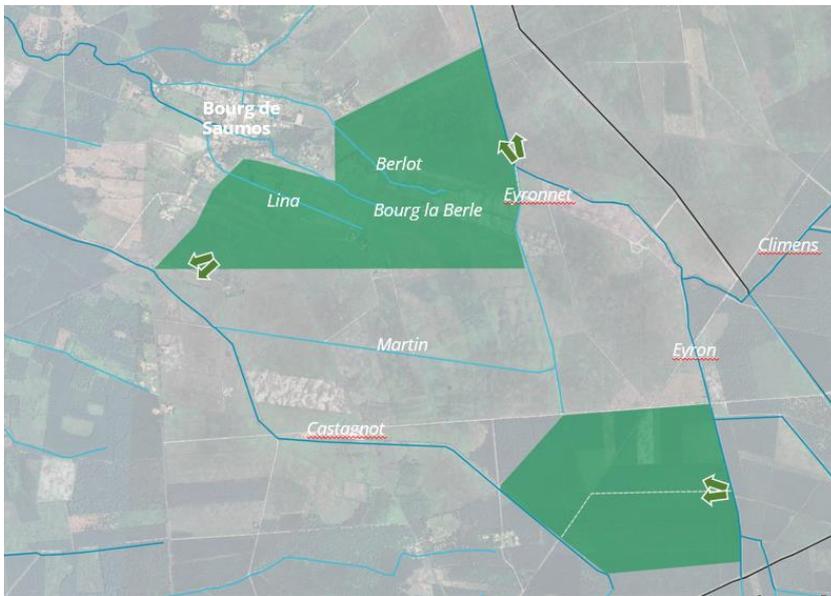
Sur les secteurs de Narsot et Cabaley, les petits fossés anciens remis en fonction couplés à la mise en place de merlons ont permis d'améliorer le fonctionnement hydraulique du secteur : une partie de l'eau des cours d'eau principaux était déviée par les fossés de bord de route (suite à des opérations d'entretien les ayant approfondis et ayant modifié les pentes) en direction du bourg et

de parcelles forestières. Les dysfonctionnements hydrauliques observés de façon majeure en octobre 2023 lors des crues ont été améliorés grâce aux aménagements déployés entre les crues d'octobre 2023 à mars 2024. Les zones forestières n'ont pour autant pas été plus ennoyées qu'ailleurs et ont bénéficié d'une meilleure répartition globale des eaux.



Vue sur la reprise de petits fossés anciens en bordure de route départementale

Eyron-Castagnot à Saumos



360 hectares de zones forestières où la répartition des eaux a été optimisée

360 ha de zones forestières ont bénéficié d'opérations d'amélioration de la répartition des eaux.

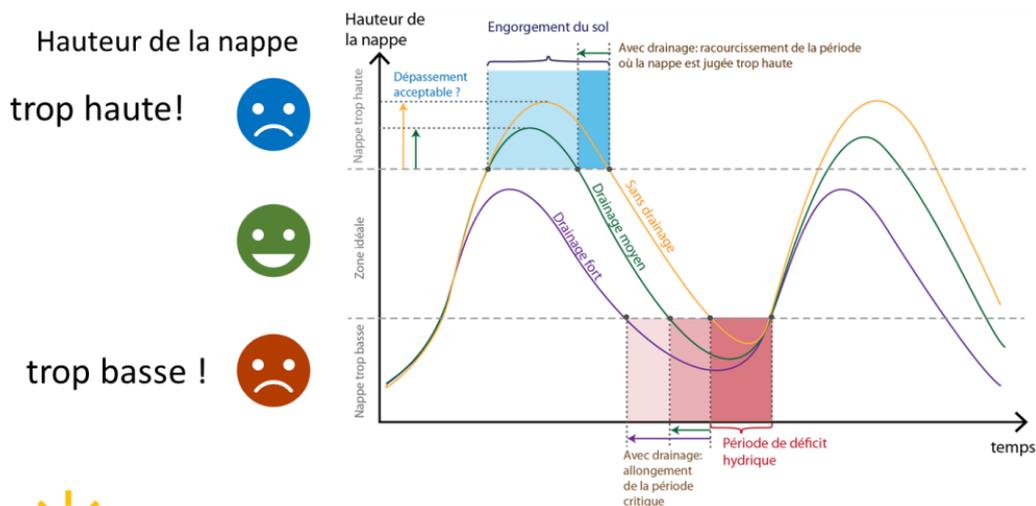


Vue sur le secteur de l'Eyron et Castagnot



b. Expérimentation et réflexion sur un système de drainage optimal : modélisation et travaux

Historiquement, le réseau de drainage du bassin-versant a été dimensionné pour évacuer rapidement le surplus d'eau vers l'aval en hiver et ainsi assainir les parcelles forestières. Dans le contexte actuel de changements climatiques, la géométrie du réseau de drains favorise l'inondation des secteurs aval et ne permet pas d'anticiper les sécheresses. Une réflexion mérite d'être faite sur les **modalités optimales de drainage** avec un meilleur équilibre hautes et basses eaux. La piste envisagée vise un réseau plus dense de fossés moins profonds.



- **Fait nouveau : intensification et augmentation de la fréquence des sécheresses**



- **Peut-on optimiser le schéma de drainage pour conserver un maximum d'eau pour les épisodes de sécheresse ?**

Ces expérimentations sont mises en perspectives de mesures sur les peuplements sylvicoles menées avec le GPF Médoc – Chambre d'agriculture de Gironde et l'ONF.



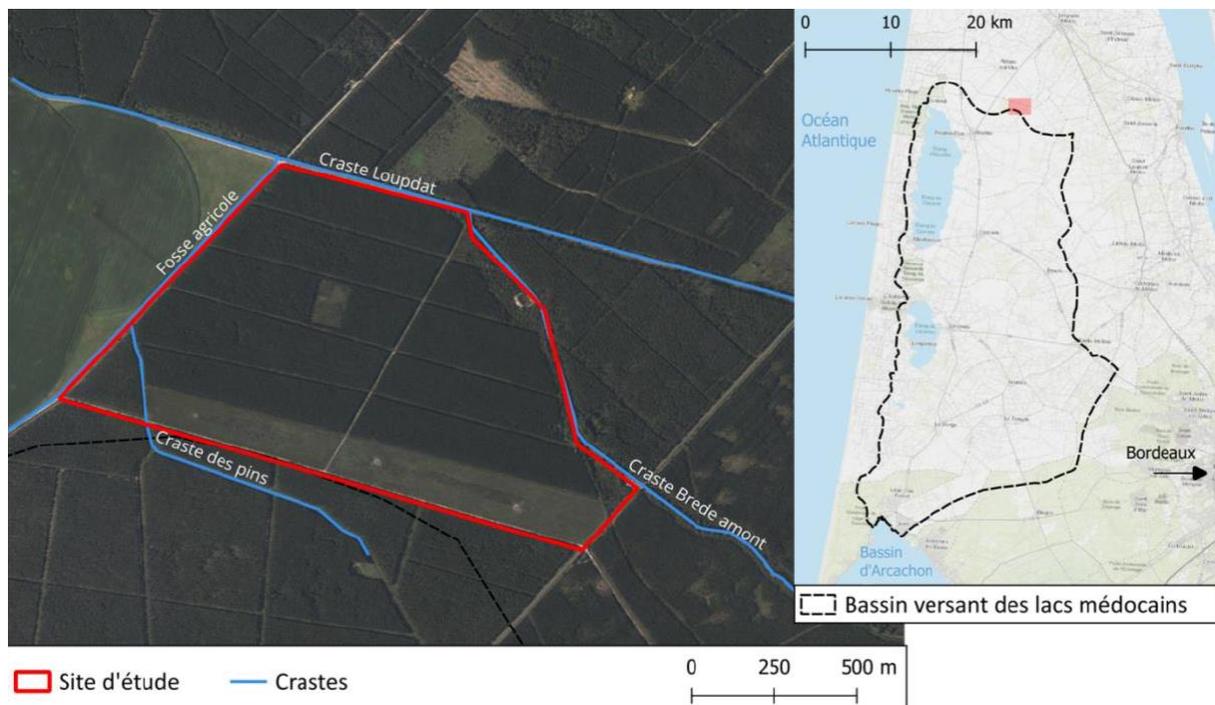
Suivi des niveaux d'eau et étude des liens nappe/ cours d'eau/ zones humides/ forêt

Début 2022, un **réseau de suivi piézométrique automatisé** a été mis en place. Il est constitué de 50 sondes réparties sur le bassin versant de la Caillava afin de mesurer le niveau de la nappe des sables dans des piézomètres mais également les niveaux de crastes, lagunes et drains pour identifier les **interactions entre ces différents compartiments hydrologiques**.

- Présentation du site et du dispositif expérimental à Sescousse

Une parcelle forestière pilote dans le secteur de Sescousse au Nord d'Hourtin fait l'objet d'un **modèle hydrogéologique de drainage forestier** grâce à un travail mené en collaboration avec le laboratoire EPOC et l'école ENSEGID à Bordeaux.

Cette étude associe **observations de terrain et modélisation** des écoulements en aquifère pour comparer différentes stratégies de drainage sur une parcelle sylvicole des Landes du Médoc.



Cartes du site d'étude de Sescousse

Le site expérimental de Sescousse est planté de pins maritimes dans un contexte géographique où le niveau naturel de l'aquifère est proche de la surface. Le réseau de drains qui y est aménagé vise (comme pour tout aménagement sur le Massif forestier) à baisser le niveau de l'aquifère afin de s'approcher de conditions optimales pour la production sylvicole, soit une profondeur entre 0,4 et 1,2 m par rapport à la surface.

- Si le niveau est trop proche de la surface (<0,4 m / sol), cela conduit à une possible asphyxie du réseau racinaire, un risque plus élevé d'arrachement en cas de tempête, et des difficultés d'accès en cas d'incendie.
- Si le niveau de l'aquifère est trop profond (> 1,2m / sol), les pins peuvent se retrouver en état de stress hydrique.

A l'image de la majorité des parcelles sylvicoles du triangle landais, le site d'étude est maillé d'un réseau de drainage relativement dense. La profondeur moyenne des drains y est de 1,1 m avec des largeurs allant de 2 à 3,5 m.

Le site d'étude est une parcelle forestière d'une centaine d'hectares. Il a été caractérisé avec une étude topographique LiDAR en 2021, qui a permis d'obtenir un modèle numérique de terrain à haute résolution et une cartographie de la profondeur des drains dans la configuration actuelle.

Le site a été instrumenté, dès 2022, avec **7 sondes de pressions autonomes** : 3 dans les drains, 3 dans des piézomètres, et une dernière dans la craste de la Brède qui constitue la bordure nord du site d'étude. Les données de niveaux d'eau acquises par ces 7 sondes permettront de réaliser le calage d'historique.

Les ouvrages ont été nivelés au GPS différentiel, ou par cheminement au niveau optique lorsque le couvert végétal ne permettait pas de recevoir le signal satellitaire. Cela permet d'atteindre une précision centimétrique, qui est nécessaire dans ce contexte à faible pente et faible gradient hydraulique.



Point de suivi en nappe, au cœur des parcelles forestières

Afin de réaliser un **bilan hydrique dynamique**, une **station météo** équipée d'un thermomètre, un pluviomètre à auget basculant, un pyranomètre, un anémomètre et un capteur d'humidité a également été installé en amont du bassin versant au cœur des plaines agricoles. Les variations telles que l'augmentation ou la chute des niveaux d'eau peuvent ainsi être corrélées respectivement à des épisodes de pluies ou des périodes de forte évapotranspiration (croissance des pins ou évaporation depuis surface d'eau libre).



Station météo installée en juillet 2022 à Hourtin (gauche)

Un projet tutoré a été mené durant le 2nd semestre 2021 avec 3 étudiantes de l'ENSEGID sur la modélisation hydrogéologique autour des échanges nappes – cours d'eau /crastes. Encadré par Cristina Ribaud et Alexandre Pryet, le travail mené a permis de premières collectes de données et analyses. Ce projet a été poursuivi avec un second projet du même type lors de l'année 2022.

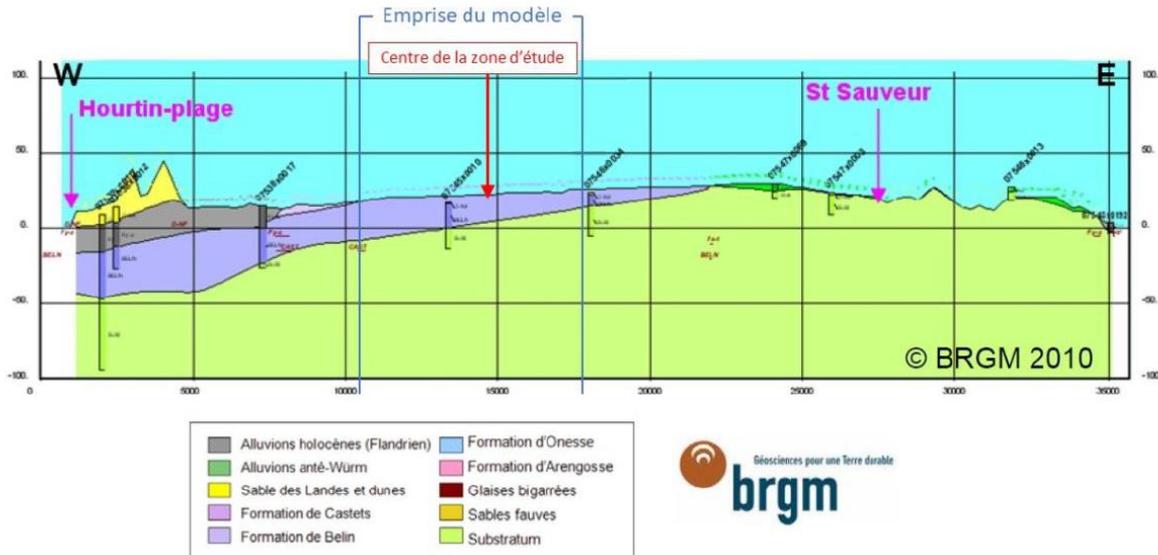
La thèse de Romane Darul était initialement fléchée sur de multiples sujets : biogéochimie autour des plaines agricoles et sur les lagunes ainsi que sur la modélisation hydrogéologique en forêt. Ceci a dû être ré-orienté au cours de la thèse et le volet expérimental sur les écoulements en forêt a été directement porté par Alexandre Pryet du laboratoire EPOC et enseignant chercheur à ENSEGID et le SIAEBVELG.

En octobre 2023, un poste de chargé de mission hydrologie et zones humides a été aménagé au sein du SIAEBVELG pour dédier davantage de temps à ce projet. Un travail important de collecte et de nettoyage des données hydrologiques a été réalisé sur l'ensemble des données du bassin-versant d'une part. L'interprétation de ces données a pu être amorcée qualitativement.

- Contexte hydro-géologique

Sur le site expérimental de Sescousse, l'écoulement des eaux souterraines suit une direction générale du sud-est vers le nord-ouest. Cette dynamique régionale a guidé le choix de l'emprise du modèle hydrologique, étendue sur une surface de 650 hectares, permettant une évaluation plus large du réseau hydraulique.

Les données du point de référence BSS0001VYWT ont été utilisées pour calibrer ce modèle hydrologique, assurant ainsi une cohérence avec le gradient hydraulique de la zone.



Coupe géologique de la zone d'étude issue du rapport BRGM/RP-57813-FR

La zone d'étude des Landes de Sescousse, située au nord-est de Hourtin, présente une stratigraphie complexe, principalement dominée par des dépôts plio-quadernaires. Le sous-sol immédiat est constitué de sables des Landes, d'origine éolienne et fluviale, qui couvrent une grande partie du territoire. Ces sables sont intercalés avec des couches de graviers et de sables grossiers de la formation de Belin, formée dans un environnement deltaïque où des chenaux divagants ont transporté du matériel grossier.

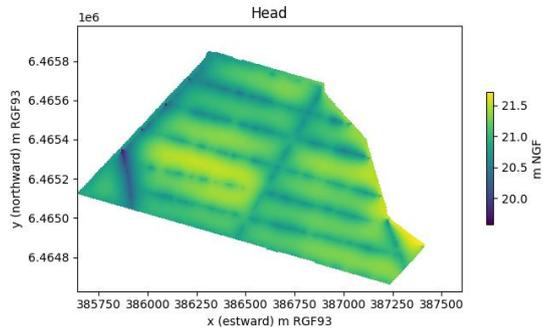
Sous ces dépôts, on retrouve également la formation de Castets, composée de sables fins bien triés, associée à un ancien environnement de plaine deltaïque. Cette formation a été en partie remobilisée par les vents durant le Quaternaire, contribuant à la vaste nappe sableuse qui couvre la région. Enfin, des dépôts argileux et marneux complètent cette stratigraphie, agissant comme des niveaux imperméables et influençant la dynamique hydrogéologique locale.

- Acquisition et traitement des données
 - Analyse des données topographiques

Les données issues de la campagne **LIDAR**, menée à l'étiage 2021 sur le bassin-versant des Lacs Médocains, ont été utilisées.

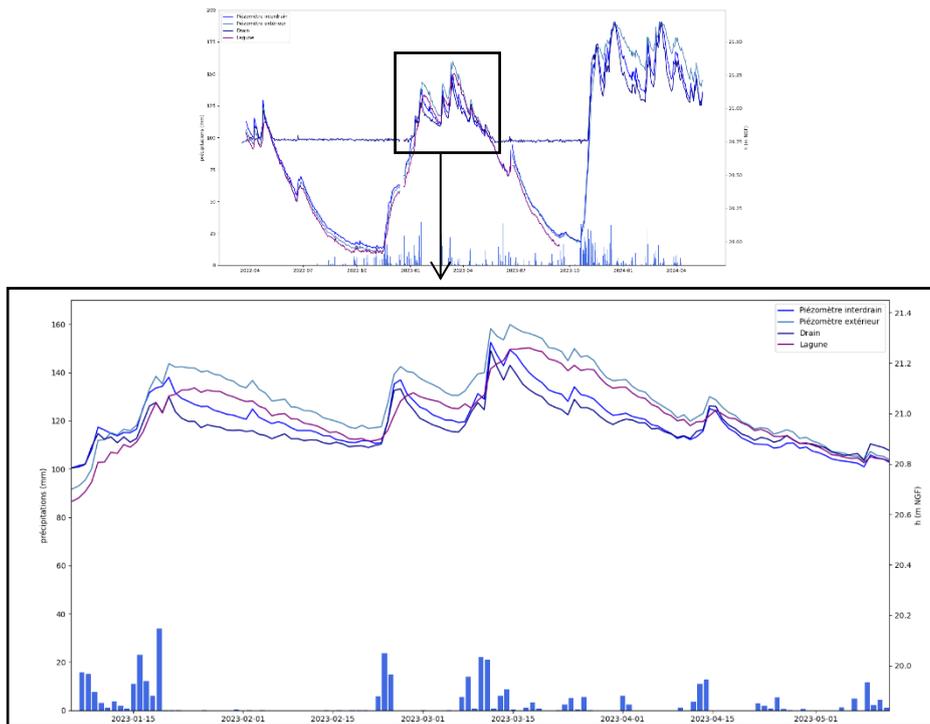
Une campagne d'acquisition de données DGPS a également été menée sur le site pilote de Sescousse afin d'**affiner les données topographiques de fonds des drains**.

Une centaine de côtes de fonds de drains ont ainsi été post-traité en comparaison avec le LIDAR afin d'extraire un **modèle numérique de terrain haute précision** de la parcelle.



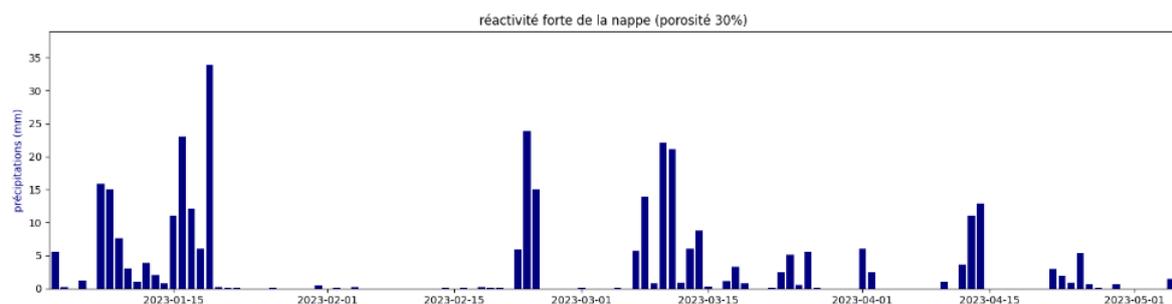
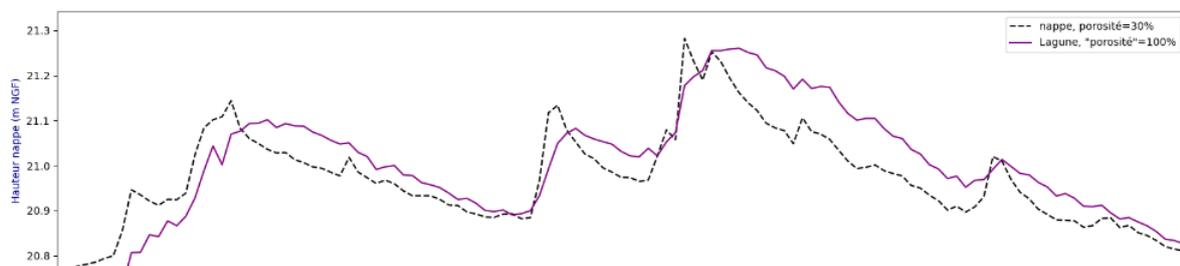
Campagne de nivellement de fond des drains au DGPS à Sescousse et cartographie piézométrique résultante

○ Premières analyses des données de sondes de suivi



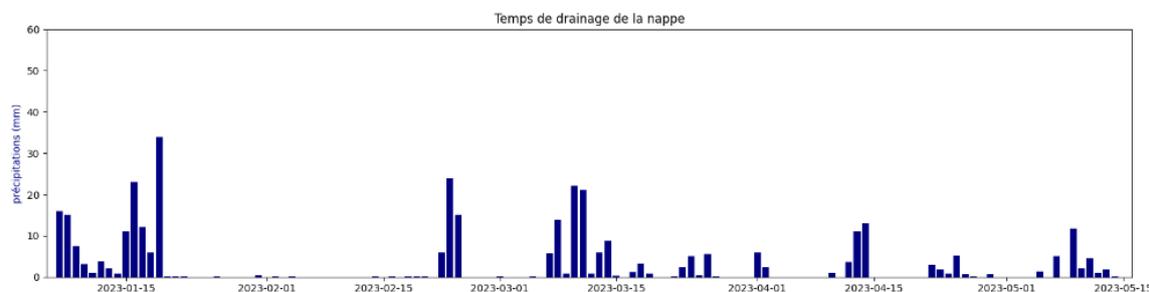
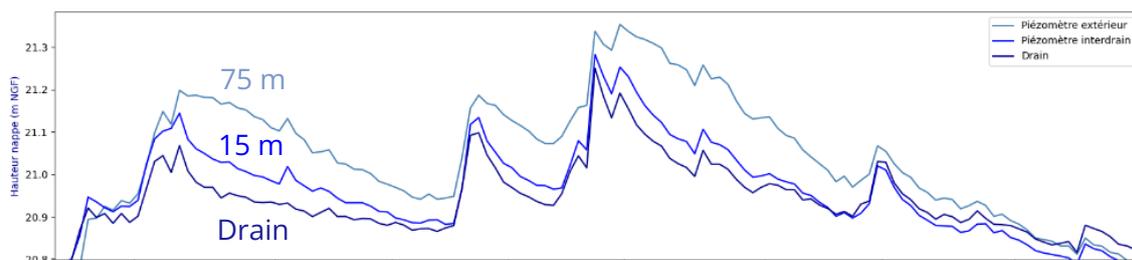
Données de niveaux d'eau (m NGF) acquises sur la lagune de Capet-Haout en lagune, drain et nappe associées aux données de pluviométrie (mm) de la station météo

Globalement, les données exposent des cycles de recharge et d'étiage clairs avec un marnage de 1,5 à 2 mètres entre l'été et l'hiver. On confirme également la réactivité du système sableux avec des hausses de niveau de nappe quasi-instantanées suite aux épisodes pluvieux. Les lagunes équipées de sondes et de piézomètres en nappe à leur abord permettent de mettre en évidence une recharge brutale dans la nappe sous l'effet des pluies, qui contraste avec une recharge plus lissée sur les surfaces libres que sont les lagunes. Une pluie de 20 mm a pour impact une réhausse de 2 cm du niveau de la lagune contre 6 cm du niveau de la nappe, du fait de sa porosité (environ 30%).



