



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

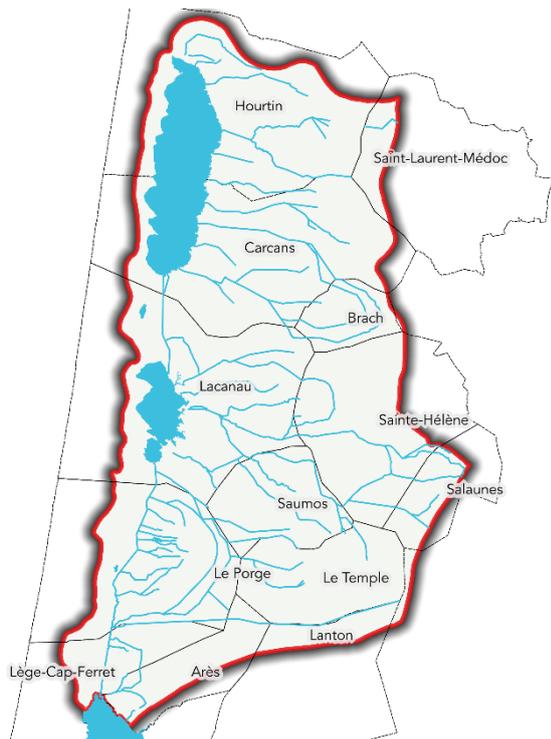
Appel à projet 2021-2024 de l'Entente pour l'Eau

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



<b>Contexte historique du territoire.....</b>	<b>4</b>
<b>Objectif de la démarche.....</b>	<b>5</b>
<b>Préambule : Notions et principes d'hydrogéologie.....</b>	<b>7</b>
1. Définitions .....	7
2. Les propriétés des roches et sols.....	8
La Porosité .....	8
La Perméabilité .....	10
3. Echanges et interaction avec les eaux superficielles.....	11
4. Le rôle des nappes dans l'écosystème.....	13
<b>I. Présentation du sous bassin versant de la Caillava.....</b>	<b>14</b>
1. Localisation .....	14
2. Contexte hydrogéologique .....	15
Alimentation du réseau hydrographique par la nappe Plioquaternaire.....	15
Amont : Des plaines agricoles vers le milieu forestier.....	15
Aval : Du milieu forestier vers le Marais de Lupian .....	16
Entre amont et aval : La Berle de la Caillava.....	17
3. Contexte hydromorphologique .....	18
Analyse du Contexte Hydromorphologique .....	18
Mise en œuvre de l'optimisation hydromorphologique de la Caillava.....	18
<b>II. Réseau de suivi et méthode de mesure.....</b>	<b>21</b>
Réseau de suivi .....	21
Principe de la mesure .....	22
Nivellement des ouvrages .....	23
Données de référence .....	24
Donnée météorologique .....	27
Relève des sondes : récupération des données .....	28
<b>III. Résultats.....</b>	<b>29</b>
1. Données.....	29
Données de nappe (piézomètres) .....	30
Données en lagunes forestières .....	34
Données en crastes et drains.....	37
2. Nappe Plioquaternaire à l'étiage et occupation des sols .....	40
3. Des dynamiques de drainage inégales en lien avec des contextes d'incision.....	41
Contexte d'incision .....	41
4. Caractéristiques du milieu poreux : porosité et perméabilité.....	45

Porosité.....	45
Perméabilité .....	46
5. Fonctionnement hydrologique des lagunes.....	49
Etat des lieux des lagunes objets de l'étude.....	49
Recharge des lagunes .....	50
Vidange des lagunes à l'étiage et capacité tampon.....	53
6. Quantification des effets des travaux de diffusion des eaux.....	55
Effet qualitatif des travaux de répartition des eaux autour du domaine de Coutin.....	55
Travaux d'atténuation des crues à Lacanau .....	56
Reconnexion des crastes Jolles et Jaugas .....	57
Effet reconnexion du marais.....	59
Mesures de débits au courantomètre .....	60
Utilisation d'une équation de mélange .....	60
7. Quantification de la demande évapotranspiratoire des pins.....	61
<b>Conclusions.....</b>	<b>63</b>
Une typologie de sol qui détermine la dynamique hydrologique .....	63
Effets de la géométrie du réseau de drainage.....	63
Conséquences sur la forêt .....	63
Débits vers l'aval .....	63
Zones humides.....	64
Lagunes forestières.....	64
Qualité d'eau .....	64
Biodiversité.....	64
<b>Points de contrôle et besoins identifiés pour les prochains suivis.....</b>	<b>65</b>
Choix des sondes de pression.....	65
Nivellement professionnel des ouvrages.....	65
Donnée à collecter.....	65
Quel réseau de suivi futur ?.....	66
<b>Sources bibliographiques.....</b>	<b>67</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>68</b>
Annexe 1 : Notice de nivellement selon le type d'ouvrage .....	68
Annexe 2 : Fiches par site du réseau de suivi .....	69
Annexe 3 : Caractéristiques des lagunes suivies (source : Thèse de Romane Darul) .....	81



## Le bassin versant des Lacs Médocains

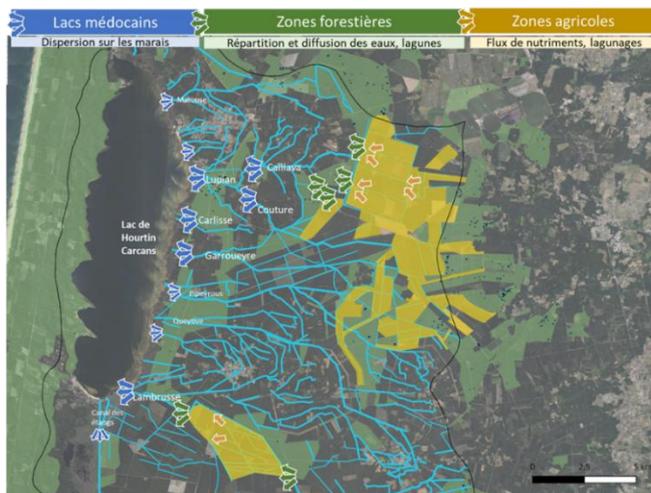
Le bassin versant d'alimentation des Lacs médocains est situé sur la façade atlantique, au cœur du Médoc, en région Nouvelle-Aquitaine, il couvre une superficie de 1 000 km<sup>2</sup>. L'eau est une composante majeure de ce territoire très plat avec des altitudes comprises entre 0 et 50 m au-dessus du niveau de la mer : en effet, le sol sableux regorge d'eau avec une nappe phréatique présente à faible profondeur et dont l'eau alimente un réseau dense de 1 400 km de cours d'eau et fossés, 11 000 ha de zones humides et les Lacs médocains. Le lac de Lacanau couvre une superficie de 20 km<sup>2</sup> et le lac de Carcans-Hourtin avec ses 62 km<sup>2</sup> tient la place de plus grand lac naturel d'eau douce de France. Ces lacs jouent un rôle fondamental dans la gestion des flux hydriques du bassin et constituent des réservoirs d'eau douce stratégiques pour les écosystèmes environnants et les activités humaines.

## Contexte historique du territoire

Jusqu'au XIXe siècle, le triangle Landais était une zone de vastes marais (zones humides) utilisés pour le pâturage. La sylviculture ayant remplacé le pastoralisme pour devenir la principale activité économique du territoire, des efforts de drainage importants ont été mis en œuvre. Le drainage a ainsi permis d'abaisser le niveau de la nappe phréatique et de rendre les terres plus propices à l'agriculture et à la sylviculture, notamment en facilitant l'ancrage des pins et en réduisant les risques de déracinement lors des tempêtes hivernales. Sur le bassin versant des lacs médocains (1000 km<sup>2</sup>), un réseau de 1000 km de fossés et tranchées avait été aménagé pour évacuer efficacement l'excès d'eau du territoire vers les lacs de Carcans-Hourtin et Lacanau dans un premier temps, puis vers l'exutoire, le bassin d'Arcachon dans un second temps. Si ces aménagements ont contribué à l'assainissement des sols et à la gestion des ressources en eau, ils ont aussi accentué l'incision des cours d'eau, exacerbant le phénomène de drainage et l'assèchement de la nappe phréatique, qui reste essentielle pour le maintien des écosystèmes et des activités agro-sylvicoles. Avec le changement climatique, les contrastes saisonniers seront accentués sur la côte ouest et la fréquence de ces événements extrêmes est susceptible d'augmenter, complexifiant encore davantage les efforts autour de la gestion de l'eau.

## Objectif de la démarche

Ce travail s'inscrit dans le programme d'action du Syndicat des Lacs médocains dans le cadre de l'appel à projets 2021-2024 de l'Entente pour l'eau sur la restauration des milieux humides de têtes de bassin versant.



**Lacs Médocains**  
SIAEBVELG - SAGE - NATURA 2000



L'objet de ce projet est d'initier une réflexion sur les possibilités de rétention d'eau dans la nappe phréatique forestière par la limitation du drainage pour trouver un équilibre dans la gestion entre excès et déficit d'eau. Il est question de restaurer des écoulements doux et superficiels en forêt en retravaillant les systèmes de drainage et les crastes actuels. En effet, en s'approfondissant ces derniers ont drainé davantage le territoire et favorisé des inondations brutales. Au-delà de l'optimisation du débit de l'eau et de la réduction des risques d'inondation, ces aménagements visent à reconnecter les zones humides attenantes, favorisant ainsi la dénitrification, le stockage du carbone et du phosphore. **Cette approche contribue à l'amélioration de la qualité de l'eau, à la restauration des continuités écologiques et au renforcement de la fonctionnalité globale des écosystèmes.**

La compréhension du fonctionnement hydrologique du bassin-versant repose largement sur une connaissance intuitive et empirique, acquise par l'expérience. **Le développement d'un réseau de suivi vise à objectiver cette compréhension à l'aide de données concrètes et tangibles**, afin de mieux cerner les dynamiques hydrologiques et d'ajuster les pratiques en conséquence, dans une perspective d'adaptation aux défis climatiques.

La mise en place d'un réseau de suivi piézométrique en nappe et limnimétrique en crastes vise à :

- La caractérisation du **fonctionnement hydrologique du Bassin-Versant** et des interactions au sein du **système hydrologique : lagune-nappe-drain** ;
- L'obtention de données objectives concernant la problématique d'**incision des crastes** : rabattement de la nappe, influence sur la productivité forestière ;
- **L'évaluation de l'effet des travaux** de restauration d'écoulements doux et superficiels ;
- L'obtention de données préliminaires pour **reméandrage de crastes incisées** : caractérisation des conditions initiales (Granulométrie fine mobilisable dès de faibles débits, crastes canalisées sans mobilité latérale, incision en profondeur), pistes d'améliorations (gain de mobilité latérale pour dissiper l'énergie) et évaluation de l'effet de réhausse d'un reméandrage.

D'autres aspects, en lien avec le réseau de drainage du bassin-versant, ont été étudiés durant les trois années de l'AAP. Ces thématiques sont détaillées dans un second rapport spécifique :

- Modélisation et préconisations de **gestion du réseau de drainage dans un contexte climatique évolutif** : gestion combinée des risques d'inondations et de sécheresse. Influence de la **géométrie du réseau de drainage** (densité, profondeur, profil des berges) ;
- Lien entre la gestion du réseau de drainage et la **productivité forestière**.

*Ce rapport a vocation à évoluer et être complété avec les prochaines années de suivis.*

## Préambule : Notions et principes d'hydrogéologie

L'hydrogéologie est la branche de la géologie qui étudie les eaux souterraines, leur répartition, leur mouvement, leur qualité et leur interaction avec les autres compartiments du système terrestre (sols, roches, atmosphère, etc.). Elle s'intéresse aux aquifères, aux nappes phréatiques et à l'ensemble des processus hydrologiques sous la surface terrestre.

### 1. Définitions

**Aquifère** : Un aquifère est une formation géologique perméable qui contient et transmet de l'eau souterraine en quantité exploitable. Il peut être constitué de roches poreuses ou fissurées, telles que le sable, le gravier, le calcaire ou le grès, et est alimenté par infiltration des eaux de surface. On distingue principalement deux types d'aquifères : les aquifères libres et les aquifères captifs.

**Nappe phréatique** : Le terme de nappe phréatique désigne l'eau contenue dans un aquifère. Elle correspond à la zone où tous les pores du sol ou des roches sont saturés en eau. La profondeur de cette nappe varie en fonction des conditions climatiques (pluviométrie, sécheresse) et des prélèvements d'eau (forages, puits). Une nappe phréatique peut être soit libre, soit captive.

**Nappe libre et aquifère libre** : Une nappe libre est une nappe phréatique contenue dans un aquifère libre. Un aquifère libre est un aquifère dont la partie supérieure est directement en contact avec l'air à travers un sol perméable. L'eau qu'il contient forme une nappe libre, qui n'est soumise qu'à la pression atmosphérique et dont le niveau peut fluctuer librement selon plusieurs facteurs (précipitations, évaporation, transpiration du couvert végétal, prélèvements).

Ce type de nappe est généralement présent dans des zones où le sol est peu imperméable, comme les plaines alluviales ou les régions sableuses. On peut en mesurer le niveau à l'aide de piézomètres ou de puits d'observation.

**Nappe captive et aquifère captif** : Une nappe captive est une nappe phréatique contenue dans un aquifère captif. Un aquifère captif est un aquifère enfermé entre deux couches imperméables, comme des formations d'argile ou de schiste. L'eau qu'il contient forme une nappe captive, qui est **sous pression** et ne communique pas directement avec la surface. Lorsqu'un forage atteint cette nappe, l'eau peut jaillir naturellement sous l'effet de la pression, formant ainsi une source artésienne.

Les nappes captives présentent une plus grande stabilité de leur niveau d'eau, car elles sont protégées des variations climatiques de surface. Leur alimentation est assurée par des zones de recharge parfois situées à plusieurs kilomètres mais elles présentent également une vulnérabilité accrue en cas de surexploitation, car leur renouvellement peut être très lent.

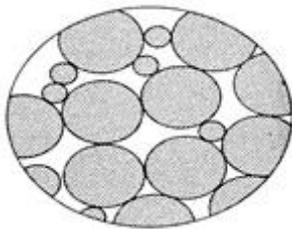
Les nappes captives se trouvent souvent dans des formations géologiques composées de couches perméables (grès, calcaires fissurés) encadrées par des couches imperméables (argiles, marnes). Elles constituent d'importantes réserves d'eau souterraine, dont l'exploitation doit être régulée pour éviter leur épuisement ou des phénomènes indésirables comme la remontée d'eau salée dans les régions côtières.

## 2. Les propriétés des roches et sols

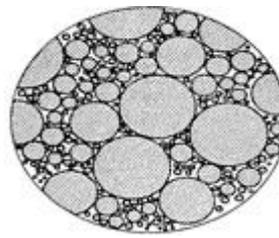
### La Porosité

**Porosité totale** : Propriété d'un corps ou d'un milieu à comporter des vides (interconnectés ou non). La porosité totale représente l'ensemble des vides présents dans une roche (pores). Elle s'exprime par le rapport du volume des vides au volume total du milieu. Elle caractérise la capacité totale d'une roche ou d'un sol à contenir de l'eau, par exemple, avec une porosité de 30%, le sable peut contenir beaucoup d'eau dans ses espaces entre les grains.

La porosité ne dépend pas de la taille des grains mais diminue avec **l'hétérogénéité des grains** et leur **arrangement**.



Grains **homogènes** (bien triés)  
Porosité = 30 %



Grains **Hétérogènes** (mal triés)  
Porosité = 15 %



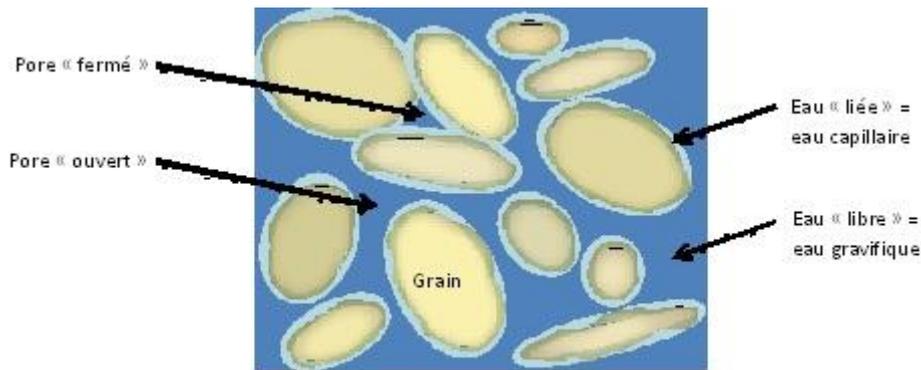
Grains mal rangés  
Structure **poreuse**, nombreux vides



Grains bien rangés  
Structure **peu poreuse**, diminution des vides

**La porosité efficace** : C'est la partie de la porosité totale qui permet réellement le passage de l'eau. Elle exclut les pores qui ne sont pas connectés entre eux, ainsi que les pores qui contiennent de l'eau non accessible (par exemple, l'eau piégée dans des pores trop petits pour permettre un écoulement). Dans un milieu poreux, l'eau peut se déplacer uniquement dans les vides interconnectés. De plus, les grains retiennent l'eau par capillarité et l'empêchent de circuler librement.

La porosité efficace représente le volume d'eau mobilisable par gravité, soit « l'eau libre » (non liée aux grains de la roche par capillarité) et circulant dans les pores « ouverts ».

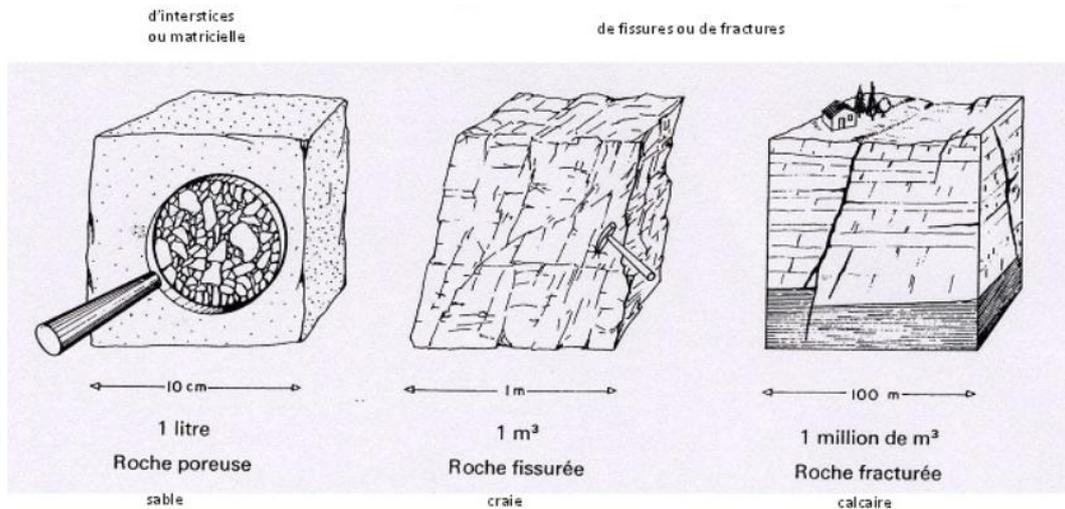


### Notion de porosité efficace (BRGM)

La porosité efficace diminue avec la taille des grains, par exemple les sables présentent plus de porosité « fermée » que les graviers. Elle peut être déterminée en laboratoire ou sur le terrain, par égouttage.

*Exemple :* Dans un sol sableux, la porosité totale est relativement élevée, mais presque toute cette porosité est efficace pour l'écoulement de l'eau, car les pores sont bien connectés. L'argile a également une porosité totale élevée, mais une grande partie de cette porosité est inefficace pour le passage de l'eau, car les pores sont minuscules et souvent non connectés, piégeant l'eau sans permettre son mouvement.

Il existe différents types de porosité selon les types de sols et roches. Dans les sables, il s'agit d'une porosité « interstitielle ».



### Typologie des porosités (BRGM)

Quelques ordres de grandeurs des valeurs de porosités totale et efficace

	Porosité totale	Porosité efficace
Sables	20 à 40 %	10 à 25 %
Craie	10 à 40 %	1 à 5 %
Calcaires massifs fissurés	1 à 10 %	1 à 5 %
Argiles	40 à 50 %	1 à 2 %

## La Perméabilité

L'eau souterraine ne suit pas un trajet direct dans une nappe, mais emprunte plutôt des chemins variés pour passer d'un point A à un point B. Par conséquent, la distance parcourue par l'eau est plus longue que la simple distance en ligne droite entre ces deux points. Cette distance réelle est difficile à mesurer et dépend de la porosité efficace du matériau traversé. Ainsi, il serait inexact de calculer la vitesse d'écoulement des eaux souterraines de la même manière que celle d'un train, c'est-à-dire en divisant la distance directe par le temps qu'elles mettent à la parcourir.

C'est pourquoi, la notion de perméabilité permet d'appréhender la vitesse réelle des eaux souterraines, en prenant en compte la porosité efficace de la roche traversée. La perméabilité traduit **l'aptitude de la roche à se laisser traverser par l'eau, sous l'effet d'une pression (ou gradient hydraulique). Plus la perméabilité est élevée, plus l'eau s'écoulera vite.**

Les vitesses d'écoulement de l'eau souterraine dépendent de l'architecture du sous-sol, notamment du réseau de fissures et de pores, ainsi que de la nature du matériau. Ces facteurs influencent directement le temps nécessaire pour l'écoulement de l'eau. Ainsi, dans un milieu karstique, l'eau peut parcourir 1 km en 1 à 30 heures, tandis qu'en milieu fissuré, ce temps peut s'étendre à 3 à 6 mois, et dans un milieu poreux, il faut compter environ 1 an pour parcourir la même distance.

### Quelques ordres de grandeurs de coefficients de perméabilité

–	Coefficient de perméabilité
<b>Graviers</b>	$10^{-2}$ m/s
<b>Sables</b>	$10^{-2}$ à $10^{-5}$ m/s
<b>Craie</b>	$10^{-3}$ à $10^{-5}$ m/s
<b>Argiles</b>	$10^{-9}$ à $10^{-13}$ m/s

Les sables fins offrent une résistance modérée à l'écoulement de l'eau, ce qui permet un transfert d'eau assez rapide, mais pas aussi fluide que dans des matériaux plus grossiers comme le gravier.

#### En bref :

Porosité totale : Combien d'espace est disponible dans le matériau ?

Porosité efficace : Combien d'espace est disponible pour le mouvement de l'eau ?

Perméabilité : À quelle vitesse l'eau peut-elle réellement se déplacer à travers ce matériau ?

*Sur le bassin versant des Lacs Médocains, la porosité totale est de l'ordre de 30 %, tandis que la perméabilité est estimée autour de  $10^{-5}$  m/s.*

### 3. Echanges et interaction avec les eaux superficielles

Les eaux souterraines interagissent constamment avec les eaux superficielles (cours d'eau, lacs). Elles peuvent alimenter les rivières par des remontées ou, au contraire, être alimentées par les cours d'eau en période de sécheresse.

Les échanges entre les eaux souterraines et superficielles (drain, craste, cours d'eau, lagunes, lacs) dans une nappe libre sont principalement régis par deux éléments :

- La transmissivité de l'aquifère, qui détermine la facilité de l'écoulement de l'eau souterraine. Cela dépend de la **perméabilité** du sol et de son **épaisseur**. Si l'aquifère a une transmissivité élevée, l'eau pourra circuler facilement et rejoindre les drains, comme les rivières ou les lacs.
- Le gradient hydraulique, qui résulte de la différence de niveau de la nappe entre deux points dans l'aquifère (gravité). Cette différence crée une force qui pousse l'eau à se déplacer de la zone de plus haut niveau vers celle de plus bas niveau, facilitant ainsi l'écoulement de l'eau souterraine vers les drains ou l'infiltration des eaux superficielles dans la nappe.

Ainsi, lorsque la nappe est plus haute que le niveau du cours d'eau, l'eau s'écoule depuis la nappe vers le cours d'eau : **la nappe alimente le cours d'eau**. Ainsi, en périodes de hautes eaux ou lors de fortes pluviométries, la nappe a tendance à alimenter le réseau hydrologique superficiel. On peut également dire que **les crastes drainent la nappe**.