Réactivité de la nappe Plio-Quaternaire en lien avec sa porosité (0,3)

L'analyse au cas-par-cas des interactions entre la nappe, les crastes et les lagunes fournis des données intéressantes sur les dynamiques de recharge et de drainage. Les piézomètres disposés de part et d'autre des lagunes, témoignent de l'effet plus ou moins marqué du réseau de drainage selon la distance au fossé. Le piézomètre extérieur voit son niveau augmenter quelques centimètres plus haut puis diminuer plus lentement entre deux pluies en comparaison au piézomètre le plus proche du drain. On met ainsi en évidence, pour une pluie de 80 mm tombée entre les 14 et 19 janvier 2023, qu'il faut 3j pour évacuer les eaux en surface et/ou proche des drains, contre 30 jours au cœur d'une parcelle forestière. Ainsi l'évacuation de l'eau en forêt est ralentie non seulement par la faible perméabilité du sol mais aussi par d'autres processus comme la rétention par la végétation et la topographie du terrain.



Dynamique d'évacuation des excès d'eau selon la distance au fossé

Un autre sujet souligné concerne l'hétérogénéité des typologies de sol, observable à une échelle micro-locale. Cette problématique avait notamment été soulevée lors de l'installation du réseau de suivi, lors des forages il arrivait de tomber sur une plaque d'altération indurée impénétrable et de ne pas la retrouver sur 6m de profondeur à quelques mètres de là. Cette hétérogénéité concerne également la granulométrie du sable, la teneur en matière organique et en argile, autant d'éléments qui impactent directement les propriétés hydrodynamiques du sol.

Pour la suite, l'objectif est d'approfondir l'interprétation de ces données afin de mieux appréhender le rayon d'influence des fossés et le fonctionnement global du réseau de drainage en relation avec les lagunes. Il s'agit également d'identifier les spécificités liées aux singularités des sites et à la géologie locale, entre autres. Enfin, ces données de niveaux d'eau constituent une base précieuse pour évaluer les effets potentiels de travaux de remise en eau.

Réseau de suivi des niveaux d'eau en lagunes, drain et nappe dans le sous-bassin versant de la Caillava à Hourtin

Appel à projet 2021-2024 de l'Entente pour l'Eau

« Restauration de zones humides de têtes de bassins-versants »

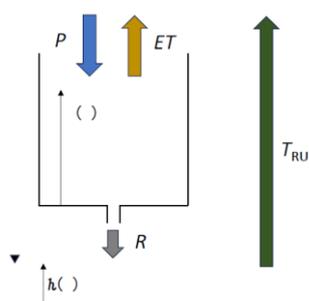
L'analyse de ces données sur les sondes de suivi fait l'objet d'un rapport spécifique annexé, produit par le SIAEBVELG.

- Approche par modélisation

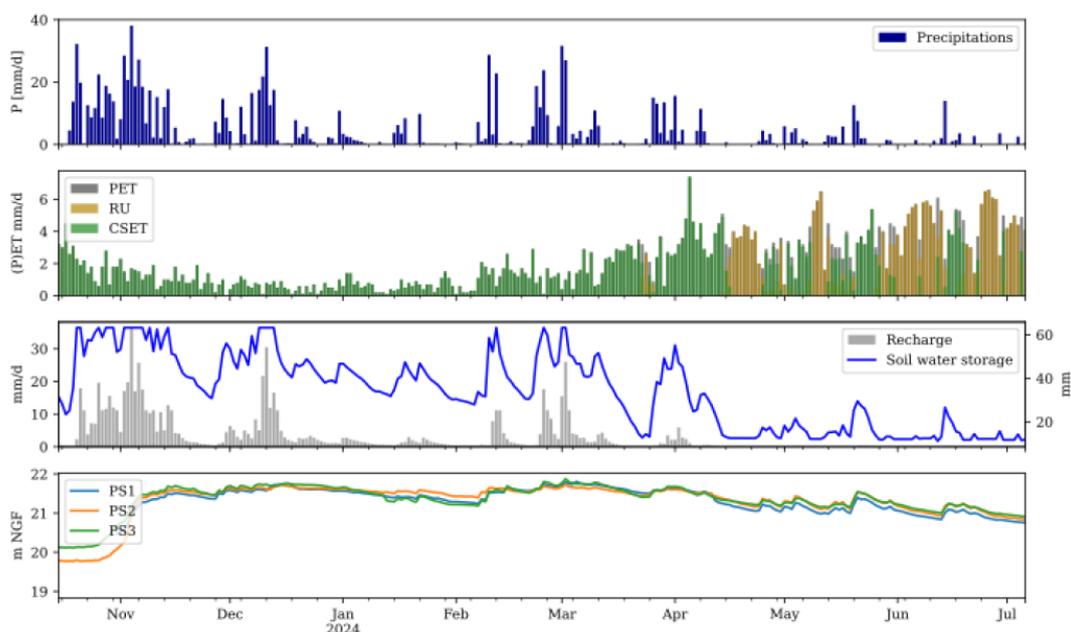
Cette étude associe observations de terrain et modélisation des écoulements en aquifère pour comparer différentes stratégies de drainage sur une parcelle sylvicole des Landes du Médoc.

Le modèle est destiné à étudier l'effet du **drainage libre**. Par drainage libre on entend que la cote du fond du drain correspond au niveau de référence de drainage : dès lors que le niveau de la nappe dépasse la cote du fond du fossé, l'eau est drainée et évacuée vers le drain, le drainage est actif ; dès lors que le drain est vide (niveau d'eau inférieur à la cote du drain), le drainage est inactif.

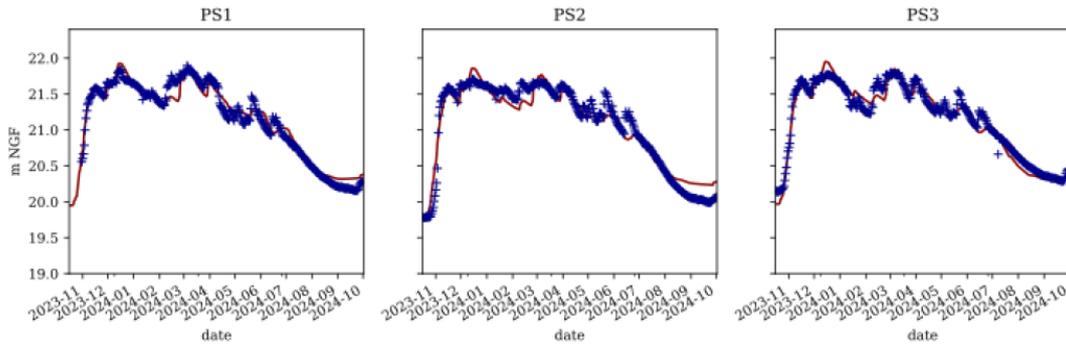
Un modèle numérique a été implémenté avec le code MODFLOW pour simuler les écoulements souterrains en régime transitoire dans un plan horizontal sur l'ensemble de la parcelle. Un modèle à réservoir, basé sur le bilan hydrique du sol a permis de calculer l'évapotranspiration du couvert végétal, la transpiration par prélèvement racinaire, et la recharge vers l'aquifère. Le modèle d'écoulement en aquifère considère l'écoulement régional, les écoulements vers les drains, et les interactions avec le cours d'eau, et le prélèvement racinaire par les pins. Le calage d'historique a été réalisé avec un algorithme d'estimation des paramètres sur une période de 12 mois. Il permet un ajustement correct des chroniques simulées aux valeurs observées.



Modèle de surface à réservoir basé sur le bilan hydrique



Chroniques de précipitations, évapotranspiration potentielle (PET), évapotranspiration depuis le sol et la canopée (CSET), prélèvement racinaire depuis l'aquifère (RU)



Comparaison des chroniques piézométriques observées (croix bleues) et simulées (ligne rouge)

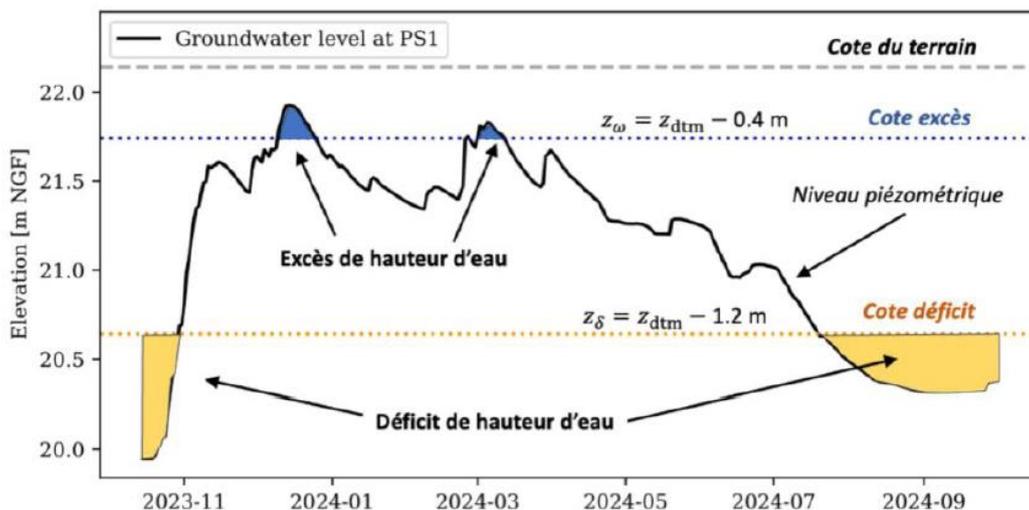
En 2024, le modèle a été affiné au maximum puis, une fois considéré comme robuste, il a permis de tester l'effet de **différentes configurations de drainages** (Réseaux plus ou moins dense et profond) sur le site pilote. Enfin, l'implémentation des données météorologiques prospectives du DRIAS au sein du modèle permet d'observer **l'effet des changements climatiques** sur le système hydrologique forestier, notamment en termes d'intensité de l'évapotranspiration estivale et de temps de recharge hivernale.

Une analyse comparative a donc été réalisée avec différentes configurations de drainage :

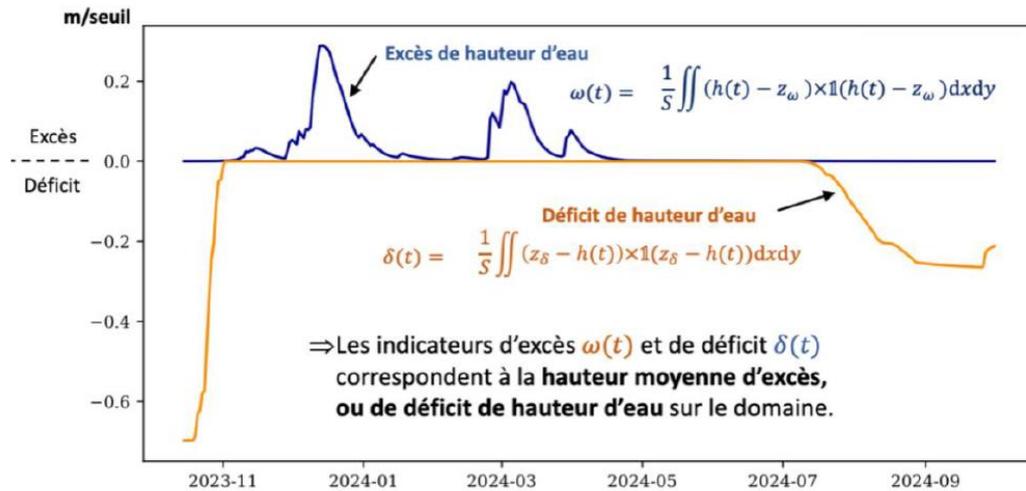
- 4 profondeurs : 40, 110, 150, et 200 cm / sol
- et 3 densités : faible, actuelle, dense qui correspondent respectivement à des espaces inter-drains de 300, 150, et 50 m.

Les différentes configurations ont été évaluées selon 2 indicateurs : le déficit, ou l'excès de hauteur d'eau. Les valeurs seuils ont été définies en lien avec des travaux de recherche en forêt et avec les acteurs forestiers du secteur (GPF Médoc, chambre d'agriculture, CRPF, ONF, INRAE...).

La documentation sur la transpiration des pins et leur relation avec la nappe phréatique est encore limitée. Selon une étude du CRPF, l'intensité de la transpiration des pins est déterminée par les facteurs climatiques, notamment l'intensité du rayonnement solaire, la température de l'air, le vent et l'humidité. L'évapotranspiration potentielle (PET) est définie comme la quantité maximale d'eau pouvant être évaporée du sol et transpirée par le couvert végétal, en réponse à la demande climatique, en supposant qu'il n'y ait aucune contrainte liée à l'approvisionnement en eau.



Définition des seuils d'excès et de déficit de hauteur d'eau



Chronique des indicateurs intégrés sur la surface du domaine simulé. La valeur de l'indicateur correspond à une hauteur moyenne d'excès ou de déficit de hauteur d'eau sur la parcelle

Lorsque l'approvisionnement en eau est insuffisant pour satisfaire les exigences climatiques, les arbres subissent un stress hydrique. Pour faire face à cette variabilité dans la disponibilité de l'eau, les arbres développent plusieurs mécanismes d'adaptation :

- Prospection des réserves profondes : les racines peuvent atteindre des nappes phréatiques profondes. Il est estimé que les remontées capillaires peuvent se faire jusqu'à 30 cm sous la profondeur des racines. La prospection racinaire est toutefois limitée dans les horizons saturés en eau puisqu'elles ne peuvent pas s'y développer.
- Stockage d'eau dans les tissus racinaires et tronconiques : les arbres accumulent de l'eau temporairement dans ces tissus.
- Régulation de la transpiration : les arbres ajustent la transpiration en modifiant l'ouverture et la fermeture des stomates en fonction des conditions climatiques, en développant une cuticule protectrice, et en réduisant la surface transpirante par la chute des aiguilles.

La consommation d'eau se réfère à l'évapotranspiration totale de l'écosystème, comprenant les arbres, le sous-bois et le sol. Selon les résultats de l'INRA, la consommation d'eau des pins est fonction de la disponibilité en eau dans leur environnement. En conditions optimales, avec une alimentation adéquate en précipitations, un peuplement adulte de pins a une transpiration moyenne de 390 mm/an (convertie en profondeur d'eau). Les jeunes peuplements ou ceux de plus grande ancienneté (moins denses) présentent généralement une consommation d'eau inférieure.

En outre, selon le CRPF, la nappe utile pour les racines est restreinte en raison de la faible cohésion du substrat sablonneux. Lorsque la nappe phréatique descend en dessous de 30 cm de la profondeur accessible aux racines, le réseau racinaire (situé entre 0,8 et 1 m de profondeur) devient inactif. Les peuplements forestiers en croissance exploitent la nappe phréatique peu profonde des sables landais lorsque celle-ci est située entre 40 et 120 cm sous la surface pour satisfaire leurs besoins physiologiques. Sur le site instrumenté de Bray, observé par l'INRA, il a été constaté que lorsque la nappe phréatique peu profonde descend en dessous de 110 cm, elle devient inexploitée par le système racinaire.

On considèrera $z_{\omega} = z_{dtm} - 0.4$ et $z_{\delta} = z_{dtm} - 1.20$.

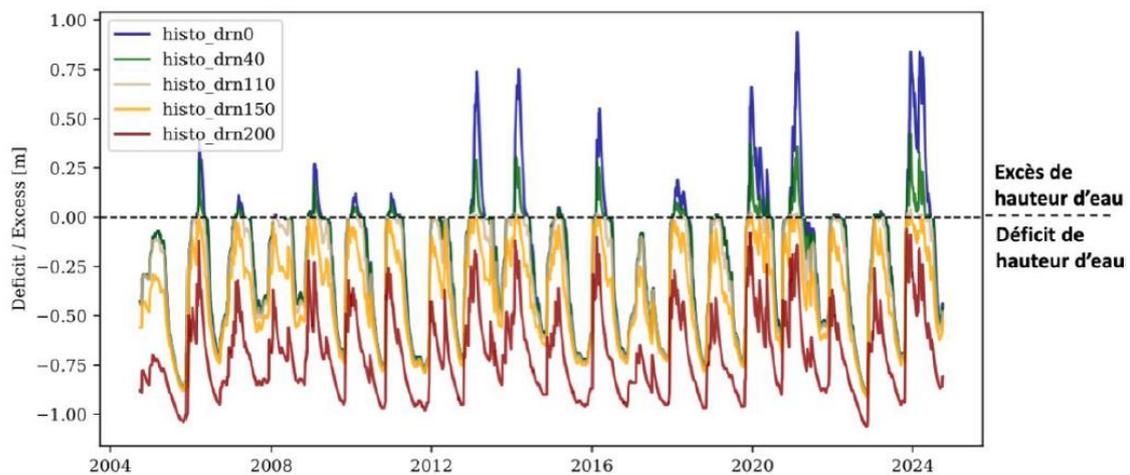
A noter que ces indicateurs ne sont pas représentatifs d'une quantité d'eau. Cette dernière est obtenue en multipliant cette section par la porosité.

- Analyse des résultats issus de la modélisation
 - Analyse historique

Une analyse comparative a donc été réalisée avec différentes configurations de drainage sur la période historique (2004-2024) :

- 4 profondeurs : 40, 110, 150, et 200 cm / sol
 - et 3 densités : faible, actuelle, dense qui correspondent respectivement à des espaces inter-drains de 300, 150, et 50 m.
- Comparaison des différentes profondeurs de drainage

Une analyse comparative a été réalisée avec différentes configurations de drainage : 4 profondeurs (40, 110, 150, et 200 cm / sol), et 3 densités (faible, actuelle, dense) qui correspondent respectivement à des espaces inter-drains de 300, 150, et 50 m. Les différentes configurations ont été évaluées selon 2 indicateurs : le déficit, ou l'excès de hauteur d'eau.



Chroniques des indicateurs d'excès et de déficit pour différentes profondeurs de drainage pour le réseau actuel

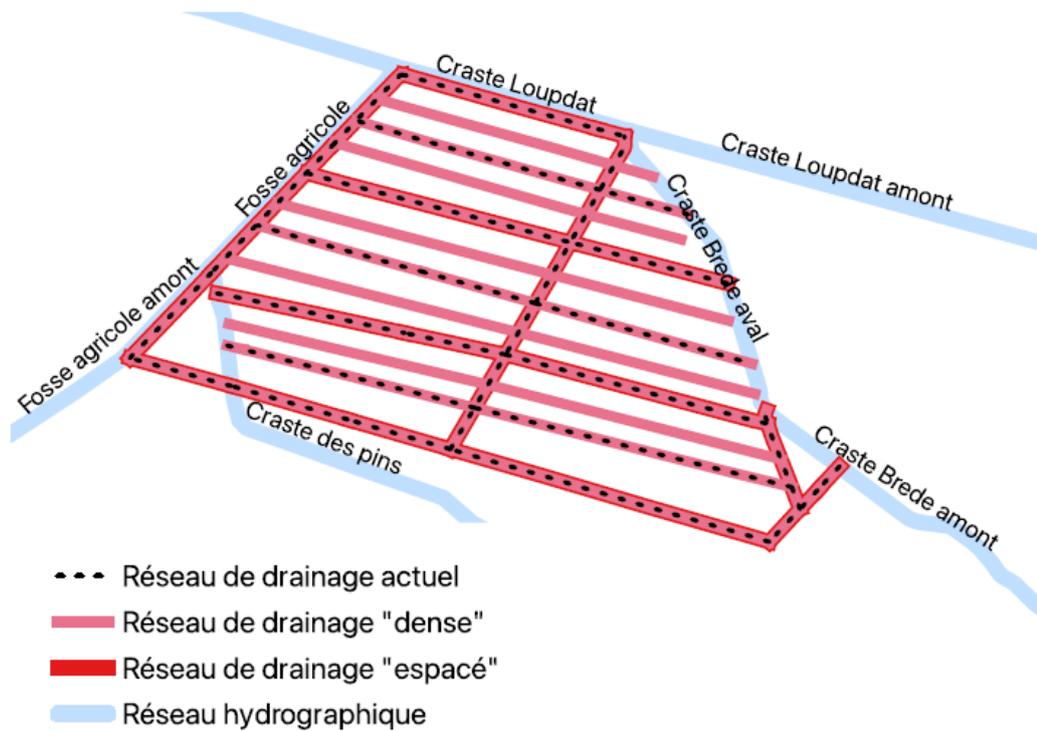
Sur la période de reconstruction historique (2004-2024), il apparaît que les excès de hauteurs d'eau sont assez brefs (quelques semaines). A l'inverse, les déficits de hauteur d'eau peuvent être assez intense et prolongés (quelques mois).

L'excès de hauteur d'eau devient négligeable pour les profondeurs de drainage au-delà de 110 cm.

Le déficit de hauteur d'eau est simulé dans toutes les configurations, mais augmente sensiblement au-delà de 110 cm de profondeur de drainage.

Le déficit est 2,5 fois plus élevé pour un niveau de drainage à 200 cm, par rapport au déficit observé à 40 cm.

- Comparaison des différents maillages dans l'espace du réseau de drainage



Différents réseaux de drainage considérés dans la modélisation : faible, actuelle, dense, qui correspondent respectivement à des espaces inter-drains de 300, 150, et 50 m

L'augmentation de la densité de drainage (inter-drain réduit à 50 m) permet d'atténuer les pics d'excès d'eau, sans avoir d'effet significatif sur le stress hydrique.

→ En conclusions générales :

L'excès de hauteur d'eau est réduit avec un réseau de drainage dense dans l'espace (atténuation des pics) : la molécule d'eau au sein de la parcelle est plus rapidement interceptée par le fossé de drainage le plus proche.

Le stress hydrique et donc le déficit de hauteur d'eau est sous influence de la profondeur des drains.

- Analyse prospective

Les simulations réalisées sur la période prospective avec 11 simulations climatiques régionales issues du portail DRIAS mettent en évidence une **relative stabilité de l'indicateur d'excès de hauteur d'eau**, mais une **augmentation régulière du déficit de hauteur d'eau (+20% à l'horizon 2100)**.

L'écart de déficit de niveau d'eau entre les configurations sans drains et drainage à 110 cm (les deux conditions testées pour les scénarios prospectifs) par rapport au sol semble stationnaire.

Adaptation du drainage forestier en contexte de changement climatique apport d'une approche de modélisation sur un site expérimental

Alexandre Pryet, Maureen Bartoli, Estelle Jardot

Rapport final



Un rapport a été consacré à ces travaux, et les conclusions principales indiquent **qu'il est préférable d'opter pour des drains peu profonds (environ 40 cm) et un réseau de drainage dense.**

En effet, la profondeur des drains a un impact direct sur l'étiage (assèchement de la nappe jusqu'à la profondeur des drains). Dans le contexte des projections climatiques futures, avec des évapotranspirations de plus en plus élevées, il est essentiel de minimiser cette profondeur pour optimiser la gestion de l'eau. En revanche, le paramètre qui offre davantage de flexibilité pour améliorer l'évacuation des excès d'eau en hiver, sans compromettre l'efficacité du soutien à l'étiage, est la densité du réseau de drainage.

Le travail autour de ces premiers résultats sera partagé et amendé avec les acteurs notamment forestiers. Les premières discussions révèlent une acceptation globale des résultats, mais aussi un questionnement sur l'ajustement qui en ressortirait changer les pratiques établies par les générations précédentes, jugées jusqu'alors justifiées.