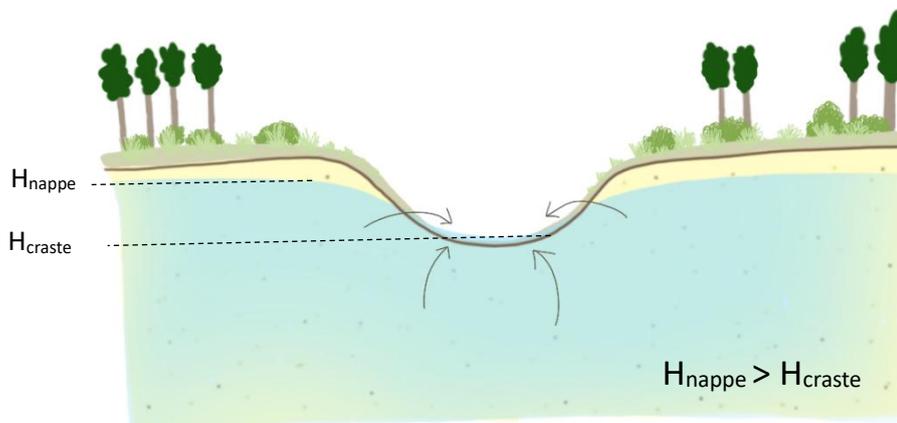


Figure 1 : Interaction nappe – rivière : lorsque la nappe alimente la rivière

Lorsque le niveau de nappe est plus bas que celui du cours d'eau, l'eau du cours d'eau peut infiltrer dans la nappe, elle s'écoule depuis le cours d'eau vers la nappe, **le cours d'eau alimente la nappe** (Schéma 2). En période d'étiage, en basses eaux, les eaux superficielles tendent à s'infiltrer et alimenter la nappe.

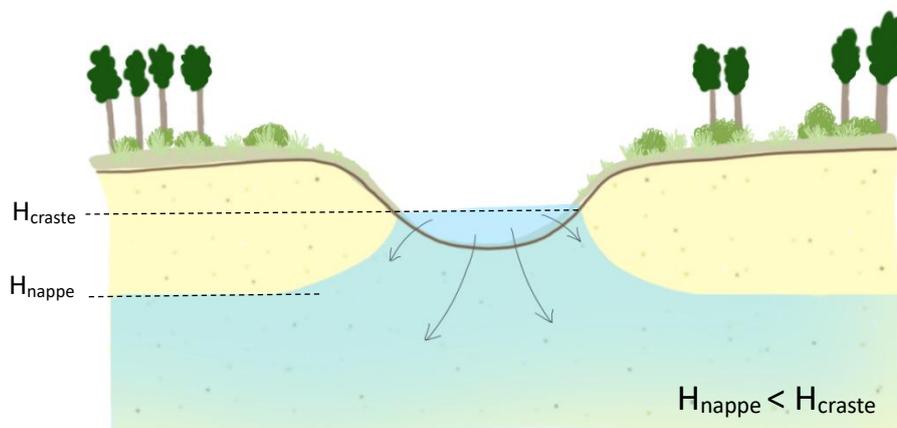
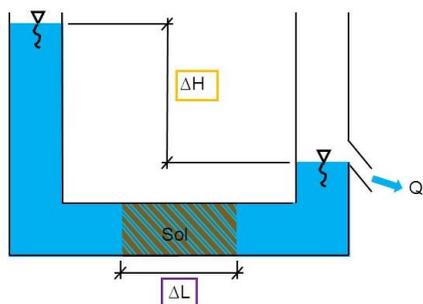


Figure 2 : Interaction nappe – rivière : lorsque la nappe draine la rivière

La relation entre ces facteurs est décrite par une formule bien connue, qui permet de quantifier ce mouvement de l'eau dans les aquifères. Tout est dans la **loi de Darcy**, qui décrit comment l'eau s'écoule à travers un sol ou une roche. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$Q = -K \times A \times \frac{\Delta H}{\Delta L}$$



- $Q$  : Débit, quantité d'eau qui s'écoule par unité de temps ( $m^3/s$ ).
- $K$  : Perméabilité du sol ( $m/s$ ).
- $A$  : Section à travers laquelle l'eau s'écoule ( $m^2$ ).
- $\frac{\Delta H}{\Delta L}$  : Gradient hydraulique constitué de  $\Delta H$  la différence de niveau d'eau entre deux points (m) et  $\Delta L$  la distance entre ces deux points (m).

La formule montre que l'eau s'écoule plus rapidement si le sol est plus perméable ( $K$  élevé), si la différence de niveau est plus grande ( $\Delta H$ ), ou si la distance d'écoulement est plus courte ( $\Delta L$ ). En résumé, la loi de Darcy permet de prédire le débit de l'eau en fonction de la facilité du sol à laisser passer l'eau (perméabilité) et de la différence de niveau entre les points d'écoulement.

Pour rappel, lorsque l'on parle d'une nappe libre, il n'y a pas de pression confinée comme dans le cas d'une nappe captive. L'eau est sous l'effet de la pression atmosphérique uniquement et n'est pas confinée entre des couches imperméables. Par conséquent, la pression n'est pas un facteur majeur à prendre en compte pour les échanges entre la nappe et les drains.

#### **4. Le rôle des nappes dans l'écosystème**

Les nappes phréatiques et les aquifères jouent un rôle essentiel dans la régulation de l'approvisionnement en eau des écosystèmes, en particulier dans les zones humides, les marais et les ripisylves. En soutenant ces milieux, elles contribuent directement à la préservation de la biodiversité. Assurer une gestion durable de cette ressource passe par une surveillance régulière de son niveau et de sa qualité.

La nappe du secteur présente une signature géochimique forestière, mais sa qualité doit être suivie attentivement en raison de la présence de plaines agricoles en tête de bassin versant, susceptibles d'y apporter des nitrates, du phosphore ou des résidus phytosanitaires.

De plus, dans cette zone où la nappe est réactive, des remontées de nappe peuvent survenir lors de fortes précipitations ou de périodes de recharge intense. Ces phénomènes peuvent entraîner des problèmes d'assainissement, des inondations locales et une interaction accrue avec les milieux aquatiques superficiels. L'infiltration des polluants, bien que lente, peut avoir des effets durables dans l'aquifère, rendant leur gestion complexe et nécessitant une vigilance constante.

# I. Présentation du sous bassin versant de la Caillava

## 1. Localisation

Le réseau de suivi est implanté au sein du sous bassin-versant de la Caillava sur la commune d'Hourtin. La **Berle de la Caillava** (devenant ensuite Berle de Lupian) est le cours d'eau principal qui draine le secteur agricole sur le bassin versant du lac d'Hourtin-Carcans. Elle traverse ensuite des zones forestières et son exutoire se situe dans le lac d'Hourtin-Carcans au niveau du marais de Lupian.

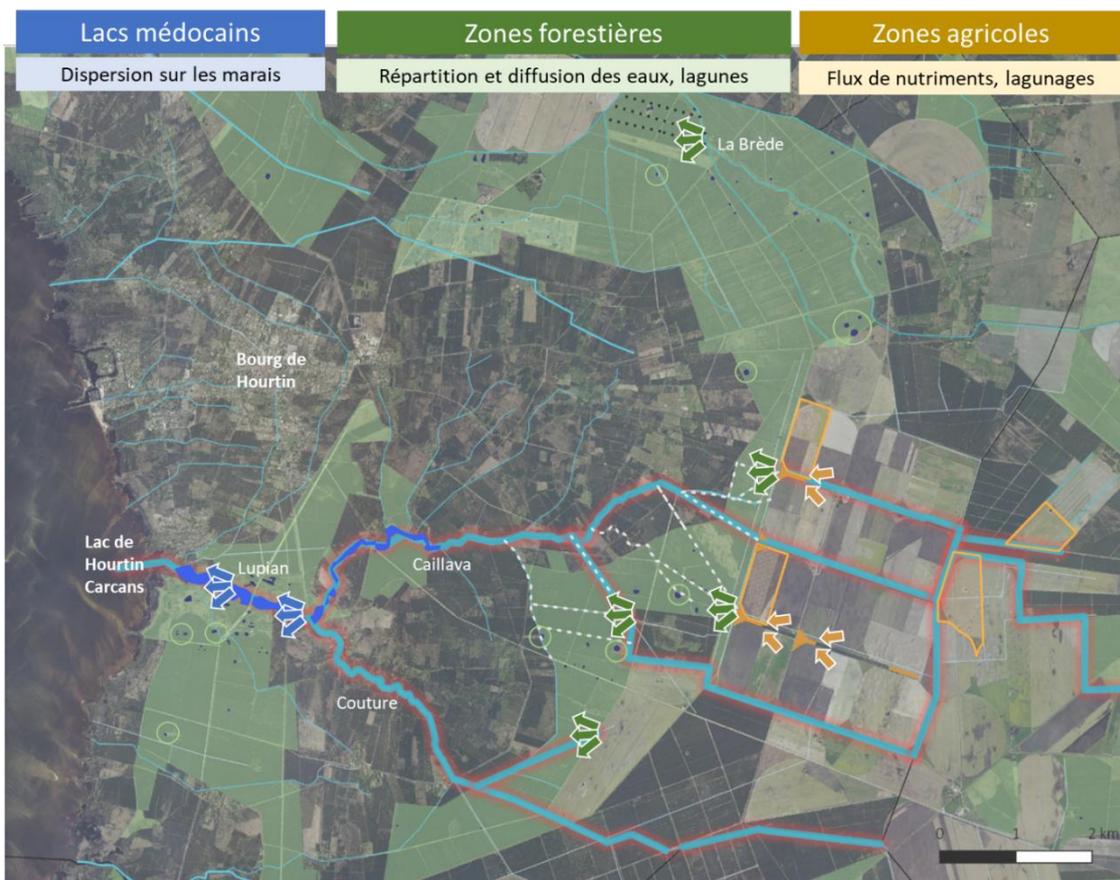


Figure 3 : Sous Bassin versant de la Caillava

## 2. Contexte hydrogéologique

Le sous-bassin versant de la Caillava se caractérise par une **topographie à faible pente**, orientée d'est en ouest. Son relief modéré influence directement la circulation des eaux de surface et souterraines.

### Alimentation du réseau hydrographique par la nappe Plioquaternaire

La structure hydrogéologique du secteur est dominée par la **nappe Plioquaternaire**, qui est une **nappe libre**, peu profonde et directement influencée par les conditions météorologiques. Son niveau piézométrique fluctue au cours de l'année, oscillant entre -1,5 m sous la surface lors des périodes d'étiage et un affleurement saisonnier en hiver, notamment dans les zones de dépression. Cette dynamique explique les variations de l'humidité des sols et conditionne l'occupation du territoire, avec une répartition des landes mésophiles, humides et sèches (cf. schéma de Jolivet ci-dessous).

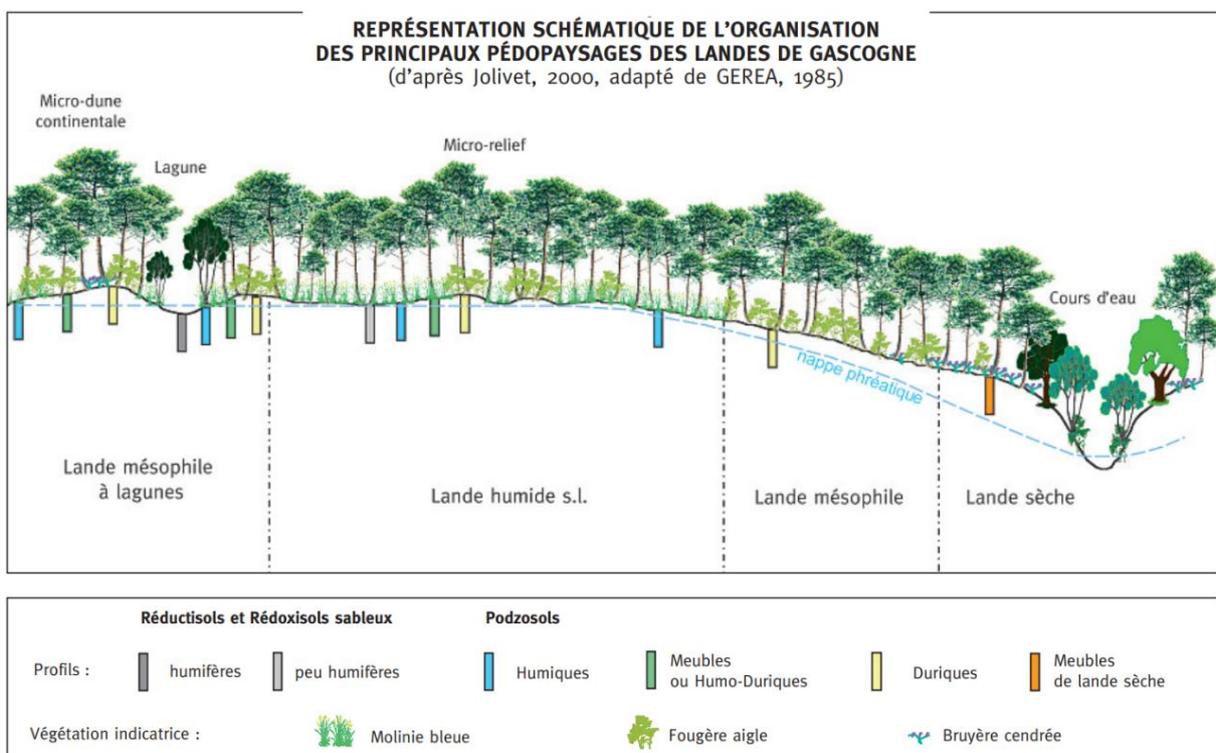


Figure 4 : Représentation schématique de l'organisation des principaux pédopaysages des Landes de Gascogne (Jolivet, 2000, adapté de GERE, 1985)

En termes de piézométrie, la nappe Plioquaternaire présente une alimentation majoritairement pluviale, avec une forte interaction avec les cours d'eau et fossés du secteur. Son gradient hydraulique est faible en raison de la topographie plane et de la nature perméable des formations géologiques. Dans certaines zones, notamment en bordure des fossés principaux, un phénomène de drainage accentué peut être observé, entraînant une baisse locale du niveau de la nappe en période sèche.

### Amont : Des plaines agricoles vers le milieu forestier

En amont, les plaines agricoles reposent sur un substrat de formations sablo-argileuses, avec une altitude moyenne de 24 m NGF. Le réseau hydrographique y est initialement structuré par des drains

enterrés qui débouchent dans de grands fossés parcelaires agricoles. Ces derniers alimentent progressivement les drains forestiers, notamment ceux de Luc Bernos, Jaugas et Jolles, marquant ainsi la transition entre le milieu agricole et le milieu sylvicole. Un peu plus en aval, ces écoulements convergent vers un unique collecteur : la Caillava, principal exutoire du bassin versant, qui draine une grande partie des 34 km<sup>2</sup> du territoire.

La présence d'un unique grand collecteur en sortie de la zone agricole accentue la vulnérabilité du bassin vis-à-vis des transferts de nitrates et autres éléments nutritifs. Renforcer le maillage de fossés permettrait d'améliorer la rétention et l'épuration des eaux de ruissellement avant leur arrivée en aval.



*Figure 5 : Amont : des plaines agricoles vers le milieu forestier*

#### **Aval : Du milieu forestier vers le Marais de Lupian**

L'aval du bassin est marqué par le marais de Lupian, qui joue le rôle d'exutoire vers le lac de Carcans-Hourtin. Situé à une altitude moyenne de 16 m NGF, ce secteur est caractérisé par une hydromorphie marquée et des sols tourbeux à forte capacité de rétention.



*Figure 6 : Aval : du milieu forestier vers l'exutoire, le marais de Lupian*

## Entre amont et aval : La Berle de la Caillava

La Berle de Caillava est un cours d'eau naturel, qui a été rectifié et recalibré par le passé. Ce cours d'eau classé s'écoule sur du **sable meuble** et connaît une **incision marquée**. Les anciens méandres et annexes hydrauliques de ce cours d'eau en sont aujourd'hui déconnectés par la présence d'un **bourrelet de curage** important qui empêche les échanges latéraux avec les zones humides attenantes.

Cette déconnexion impacte directement la qualité d'eau en limitant les capacités d'épuration naturelle du milieu et en réduisant la rétention des éléments nutritifs issus des activités agricoles. Par ailleurs, l'incision du cours d'eau engendre une baisse du niveau de la nappe phréatique, avec des conséquences notables sur les parcelles forestières adjacentes. L'assèchement progressif du sol fragilise ces écosystèmes, altère la végétation et impacte la biodiversité locale.

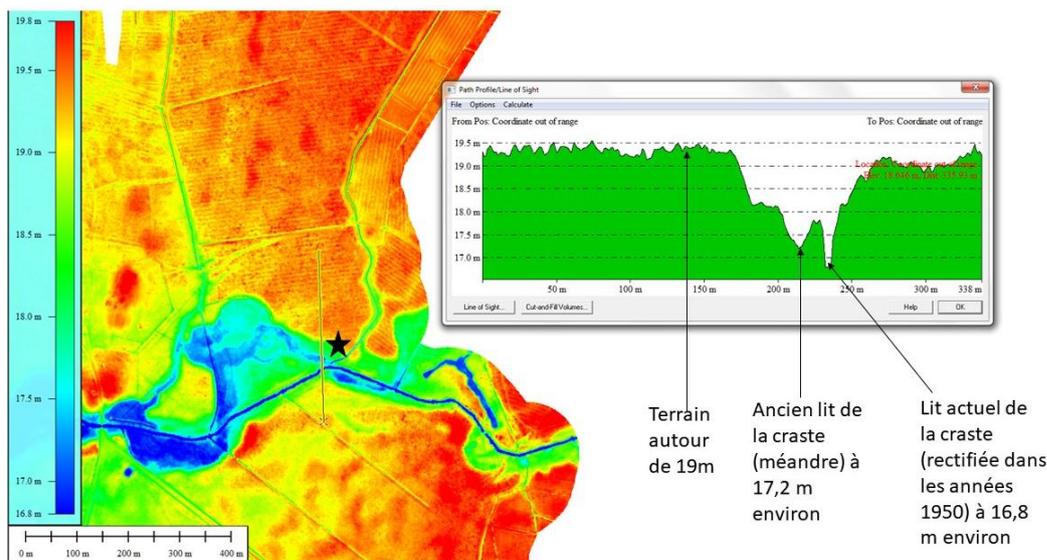


Figure 7: Données topographiques issues du Lidar sur la Caillava (amont du pont Napoléon)

Les données LiDAR montrent clairement l'incision du lit et la déconnexion des annexes hydrauliques. L'utilisation de cette cartographie LiDAR permet d'affiner le diagnostic du fonctionnement hydrologique du secteur et d'identifier les zones où des actions de reconnexion peuvent être mises en place pour restaurer les dynamiques naturelles et améliorer la résilience des milieux aquatiques et forestiers.

Dans le cadre de l'appel à projet, et en lien avec ce contexte spécifique, plusieurs expérimentations ont été menées sur ce sous-bassin versant afin de restaurer les fonctionnalités naturelles du milieu. Elles visent à :

- **Atténuer l'incision pour limiter le drainage excessif de la nappe et son assèchement à l'étiage** et ainsi soutenir les écosystèmes attenants ;
- **Augmenter le temps de résidence de l'eau** sur le linéaire du cours d'eau afin **d'améliorer la qualité de l'eau** et d'optimiser les fonctions d'épuration naturelle ;
- **Reconnecter les annexes hydrauliques latérales** afin de restaurer les échanges hydrologiques, et ainsi rétablir les fonctionnalités des zones humides adjacentes (habitat, régulation des crues, soutien à l'étiage, régulation des nutriments...).

### **3. Contexte hydromorphologique**

Un accompagnement technique a été sollicité auprès du bureau d'étude NCA Environnement en 2023 afin d'évaluer les moyens adaptés pour rehausser la ligne d'eau sur la Berle de la Caillava. L'incision marquée de la Caillava implique des crues et assecs brutaux et marqués sur les secteurs qu'elle draine. La problématique d'incision la plus marquée concerne la partie amont et médiane de la Caillava.

Les opérations envisagées visent la réhausse de la ligne d'eau sur la portion aval du cours d'eau, la diversification des écoulements au sein du lit (sinuosité) et la reconnexion avec les annexes hydrauliques. Il s'agit notamment de mettre en œuvre des aménagements sur des contextes sableux ; complexes du fait de la remobilisation par les crues.

#### **Analyse du Contexte Hydromorphologique**

L'analyse met en évidence un **substrat sableux très fin**, soumis à de fortes contraintes d'arrachement en raison de débits élevés. Avant que le cours d'eau puisse déborder, les vitesses d'écoulement atteignent des valeurs importantes, favorisant l'érosion et la mobilisation des sédiments. **Plus de 80 % du sable est constitué de grains d'environ 0,3 mm, mobilisables pour des vitesses de quelques cm/s, ce qui traduit une dynamique sédimentaire sensible.**

La pente globale du tronçon est faible, mais la présence de ponts crée des points durs qui bloquent la continuité longitudinale et peuvent accentuer l'incision du lit. Cette incision, si elle est active, pourrait aggraver la perte de charge sédimentaire et fragiliser davantage le fond du lit.

L'objectif est de concilier les usages locaux et la restauration écologique du cours d'eau, en prenant en compte la fonction des drains et les accès existants. La mise en œuvre de solutions doit être durable et éviter des interventions lourdes tout en garantissant une recharge sédimentaire suffisante pour limiter les risques d'affouillement.

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. Ces actions visent à restaurer une dynamique naturelle tout en assurant un équilibre entre préservation des usages et amélioration du fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau.

#### **Mise en œuvre de l'optimisation hydromorphologique de la Caillava**

Les travaux réalisés sur la partie aval du cours d'eau 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 DFCl, dans la partie médiane de la Caillava. Aucune opération n'a pour le moment été lancée sur ce secteur du fait de la complexité technique.

Les travaux menés sur le tronçon le plus aval 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. 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. La végétalisation des aménagements se fera naturellement au fil du temps.

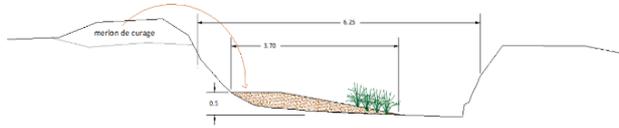


Figure 8 : Schéma de principe et réalisation de banquettes au sein du cours d'eau, s'appuyant sur les atterrissements existants du cours d'eau



Figure 9 : 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).



Figure 10: Vue sur l'amont de La Berle de la Caillava



*Figure 11 : 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



*Figure 12: Vue sur la Berle de Lupian après opérations de reconnections latérales*

## II. Réseau de suivi et méthode de mesure

### Réseau de suivi

Début 2022, le sous-bassin versant de la Caillava situé sur la commune d'Hourtin a été équipé d'un ensemble de 49 sondes de pression de la marque HOB0 et DIVER réparties stratégiquement afin de mieux comprendre les dynamiques hydrologiques locales. D'amont en aval, ces sondes permettent de suivre la nappe depuis les plaines agricoles de têtes de bassin-versant jusqu'aux marais bordant le lac, en passant par les fossés de limite agricole, les drains forestiers, les lagunes forestières ainsi que la Berle de la Caillava. Ce sont ainsi 10 secteurs qui ont été instrumentés : Landes de Sescousse, lagune de Capet Haout, lagune de Cindraout, Domaine agricole Saint Jean, lagune d'Argue, landes du Jolles, une parcelle forestière attenante à la craste Moure, la Craste Matouse, amont et aval de la Berle de la Caillava ainsi qu'une parcelle forestière attenante. Les différents sites instrumentés mettent en évidence la diversité des contextes hydrologiques rencontrés, notamment les zones forestières, l'influence des plaines agricoles et l'impact des grandes crastes incisées. Un descriptif plus détaillé des sites est joint en annexe.