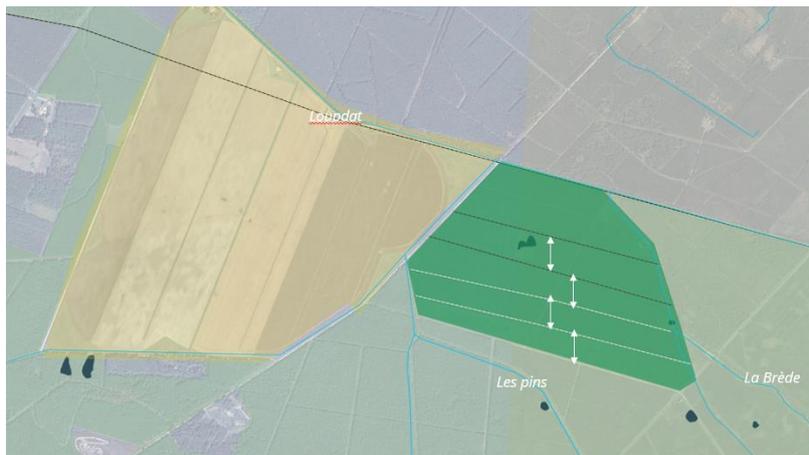
- Présentation des travaux réalisés sur le site pilote de Sescousse

En lien avec le modèle développé, un des objectifs du projet était de tester in situ plusieurs configurations de drainage et d'observer et mesurer les dynamiques du site.

Des travaux ont donc été réalisés sur le réseau de drains forestiers à l'automne 2025.

Différentes configurations ont été travaillées :

- 2 fossés ont été réhaussés et reprofilés (3 km linéaire) pour atteindre une profondeur de 40 cm avec des berges en pentes douces
- tandis que les 2 fossés restants ont été conservés en l'état, soit à une profondeur de 110 cm de moyenne.



100 hectares de zones forestières pour l'expérimentation autour d'un drainage forestier optimisé



Travaux d'optimisation du réseau de drainage à Sescousse sur 3 km avec reprofilage et réhaussement du lit à 40 cm



c. Suivis « eau et forêt » : productivité des pins, liens avec le réseau de drainage et la nappe

Les liens entre eau et forêt reposent sur un équilibre fragile entre suffisamment d'eau pour la croissance des arbres (notamment en été) et le bon état sanitaire des peuplements. Toutefois, un excès d'eau prolongé diminue la stabilité des arbres en hiver (couplé à de forts vents), réduit l'accès aux parcelles pour l'exploitation et rend vulnérable la défense des forêts contre les incendies (DFCI) et les risques naturels.



Suivi de la productivité forestière

- Présentation du suivi et objectifs

Depuis 2022, des suivis de productivité forestière sont réalisés avec le GPF afin de mesurer l'impact des travaux sur la croissance des pins. Des mesures de circonférences des pins ont notamment été réalisées mensuellement sur 5 placettes de 1000 m² :

- Témoin n°1 sur les landes de Cindraout
- Diffusion des eaux sur un linéaire plus important depuis zones agricoles au Jolles
- Test de drainage optimal en forêt sur la base des modélisations de l'ENSEGID à Sescousse
- Effet de l'incision du système de drainage à la Caillava
- Témoin n°2 sur les landes le long de la craste Moure (ajout de cette placette pour l'année 2023)

Le principal objectif, des suivis de production forestière qui ont été menés entre 2022 et 2024 (2021 étant l'année de préparation), est de mesurer la croissance des arbres de Pin maritime (essence prédominante sur le secteur, *pinus pinaster*), tout en croisant ces données avec les suivis liés à la gestion de l'eau (nappe phréatique, réseau de drainage et pluviométrie) sur le secteur.

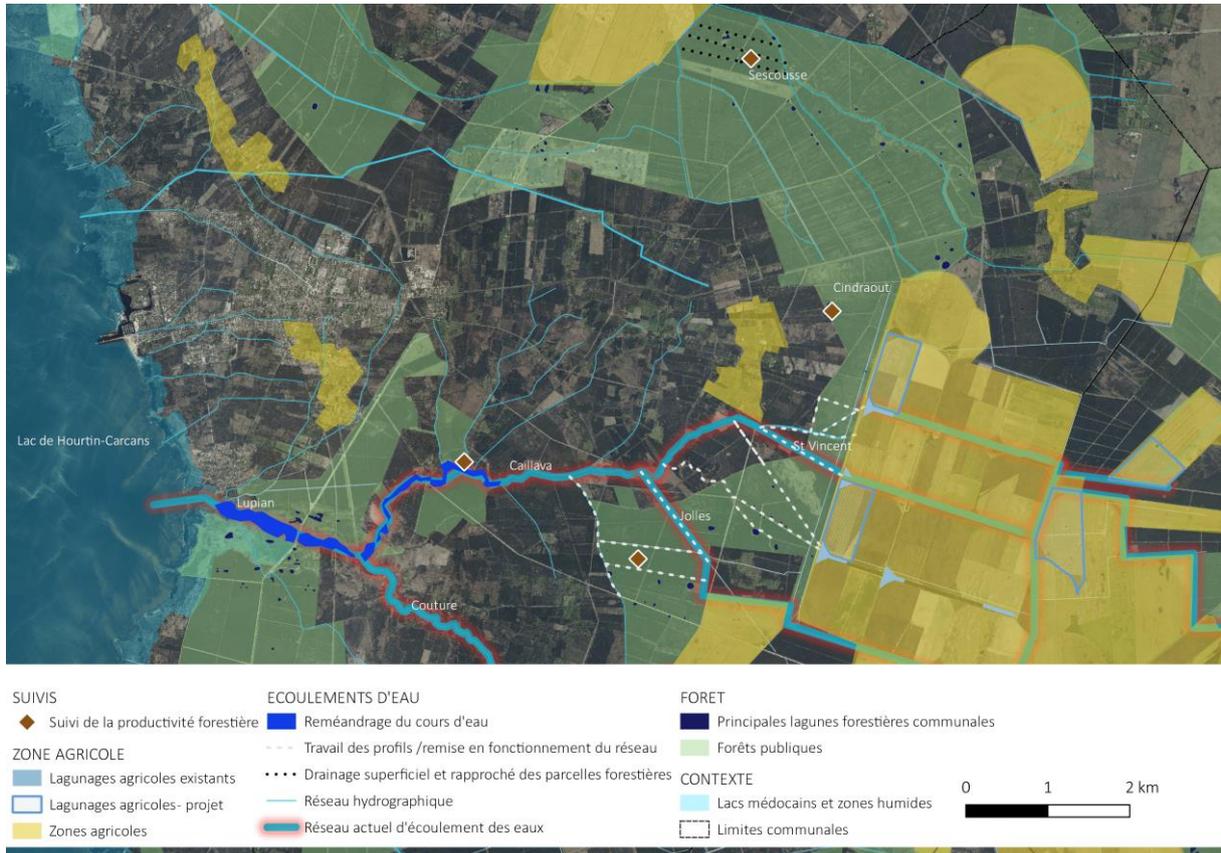
Le pas de temps choisi des mesures étant très court (mensuel ou bimensuel) pour un suivi forestier classique, les mesures dendrométriques mises en place ont été restreintes au couple de données circonférence (à 1,30m de hauteur) et hauteur totale de l'arbre ; **puis réduites au seul suivi des circonférences** (incertitudes de mesures trop conséquentes sur les hauteurs).

Afin d'écartier le maximum de biais dans les mesures, le choix des placettes s'est porté sur des peuplements forestiers autant que possible de configuration identique (même essence forestière, même station forestière, même année de plantation) et de gestion forestière équivalente (même propriétaire et gestionnaire forestiers, même techniques sylvicoles, même calendrier d'interventions).

Le dispositif expérimental est strictement identique sur les 5 placettes mesurées, à savoir :

- 1- **Positionnement aléatoire** de la placette sur la parcelle forestière, sur une partie homogène avec éloignement d'une bordure ou d'un ouvrage hydrographique (fossé ou cours d'eau) ;
- 2- **Mise en place d'un suivi hydrique** de la nappe par piézomètre sur la placette et des données météorologiques de la zone ;
- 3- Dimensionnement de la placette : prise en compte des arbres sur **8 lignes de plantation et 32 mètres de longueur** (surface de placette d'environ 1 are) ;
- 4- Préparation des mesures par **élagage de chaque arbre et identification à la peinture par numérotation des arbres** ;

- 5- **Prise de la circonférence de chaque arbre à 1,30m de hauteur de l'arbre, avec une chevillère de cubage** : emplacement matérialisé à la peinture par un cerclage horizontal à 1,30 m de hauteur ;
- 6- **Prise de la hauteur totale au Vertex**, suivi seulement réalisé la première année ;
- 7- Réalisation des **mesures par les mêmes opérateurs** (toutes les placettes effectuées le même jour) **avec un pas de temps régulier** (mensuel les deux premières années 2022-2023 et bimensuel en 2024) ;



Localisation des placettes de suivi de production forestière



Mesures sur les pins maritimes

- Groupe 1 – Placettes de production en densité forte de plantation

Ce groupe de trois placettes est issu de peuplements forestiers plantés à des densités plus importantes (densité initiale proche de 1800 tiges/ha) que dans un itinéraire classique, où la densité plantation se situerait autour de 1250 arbres par hectare. Ceci ne correspond pas à un itinéraire dit « semi-dédié » où la densité de plantation est le double d'une densité classique afin d'avoir une production complémentaire de bois énergie.

La densité plus forte a néanmoins permis d'effectuer des mesures sur des **peuplements plus sujets à la concurrence et aux divers stress** (alimentaire et hydrique notamment). **Ces peuplements devraient ainsi révéler plus rapidement d'éventuellement impacts** entre gestion forestière et répartition des eaux de surface.

Ils se situent d'ailleurs sur une zone « faiblement drainée » (en comparaison à d'autres secteurs du territoire). C'est à ce titre que les zones concernées par ce groupe sont sur le type de lande subissant le plus d'excès d'eau en hiver (lande humide à molinie bleue) et avec une bonne fertilité.

- Groupe 1.1 – Placette du Jolles – amélioration de la répartition des eaux

La placette dite du « Jolles » a été implantée dans la zone où les travaux de gestion sur la répartition des eaux se concentraient en un reprofilage du réseau de drainage intra parcellaire et en une reconnexion de ces derniers avec les écoulements provenant de l'amont (zones agricoles).

Les travaux d'optimisation du réseau de drainage sur ce secteur ont été entrepris entre l'automne 2022 (fossé Sud du massif du Jolles) et l'automne 2024 (fossé Nord du massif du Jolles).

Ces travaux visant à répartir les écoulements entre différents fossés du secteur peuvent potentiellement engendrer une présence d'eau plus importante dans la zone à la fois en hiver (effet non désiré possible au niveau forestier, car augmentant les risques sanitaires, la vulnérabilité à une tempête, limitant l'accès aux parcelles ou la défense contre l'incendie et pouvant engendrer des pertes de croissance par asphyxie racinaire) comme en période estivale plus sèche (effet recherché pour limiter le stress hydrique en améliorant l'accès à l'eau pour les pins). Ces travaux cherchent donc à favoriser l'infiltration dans la nappe de surface et à limiter son marnage entre hiver et été, tout en veillant à ne pas déstabiliser les peuplements en place.

- Groupe 1.2 – Placette de Cindraout – témoin sans aménagement

La placette dite de « Cindraout » se situe en zone éloignée des secteurs ciblés pour les travaux de répartition des eaux ; seule particularité à noter, la présence d'une lagune à proximité sans influence sur le peuplement forestier. Elle constitue donc une parcelle dite « témoin sans aménagement ».

Présentant une lande humide classique à molinie, le système de drainage de cette parcelle vise à éliminer les excès d'eau hivernaux lors des phases de plantation et à limiter l'engorgement prolongé durant la croissance du peuplement.

- Groupe 1.3 – Placette de Sescousse – optimisation du drainage forestier

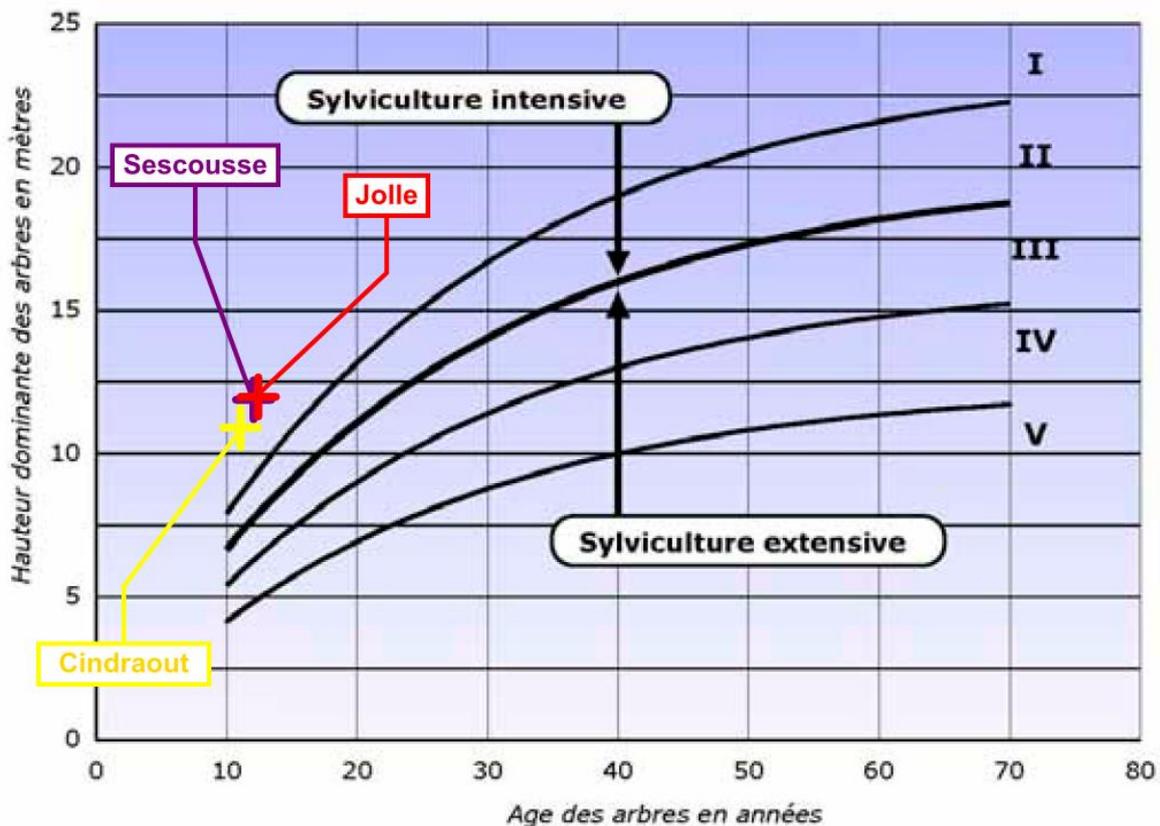
La placette dite de « Sescousse » est également en dehors des secteurs de travaux de répartition des eaux issues des zones agricoles.

Elle se situe néanmoins dans un dispositif visant à préciser les effets du drainage forestier (modélisation 3D des fossés, simulation d'écoulements, projection avec répartition différente du réseau de drainage en distance et en profondeur...). Sur ce site, les drains sont distants d'environ 150 m et font, en 2021, une profondeur moyenne de 1,10 m.

A l'automne 2024, et en fonction des résultats de ces modélisations construites entre 2021 et 2024, des opérations ont été menées sur les deux fossés Sud du secteur pour les reprofiler : reprise de leur profondeur (40 cm) et de leurs largeurs.

Les suivis des niveaux de nappe et dans les drains vont se poursuivre et permettront d'avoir une image avant/après travaux.

Classes de fertilité : toutes les parcelles du groupe 1 sont dans la même classe de fertilité I.



Proposition de classes de fertilité du pin maritime selon le modèle théorique de maugé (CFPPA)

- Groupe 2 – Placettes de production en densité classique de plantation

Ce duo de placettes a été positionné sur des peuplements plus « classiques » que le groupe précédent (densité de plantation autour de 1250 arbres par hectare). Niveau fertilité, ces placettes présentent un type de lande intermédiaire, dit « mésophile », où l'alimentation en eau est suffisante (bonne classe de fertilité) mais sans excès d'eau prolongé en hiver, caractérisé par la présence de la fougère aigle et/ou de l'ajonc d'Europe.

Leur particularité réside dans la proximité avec un ouvrage hydraulique de plus grande ampleur, craste dans le cas présent, et ayant un enjeu inter parcellaire. Les deux crastes (du Caillava et de Moure) sont deux « collecteurs » de réseaux de drainage profonds et inter-parcellaires.

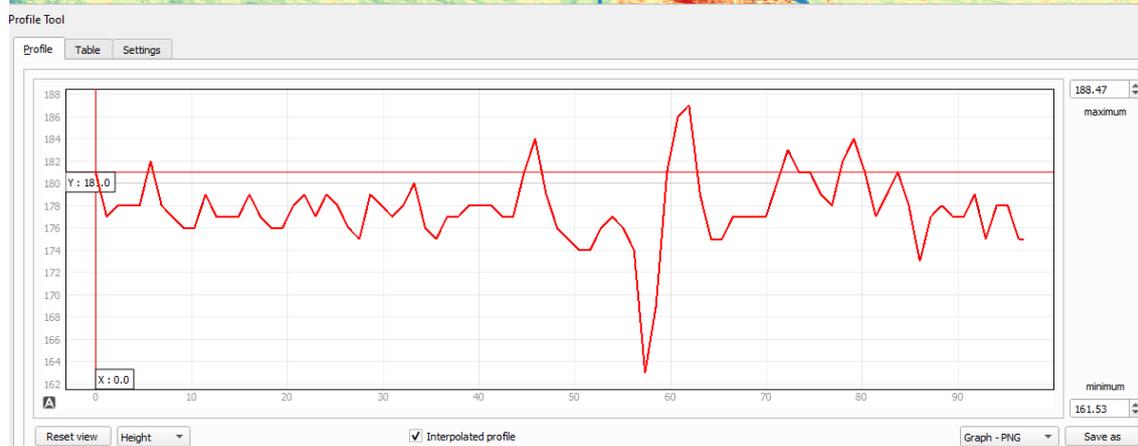
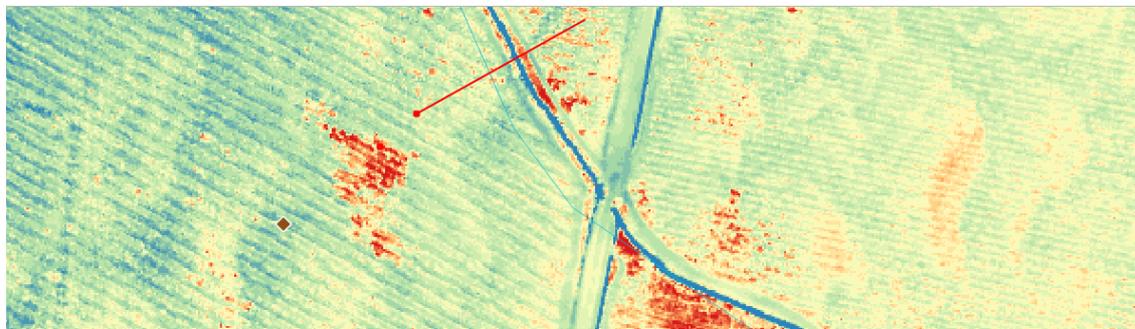
En lien avec ce contexte, ces placettes devraient montrer des conditions plus extrêmes entre excès et absence d'eau, avec des contrastes très forts.

La craste Moure est une infrastructure artificielle tandis que la Berle de la Caillava est un cours d'eau naturel à l'origine, présentant des annexes hydrauliques attenantes et des méandres, qui ont été déconnectés par le passé. Les deux émissaires ont en effet fait l'objet de travaux de curage et d'approfondissement au fil du temps dans un objectif d'évacuation des eaux.

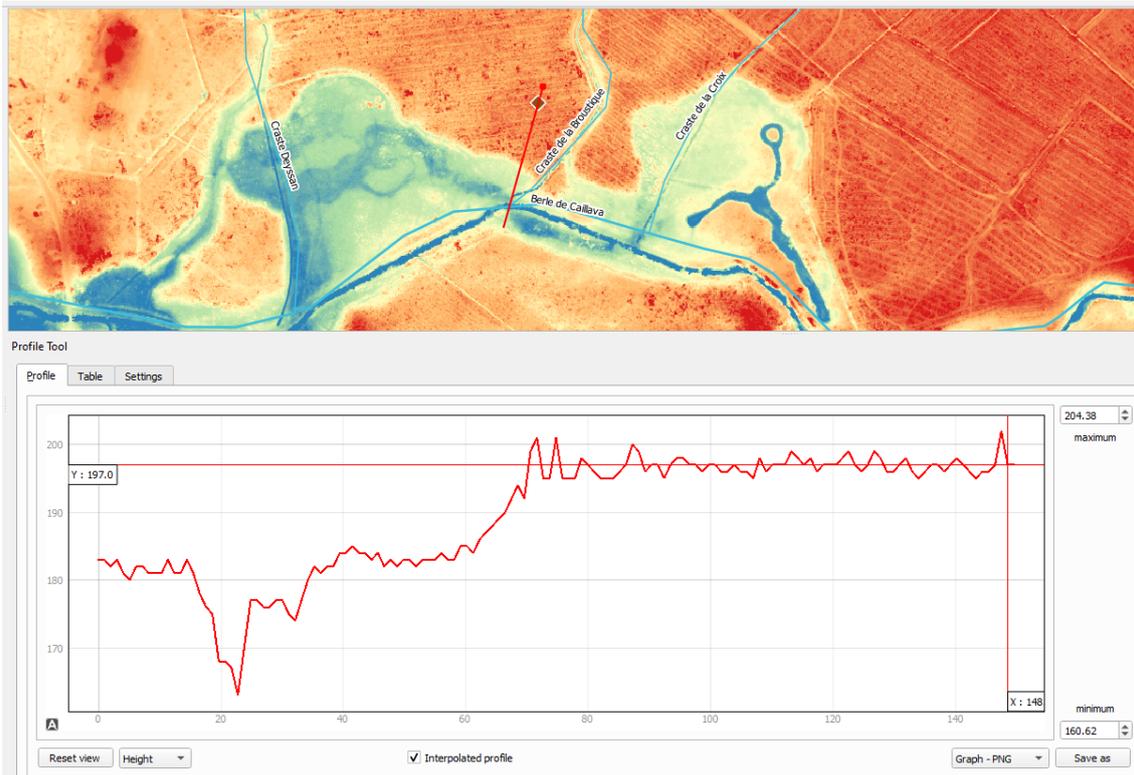
Certains écarts altimétriques observés entre les niveaux de nappe suggèrent des phénomènes d'incision, en particulier dans le secteur de la Caillava. L'incision marquée de ce secteur contribue à un drainage accru de la nappe, influençant ainsi les niveaux d'eau locaux.

Par exemple, le point de suivi situé dans un ancien méandre de la Caillava présente un étiage seulement **50 cm plus haut** que celui de Moure, alors que la topographie du site est **2,5 m plus élevée**. Cette différence met en évidence l'impact de l'incision sur la dynamique des niveaux d'eau.