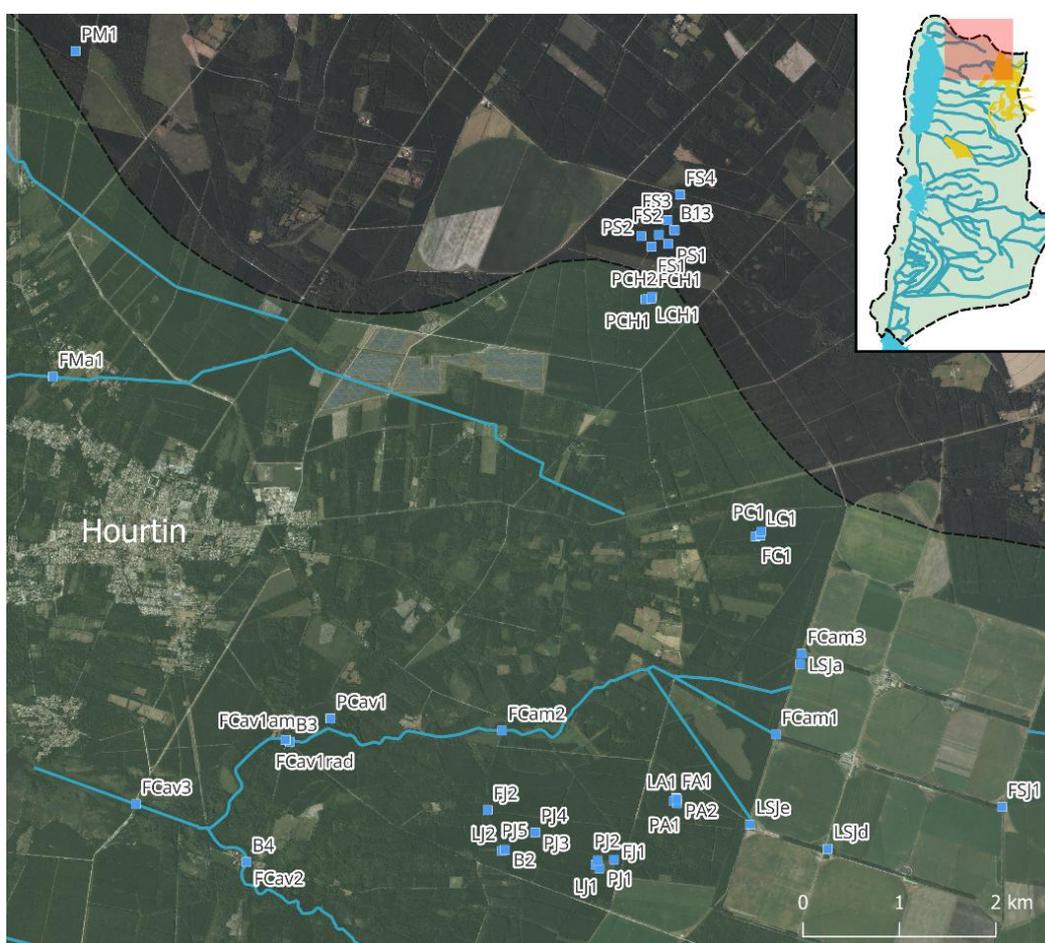


Figure 13 : Plan de localisation du réseau de suivi du sous bassin-versant de la Caillava

Différents types d'ouvrages ont été installés pour suivre les niveaux d'eau dans les lagunes forestières, les crastes et les drains ainsi que dans la nappe Plioquaternaire. Les tubes installés dans les crastes et fossés permettent de suivre les écoulements de surface, une composante essentielle pour comprendre la réponse du bassin versant aux épisodes de précipitation et notamment évaluer la dynamique de drainage en période de hautes eaux. Les piézomètres en nappe complètent cette observation en

permettant l'étude des variations de la nappe phréatique, fournissant ainsi des données sur la recharge souterraine et les fluctuations saisonnières.



Figure 14 : Types d'ouvrages mis en place

Les piézomètres ont été forés par la société ENVOLIS, avec l'appui constant d'un membre du SIAEBVELG. La technique utilisée, le forage par battage à la cloche manuelle, est une méthode exigeante, à la fois chronophage et physiquement intensive.

Les tubes et piézomètres sont équipés de sondes de pressions suspendues à des ficelles de sorte à garantir une période d'immersion maximale tout au long de l'année. La longueur des ficelles varie selon les ouvrages, en fonction de contraintes de profondeur d'eau propres à chacun. La méthode de nivellement employée (Annexe 1) permet de s'affranchir de cette longueur de ficelle pour déterminer avec précision l'altitude de la sonde (Zs).

L'installation de ces 49 points de mesure, ainsi que leur instrumentation (programmation des sondes, mise en place et lancement), a nécessité 30 journées de travail complètes.

### Principe de la mesure

Ces sondes de pression sont constituées d'un capteur qui mesure, à un pas de temps réglé toutes les 2 heures, la pression exercée par la colonne d'eau au-dessus d'elles. Cette pression dépend de la profondeur de la sonde dans l'eau. La relation entre la pression (P, en pascals), la densité de l'eau ( $\rho$ , en  $\text{kg/m}^3$ ), la gravité ( $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ) et la hauteur de la colonne d'eau (h, en mètres) est donnée par la formule de la pression hydrostatique :

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

La pression mesurée est ensuite convertie en niveau d'eau (h, en mètres) en utilisant la relation inverse de la pression hydrostatique.

$$h = \frac{P}{\rho \cdot g}$$

$$\text{Avec } P = P_{\text{mesurée}} = P_{\text{atmosphérique}} + P_{\text{hydrostatique}}$$

Quatre sondes sont volontairement installées hors d'eau au droit des sites d'étude afin de mesurer la pression atmosphérique. En soustrayant la pression atmosphérique mesurée de la pression totale mesurée (pression hydrostatique + pression atmosphérique), on obtient la pression due uniquement à la colonne d'eau. Cette compensation barométrique permet de garantir des relevés directement comparables d'une période à l'autre (indépendamment des conditions météorologiques à un instant t). Les fiches de suivi de terrain consignent également les niveaux d'eau mesurés manuellement (échelle limnimétrique et/ou sonde piézométrique), afin d'assurer un moyen de contrôle des données automatisées.

L'ensemble de ces calculs est intégré dans un script Python développé spécialement afin d'automatiser et d'optimiser les différentes étapes du traitement des données. Le script peut gérer une large quantité de données hydrogéologiques. De plus, il offre la possibilité d'adapter facilement les paramètres selon les spécificités des projets et de l'évolution des données, ce qui en fait un outil précieux pour l'analyse dynamique des ressources en eau. Cependant, bien que ce script représente un gain de temps considérable, sa prise en main demande un certain apprentissage. La maîtrise du langage Python est nécessaire, non seulement pour l'utiliser efficacement, mais aussi pour être en mesure de diagnostiquer et de corriger d'éventuelles anomalies.

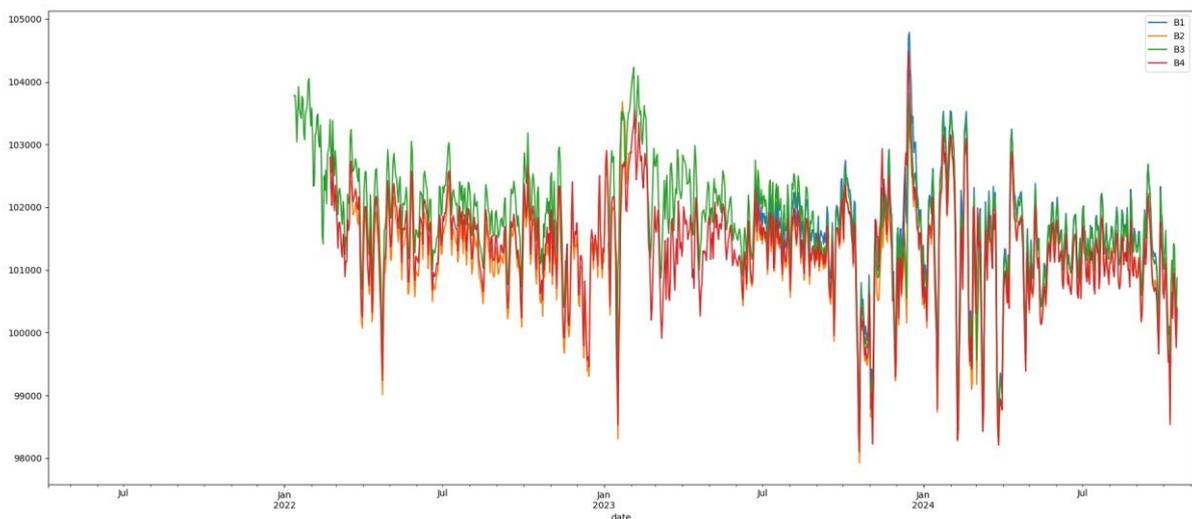


Figure 15: Mesures de pression atmosphérique de Janvier 2022 à Octobre 2024 (en Pascal)

A l'issue des compensations barométriques et des corrections manuelles, trois types de données sont mobilisables : les données de pression absolue (pabs, en Pascal) ; de colonne d'eau (wc, en mètre) ; et de niveau d'eau (m NGF). A noter que la colonne d'eau concerne l'épaisseur de la colonne d'eau au-dessus de la sonde et non pas depuis le fond du lit du drain/craste/lagune. Ces données ne sont donc pas comparables d'un site à l'autre. Il est préférable de considérer les côtes en mètre NGF. A noter que ces côtes ne sont pas directement comparables, les côtes de l'amont étant naturellement plus importantes que celles de l'aval, ce sont leurs variations relatives que l'on compare.

### Nivellement des ouvrages

Après leur installation, les ouvrages ont été nivelés à l'aide d'un DGPS différentiel (équipement de l'ENSEGID – Bordeaux INP). De nombreuses campagnes de contrôle des valeurs de nivellement ont été réalisées à plusieurs reprises en 2023 et 2024, en raison d'incohérences relevées dans les mesures ou dans les séries chronologiques des niveaux d'eau. La pente très faible du territoire, de l'ordre de 0,01 %,

exige une précision centimétrique : la moindre erreur, même très faible, entraîne une incertitude significative dans les résultats ultérieurs. Le contexte forestier complique le travail en limitant la réception des signaux satellites et GSM, réduisant ainsi la précision des mesures.

Ces facteurs nous incitent à exercer une prudence particulière lors des comparaisons, en particulier d'un site à l'autre, compte tenu des variations potentielles des conditions de mesure.



*Figure 16 : Base du DGPS différentiel utilisé pour le nivellement à Sescousse*

### **Données de référence**

Les données reflètent des contextes variés. Selon son emplacement, un piézomètre peut être plus ou moins influencé par des forages agricoles, une craste incisée ou un seuil. Les lagunes présentent également des pédologies diversifiées et une proximité variable avec le réseau de drainage. Chacun de ces éléments impacte le fonctionnement hydrologique des sites d'étude, rendant difficile l'identification d'un site de référence exempt d'influences extérieures. Une approche comparative multi-site, fondée sur les gradients d'influence de différents paramètres (forages, incision, pédologie,

drainage), permet alors de mieux appréhender les dynamiques hydrologiques plutôt que de s'appuyer sur une seule référence.

La lagune de Cindraout a toutefois été désignée comme référence en raison de son état naturel, sans remaniement connu, et de son réseau de drainage typique. De plus, l'un des objectifs de ce réseau de suivi est d'évaluer l'efficacité des travaux réalisés par le SIAEBVELG sur le réseau hydrographique. Afin de garantir des comparaisons avec un point de référence suffisamment éloigné des zones d'intervention, les données du forage ADES BSS001VYWT (07545X0029/F) situé au lieu-dit Mincouse au nord d'Hourtin, seront également intégrées.

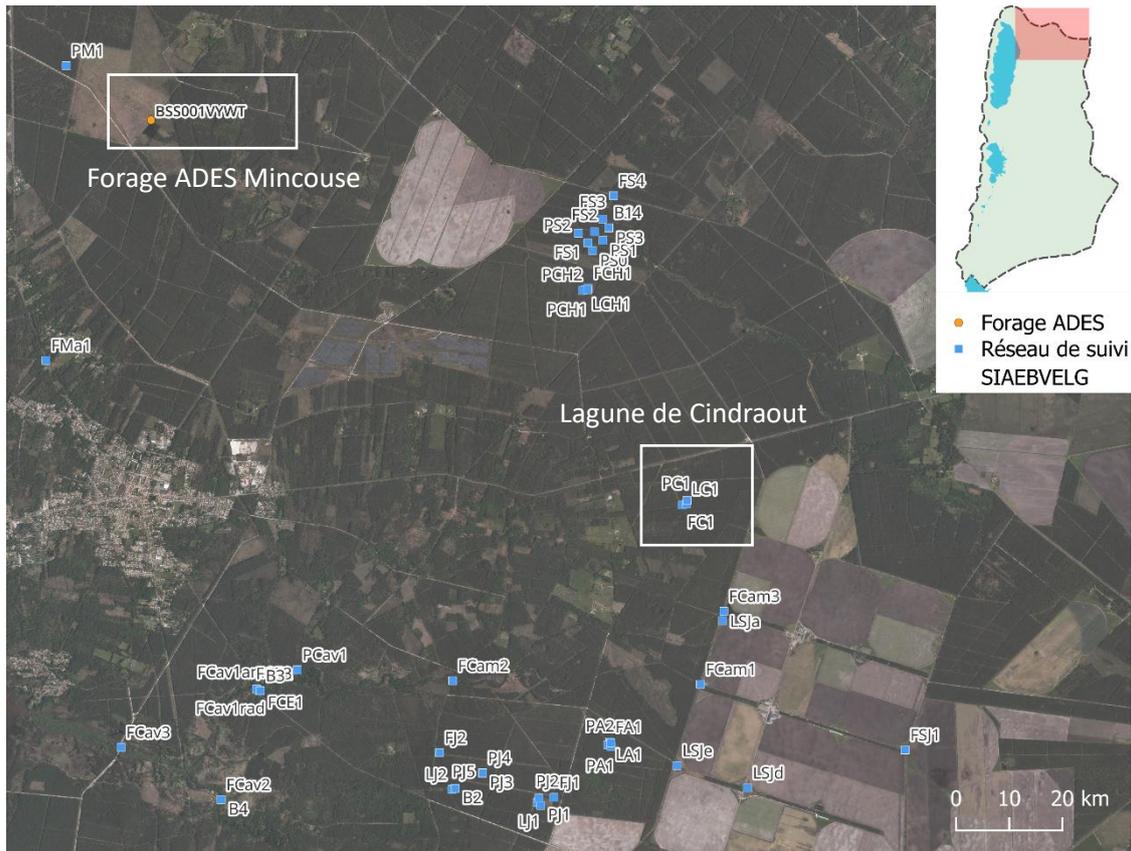


Figure 17 : Localisation lagune de Cindraout et forage ADES BSS001VYW



Figure 18 : Localisation des stations hydrométriques Bordeaux Métropole (BM)

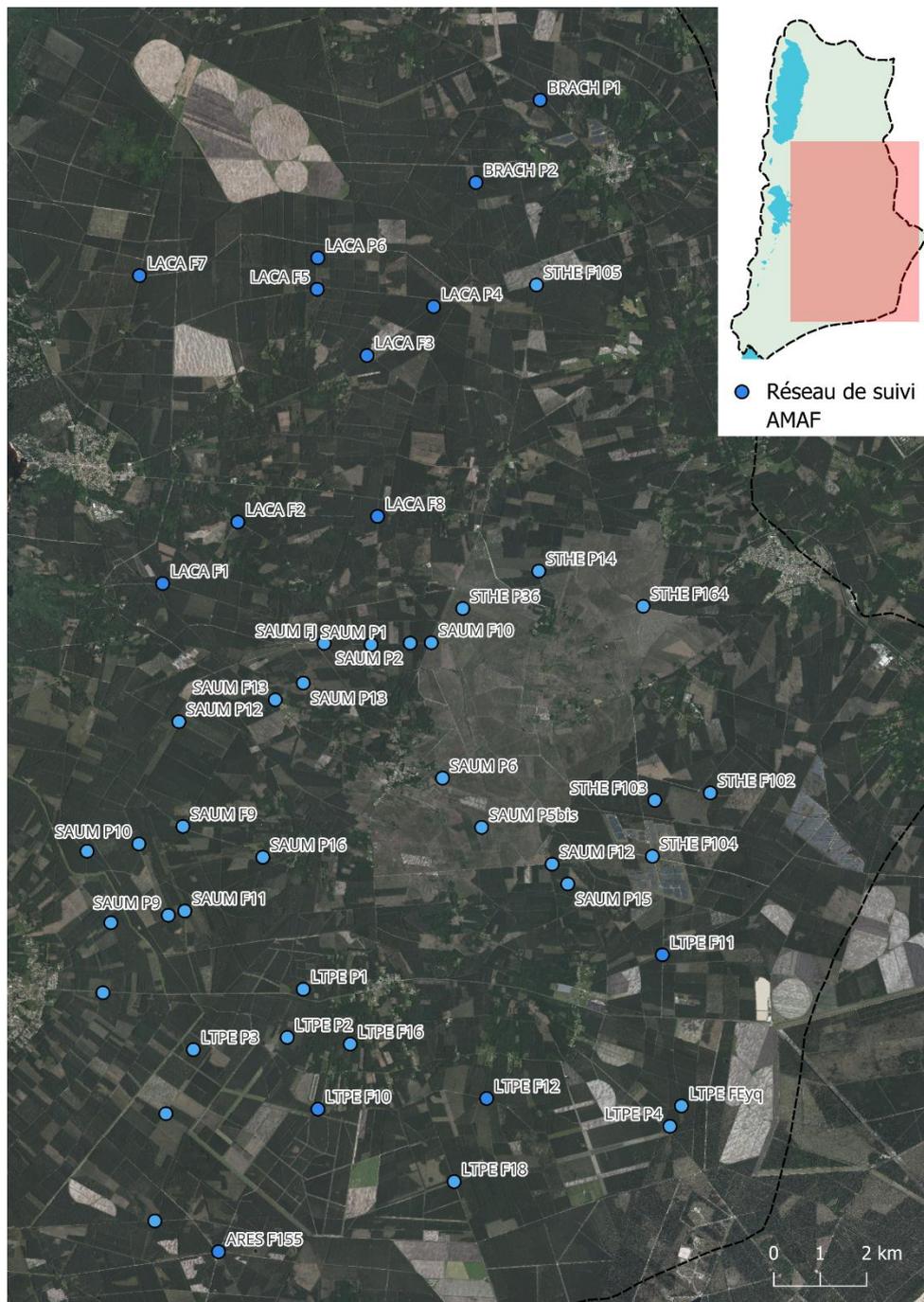


Figure 19 : Localisation du réseau de suivi AMAF

### Donnée météorologique

En juillet 2022, une station météorologique a également été mise en place sur le sous-bassin versant afin d'évaluer les impacts des conditions météorologiques sur le système hydrologique de la Caillava. Celle-ci enregistre, toutes les 6 minutes, les données de température, précipitation, humidité, vitesse du vent et rayonnement solaire. Cependant, plusieurs problématiques techniques et matérielles ont nécessité l'utilisation des données de Météo France provenant de Mérignac pour les travaux menés sur le bassin versant.

Le pyranomètre a cessé de fonctionner en août 2023, et l'envoi en maintenance étant long (Royaume-Uni), nous avons perdu trois mois de données concernant l'évapotranspiration. Par ailleurs, le calibrage

initial du pluviomètre à auget avait été doublé, ce qui a généré un problème pouvant être corrigé après coup en divisant les données par deux. Cependant, il a été découvert par la suite que le pluviomètre s'était colmaté, rendant la mesure non fiable sur plusieurs mois consécutifs.

Pour installer le matériel recalibré, un travail de connectique, de codage et de réglage des paramètres de la station météo est nécessaire. Cela comprend la mise en place des câblages, l'intégration de scripts de programmation pour configurer les appareils, et l'ajustement des paramètres de chaque instrument pour garantir des mesures fiables. Cette tâche technique a été réalisée par un post-doctorant de l'ENSEGID, expert dans ce domaine, qui a pu ajuster correctement les paramètres de la station.

Plutôt que de combler ces lacunes de manière ponctuelle en utilisant des données parcellaires, nous avons choisi de recourir en totalité aux données de Météo France pour garantir une continuité et une cohérence dans nos analyses. Les données de notre station ont néanmoins été comparées avec celles de Météo France, et les écarts observés ne sont pas significatifs. Ainsi, malgré les défis liés au matériel, notre approche nous permet de disposer de données fiables et cohérentes pour nos analyses.



Figure 20 : Station Météo installée sur le domaine agricole Saint-Jean à Hourtin

### **Relève des sondes : récupération des données**

Les sondes sont relevées tous les deux mois afin de garantir un suivi régulier des mesures et de limiter les pertes de données en cas de dysfonctionnement. Cette fréquence permet d'éviter une perte trop conséquente d'informations (par exemple, six mois d'un coup) et d'assurer un contrôle efficace des installations.

Lors de chaque campagne de relevés, plusieurs vérifications sont effectuées : l'état des batteries des sondes, l'évolution des sites, la gestion forestière ou encore la présence d'embâcles. Un point d'attention particulier est porté sur la conservation des ouvrages afin de s'assurer qu'ils restent fonctionnels et ne se colmatent pas, notamment par la mesure du fond des ouvrages.

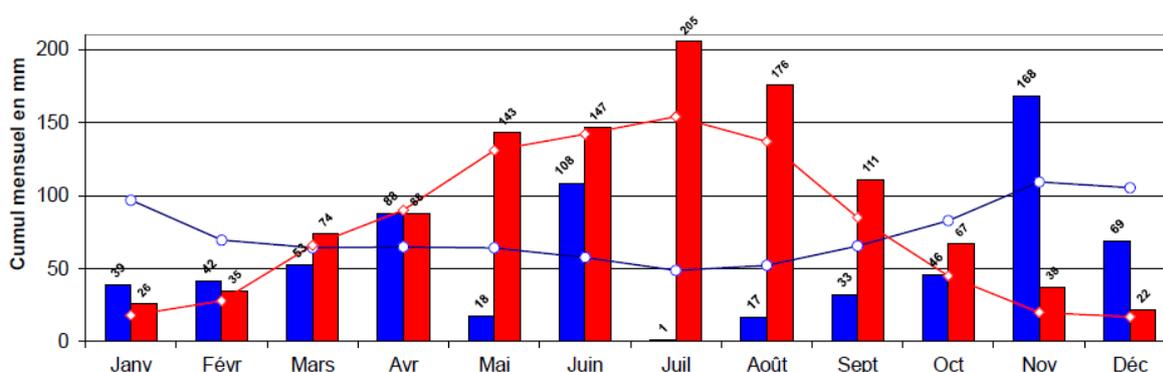
Les relevés s'étendent sur deux journées, durant lesquelles l'ensemble des sites est inspecté. Chaque sonde est déchargée sur un PC pour récupérer les données, le niveau est mesuré manuellement et la lecture de l'échelle est effectuée. Une fois ces mesures réalisées, les données sont ensuite recalées et consolidées au bureau afin de garantir leur cohérence et leur fiabilité pour les analyses ultérieures. **Au total, environ deux cent jours ont été nécessaires à l'installation du réseau de suivi, à son nivellement, sa maintenance, ainsi qu'au traitement et à l'analyse des données.**

### III. Résultats

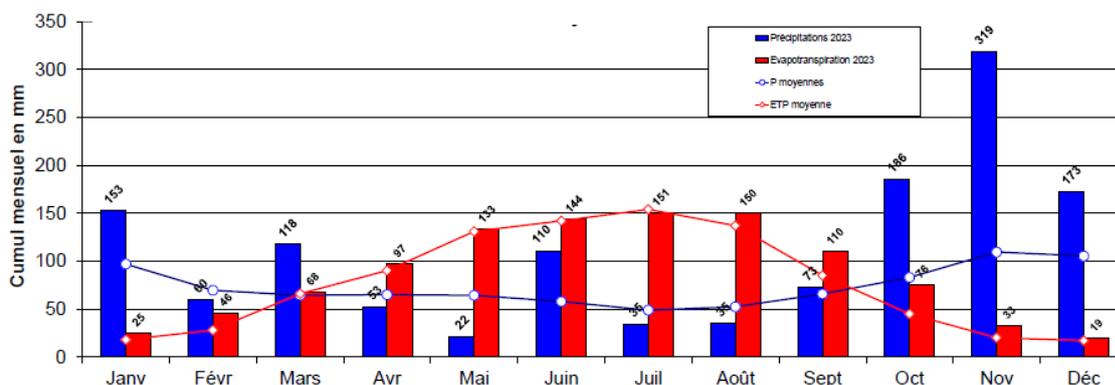
Dans cette partie, nous nous intéressons aux observations des données collectées et aux tendances qui en émergent, en gardant à l'esprit que les conclusions demeurent préliminaires en raison des périodes d'étude limitées et de la méthodologie employée.

#### 1. Données

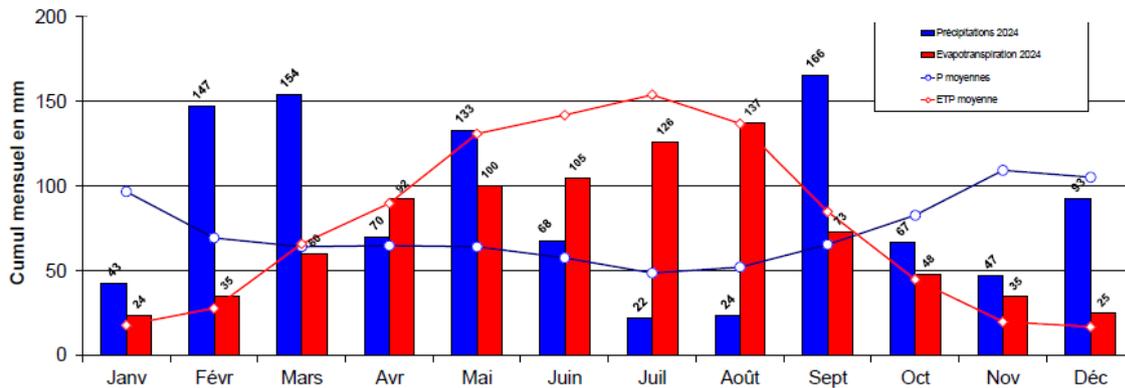
La plage temporelle d'acquisition des données s'étend de début 2022 à fin 2024. Les années hydrologiques observées présentent des contrastes marqués. L'année 2022 a été caractérisée par une sécheresse prolongée, s'étendant d'avril à novembre, tandis que l'hiver 2023-2024 a enregistré des précipitations particulièrement intenses. La recharge de la nappe Plioquaternaire a été exceptionnellement rapide à l'automne 2023, avec une élévation du niveau de la nappe de 1,2 mètre en seulement 18 jours (du 18 octobre au 7 novembre).