	Contexte incisé : Caillava	Contexte classique : Moure
Niveau d'étiage	16,5 m NGF 3 m sous le TN	15,77 m NGF 1,50 m sous le TN
Niveau de plus hautes-eaux 2024	17,24 1 m sous le TN	23,67 Affleure à quelques centimètres du TN



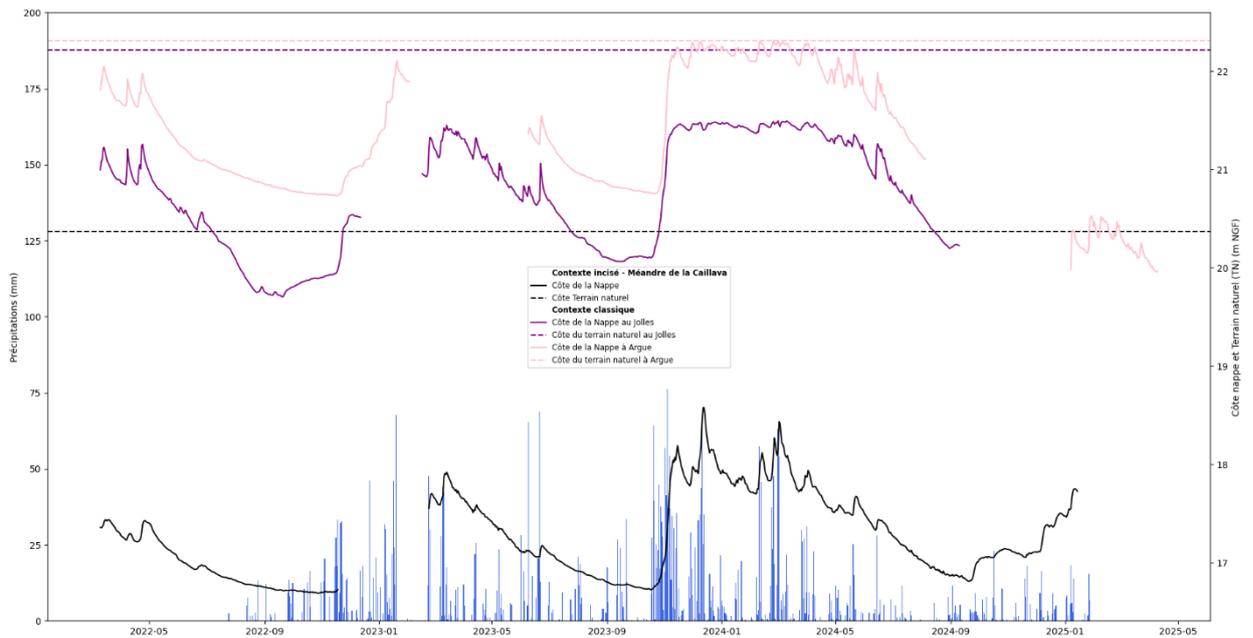
Coupe transversale craste Moure : terrain naturel à 17.8 m NGF, fond de la craste Moure a 16.3 m NGF



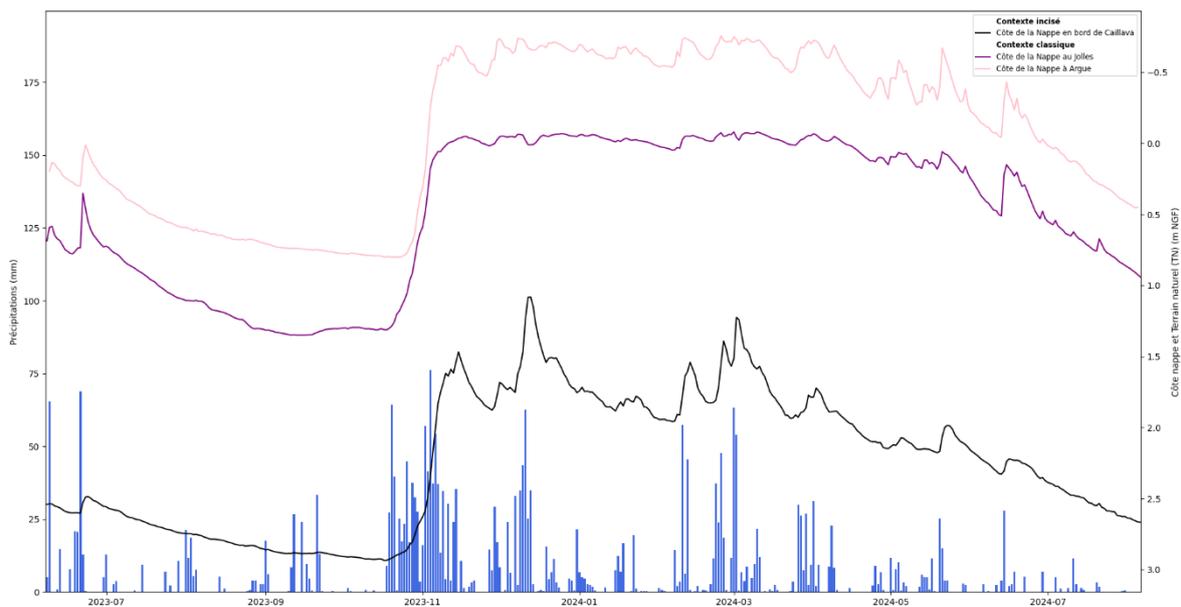
Coupe transversale Berle de la Caillava : terrain naturel à 19.8 m NGF, fond de la Berle de la Caillava a 16.3 m NGF

- Groupe 2.1 – Placette de la Caillava – rehaussement de la ligne d’eau sur le cours d’eau

La placette dite de la « Caillava » a été positionnée à proximité de la Berle de la Caillava. Cette dernière a la particularité d’être fortement incisée ; lit actuel à -2,5 mètres jusqu’à -4 mètres de profondeur en moyenne par rapport à la surface du sol.



Cote de la nappe en contexte incisé, en comparaison à un contexte plus classique de profondeur de drains



Profondeur de la nappe en contexte incisé, en comparaison à un contexte plus classique de profondeur de drains

Les pratiques de curage, menées par le passé pour accélérer l'écoulement en période de hautes-eaux, ont fragilisé l'aliôs, cette couche naturelle dure et protectrice du sous-sol. En altérant cette barrière, le substrat sableux est devenu plus facilement mobilisable et exposé aux processus d'érosion. Cette fragilisation de l'aliôs, combinée à des débits forts, favorise une dynamique d'incision du lit, entraînant un creusement progressif du cours d'eau. En conséquence, le cours d'eau se retrouve déconnecté de ses annexes hydrauliques, ce qui limite sa capacité à dissiper son énergie latéralement, sur les berges. L'énergie de l'écoulement se concentre alors verticalement, ce qui accentue d'autant plus le phénomène d'incision en creusant le lit du cours d'eau de manière plus profonde.

- Groupe 2.2 – Placette de Moure – témoin sans aménagement

La placette dite de « Moure » est quant à elle située non loin de la craste de Moure, profonde mais moins incisée que celle du Caillava. Aucun aménagement n'a été réalisé sur la craste Moure pendant la durée du projet. Elle constitue donc une parcelle dite « témoin sans aménagement ». Présentant une lande mésophile, le système de drainage de cette parcelle est basé sur la présence d'une grande craste à proximité et qui influence globalement les niveaux de la nappe du secteur.

- Résultats

- Croissance : suivi de la circonférence

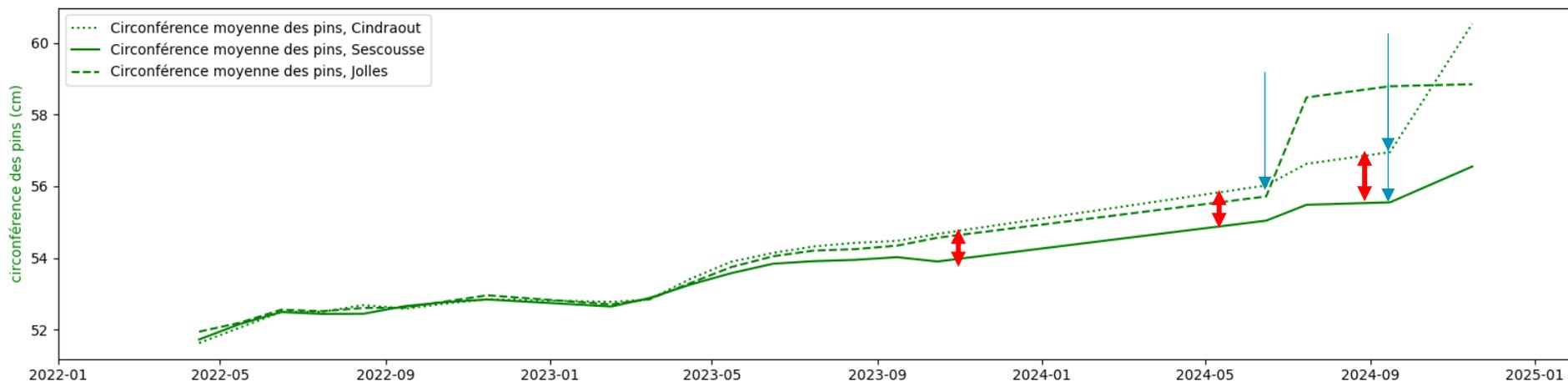
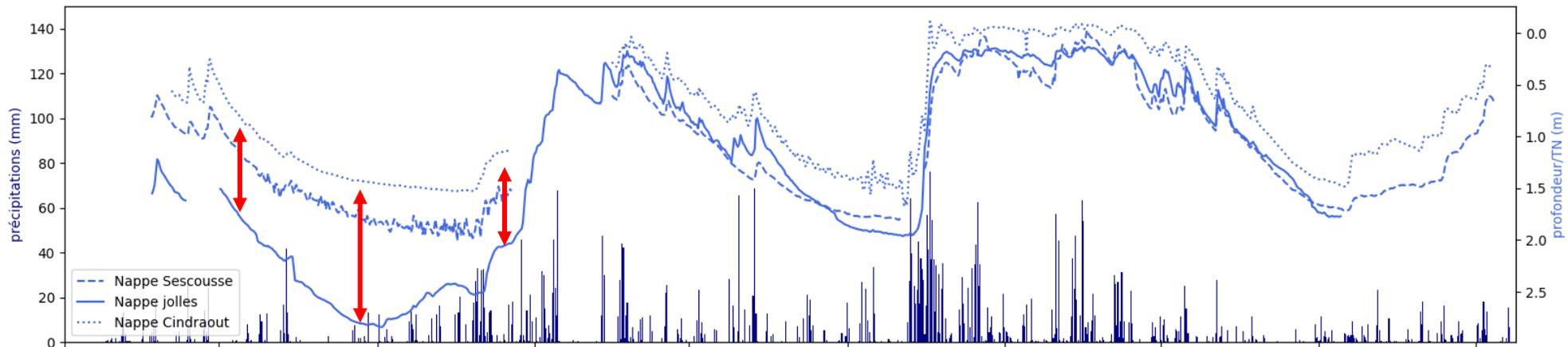
La croissance en circonférence (ou en diamètre) d'un arbre est la donnée sylvicole la plus tangible ; l'incertitude de mesure y étant plus limitée que d'évaluer la hauteur d'un arbre (quel que soit l'outil utilisé). Moins coûteux à récolter que d'autres données, ce suivi a permis de multiplier le nombre de placettes et de choisir pour un groupe des peuplements de densité plus forte (plus grand nombre d'arbres à mesurer par placette).

L'ensemble des données récoltées sont visibles sur les figures avec les données de circonférences, les données hydriques de hauteur de nappe et de pluviométrie.

Les données entre groupe 1 et 2 ne seront pas comparées, ne présentant pas les mêmes contextes. Hormis le constat que la placette de la Caillava, bien que plus âgée et moins dense, montre un déficit de croissance en circonférence vis-à-vis de toutes les autres placettes.

Peu de conclusions seront possibles après seulement 3 années de mesures, surtout dans des années climatiques très diversifiées. Il est nécessaire de maintenir les suivis durablement dans le temps mais de premières analyses peuvent être proposées.

Groupe 1 – Placettes de production en densité forte de plantation



↓ : Eclaircie (arrêt de comparaison mensuel)

↕ : écart entre courbes

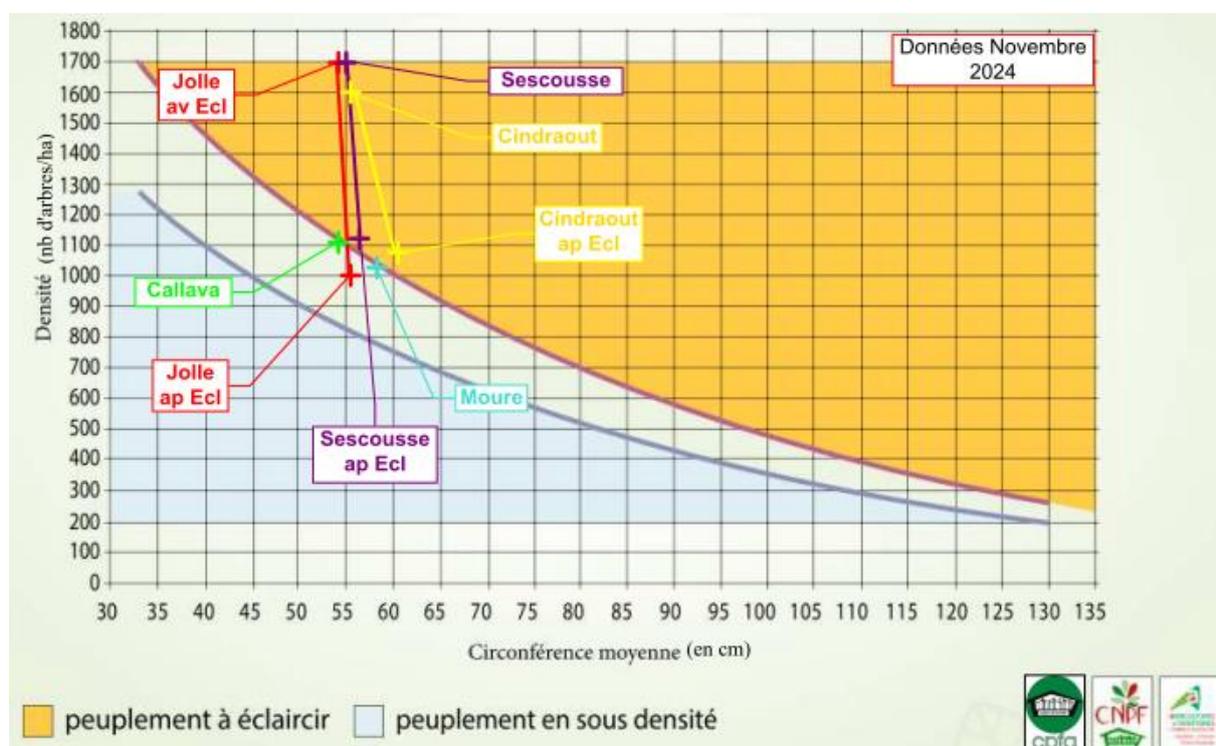
Sur les données du premier groupe, la première année complète de suivi en 2022 montre une évolution quasi identique des circonférences moyennes entre les 3 placettes. Ceci se distingue au cours de la deuxième année ; les placettes du Jolles et de Cindraout maintiennent une évolution similaire contrairement à la placette de Sescousse qui marque des accroissements de même temporalité mais moins importants.

D'un point de vue hydrique, à pluviométrie équivalente, les niveaux de nappe ont un fonctionnement similaire entre les trois localisations à partir de 2023. Ceci peut-être lié aux travaux de reprofilage et de reconnexion du réseau intra parcellaire de drainage sur la parcelle du Jolles (fonctionnement différent avant travaux avec un niveau de nappe plus profond, et un secteur globalement plus « sec »).

La gestion de la répartition des eaux effectuée sur le site du Jolles ne semble pas, à première vue, modifier le fonctionnement de croissance de la parcelle. Cela nécessitera des suivis sur du plus long terme.

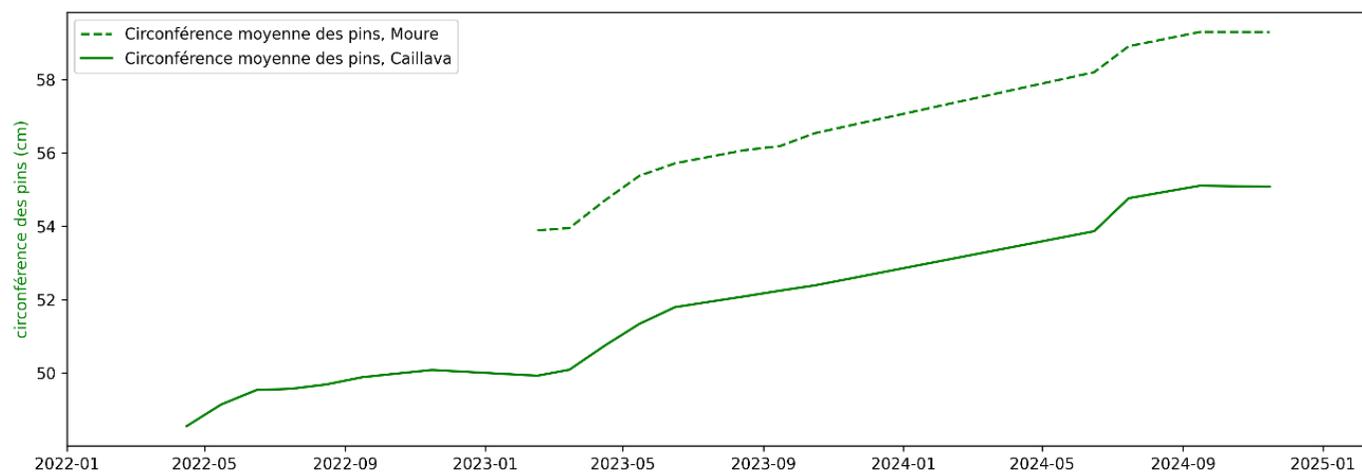
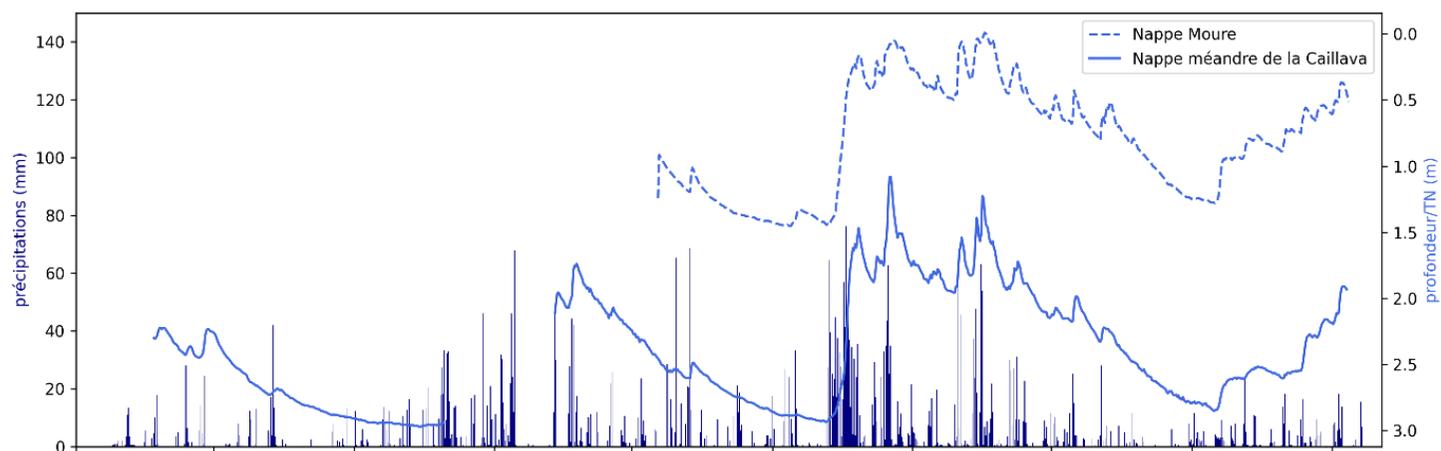
La placette de Sescousse interroge sur sa diminution de croissance, sans cause identifiée jusqu'à présent. Pour rappel, les travaux sur site ont eu lieu en octobre 2024, soit après les mesures. Il conviendra donc de poursuivre le suivi du site sur du plus long terme également.

Les trois placettes ayant été éclaircies en 2024 avec la même méthodologie (cf. figure déclenchement et suivi des éclaircies), leur suivi pourra être maintenu à l'avenir. Ces parcelles présentant des densités plus importantes, une comparaison d'accroissement de l'arbre moyen sera envisagée.



Déclenchement et suivi des opérations d'éclaircie

Groupe 2 – Placettes de production en densité classique de plantation



Concernant le second groupe, les deux placettes ont des dynamiques d'évolution des circonférences moyennes identiques, mais en valeur absolue les circonférences moyennes sont bien différentes.

Le déficit hydrique causé par l'incision de la craste à proximité semble préjudiciable pour la croissance des arbres à proximité.

La placette de suivi située le long de la Berle de la Caillava présente une circonférence des pins 4 cm plus faible que celle des pins à Moure.

L'impact majeur de l'incision se manifeste à l'étiage. La côte du fond du cours d'eau agit comme un niveau de drainage actif, ainsi en contexte incisé, la nappe est drainée plus profondément. Cela rend inaccessible aux racines des pins plus tôt dans la saison et pour une durée prolongée par rapport à un contexte classique.

Les données hydrologiques acquises sur le secteur de la craste Moure sont représentatives de conditions classiques pour le territoire. A contrario, les données acquises à proximité de la Caillava en amont du pont Napoléon témoignent de **l'incision marquée** de ce cours d'eau.

Classiquement, la nappe descend jusque 1,5 m de profondeur sous le terrain naturel en période d'étiage. Au niveau de la Caillava, les données mettent en évidence un rabattement exacerbé de la nappe allant jusqu'à 3 mètres de profondeur en période d'étiage. Les données de circonférence des pins concernent des peuplements de pins maritimes d'âges égaux, de densité égales et cultivés selon les mêmes modalités. La parcelle proche de la Caillava présente des circonférences moyennes plus faibles (environ 5 cm). L'incision importante de la Caillava a l'effet d'assécher la nappe de part et d'autre du cours d'eau. Au-delà de 1,20m de profondeur, l'eau est rendue inaccessible pour les racines des pins. Le contexte d'incision semble peu favorable à la bonne croissance des pins.

Les arbres semblent adapter leur système racinaire en s'enfonçant plus profondément dans ce milieu plus sec, mais il est peu probable que leurs racines atteignent plus de 2,5 m de profondeur. À l'étiage, les arbres ne peuvent donc plus accéder à la nappe phréatique, ce qui limite leur croissance et impacte la productivité forestière dans les zones sur drainées. Les parcelles forestières autour des crastes incisées présentent un stress hydrique sur une durée plus longue que les parcelles en contexte moins drainé.

Ce phénomène d'incision intensifie également les crues brutales en concentrant les flux d'eau dans le lit du cours d'eau, sans possibilité de dissipation latérale ni de débordement vers des annexes hydrauliques.

- Conclusions et perspectives

Etroits et complexes, les liens entre eau et forêt sont fondamentaux pour la gestion et la préservation des écosystèmes de notre environnement. Fonctionnant de manière concomitante, ce système imbriqué montre une grande interdépendance.

Les arbres dépendent directement de la présence d'eau, tant comme ressource que comme menace ; trouver le bon équilibre entre deux situations délétères (excès d'eau et sécheresse) est-il réalisable de manière durable ?

Réciproquement la forêt assure de nombreux services écosystémiques dont celui de la régulation de l'eau. En adaptant la gestion de l'eau en forêt, qui occupe 80% du paysage sur le bassin versant des lacs médocains, la gestion qualitative comme quantitative est améliorée avec une meilleure infiltration de l'eau dans la nappe, meilleure régulation des crues et des sécheresses, des flux de nutriments...

Le réseau hydraulique dense de ces territoires se caractérise par des cours d'eau naturellement peu ramifiés et avec une pente faible, mais aussi par un réseau de fossés créés par l'homme en vue de transformer une vaste zone impénétrable en hiver en une zone assainie, plus favorable à l'occupation humaine et à la sylviculture. Ce maillage intra-parcellaire est complété par de plus grands émissaires inter-parcellaires avec de grandes crastes, parfois très incisées.

Le pin maritime, espèce ligneuse majoritaire, est très adapté aux conditions landaises. Contrairement à de nombreuses autres essences, il supporte les sols à engorgement temporaire marqué et les stress hydriques estivaux prolongés. L'eau est un facteur limitant de croissance à partir de la fin du printemps, et les pluies de fin d'été début d'automne sont essentielles pour que l'arbre constitue ses réserves. Par leur ancrage et prélèvement racinaire, les arbres favorisent déjà la régulation des crues (cf. observations post-incendies de 2022 à Saumos (33) et Sainte-Hélène (33) où la nappe phréatique présentait un niveau plus haut qu'ailleurs sur le territoire de 50 cm à l'étiage de 2023).

L'existence de vastes surfaces boisées est un atout pour la qualité de la ressource en eau (rôle de filtre naturel de la forêt) et la régulation hydraulique du plateau landais.

En période de hautes eaux, les propriétés du sol entraînent une réaction rapide de la nappe aux précipitations et une lente évacuation. En cas de concomitance avec d'autres événements météorologiques, tels que des tempêtes ou des vents violents, ce phénomène représente un risque majeur pour la forêt, pouvant provoquer des engorgements, des chablis, des arrachements ou une altération des sols. Les sols saturés rendent l'accès difficile pour la prévention incendie et l'exploitation forestière. Cette accumulation d'eau excédentaire peut également perturber le développement racinaire, limitant l'absorption d'oxygène et favorisant l'asphyxie des racines. Toutefois, une fois la période de hautes eaux passée et le prélèvement racinaire repris, les sols s'assèchent rapidement.