Pluviométrie et évapotranspiration - BV Lacs Médocains (station Matouneyres) - Année 2022



Pluviométrie et évapotranspiration - BV Lacs Médocains (station Matouneyres) - Année 2023



Pluviométrie et évapotranspiration - BV Lacs Médocains (station Matouneyres) - Année 2024

Il est important de préciser que les sondes n'ont fonctionné de manière fiable qu'à partir de mi-2023, limitant ainsi nos analyses aux données pertinentes recueillies entre octobre 2023 et octobre 2024. Les données antérieures, en particulier celles concernant les lagunes, les crastes et les drains, sont trop fragmentaires pour permettre des interprétations robustes.

En effet, courant 2023, les sondes HOBO ont rencontré plusieurs dysfonctionnements, notamment des pannes de batterie et des décalages de dates, entraînant des erreurs dans la compensation barométrique. Un travail conséquent de récupération des données erronées a été entrepris, permettant d'en restaurer une partie. Toutefois, dans de nombreux cas, les données n'ont pas pu être retraitées de manière satisfaisante.

### Données de nappe (piézomètres)

Les données en nappe permettent de mettre en évidence la dynamique hydrologique saisonnière du bassin-versant. On observe la recharge de la nappe à l'automne, la cote maximum est atteinte au cours de l'hiver. Au printemps la fréquence et l'intensité des précipitations ont tendance à faiblir tandis que la végétation, et notamment les exploitations forestières qui occupent la majeure partie du territoire, reprend son prélèvement racinaire, mis en pause en hiver. La nappe diminue alors progressivement jusqu'à atteindre sa cote minimum à l'été, entre septembre et octobre.

Les différents sites instrumentés mettent en évidence la diversité des contextes hydrologiques rencontrés, notamment les zones forestières, l'influence des plaines agricoles et l'impact des grandes crastes incisées.

Dans les zones purement forestières, les piézomètres ont été installés dans 2 contextes différents afin d'évaluer les dynamiques de la nappe : soit en cœur de parcelle (Sescousse, Moure, Caillava, Jolles), soit à proximité d'une lagune forestière plus ou moins proche des drains périphériques (Capet-Haout, Cindraout, Argue, lagunes du Jolles). Cela permet d'identifier des comportements hydrologiques distincts selon la position relative au réseau de drainage et aux dépressions humides caractéristiques de ces milieux.

Certaines zones sont davantage influencées par les plaines agricoles voisines où les aménagements hydrauliques et les pratiques culturales modifient le régime hydrologique local. C'est le cas notamment du secteur du Jolles.

Enfin, l'influence des grandes crastes incisées joue un rôle déterminant dans la dynamique de la nappe plioquaternaire. L'effet drainant de ces crastes favorise l'évacuation des excès d'eau, mais accentue également les déficits hydriques. Leur influence sur les niveaux de la nappe varie en fonction de leur proximité et de leur profondeur d'incision. Le point de suivi PCav1 situé au droit d'une parcelle forestière à proximité de la Caillava sur sa partie la plus incisée a vocation à mettre en évidence ce comportement.

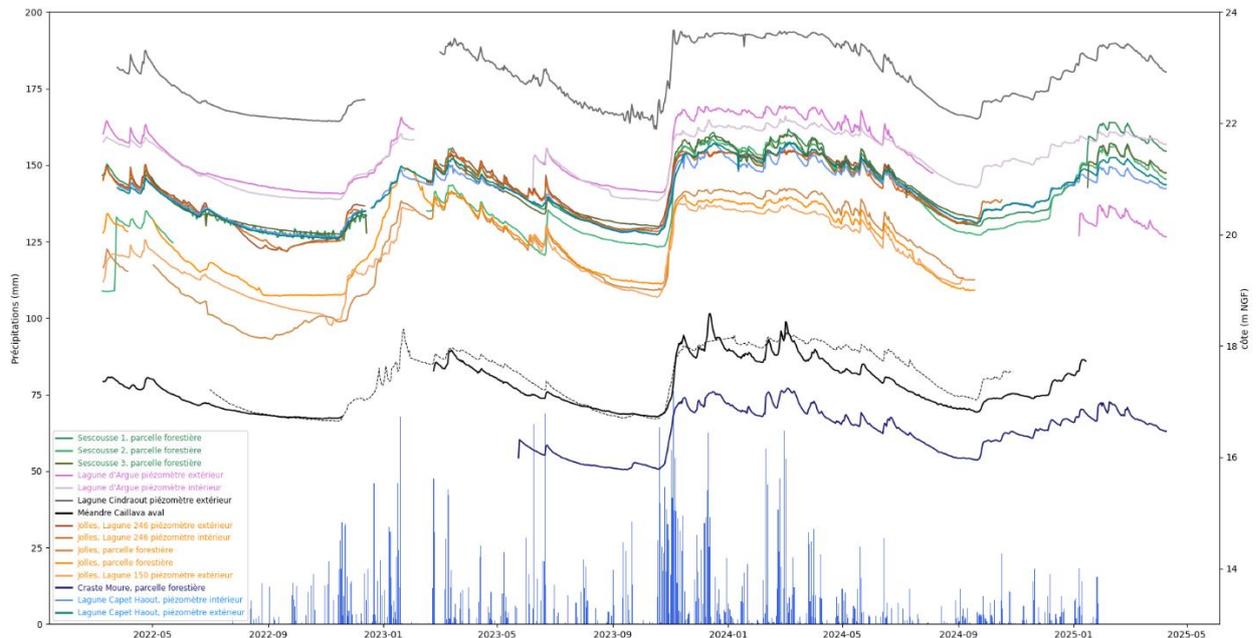


Figure 21: Niveaux piézométriques (m NGF) et pluviométrie (mm/jour) mesurés de Mai 2022 à Avril 2025

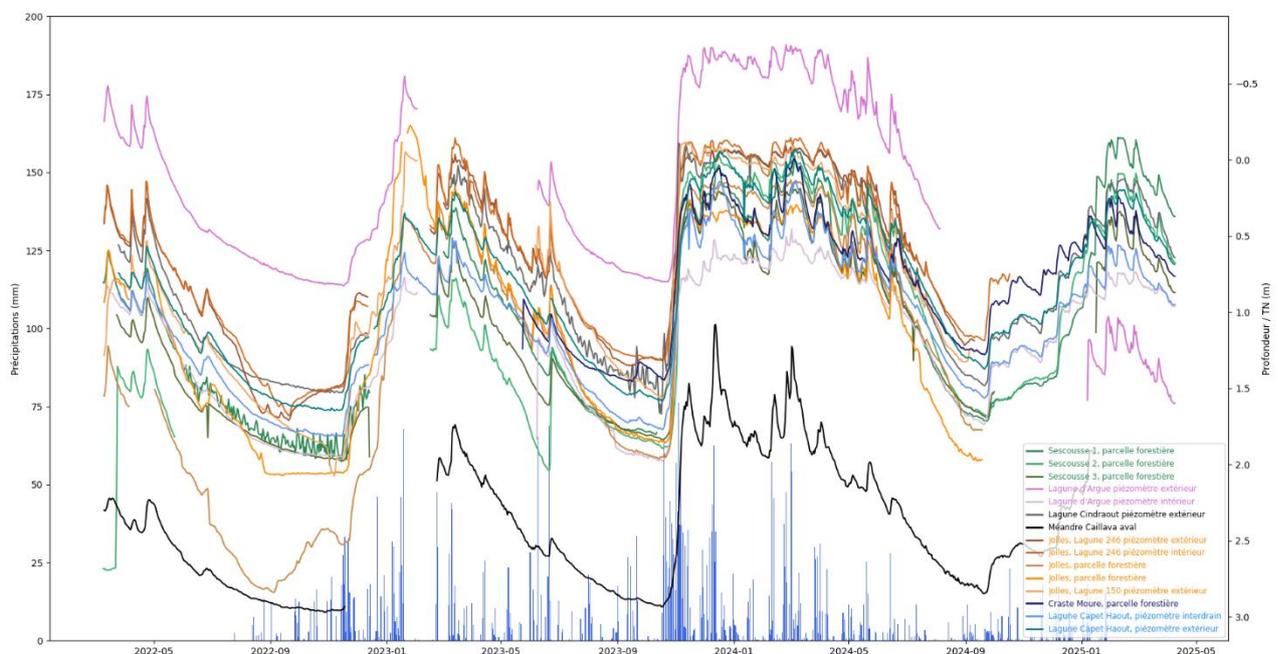


Figure 22 : Chroniques piézométriques (profondeur de la nappe en mètre / terrain naturel) et pluviométrie (mm/jour) mesurés de Mai 2022 à Avril 2025

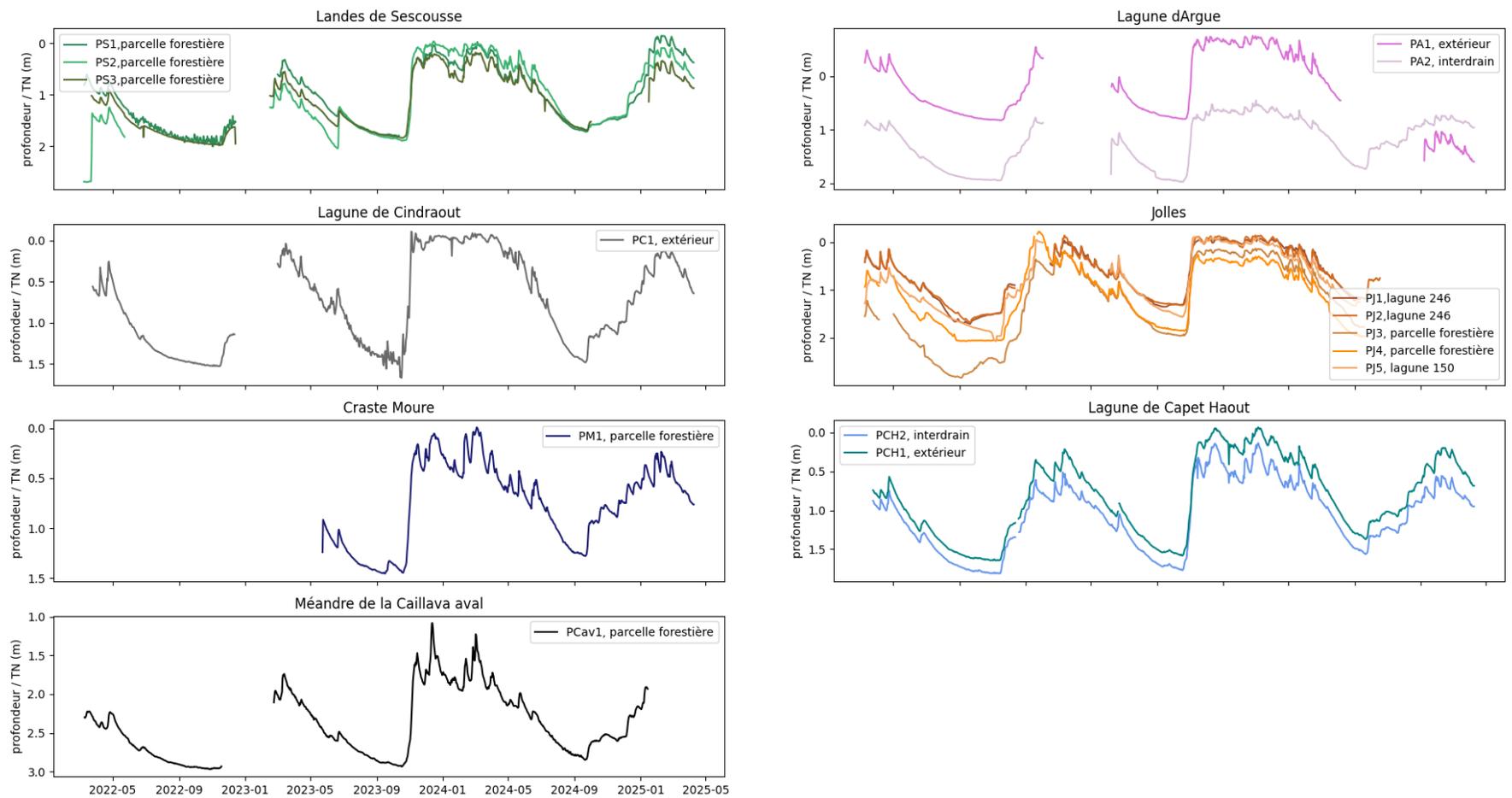


Figure 23: chroniques piézométriques (profondeur de la nappe en mètre / terrain naturel) site par site de Mai 2022 à Avril 2025