En période de basses eaux, si les réserves d'eau sont insuffisantes ou si un drainage excessif a eu lieu, la forêt se retrouve vulnérable à un stress hydrique sévère. L'eau, évacuée trop rapidement en période humide, est alors difficile à récupérer, et les arbres peinent à accéder à l'eau souterraine nécessaire. Ce déficit hydrique peut entraîner une faiblesse des arbres, les rendant plus sensibles aux maladies, aux infestations d'insectes et à des dégradations physiologiques telles que la chute prématurée des feuilles ou la réduction de croissance. En l'absence de réserves suffisantes et sous une forte sécheresse, cela peut aussi mener à la mort des racines superficielles, compromettant ainsi la santé globale de l'écosystème forestier.

L'évolution possible des pratiques liées à l'assainissement des parcelles avec des systèmes de fossés maillés plus densément dans l'espace et de plus faible profondeur permettraient un système plus équilibré entre niveaux de nappe hauts et bas. Il semble important de considérer que les modalités d'ajustement des réseaux de drainage forestier reposent principalement sur leur maillage dans l'espace et leur profondeur. Comme expliqué, les drains sont actifs dès lors que la nappe est au-dessus du fond des drains. Sinon ils restent inactifs.

Ainsi, plus une craste ou un fossé est profond, plus la période d'activité des drains sera prolongée, plus la nappe sera rabattue à une profondeur élevée à l'étiage et plus les effets de sécheresse seront délétères.

En revanche, c'est la densité du réseau de drainage qui influence la dynamique hydrologique en hautes eaux, en facilitant l'évacuation de l'eau lorsque cette densité augmente. Il est donc essentiel de souligner que l'approfondissement des fossés ne renforce pas l'efficacité du drainage en cœur de parcelle lors des hautes eaux.

L'évacuation des eaux dans les parcelles est pleinement dépendante de la caractéristique intrinsèque des sols et de la nappe : transmissivité, porosité. L'eau peut en effet mettre plusieurs semaines à être évacuée du centre de la parcelle, même si les fossés périphériques sont à sec, simplement par le fait de la circulation lente de l'eau dans la nappe.

Pour la suite, il s'agira de poursuivre les suivis déployés afin d'évaluer les dynamiques sur du moyen terme, ce qui paraît indispensable pour mieux comprendre et quantifier les liens entre drainage, nappe et production forestière. Il s'agira aussi de développer de nouveaux sites pilotes à des stades forestiers plus ou moins avancés : reboisements...

Convention réalisée dans le cadre de l'appel à projet de l'Agence de l'eau – Restauration de zones humides en tête de bassin versant

Suivi de production forestière en Médoc, sur des peuplements de Pin maritime

Document rédigé par le Groupement de Productivité Forestière du Médoc et la Chambre d'Agriculture de la Gironde en partenariat avec le Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Eaux du Bassin Versant et Etangs du Littoral Girondin

Bilan des suivis réalisés entre 2021 et 2024

Appel à projets 2021/2024
Restauration des zones humides
Remise de la note d'intention
jusqu'au 30 avril 2020

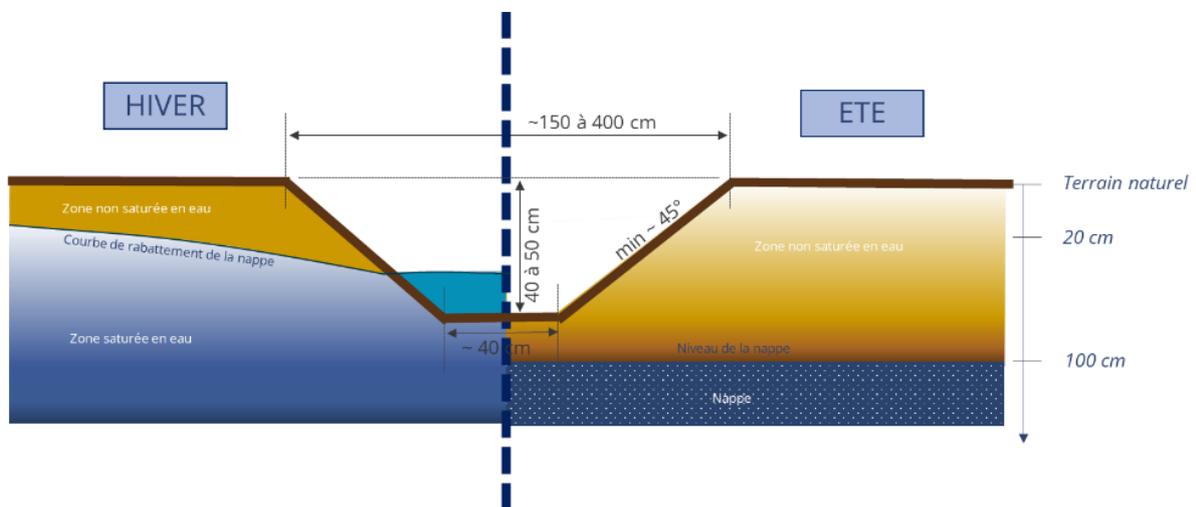
ENTENTE POUR L'EAU

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
GRAND SUD-OUEST
Nouvelle-Aquitaine
Girond

Un rapport a été consacré à ces travaux et est annexé à ce rapport.

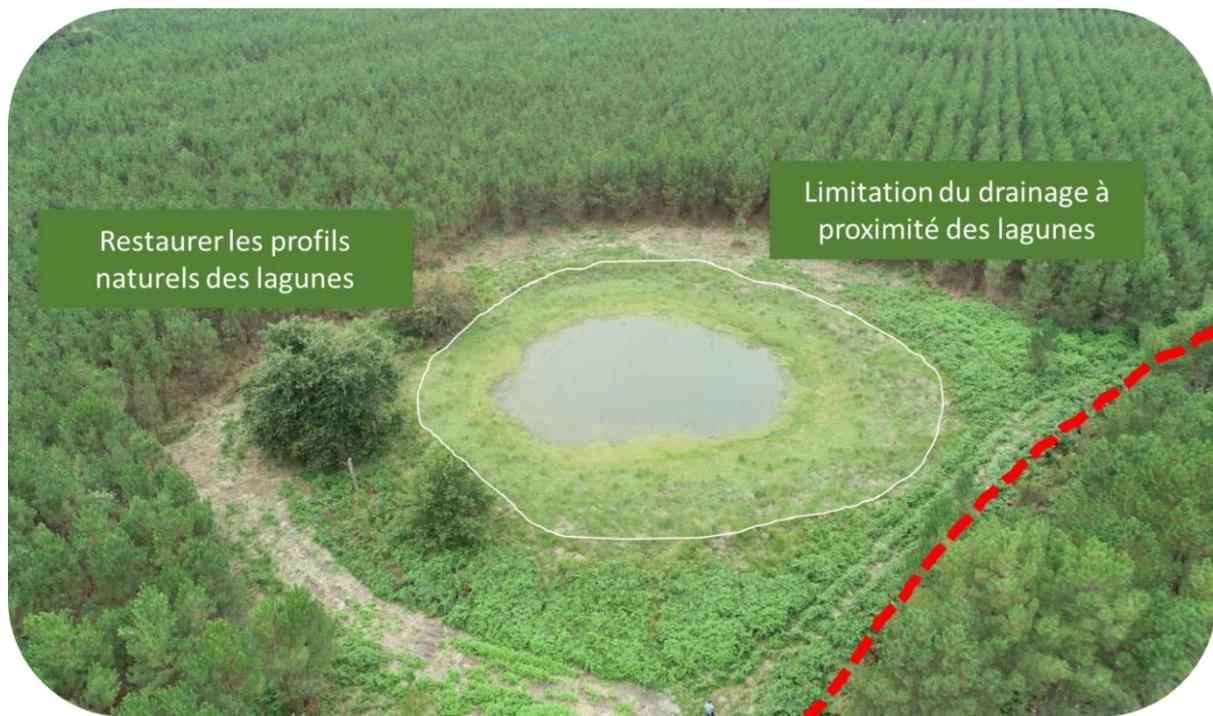
A retenir sur les liens eau et forêt :

- La recherche d'un équilibre entre hautes eaux et basses eaux, évacuation des eaux et limitation des sécheresses, est complexe. Le drainage, quel que soit le profil des drains est limité par les caractéristiques intrinsèques de la nappe (porosité, perméabilité) et même dans une situation de drainage dense, la nappe peut mettre plusieurs jours/semaines à descendre en fonction des conditions. En basses eaux, la profondeur des drains va être déterminante pour limiter le stress hydrique et permettre un accès à l'eau, le plus longtemps possible dans la saison pour les pins dont la profondeur des racines est variable selon la typologie des sols, leur niveau d'engorgement...
- L'importance du travail à l'échelle de la parcelle par les propriétaires et gestionnaires sylvicoles : fossés proches et de moindre profondeur à favoriser ; tout en tenant compte de la faisabilité avec le réseau actuel existant et de la faisabilité technique et économique
- L'importance du travail sur les grandes crastes forestières du secteur par le SIAEBVELG et les collectivités gestionnaires pour répartir au mieux les eaux : éviter les zones d'accumulation d'eau et de débordement tout en prévenant les risques de sécheresse. Il s'agit donc là de rechercher des solutions techniques adaptées aux contextes sableux pour mieux répartir les eaux entre les réseaux primaires et secondaires d'écoulement des eaux.
- L'importance du travail sur les grandes crastes forestières du secteur par le SIAEBVELG et les collectivités gestionnaires sur les cours d'eau très incisés du secteur qui ont une influence majeure sur le stress hydrique et les risques liés aux sécheresses. Il s'agit de trouver des modalités techniques sur des cours d'eau où le socle dur a souvent été rompu (alios rompu par curage) avec peu de points durs existants et des dynamiques d'incision en profondeur qui se réalisent à chaque crue, en l'absence de mobilités latérales possibles
- L'importance du travail collectif, déjà engagé pour améliorer les connaissances, préciser les orientations de gestion dans le contexte de changements climatiques déjà à l'oeuvre



Préconisations pour les aménagements de fossés forestiers sur le massif des Landes de Gascogne (CRPF, ONF)

3. Lagunes forestières



Les lagunes forestières sont des milieux typiques du massif des Landes de Gascogne. Elles sont des réservoirs de biodiversité exceptionnels.

L'alimentation en eau se fait principalement par les précipitations et dans une moindre mesure par la nappe. Leur fonctionnement et le lien avec le réseau de drainage à proximité est peu connu et quantifié. Comme expliqué précédemment, plusieurs dispositifs de suivis ont été mis en place au sein des lagunes, dans les drains qui les entourent et dans la nappe à proximité afin de mieux connaître le fonctionnement et d'ajuster les mesures de gestion et de restauration de ces sites à terme.

a. Travaux de restauration des profils naturels de lagunes forestières

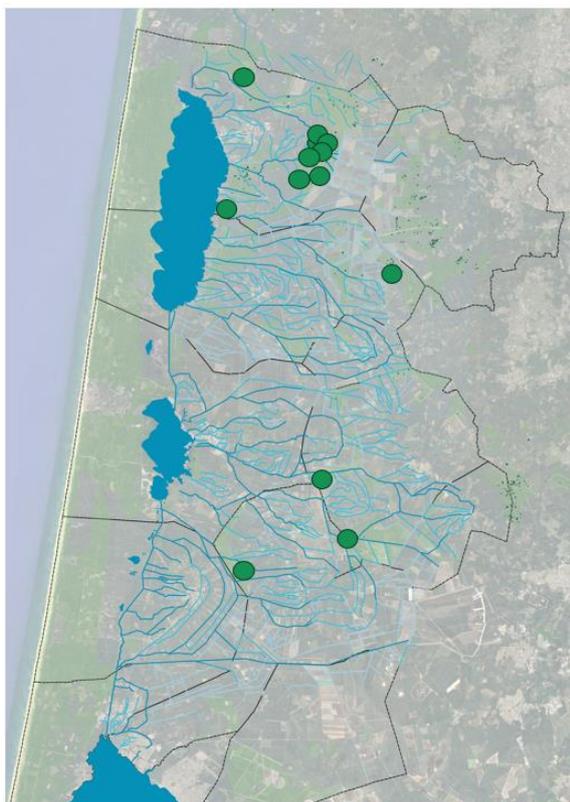
Entre 2021 et 2024, 12 lagunes forestières ont été restaurées.

Celles-ci ont été reprofilées en pentes douces afin de favoriser l'installation d'une végétation amphibie sur les berges, tout en conservant un fond plus profond permettant de maintenir la lagune en eau toute l'année, assurant ainsi l'abreuvement de la faune et la pérennité des communautés d'amphibiens, d'odonates et de toutes les espèces caractéristiques des lagunes.

Les lagunes qui étaient connectées au réseau hydrographique (drainage par un fossé) ont été déconnectées afin de permettre un meilleur fonctionnement hydraulique global.

Ces opérations ont été réalisées sur des lagunes de propriété communales et de propriétaires privés.

Elles se basent sur des retours d'expériences du SIAEBVELG et de ses partenaires des années passées ainsi que sur les travaux récents d'étude sur ces écosystèmes (cycle du carbone...).



13 lagunes restaurées

Lagune Mincouse à Hourtin

Sur la lagune de Mincouse, de propriété communale, des opérations de reprofilage des berges ont été menées en concours avec le CEN Nouvelle Aquitaine et la Mairie d'Hourtin.

Lagunes secteur Haut Bré à Hourtin

Sur 4 sites privés, des opérations ont été conduites en 2023 et 2024 pour restaurer les profils naturels de plusieurs sites qui présentaient des profils dégradés : creusement, comblement par des déchets, fermeture du site, connexion à un fossé.

Lagunes d'Argue à Hourtin

Sur la lagune d'Argue qui est une propriété communale, des opérations de limitation du drainage ont été menées sur le fossé riverain de la lagune.

Lagunes sur le massif du Jolles à Hourtin

Deux lagunes communales du Massif du Jolles ont bénéficié d'opérations d'amélioration du fonctionnement hydraulique. Déjà reprofilés par le passé et en bon état écologique, il est attendu une amélioration de leur mise en eau et leur inondation prolongée dans l'année.

Lagune à la Garroueyre à Hourtin

Une lagune a été aménagée sur des parcelles communales à Hourtin en retrait du lac, en s'appuyant sur des sites témoins du secteur présentant un bon fonctionnement.

Lagune des Anguilles à Carcans

La lagune des Anguilles, propriété privée, est d'origine naturelle et a été aménagée et est recensée comme point DFCI. Un travail de reprofilage des berges a été engagé pour permettre à ce site un meilleur fonctionnement pour les espèces. C'est un bon site témoin pour montrer la compatibilité recherchée entre accès à l'eau pour la DFCI et préservation voire amélioration d'un point d'eau type lagune pour la biodiversité.

Lagune Contact à Sainte-Hélène

La lagune Contact fait partie du massif communal de Sainte-Hélène.

Le site présentait jusqu'en 2022 un profil en cours de fermeture avec un recreusement marqué sur plusieurs points de la lagune.

Ce secteur a été incendié en 2022 et les travaux initialement prévus pour cet automne là, ont été reportés.

Les opérations ont donc été réajustées et ont permis un reprofilage des berges sur l'ensemble du site. Les pins prochainement ré-installés, le seront en retrait de la lagune afin de laisser au site un espace de respiration, tampon avec la forêt, en permettant ainsi l'expression optimale de toutes les ceintures de végétation sur le site.

Lagune Moulugat à Saumos

La lagune, secteur Moulugat à Saumos est une lagune communale, située le long de la route départementale. Fortement recreusé par le passé, le point d'eau principal a pu être aménagé en pentes douces.

Lagune Eyron à Saumos

La lagune secteur Eyron à Saumos est une lagune communale, située le long la craste de l'Eyron. Le point d'eau principal a pu être aménagé en pentes douces, tout en préservant les arbres en place sur le site.

b. Suivis de la biodiversité

Sur le volet biodiversité, des lagunes sont suivies par le CEN sur la base de protocoles MHEO sur la flore, les amphibiens et les odonates.



Suivis de la biodiversité sur les lagunes hourtinaises par le CEN – mai 2021

c. Etude du cycle du carbone et des nutriments sur les lagunes

Sur ce volet d'étude des cycles biogéochimiques des lagunes, l'ENSEGID a mis en œuvre plusieurs protocoles et les premières campagnes de terrain ont été lancées en 2021.

La durée d'immersion (hydropériode) est un facteur structurant des zones humides naturelles de tête de bassin versant. Suite à des épisodes prolongés d'assèchement, il est envisageable que la communauté végétale aquatique subisse un changement, à partir d'espèces stablement submergées vers des espèces amphibies, plus adaptées à l'exposition à l'air.

Les différentes communautés de végétation, ainsi que la durée d'exposition à l'air, modifient la biogéochimie benthique à travers l'oxygénation du sédiment et les services écosystémiques annexes, tel que la rétention de nutriments en biomasse et la dégradation de la matière organique. Cela a *in fine* un impact sur la capacité de stockage de carbone dans ces milieux et sur le réglage des émissions de gaz à effet de serre GES (CH₄, N₂O et CO₂) et sur les cycles des nutriments.

L'azote peut être à la fois assimilé par la végétation aquatique et métabolisé par la dénitrification bactérienne, tandis que le carbone peut être séquestré par la végétation, puis stocké dans les sédiments. Pourtant, contrairement à ce qui se passe pour l'azote, les zones humides temporaires pourraient se comporter comme des faibles puits de carbone par rapport aux zones humides permanentes en raison de l'exposition fréquente à l'air, de la minéralisation intense du carbone et des émissions de dioxyde de carbone.



Suivis du stockage du carbone et de la trophie des lagunes – ENSEGID – novembre 2021

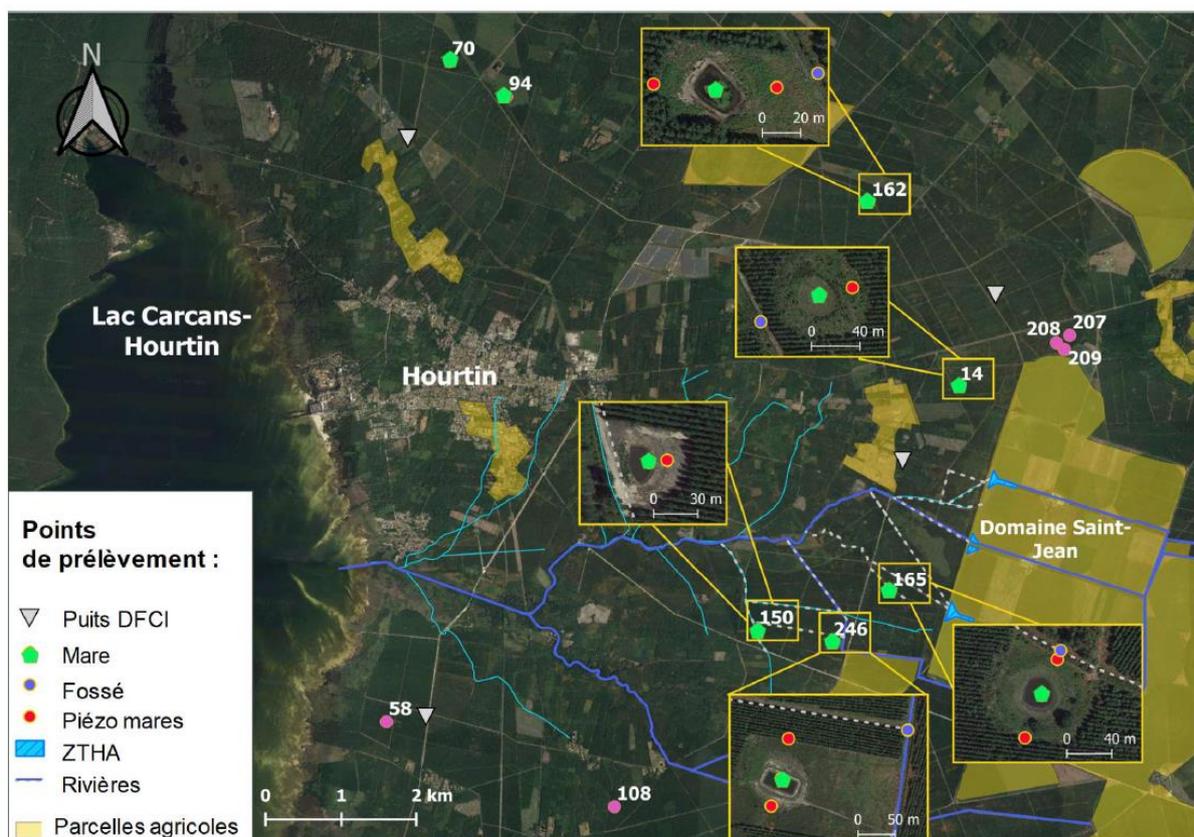
Plusieurs volets ont été travaillés :

Un ensemble hétérogène de lagunes a été étudié afin de mieux comprendre l'impact des différentes pratiques de restauration sur le stockage et les taux d'enfouissement du carbone et de l'azote dans les sédiments. L'hypothèse de base est que les systèmes oligotrophes ayant subi une excavation des sédiments présentent les taux d'enfouissement de carbone les plus faibles et qu'ils peuvent nécessiter une période longue pour retrouver leur fonction de puits de carbone. L'attention a également été portée sur la composante végétale, afin d'évaluer si la perturbation des sédiments pourrait avoir un effet positif/négatif sur la composition et l'abondance des macrophytes, et *in fine* sur les taux de séquestration des nutriments.

En fonction de l'hydropériode : les surfaces se comportent comme des sources de carbone vers l'atmosphère, avec une proportion variable de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄).

Puisque la présence d'oxygène dans les sédiments conditionne les émissions de CO₂ et de CH₄, un sédiment exposé à l'air aurait tendance à émettre davantage de CO₂ et moins de CH₄. L'objectif a donc été de caractériser l'impact potentiel des périodes d'assèchement prolongées sur les émissions atmosphériques de carbone (CO₂ et CH₄). Ainsi, l'influence de l'exposition des sédiments à l'air, de la présence de macrophytes et du degré d'humidité dans le sol ont été étudiés sur un sous-ensemble de mares temporaires au cours d'une année. Ces mesures ont ensuite été associées au stockage sédimentaire afin d'obtenir un bilan de carbone de l'écosystème et de déterminer si les lagunes fonctionnent comme des puits ou des sources de carbone envers l'atmosphère.

En parallèle, un suivi des concentrations en nutriments sur un ensemble de lagunes, afin de déterminer leur état trophique. Dans le plateau landais, les activités agricoles et sylvicoles, pourraient entraîner une pollution chimique par les nutriments lors du lessivage des sols, ces derniers migrant ensuite dans le réseau hydrographique par ruissellement et puis dans la nappe par infiltration. La proximité des parcelles agricoles, ainsi que les caractéristiques physico-chimiques de la nappe de surface ont été en effet mis évidence comme potentiels facteurs contrôlant la dynamique saisonnière des nutriments. La concentration des nutriments a également été mesurée dans la biomasse végétale, avec l'hypothèse que l'abondance de nutriments dans les eaux entraînerait un changement dans les rapports stoechiométriques dans les tissus végétaux, ce qui modifierait à terme la capacité de séquestration de la part des végétaux et in fine dans les sédiments.



Carte des 12 lagunes suivies et d'autres points de prélèvement pour les mesures de physico-chimie sont également reportés, à savoir 4 puits DFCI et 8 piézomètres

Mare	Nom local	Coordonnées	Surface (m ²)	Profondeur maximale (m)	Pente	Proximité d'un fossé à <150 m	Restauration	Année d'intervention
A (14)	Lagune de Cindraout	45.187611, -0.977868	703	1,3	Douce	Oui	Broyage de végétation	Printemps 2023
B (165)	Lagune d'Argue	45.162248, -0.987511	2034	1,0	Douce	Oui	Pas de travaux récents connus	
C (94)	Lagune de la Vache	45.219901, -1.056999	954	1,2	Douce	Oui	Reprofilage des berges	Automne 2018
D (162)	Lagune de Capet-Haout	45.209307, -0.994372	675	2,0	Abrupte	Oui	Excavation des sédiments	Date inconnue
E (150)	Lagune de Jolles 2	45.156853, -1.009822	740	2,4	Abrupte / Douce	Oui	Excavation des sédiments / Reprofilage des berges	Années 2000 / Automne 2017
F (246)	Lagune de Jolles 1	45.155899, -0.997141	1400	1,9	Abrupte	Oui	Excavation des sédiments	Date inconnue
G (58)		45.143595, -1.071835	207	0,7	Douce	Oui	Reprofilage des berges	Automne 2020
H (70)	Lagune de Mincouse	45.223766, -1.066854	770	1,5	Abrupte	Oui	Excavation des sédiments	Date inconnue
I (108)		45.134724, -1.032438	440	1,2	Douce	Oui	Excavation des sédiments	Automne 2021
J (207)		45.194499, -0.959285	540	1,0	Douce	Oui	Pas de travaux récents connus	
K (208)		45.194499, -0.959285	1020	1,0	Douce	Oui	Pas de travaux récents connus	
L (209)		45.192770, -0.960092	2680	0,6	Douce	Oui	Excavation des sédiments / Reprofilage des berges	Date inconnue

Caractéristiques principales des sites d'étude

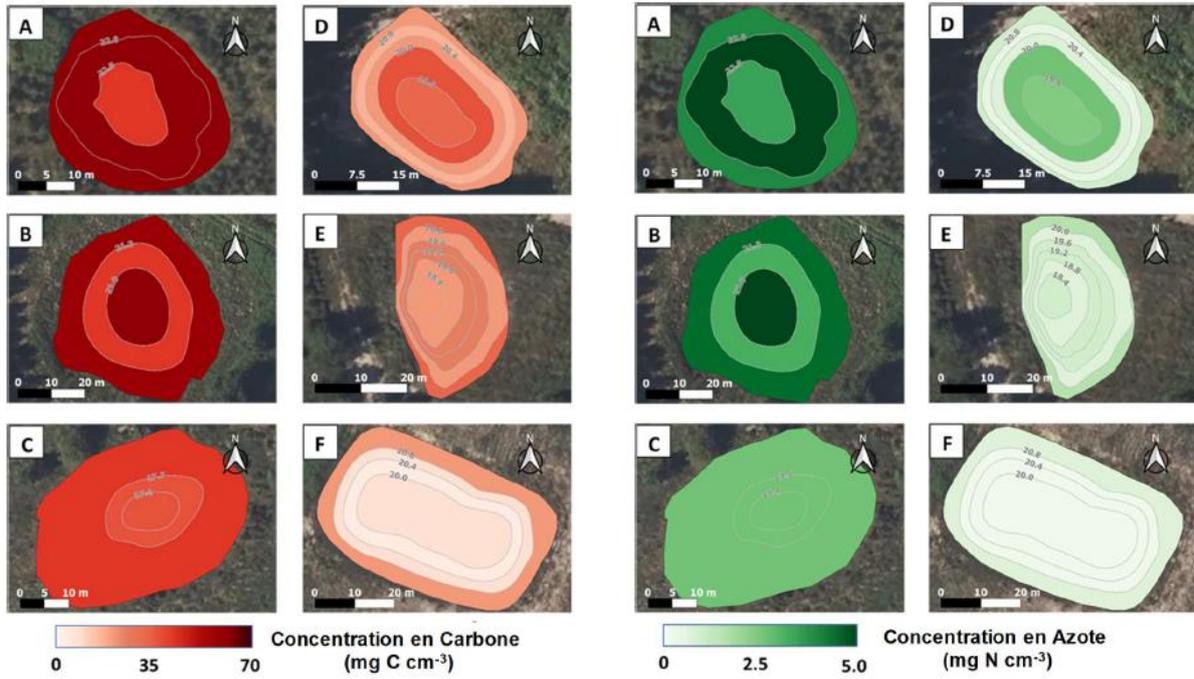
Le « stock » désigne une quantité figée de matière par unité de volume ou surface. Le stock n'inclut pas une notion temporelle et indique la quantité que l'on mesure à un instant précis dans la biomasse ou dans le sol.

Par « séquestration », on entend une quantité de matière qui évolue dans le temps. La séquestration de matière peut être donc liée à la croissance végétale (dont le cycle saisonnier qui se déroule sur un an), ou à l'accumulation de matière dans le sédiment durant un an. Ici, les termes « séquestration » et « enfouissement » seront utilisés comme synonymes vis-à-vis du sédiment.

- Séquestration de carbone et d'azote dans les sédiments et dans la végétation

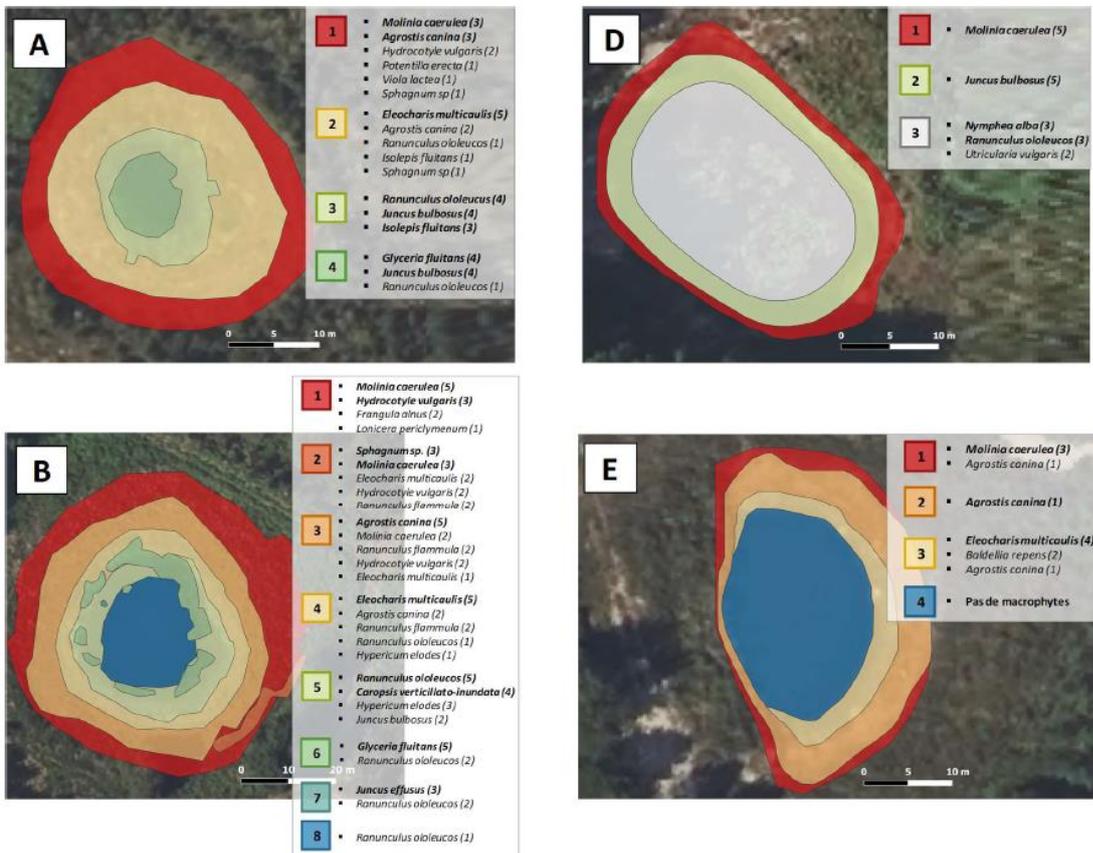
Plusieurs dispositifs ont été déployés :

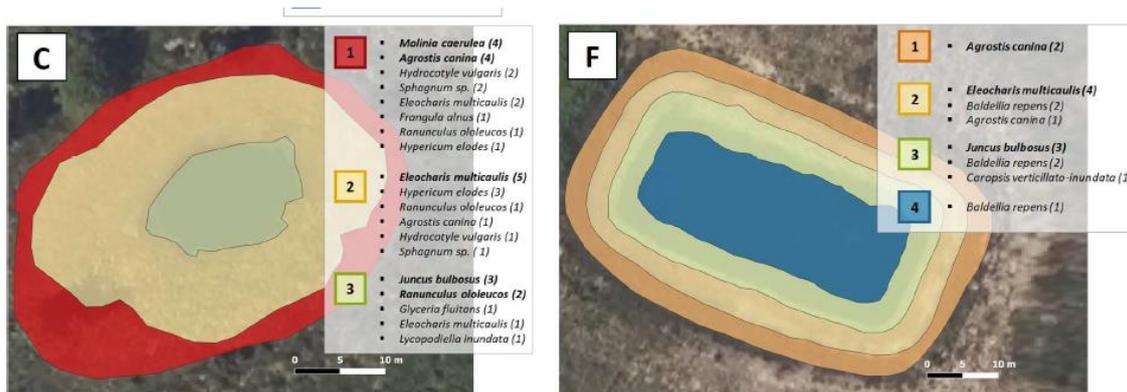
- cartographie sédimentaire (densité ; concentration en carbone et azote, matière organique) de 6 lagunes (sites A, B, C, D, E, F)



À gauche : Cartographie sédimentaire de la concentration en carbone (mg C cm⁻³) dans les sédiments.
 À droite : Cartographie sédimentaire de la concentration en azote (mg N cm⁻³) dans les sédiments.
 Un dégradé de couleurs indique les niveaux de concentration dans les isobathes

- description de la communauté végétale présente et évaluation de la part de nutriments séquestrée par cette dernière dans 6 lagunes





échelle de Braun-Blanquet	Gamme de recouvrement (%)
5	75-100
4	50-75
3	25-50
2	5-25
1	<5 (plusieurs individus)

Cartographie des ceintures de végétation dans les mares

Espèce	Mare	Biomasse totale (g _{pes} m ⁻²)	Carbone (%)	Azote (%)	Rapport C/N
<i>Glyceria fluitans</i>	A (14), B (165)	562 ± 547 (5-1431)	43,0 ± 0,4 (42,4-43,5)	1,4 ± 0,5 (1,0-1,9)	32,3 ± 9,1 (22,4-41,3)
<i>Eleocharis multicaulis</i>	A (14), B (165), C (94), F (246)	310 ± 513 (3-1386)	39,9 ± 4,6 (29,7-43,2)	1,7 ± 0,4 (1,0-2,1)	24,2 ± 4,1 (19,0-30,2)
<i>Nymphaea alba</i>	D (162)	260 ± 70 (140-283)	40,7 ± 0,5 (40,0-41,3)	1,5 ± 0,1 (1,4-1,7)	26,9 ± 2,0 (24,6-29,6)
<i>Agrostis canina</i>	A (14), B (165), C (94), E (150), F (246)	258 ± 269 (1-715)	39,3 ± 9,2 (15,5-45,4)	1,4 ± 0,6 (0,6-2,2)	30,3 ± 8,1 (20,3-43,0)
<i>Juncus bulbosus</i>	A (14), B (165), C (94), D (162), F (246)	140 ± 132 (5-460)	38,8 ± 4,0 (29,2-43,5)	1,5 ± 0,2 (1,3-1,8)	25,5 ± 2,8 (22,1-30,1)
<i>Ranunculus ololeucos</i>	A (14), B (165), C (94), D (162)	106 ± 138 (1-356)	37,0 ± 3,3 (32,2-40,6)	1,6 ± 0,3 (1,2-2,0)	24,4 ± 5,1 (16,6-31,3)
<i>Baldellia repens</i>	A (14), B (165), E (150), F (246)	41 ± 70 (1-207)	34,2 ± 5,7 (22,7-39,4)	2,3 ± 0,6 (1,5-3,0)	15,1 ± 1,5 (12,9-16,7)
<i>Isolepis fluitans</i>	A (14), B (165), C (94)	32 ± 41 (6-119)	42,1 ± 3,6 (35,0-46,3)	2,0 ± 0,4 (1,5-2,4)	22,1 ± 6,0 (15,1-30,1)
<i>Caropsis verticillato-inundata</i>	A (14), B (165), F (246)	25 ± 22 (0,1-50)	39,4 ± 1,6 (37,1-41,0)	2,9 ± 0,2 (2,6-3,0)	13,8 ± 0,8 (13,2-15,3)
<i>Sphagnum cuspidatum</i>	A (14), B (165)	7 ± 7 (1-16)	41,7 ± 0,0 (41,7-41,7)	1,4 ± 0,2 (1,3-1,6)	31,1 ± 0,3 (30,8-31,3)
<i>Utricularia vulgaris</i>	B (165)	4 ± 4 (0,5-5)	40,7 ± 0,4 (40,4-41,1)	3,1 ± 0,2 (2,9-3,2)	13,3 ± 0,8 (12,7-14,2)
<i>Hypericum elodes</i>	A (14), B (165)	4 ± 5 (0,5-9)	42,1 ± 1,4 (40,9-44,0)	2,1 ± 0,7 (1,4-2,8)	22,9 ± 8,5 (14,8-32,3)
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	A (14), B (165), C (94)	2 ± 1 (1-3)	42,5 ± 0,0 (42,4-42,5)	3,2 ± 0,2 (3,1-3,4)	13,2 ± 0,8 (12,7-13,8)
<i>Alisma gramineum</i>	F (246)	1 ± 1 (0,8-0,9)	37,8 ± 0,9 (37,1-38,4)	2,9 ± 0,2 (2,8-3,0)	13,2 ± 0,4 (12,9-13,4)
Litière	A (14), B (165), C (94)	432 ± 387 (9-1240)	41,5 ± 2,6 (38,5-43,1)	1,8 ± 0,3 (1,5-2,0)	23,8 ± 0,5 (20,2-29,5)

Tableau avec moyenne (± écart type, en gras) et intervalle de valeurs (entre parenthèses) de la biomasse totale (feuilles et tiges + racines, en g_{PS} m⁻²) et de la proportion de carbone et d'azote (en %) pour les espèces végétales prélevés dans les mares A à F. Les valeurs moyennes du rapport carbone/azote ont également été ajoutées. D'autres espèces présentes dans ces mêmes mares ont pu ne pas être prélevées à cause de l'échantillonnage aléatoire

Mare	Stock de C dans la biomasse végétale (g C m ⁻²)	Séquestration annuelle par la végétation (g C m ⁻² an ⁻¹)	Stock de N dans la biomasse végétale (g N m ⁻²)	Séquestration annuelle par la végétation (g N m ⁻² an ⁻¹)	Stock dans la litière (g C m ⁻²)	Stock dans la litière (g N m ⁻²)
A (14)	181 ± 18	201 ± 58	7 ± 1	8 ± 2	62 ± 0,2	3 ± 0,1
B (165)	288 ± 113	320 ± 177	14 ± 5	15 ± 8	238 ± 4	11 ± 1
C (94)	251 ± 65	279 ± 121	8 ± 2	9 ± 4	169 ± 1	6 ± 1
D (162)	152 ± 30	168 ± 64	5 ± 1	6 ± 2	Litière absente	Litière absente
E (150)	32 ± 6	36 ± 14	1 ± 0,3	1 ± 1	Litière absente	Litière absente
F (246)	21 ± 15	24 ± 20	1 ± 1	1 ± 1	Litière absente	Litière absente

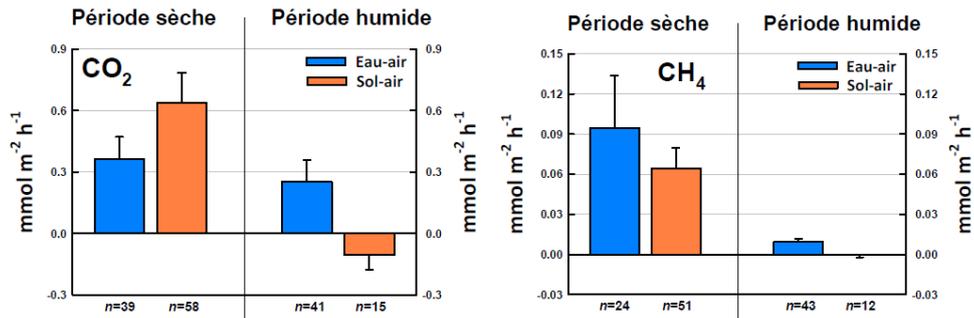
Tableau avec les stocks de C et N contenus dans le tissu végétal au pic de biomasse et séquestration par an

- mesure des taux d'enfouissement de carbone et azote pour 12 lagunes par carottage
- estimation du stock sédimentaire potentiellement présent dans les mares à l'échelle du plateau landais
 - Emissions de carbone par les lagunes (mares temporaires) en lien avec l'hydropériode

L'objectif a été de caractériser l'impact potentiel des périodes d'assèchement prolongées sur les émissions atmosphériques de carbone (sous-forme de dioxyde de carbone, CO₂, et de méthane, CH₄). Les flux de carbone ont été mesurés par l'intermédiaires de chambres à flux disposés sur les interfaces eau-air et sédiment-air des lagunes.



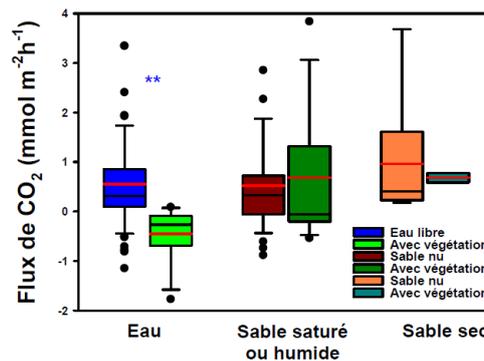
Chambres à flux



Flux de carbone (CO₂ à gauche, CH₄ à droite) en fonction de la période de mesure (sèche = juin – novembre ; humide = décembre – mai) et de l'interface de mesure

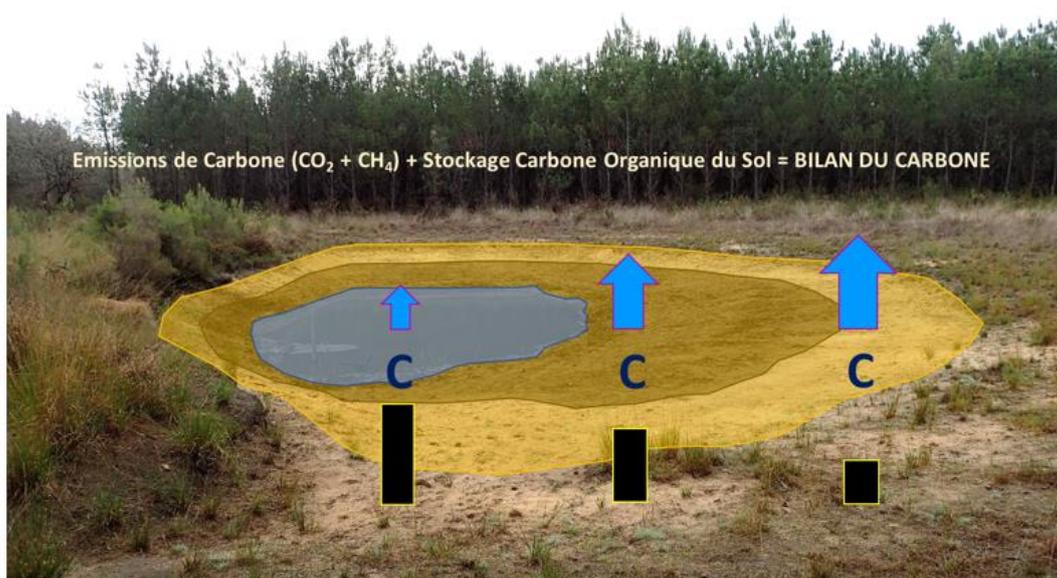
Contrairement au dioxyde de carbone (CO₂), qui ne présente pas de saisonnalité marquée, les émissions de méthane (CH₄) augmentent en période estivale, d'où l'intérêt de le considérer dans les bilans de flux de Carbone.

Pour les flux de CO₂ à l'interface eau-air, on constate une différence significative en fonction de la Végétation.



Flux de CO₂ en fonction de la présence de végétation et de l'humidité du sol. Dans la boîte à moustaches, la ligne rouge indique la valeur moyenne et la noire la valeur médiane

Bilan du carbone dans les mares = séquestration dans les sédiments – émissions aux interfaces
 Si le bilan est positif, la mare se comporte comme un puits de carbone atmosphérique ; si le bilan est négatif, la mare est une source de carbone envers l'atmosphère.



Mare	Émissions g C m ⁻² an ⁻¹	Séquestration g C m ⁻² an ⁻¹	Émissions kg C mare ⁻¹ an ⁻¹	Séquestration kg C mare ⁻¹ an ⁻¹	Bilan du C kg C mare ⁻¹ an ⁻¹
A (14)	116 ± 1	211 ± 60	82 ± 1	148 ± 42	67 ± 30
B (165)	114 ± 37	240 ± 32	240 ± 32	488 ± 65	256 ± 46
C (94)	79 ± 15	75 ± 4	76 ± 14	72 ± 4	-4 ± 25
D (162)	71 ± 20	44 ± 6	48 ± 14	30 ± 14	-18 ± 42
E (150)	67 ± 14	46 ± 7	51 ± 11	35 ± 5	-16 ± 36
F (246)	111 ± 15	8 ± 1	155 ± 21	11 ± 1	-144 ± 26

Tableau avec les valeurs annuelles des flux de carbone et d'enfouissement par unité de surface et par mare. Pour la mare E (150), sur laquelle le taux d'enfouissement n'avait pas pu être mesuré, la valeur de la mare I (108) a été appliquée. Le bilan de carbone correspond à la différence entre l'enfouissement et le flux.

A partir de ce bilan, on constate que les mares C (94), D (162) et E (150) ont des émissions de carbone annuelles inférieures à celles des autres. Les mares A (14) et B (165) se démarquent pour avoir un taux d'enfouissement annuel plus élevé que les autres. De ce bilan, il ressort que les mares, D (162), E (150) et F (246) seraient des sources de carbone, alors que les mares A (14) et B (165) seraient des puits. Pour la mare C (94), on peut estimer que le bilan soit proche de zéro, vu les erreurs associées aux mesures.

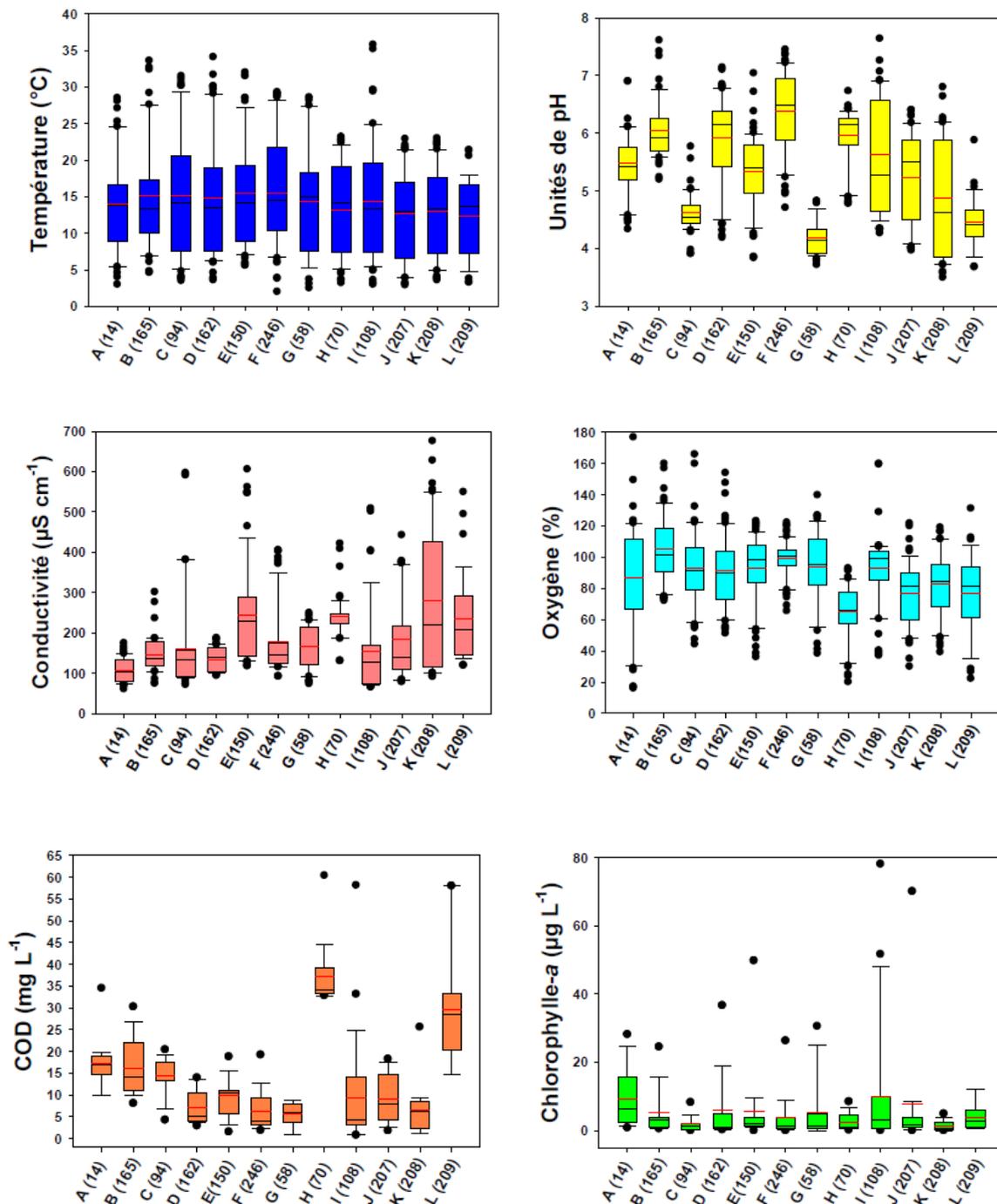
- État trophique des mares temporaires forestières

L'objectif principal est de caractériser un état trophique initial des mares temporaires, dans un contexte de manque d'informations sur des paramètres physico-chimiques.

Un suivi temporel des concentrations en nutriments sur un ensemble de mares temporaires, afin de déterminer leur état trophique en fonction de la variabilité d'origine naturelle et éventuellement anthropique. En effet, les variations saisonnières de pluviométrie, ainsi que la saisonnalité de la production primaire, peuvent faire varier de manière importante les teneurs en nutriments azotés et phosphatés. Sur le plateau landais, les activités agricoles et sylvicoles pouvant entraîner une pollution par les nutriments lors du lessivage des sols.

L'hypothèse a été émise que des variations saisonnières et spatiales seraient présentes, suite à la diffusion des nutriments dans la nappe qui alimente les mares et dans le réseau hydrographique de surface qui les longe.

Des expérimentations se sont portées sur une éventuelle nitrification intrinsèque aux lagunes. La reconstitution de l'interface sédiment-eau en laboratoire à l'aide de carottes de sédiment prélevées dans les lagunes et l'eau de la nappe des sables dans un premier temps puis l'eau de pluie dans un second temps, a mis en évidence sur certains sites des processus (bien que faibles) de nitrification naturelle.



Paramètres physico-chimiques mesurés lors de 21 campagnes de mesure sur 12 mares du plateau landais

Les mares subissent des variations thermiques importantes pendant l'année, typiques des milieux peu profonds. Les températures dans les fossés ont été identiques à celles mesurées dans les lagunes. Les variations dans la nappe, que ce soit pour les DFCl ou les piézomètres proches des mares, suivent les mêmes tendances que les lagunes mais avec des amplitudes plus réduites.

Le pH est variable suivant les sites, entre 3,5 et 7,6. On constate que certaines mares présentent des variabilités faibles, soit avec des valeurs très acides (C-94, G-58 et L-209), soit aux alentours de pH plus proches de 6 (A-14, B-165 et H-70) ; le reste des mares présente des variations plus amples.

Pour ce qui concerne la conductivité, on observe des valeurs globalement plus élevées que celles reportées dans la bibliographie. L'amplitude des variations de conductivité diffère selon les sites. Les conductivités mesurées dans les fossés adjacents aux mares sont systématiquement supérieures aux valeurs mesurées dans les mares aux mêmes dates.

De manière générale, les valeurs de saturation en oxygène de l'eau des mares sont faibles (inférieur à 100%), indiquant que, malgré la faible profondeur et la possibilité de mélange lié au vent, les processus hétérotrophes (respiration) prévalent par rapport à ceux autotrophes (photosynthèse). Cette tendance est encore plus évidente dans les fossés, où les valeurs ne dépassent jamais le 100%, indiquant des conditions hypoxiques constantes.

Les mesures relatives aux concentrations en carbone organique dissous montrent des valeurs globalement élevées, avec deux mares (E-70 et L-209) qui atteignent des concentrations supérieures à 40 mg L⁻¹.

Les concentrations en chlorophylle-a sont restées relativement élevées tout au long des prélèvements, avec des valeurs indiquant parfois des conditions méso-eutrophes (au-dessus de 10 µg L⁻¹).

Pour le phosphore inorganique dissous, les valeurs sont également indicatrices de conditions mésotrophes et légèrement plus élevées que celles mesurés dans la nappe et dans les fossés.

Pour ce qui est des concentrations en nitrate, on observe des valeurs globalement élevées, pour 4 mares en particulier (B-165, E-150, F-246 et I-108) (Figure 20). Pour ces mares, les valeurs sont cohérentes avec les mesures effectuées dans les piézomètres adjacents et surtout avec les mesures dans les fossés qui passent à côté.

Pour le sulfate, on observe des valeurs élevées de manière généralisée, que ce soit dans l'ensemble des mares, des eaux souterraines et des fossés.

Pour ce qui est de concentrations en CO₂ et CH₄ dissous dans l'eau, on observe des valeurs qui indiquent une sursaturation dans les deux cas, et ceci pour toutes les mares. Certaines mares se démarquent (H-70 et L-209) pour des valeurs de CO₂ ou de CH₄ (D-162 et H-70) plus élevées.

Les eaux souterraines montrent également des valeurs de sursaturation, avec des concentrations encore plus élevées que celles mesurées dans les mares (de 589 à 1528 µM en CO₂ et de 0,2 et 7,7 µM en CH₄ pour les DFCl ; de 442 à 1405 µM en CO₂ et de 0,1 et 2,1 µM en CH₄ pour les piézomètres).



Bilan du carbone et des nutriments des mares temporaires (*lagunes*) du bassin versant du lac de Carcans-Hourtin.



Auteures : Cristina RIBAUDO et Romane DARUL (UMR EPOC)

Un rapport a été consacré à ces études, et des éléments sont également présentés dans la thèse de Romane Darul.

Les conclusions principales montrent que **les lagunes du plateau landais constituent des hotspots d'accumulation de matière organique, et donc de carbone**, dans un territoire environnant appauvri par le remaniement du sol lié aux pratiques agricoles et sylvicoles.

Il est pertinent de s'attendre à ce que les ceintures extérieures de landes à molinie soient des zones d'accumulation encore plus importantes, à cause de la biomasse élevée qui s'y développe et de la présence d'eau et de sphaignes selon les sites.

Stock de C dans les sédiments (g C m ⁻²)	Stock d'N dans les sédiments (g N m ⁻²)	Taux d'enfouissement du C (g C m ⁻² an ⁻¹)	Taux d'enfouissement de l'N (g N m ⁻² an ⁻¹)	Surface d'une lagune (m ²)	Nombre connu de lagunes fonctionnelles (n)	Stock de C à l'échelle du plateau landais (tonnes)	Stock d'N à l'échelle du plateau landais (tonnes)	Potentiel de séquestration en C à l'échelle du plateau landais (tonnes an ⁻¹)	Potentiel de séquestration en N à l'échelle du plateau landais (tonnes an ⁻¹)
1839 ± 457	146 ± 39	99 ± 25	8 ± 2	1014 ± 204	5800	10816 ± 541	859 ± 46	582 ± 30	47 ± 2

Estimation du stock actuel de carbone et azote et potentiel de séquestration annuelle à l'échelle du plateau landais

A partir de cette estimation, on observe que **plus de 10 000 tonnes de carbone pourraient être actuellement stockées dans les sols des mares du plateau landais**, et qu'un potentiel de 582 tonnes peut s'y accumuler tous les ans.

Pour l'azote, cela constituerait un stock présent de plus de 800 tonnes, avec un potentiel de séquestration annuel de plus de 40 tonnes.

Il est important de souligner **qu'il s'agit d'un stock fragile, car il est situé sur les premiers centimètres du sol**, et qu'en dessous on retrouve le podzosol typique du plateau landais, formé par du sable oligotrophe.

Également, le bilan de carbone obtenu sur 6 sites révèle l'existence d'une grande variabilité spatiale, avec des sites se comportant comme puits de carbone et d'autres comme sources. Les mares ont donc un **fort potentiel d'accumulation de carbone, mais les émissions vers l'atmosphère peuvent limiter ce potentiel**.

Il est important de considérer que plusieurs facteurs qui pourraient à court et à long terme épuiser le stock présent et influencer le potentiel de séquestration :

- Le premier **élément qui limite l'accumulation de matière organique est l'exposition prolongée des surfaces à l'air**. Le niveau d'eau des mares temporaires est soumis aux précipitations et au battement de la nappe phréatique sub-affleurante du Plio-Quaternaire ; ainsi, les surfaces en eau et exposées à l'air varient fortement au cours d'une année hydrologique. Les mesures des sondes de niveau ont permis de distinguer deux grandes périodes en fonction des années : une période humide débutant au mois de novembre/décembre et finissant en avril/mai, et une période sèche de mai/juin à novembre/décembre.

De manière générale, les mares ayant fait l'objet d'excavation des sédiments restent en eau toute l'année, tandis que celles qui n'ont pas subi de travaux au centre de la mare s'assèchent complètement une partie de l'année. En conséquence, **au cours de la période sèche, l'oxygénation des sédiments exposés à l'air favorise la dégradation de la matière organique et les émissions CO₂ par rapport aux surfaces immergées**. À l'inverse, **les surfaces avec de l'eau captent le carbone, notamment grâce à l'activité phytoplanctonique**.

Ainsi, il semblerait particulièrement important de mettre en place des mesures de gestion du territoire qui permettent d'amplifier la durée et l'étendue de l'immersion des mares pendant la période sèche.

L'hydropériode qui caractérise les mares temporaires peut en effet être impactée par l'action anthropique (par les prélèvements directs d'eau dans la nappe de surface ; par le drainage accéléré des parcelles et donc la diminution du niveau piézométrique ; par le dérèglement climatique avec baisse des précipitations en été). La réduction du drainage forestier et la réouverture des milieux pourrait donc être une solution pertinente pour essayer de mitiger l'assèchement prolongé des lagunes.

- Le deuxième **élément qui influence la quantité de la matière organique au sein des mares est la présence de végétation**.

Contrairement à ce que l'on aurait pu s'attendre, les sites avec un assèchement totalement pendant l'été montrent des concentrations en matière organique, carbone et azote significativement plus élevées que les mares restant en eau toute l'année.

Or, **les mares ayant les stocks les plus élevés sont aussi celles qui présentent une abondance et une richesse spécifique végétale d'exception**, avec présence d'espèces patrimoniales et rares.

Au contraire, les travaux de creusement des lagunes ayant pour but de préserver ces plans d'eau de l'assèchement, pourraient avoir diminué la quantité de carbone stockée dans les sédiments et entraîné une simplification des communautés végétales, qui n'ont pas récupéré en richesse en abondance même plusieurs années après l'intervention. À titre d'exemple, même au sein de la mare I-108, où la banque de graines a été conservée en 2021, la végétation ne s'est pas encore redéveloppée. En revanche, **les travaux de reprofilage des berges semblent permettre de préserver le stock de carbone et la reprise de la végétation**. Le reprofilage des berges, en comparaison avec un creusement du sédiment des mares (excavation), semble être donc une méthode de restauration à privilégier pour conserver la fonction de stockage du carbone et d'habitat dans les mares temporaires forestières.

- Le troisième **élément qui pourrait perturber le stockage sédimentaire de carbone à long terme** est un **processus potentiel d'eutrophisation des mares**.

Le territoire d'étude, centré sur le bassin versant de la Caillava, s'étendant des grandes zones agricoles en amont et finissant dans le lac de Carcans-Hourtin, présente des masses d'eau sous deux influences principales : les zones agricoles, riches en nitrate et en sulfate, et les zones forestières dont la nappe apparaît aussi polluée d'au moins au niveau superficiel, selon nos relevés.

Le niveau trophique du continuum aquatique du bassin est fortement dépendant de l'activité agricole en amont.

Le **lien cause-effet entre la qualité des mares et les activités agricoles à proximité n'est pas évident** tout de même. D'un côté, on observe que les puits DFCI ont des teneurs bien inférieures en nitrate et sulfate que le réseau de drainage (fossés) et les piézomètres près des mares, dont l'eau de nappe est à un niveau très proche de la surface. Au niveau hydrologique, les mesures de niveau ont montré que, pendant la période humide, les fossés sont au même niveau que les mares et la nappe de surface. Cela indique que ces trois systèmes forment un ensemble interconnecté, où la surcharge en nutriments peut se diffuser.

En effet, on constate un excès de nutriments azotés, spécifiquement pendant la période humide, dans certaines mares étudiées ainsi que dans les piézomètres et dans les fossés adjacents.

D'un autre côté, les mares temporaires présentent des particularités qui ne s'expliquent pas par un simple processus de mélange avec l'eau contaminée de la nappe et des fossés. En effet, l'évolution temporelle de la conductivité montre une augmentation durant l'étiage, en particulier lors de l'été très chaud 2022, qui pourrait être due à l'évaporation et donc à la concentration des ions.

Des pics de sulfates ont été mesurés aussi lors de la remise en eau, et ceci autant dans les mares situées proches des zones agricoles que de celles éloignées. Il est possible que la remise en eau de secteurs asséchés, dont les sols ont été enrichis en sulfate en raison de l'évaporation de l'eau, puisse expliquer ce phénomène.

L'augmentation en nitrate lors de la remise en eau de l'automne 2022 affecte toutes les lagunes, sauf la L (209) qui est pourtant la plus proche des zones agricoles. A partir des essais en laboratoire, on peut conclure que, **pour certaines mares, un processus d'enrichissement interne (nitrification) serait en cause plutôt qu'une contamination systématique d'origine agricole. Pour d'autres sites, les deux processus (diffusion depuis les plaines agricoles et nitrification)**

cohabitent certainement avec des différentes contributions selon les années et les conditions météorologiques (durée de l'assèchement en été et quantité de précipitations lors de la remise en eau).

Si à un premier stade, l'eutrophisation peut conduire à une augmentation de la production primaire et donc à une accumulation de matière organique (favorable sur certains points), à terme cela peut conduire à un glissement typologique de la communauté végétale, à la disparition de végétaux enracinés et à la désoxygénation permanente du plan d'eau.

Les mesures des **rappports C/N sur des espèces végétales** ont permis de mettre en évidence que pour la même espèce : les rapports C/N **diminuent significativement avec l'augmentation de la disponibilité en nitrate sur le site** (observations sur *Agrostis canina*, *Ranunculus ololeucos*, *Glyceria fluitans*, *Baldelia repens*, *Hypericum elodes* et *Isolepis fluitans*...).

Face à des apports d'azote croissants et sur des plages temporelles de plus en plus longues pour les mares où ces espèces sont abondantes, la séquestration de carbone dans les tissus végétaux risque de diminuer à court terme.

A long terme, la séquestration de carbone dans les sédiments pourrait aussi être impactée en raison de l'influence de la composition chimique de la litière végétale sur la composition chimique des sédiments.

Il est également important de garder à l'esprit que si les apports azotés sont prolongés dans ces milieux, et en cas d'arrivée accidentelle d'une espèce nitrophile, cela pourrait conduire au **remplacement des communautés actuelles oligotrophes** par l'espèce nitrophile, dont le développement serait alors favorisé.

C'est déjà le cas, dans d'autres mares que celles considérées dans cette étude, où l'on constate la diffusion de *Bidens frondosa*, une espèce invasive nitrophile. Finalement, **l'évolution chimique de l'eau et de la végétation des lagunes doit faire l'objet de surveillance, tant pour préserver la riche biodiversité dépendante de ces mares, que pour permettre la préservation des services écosystémiques et notamment celui de puits de carbone.**

4. Zones aval des cours d'eau



Travaux de reconnexion hydraulique et de restauration de la continuité hydrologique sur l'aval des cours d'eau

Sous l'effet cumulés des épisodes de crues brutaux, le lit sableux de la Caillava s'est progressivement incisé et déconnecté de ses annexes hydrauliques. Des travaux visant à restituer la connexion hydraulique de la Caillava avec ses marais attenants ont été réalisés. Il s'agissait, sur la partie la plus aval, d'écrêter le bourrelet de curage afin de rehausser la ligne d'eau et de laisser déborder la craste sur le marais de Lupian en période de crue. Des merlons de sables appuyés sur des points durs, tels que des souches ou des arbres en travers, ont également été réalisés afin de favoriser le passage de l'eau par les annexes hydrauliques latérales.

Initialement fléchés sur le sous bassin-versant de la Caillava uniquement, comme zone pilote du projet. Les opérations ont pu être étendues à d'autres secteurs géographiques. Les objectifs poursuivis sur les autres sites visent également la restauration de fonctionnalités des zones humides.

Toutes les opérations ont fait l'objet de dossiers réglementaires au titre de la loi sur l'eau. Une assistance en hydromorphologie fluviale a été réalisée par le bureau d'études NCA mandaté par le SIAEBVELG.

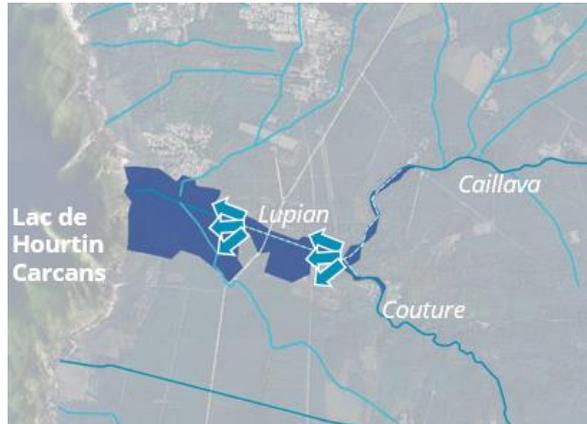
L'ensemble de ces reconnexions a été réalisé sans ajout de matériaux extérieurs, par choix, en privilégiant des solutions simples avec les matériaux disponibles sur site. Cette approche soulève néanmoins une problématique de maintien, étant donné la nature mobilisable du sable et l'exposition de ces milieux à de fortes crues.



Vue sur les suivis de chantier

Aval Caillava-Couture-Lupian

Ces travaux sur un linéaire d'environ 2 km ont permis la **reconnexion de 130 ha de zones humides attenantes**. Les effets sur les masses d'eau qui arrivent au lac sont autant bénéfiques d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Cet étalement permet des écoulements plus doux et l'écrêtement des pics de crues, le temps de résidence de l'eau dans ces zones humides tampon est ainsi prolongé ce qui favorise les processus tels que la dénitrification.



130 hectares de zones humides connectées en bordure de cours d'eau et de lac

Cartographie des zones de reconnexion en aval du bassin versant de la Caillava

Les travaux menés ont consisté à réaliser un écrêtement des anciens bourrelets de curage isolant le lit actuel du cours d'eau des annexes hydrauliques latérales. Cette solution douce de restauration hydromorphologique des cours d'eau implique une réutilisation des matériaux locaux. La végétalisation des aménagements se fera naturellement au fil du temps.

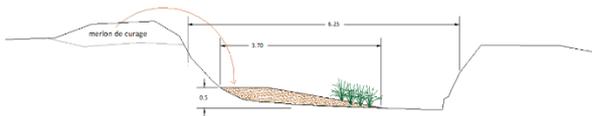


Schéma de principe et réalisation de banquettes au sein du cours d'eau, s'appuyant sur les atterrissements existants du cours d'eau



Vue sur les opérations de suppression du bourrelet de curage réalisées à l'aval de la Caillava

On compte ainsi **130 ha de zones humides connectées** en bordure de cours d'eau et de lac. Autour de la Berle de la Caillava et de Couture : 2,5 km de crastes reprofilées et 10 ha de zones humides alluviales restaurées. Les travaux ont permis la restauration de la continuité écologique (notamment sur le pont Napoléon présentant initialement une chute de plusieurs dizaines de centimètres).



Vue sur l'amont de La Berle de la Caillava



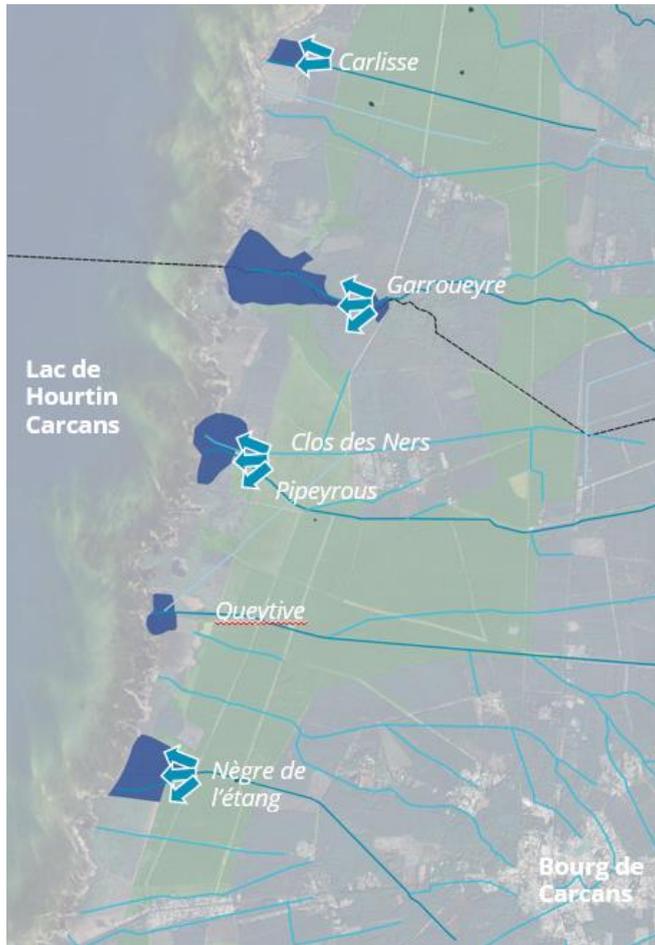
Vue sur aval de la berle de la Caillava

La Berle de Lupian à Hourtin a également fait l'objet d'opérations : en aval de la confluence entre la Caillava et Couture, a bénéficié de 10 points de reconnections latérales pour un total de 120 ha de zones humides alluviales et bords de crastes restaurées



Vue sur la Berle de Lupian après opérations de reconnections latérales

Aval Carlisse, Garroueyre à Hourtin et Clos des Ners, Pipeyrous, Queytive et Nègre de l'étang à Carcans



110 hectares de zones humides connectées en bordure de cours d'eau et de lac

La craste de la Carlisse à Hourtin : 7 ha de zones humides reconnectées grâce à des reconnections latérales vers le marais.



Vue sur la connexion latérale de la Carlisse

La Berle de la Garroueyre en limite Hourtin / Carcans : 53 ha de zones humides reconnectées grâce à des opérations sur la Garroueyre en plusieurs points stratégiques visant à favoriser les débordements sur ce cours d'eau, d'origine naturelle où les annexes hydrauliques et anciens méandres sont très marqués.



Les crastes Pipeyrous et Clos des Ners à Carcans : 24 ha de zones humides reconnectées grâce à des reconnections hydrauliques aval des cours d'eau.



Vue sur les travaux réalisés au Pipeyrous de création d'une noue

La craste Nègre de l'étang à Carcans : 26 ha de zones humides reconnectées en aval de la craste. L'eau, provenant pour partie du bourg de Carcans se diffuse ainsi sur le marais avant l'arrivée au lac.



Vue en drone sur le site de reconnexion de la craste Nègre de l'étang

Aval de la Berle à Lacanau



25 hectares de zones humides connectées en bordure de cours d'eau

La Berle à Lacanau : 25 ha de zones humides reconnectées grâce à des opérations de reconnexion du cours d'eau avec ses anciens méandres et points bas adjacents.



Vue sur le secteur de la Berle, en marge de la zone urbaine et du lac

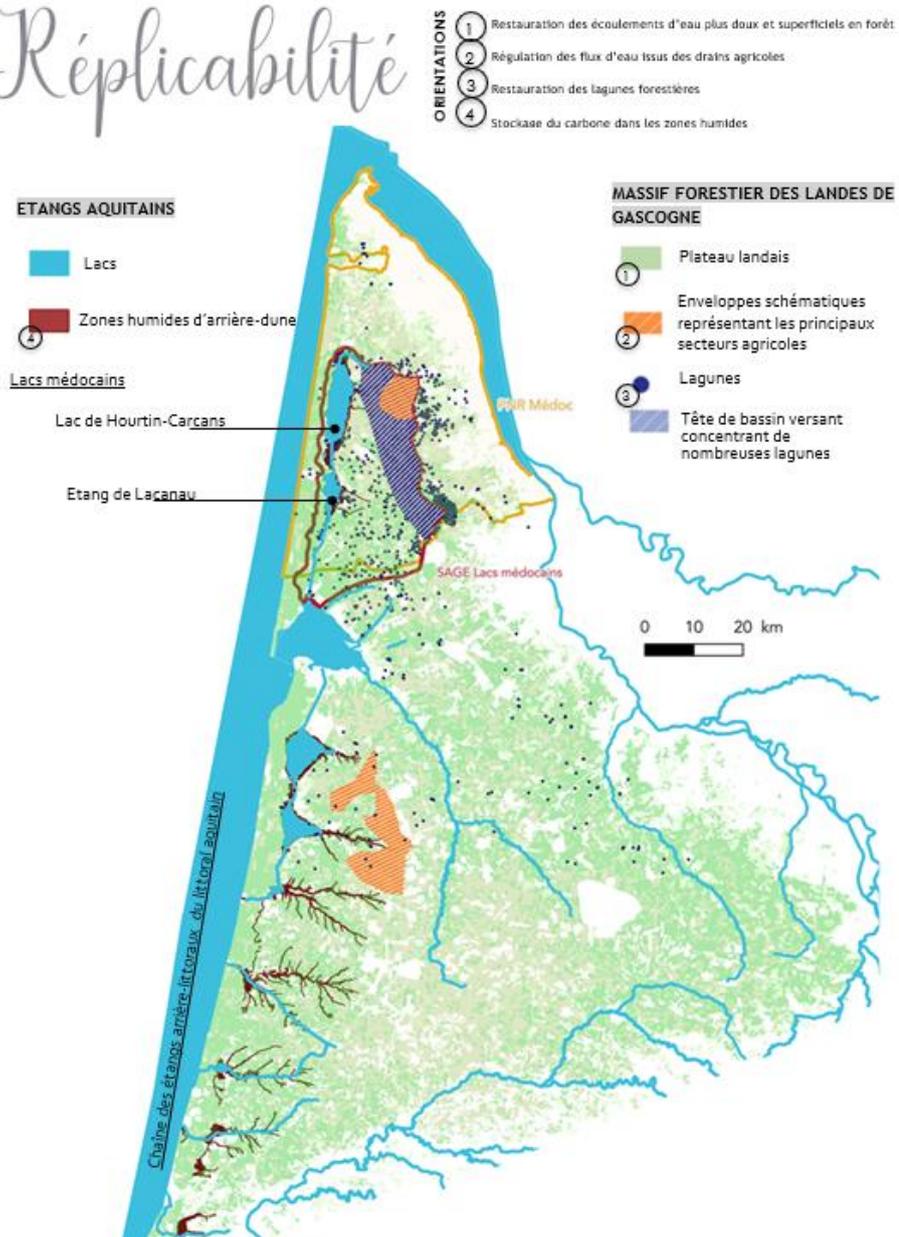
5. Animation, communication et partages d'informations

Plusieurs actions et vecteurs de communication ont été développés tout au long des 4 ans du projet.

Une des ambitions du projet était d'en faire un projet pilote, répliquable à moyen et long terme sur un plus large territoire :

- le plateau landais comme échelle de répliquabilité du travail sur le drainage du massif forestier,
- les zones agricoles en tête de bassin versant aussi bien en Médoc que dans les Landes où des zones humides peuvent être à l'interface entre les zones agricoles et les lacs puis le Bassin d'Arcachon, comme échelle de répliquabilité du travail sur la qualité d'eau.
- les lagunes de ce plateau landais comme échelle de répliquabilité du travail sur les lagunes.

Répliquabilité



- Animation de l'appel à projets et réunions

Le lancement de l'appel à projets de l'Entente pour l'eau sur les têtes de bassin versant s'est tenu à Hourtin en février 2021 en présence de représentants de la Région, de l'Agence de l'Eau, du Département, des Services de l'Etat, des communes, du SIAEBVELG, ainsi que des acteurs du territoire : forestiers, agriculteurs, associations de protection de la nature, associations de pêche et de chasse...



Lancement de l'appel à projets à Hourtin – février 2021

Des groupes techniques préparatoires ont été organisés tout au long des 4 ans.



Commission locale de l'eau – juin 2021

Depuis 2021, des ateliers ont été menés par l'Agence de l'eau Adour-Garonne sur différentes thématiques : hydrologie, écologie, biogéochimie. Le SIAEBVELG a pu participer à ces différentes réunions et présenter les actions envisagées sur ces différents volets aux autres lauréats de l'appel à projets.

Le SIAEBVELG a également participé aux réunions des structures lauréates du même appel à projets sur le territoire et aux réunions des partenaires : Université, exploitants agricoles...

Plusieurs réunions ont été organisées dans le cadre de l'animation de l'appel à projets :

- 8 mars 2022 à Hourtin, comité de pilotage autour de l'appel à projets



Comité de pilotage – mars 2022

- 30 mai 2022 à Bordeaux, présentation du projet dans le cadre de la commission littorale de l'Agence de l'eau Adour Garonne
- 16 juin 2022, présentation du projet dans le cadre de journées organisées par la CATERZH du Département de la Gironde
- 25 novembre 2022, présentation du projet et des indicateurs de suivis dans le cadre du groupe de travail Solutions fondées sur la nature de l'Agence de l'eau Adour Garonne
- 29 novembre 2022 à Hourtin, comité technique restreint avec les partenaires du projet



Comité technique – novembre 2022

- 16 juin 2022, présentation du projet dans le cadre de journées organisées par la CATERZH du Département de la Gironde
- 25 novembre 2022, présentation du projet et des indicateurs de suivis dans le cadre du groupe de travail Solutions fondées sur la nature de l'Agence de l'eau Adour Garonne
- 29 novembre 2022 à Hourtin, comité technique restreint avec les partenaires du projet
- 6 avril 2023, réunion technique avec les agriculteurs du secteur
- 4 décembre 2023 à Carcans, présentation des avancées et résultats du projet en commission locale de l'eau du SAGE des lacs médocains
- 23 mai 2024, présentation du projet pilote au réseau NBRACER travaillant à l'échelle européenne sur les solutions fondées sur la nature
- 28 mai 2024, visite de terrain avec les membres de la commission milieux naturels de l'Agence de l'eau Adour Garonne
- 6 juin 2024, présentation de la démarche et des actions aux élus des structures GEMAPI du Médoc



Visite de terrain avec les structures GEMAPI du Médoc – juin 2024

- 11 juin 2024, présentations du site pilote Solutions fondées sur la nature du réseau Adour-Garonne au colloque OFB – Agence de l'eau national organisé à Toulouse

En 2024, dernière année de l'appel à projets, plusieurs ateliers – journées techniques ont été organisées à destination des acteurs du territoire pour partager les résultats, les informations issues des études, expérimentations et autres actions menées entre 2021 et 2024.

- 11 novembre 2024, journée technique « Eau et forêt » les exploitants forestiers du secteur, le GPF Médoc, la chambre d'agriculture de Gironde, l'ONF, la DFCI, les membres de la CLE



Journée technique « Eau et forêt » - novembre 2024

- 6 décembre 2024, journée technique « Eau et agriculture » avec les exploitants agricoles du secteur, le GRCETA, les membres de la CLE



Journée technique « Eau et agriculture » - décembre 2024

- Valorisation du projet
- Plan Eau gouvernemental



Plan Eau gouvernemental lancé en 2023

Le Plan d'action pour une gestion résiliente et concertée de l'eau, présenté en mars 2023, par le Gouvernement met notamment en avant les solutions fondées sur la nature pour préserver la ressource en eau.

Sur tout le territoire, des projets sont mis en place, avec l'ensemble des acteurs locaux, répondant à différents enjeux liés à l'eau ainsi qu'à l'érosion de la biodiversité.

Le projet pilote mené sur le bassin versant des lacs médocains a été retenu pour être valorisé dans le cadre de la mesure 30. La mesure 30 du plan Eau porte sur le lancement de 70 projets d'opérations phares (10 par grand bassin hydrographique) labellisées "Solutions fondées sur la nature" à des fins de démonstrateurs de lutte contre les sécheresses, en particulier pour la restauration des zones humides, la renaturation ou encore la restauration des cours d'eau, rappelle l'instruction.

- Colloques et séminaires scientifiques

Le projet a fait l'objet de nombreuses présentations thématiques dans des colloques scientifiques et séminaires sur les thèmes suivants : recherche en écologie, biogéochimie, gestion de l'eau, solutions fondées sur la nature, co-construction de projets de territoire...

- Communication autour de l'appel à projets

Divers vecteurs de communication ont pu être développés et utilisés pour partager les informations sur les études, résultats, expérimentations mené.e.s dans le cadre du projet d'ensemble.

Tous les publics ont été visés : élus, acteurs socio-économiques, grand public...

Des vidéos ont notamment été réalisées pour communiquer largement autour du projet :

- Vidéo du Ministère de la transition écologique pour valoriser le projet dans le cadre du Plan Eau Gouvernemental
- Vidéo de l'Agence de l'eau Adour-Garonne pour la commission milieux naturels

- Vidéos du SIAEBVELG sur la gestion des cours d'eau et des lagunes forestières.



S'inspirer du vivant pour restaurer des têtes de bassin versant - Syndicat Lacs Médocains

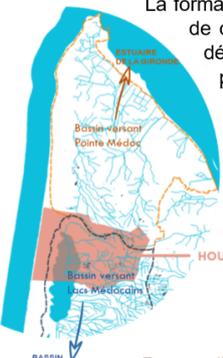


Les cours d'eau et crastes sur le bassin versant des lacs médocains

Vidéos développées

De nombreux supports écrits ont également été produits : articles dans la presse, les magazines municipaux, affiches,...

LES TÊTES DE BASSIN VERSANT, DES ZONES STRATÉGIQUES POUR PRÉSERVER LA RESSOURCE EN EAU



La formation du Médoc est intimement liée à l'eau qui est une composante majeure de ce territoire. On y retrouve plusieurs **bassins versants**. Le bassin versant désigne l'emprise géographique où toutes les eaux se rejoignent vers le point le plus bas. Bien qu'en Médoc, le relief soit plat avec de faibles pentes, l'eau a plusieurs exutoires possibles.

Hourtin est situé en **tête de bassin versant**, sur une **limite de partage des eaux** : la majeure partie s'écoule vers les lacs et le Bassin d'Arcachon et seuls quelques cours d'eau s'écoulent vers l'Estuaire de la Gironde !

A l'interface entre les zones agricoles, forestières et les lacs puis le Bassin d'Arcachon, les têtes de bassin versant sont des points stratégiques pour la gestion de la ressource en eau tant d'un point de vue de la qualité des eaux, de la prévention des inondations, de la biodiversité...

- Des modifications passées et des changements climatiques déjà à l'œuvre

Article dans le magazine municipal d'Hourtin



Espaces AGRICOLES

ENJEUX CLIMATIQUES
Raréfaction de la ressource en eau et déclin de la biodiversité

STRUCTURE PILOTE
SIAEBVELG Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Eaux du Bassin Versant des Etangs du Littoral Gironde



MÉDOC (33)

S'ADAPTER AUX DÉRÈGLEMENTS CLIMATIQUES EN NOUVELLE-AQUITAINE
Elles et ils l'ont fait !

RESTAURER LA FONCTIONNALITÉ DES ZONES HUMIDES AMONT DES LACS MÉDOCAINS

En Gironde, le bassin versant des lacs médocains couvre 100 000 ha sur 13 communes arrière-littorales et littorales. Sur cet espace singulier, vulnérable au changement climatique, les zones humides sont facteur de résilience. Face aux pressions humaines sur leurs fonctionnalités écologiques et aux risques de dégradation accrus par l'évolution climatique, le SIAEBVELG réalise, avec tous les acteurs locaux, de multiples actions de préservation, restauration et reconnexion de zones humides.

PROBLÈME initial
Succession de perturbations anthropiques et naturelles

Article d'Acclimaterra sur l'adaptation aux changements climatiques en Nouvelle Aquitaine

Enfin de nombreuses sorties de terrain ont été réalisées à destination de tous les publics : professionnels de l'eau, agriculteurs, sylviculteurs, services de l'Etat, élus, étudiants, grand public...



Commission Milieux naturels de l'Agence de l'eau Adour Garonne – mai 2024

6. Bilan général et perspectives

Les objectifs du projet visent à répondre aux questions suivantes :

- 1) Comment dès l'amont du bassin versant pourrait-on **optimiser l'écoulement des eaux** pour écrêter les crues, limiter les étiages et favoriser une recharge des nappes dans un contexte de changements climatiques ?
- 2) Comment **favoriser l'infiltration et l'épuration des eaux** entre les zones agro-sylvicoles, les lacs Médocains et le Bassin d'Arcachon sensibles à l'eutrophisation et où les activités touristiques, les milieux naturels dépendent de la qualité des eaux ?
- 3) Comment les fonctionnalités des **lagunes forestières peuvent être restaurées** en ce qui concerne notamment leurs rôles hydrologiques et de support d'une biodiversité remarquable ?
- 4) Comment partager et valoriser les retours d'expériences pour **répliquer des démarches innovantes** à large échelle et dans un contexte de changement climatique ?

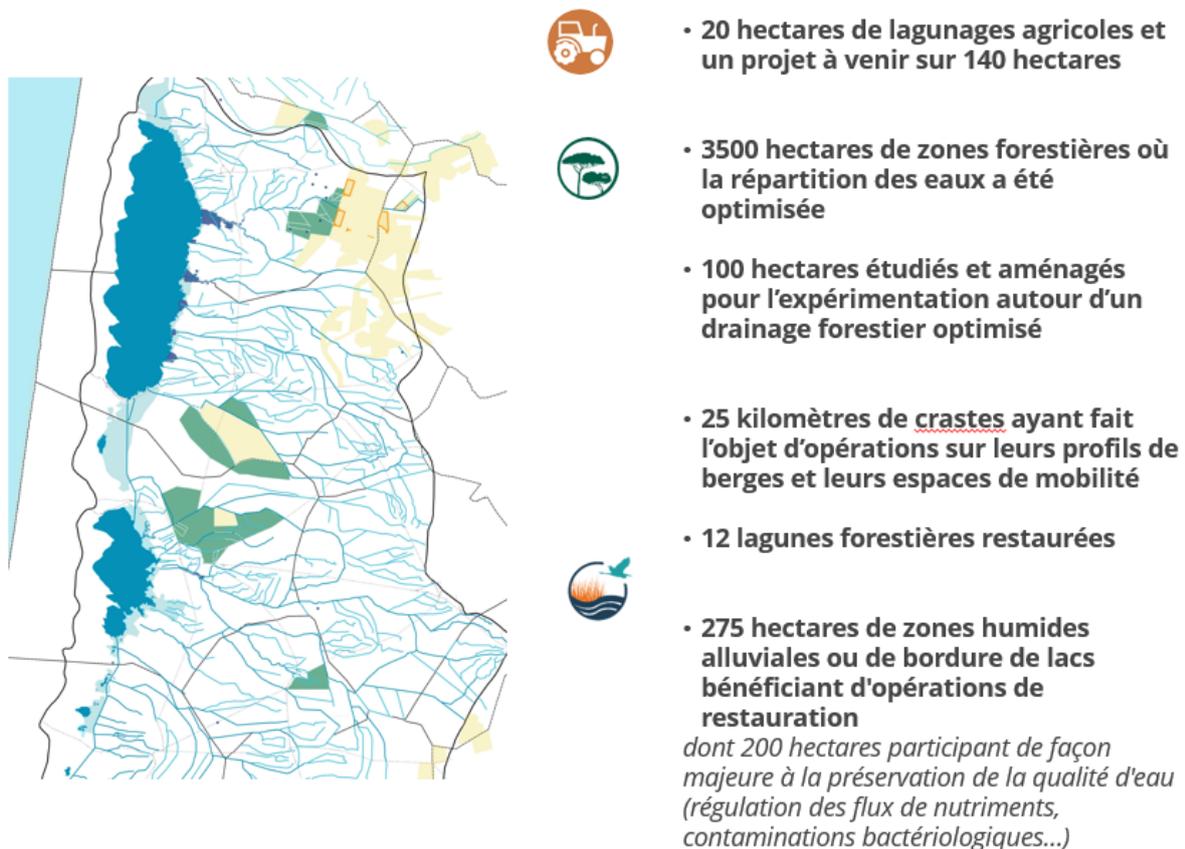
Les études, expérimentations et travaux menés ont permis d'apporter des éléments de réponse :

- de meilleures **connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes** sur les têtes de bassin versant : cultures, forêts, lagunes forestières...
- des **approches scientifiques innovantes** et appliquées pour répondre à des questions de gestion sur le territoire
- des **orientations de gestion et restauration** pour améliorer les fonctionnalités des milieux naturels en s'appuyant sur des **solutions fondées sur la nature**
- des **éléments partagés et à partager** à l'échelle du Massif des Landes de Gascogne et au-delà
- de **nouvelles questions** à approfondir

Bilan global synthétique du projet

Le projet portait un volet important sur des expérimentations et travaux à réaliser. Initialement centrés sur la commune d'Hourtin, ils ont pu être étendus au cours des 4 ans du projet.

Les méthodologies d'action ont été affinées et précisées grâce à des opérations expérimentales et petit à petit répliquées et déployées plus largement.



Toutes les actions sont complémentaires et viendront alimenter les démarches menées par le SIABVELG dans le cadre du Plan d'actions zones humides 2021-2030, de son plan pluri-annuel de gestion des cours d'eau et de ses partenaires et de la révision du SAGE des lacs médocains.

Le projet portait un volet important sur l'amélioration des connaissances.

Des données d'entrée, utiles à la gestion de l'eau pour de multiples sujets ont pu être collectées : données topographiques Lidar.

Le partenariat avec les universitaires de Bordeaux et la réalisation d'une thèse (Romane Darul) dans le cadre de ce projet ont permis de travailler sur la biogéochimie dans les lagunages et crastes, dans les lagunes forestières, l'hydrogéologie, permettant finalement une meilleure compréhension du fonctionnement des milieux et une meilleure orientation in fine des opérations à déployer pour les restaurer et/ou les préserver à long terme.

Les partenariats avec les structures GPF Médoc – Chambre d'agriculture de Gironde et GRCETA ont permis d'avoir un regard et des actions importantes en lien avec les acteurs socio-économiques du

secteur que sont les forestiers et les agriculteurs. Ces conventions partenariales ont été riches et indispensables pour le déroulé du projet.

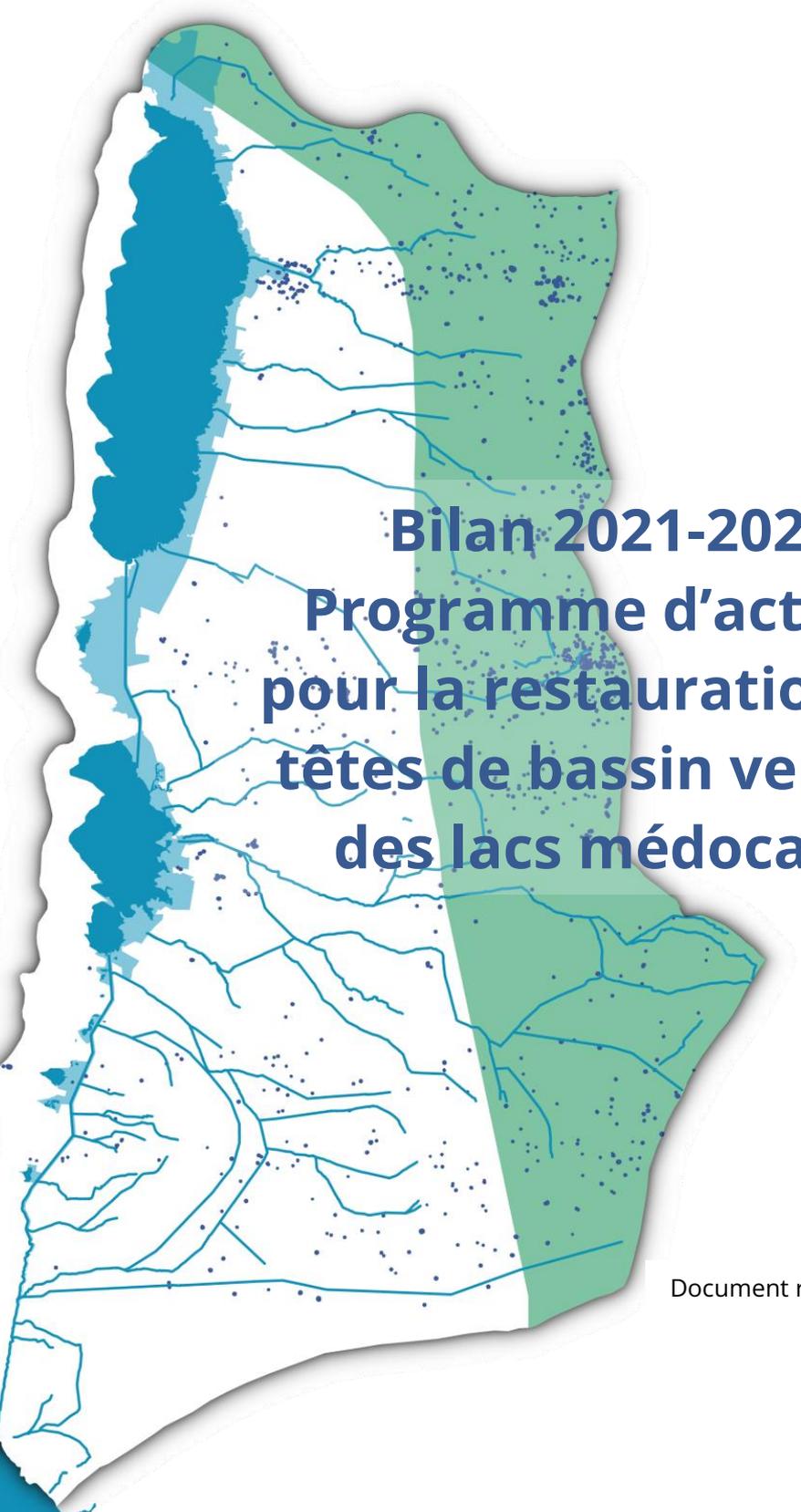
Au SIAEBVELG, le projet a été suivi et animé par Estelle Jardot, chargée de mission zones humides durant les 4 ans.

Perspectives

Toutes ces actions sont complémentaires et viendront alimenter les démarches menées par le SIAEBVELG dans le cadre du Plan d'actions zones humides 2021-2030, de son plan pluri-annuel de gestion des cours d'eau et de ses partenaires et de la révision du SAGE des lacs médocains.

Toutes les thématiques travaillées dans le cadre du projet de l'Entente pour l'eau n'ont marqué qu'un point de départ et d'un travail collectif qui nécessitera d'être poursuivi. Cela se fera notamment au travers de plusieurs programmes directement animés par le SIAEBVELG et ses partenaires : contrat territorial 2025-2030 autour du Bassin d'Arcachon, convention « Eau et forêt » avec l'ONF, programmes de recherche à développer...

- ⇒ Etant un enjeu fort dans le contexte de changements climatiques, la volonté du SIAEBVELG est de poursuivre ces réflexions sur les têtes de bassins versants et les élargir à d'autres secteurs de têtes de bassin versant des lacs médocains.



Bilan 2021-2024
Programme d'actions
pour la restauration des
têtes de bassin versant
des lacs médocains

Document rédigé par le SIAEBVELG (Estelle JARDOT)
- mai 2025