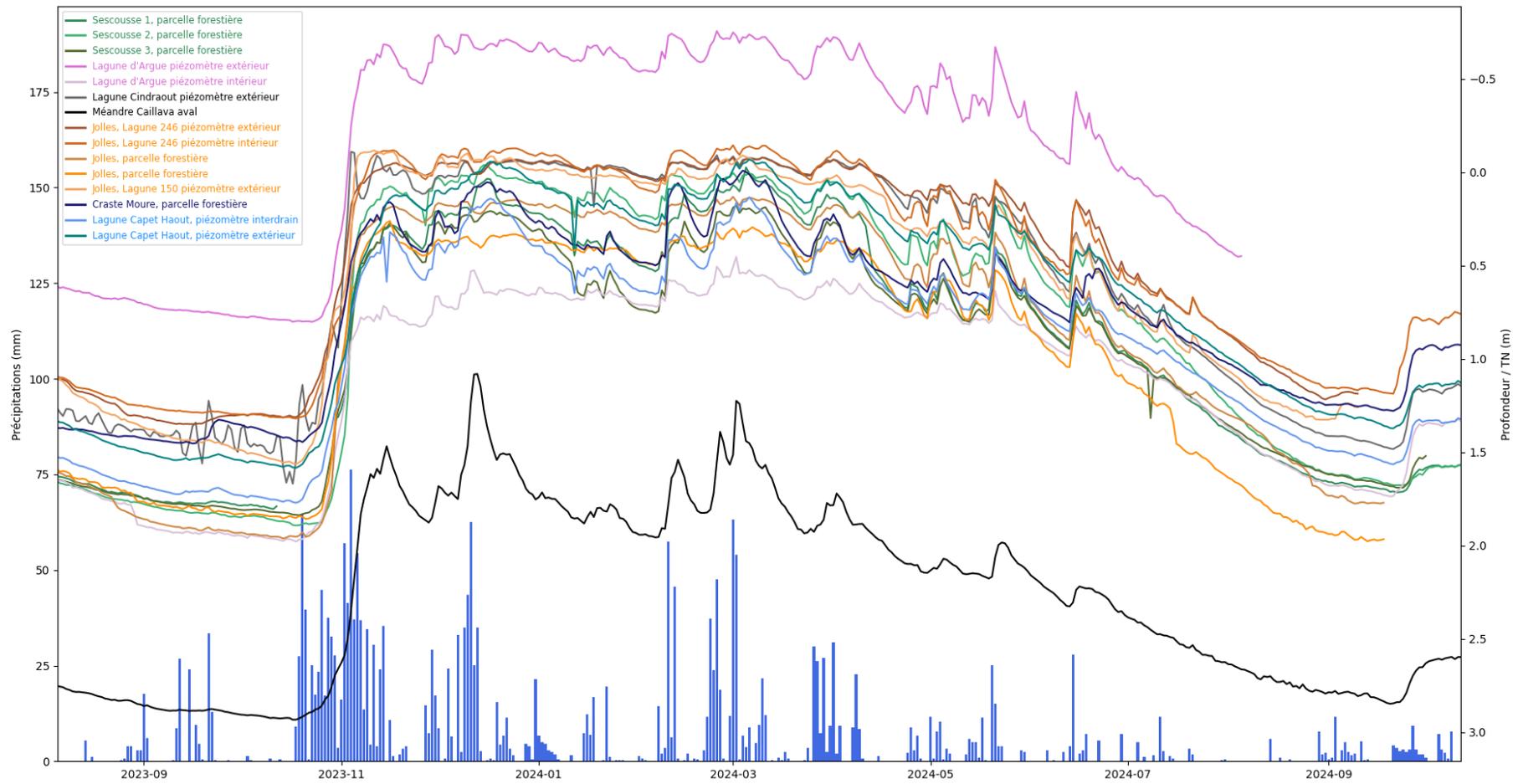


Figure 24: Chroniques piézométriques (profondeur de la nappe / terrain naturel) et pluviométrie (mm/jour) de septembre 2023 à septembre 2024

## Données en lagunes forestières

Cinq lagunes forestières ont été équipées d'une sonde au cœur de la lagune, une sonde dans le drain le plus proche, et de deux piézomètres avec, dans la mesure du possible, un premier ouvrage « intérieur » entre le drain et la lagune et le second « extérieur » hors influence du drain (cf. figure).

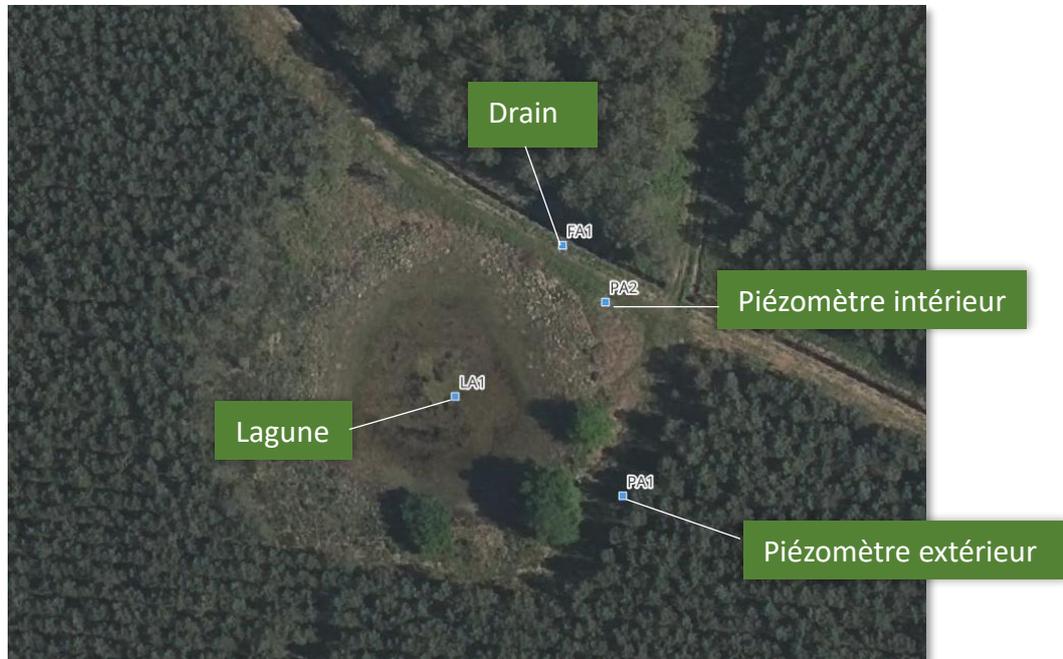


Figure 25 : Exemple d'une lagune suivie, la lagune d'Argue

Les données recueillies permettent d'analyser les dynamiques hydrologiques spécifiques à ces milieux dépressionnaires. D'après les données recueillies, les précipitations favorisent la recharge des lagunes en période automnale, qui atteignent généralement leur niveau maximal durant l'hiver. Ce remplissage est étroitement lié aux apports directs des précipitations, aux échanges avec la nappe phréatique sous-jacente et aux éventuelles interactions avec le réseau hydrographique (ou de drainage).

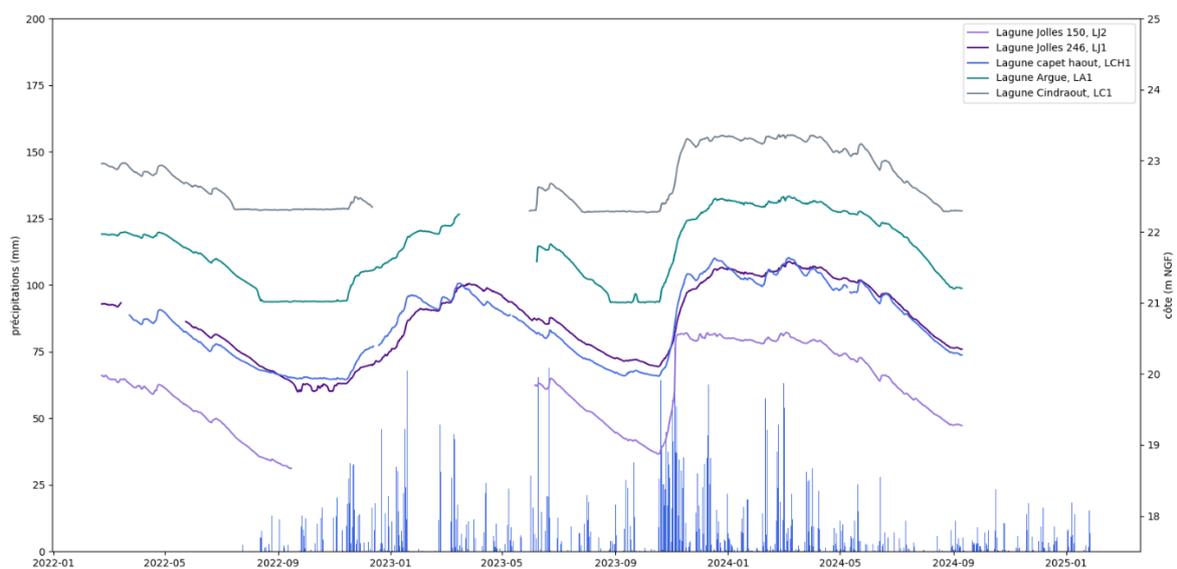


Figure 26 : Niveaux d'eau des lagunes (en m NGF) et pluviométrie (mm) mesurés de mars 2022 à septembre 2024

Les cinq sondes en lagunes ont été temporairement calées à une même côte de départ (0 m NGF) afin de les comparer plus aisément.

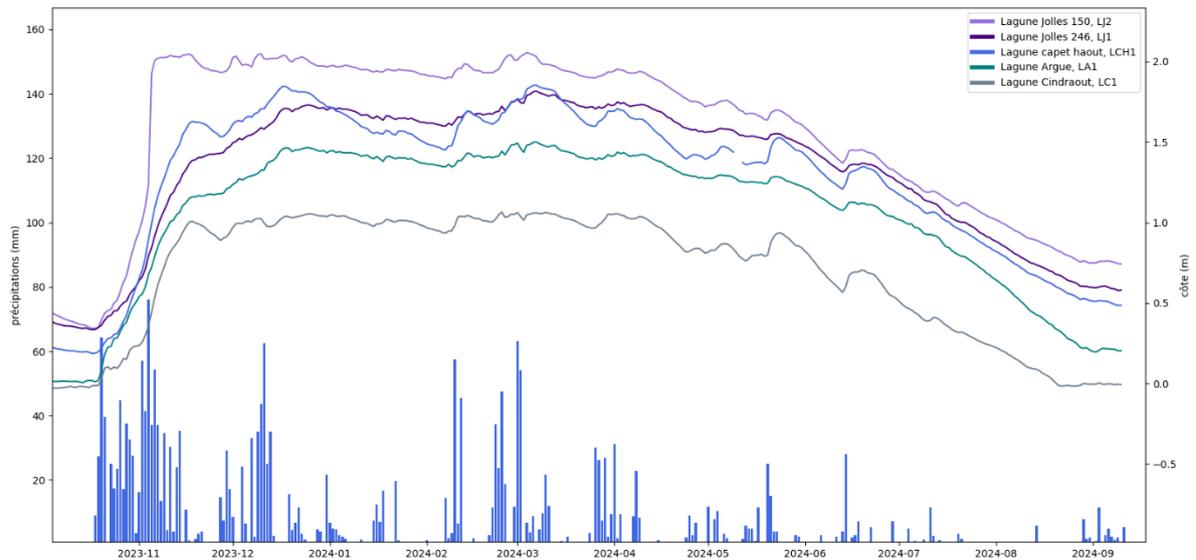


Figure 27 : Niveaux d'eau dans les lagunes (m) et pluviométrie (mm) mesurés octobre 2023 à septembre 2024

À l'arrivée du printemps, les relevés montrent une baisse des niveaux d'eau, entraînée par la diminution progressive des précipitations, conjuguée à l'augmentation de l'évapotranspiration et à la reprise de l'absorption par la végétation environnante. Ce phénomène se poursuit tout au long de l'été, jusqu'à l'étiage estival, période où les lagunes atteignent leur niveau le plus bas, voire s'assèchent temporairement dans certains secteurs.

L'analyse de ces fluctuations permet de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique des lagunes et leur rôle dans la régulation des eaux superficielles et souterraines au sein du bassin-versant. Les cinq sites sélectionnés représentent des contextes variés : proximité aux plaines agricoles, berges retravaillées ou naturelles, fonctionnalité écologique plus ou moins optimales. Une cartographie détaillée des sites et de leur contexte est jointe en annexe.

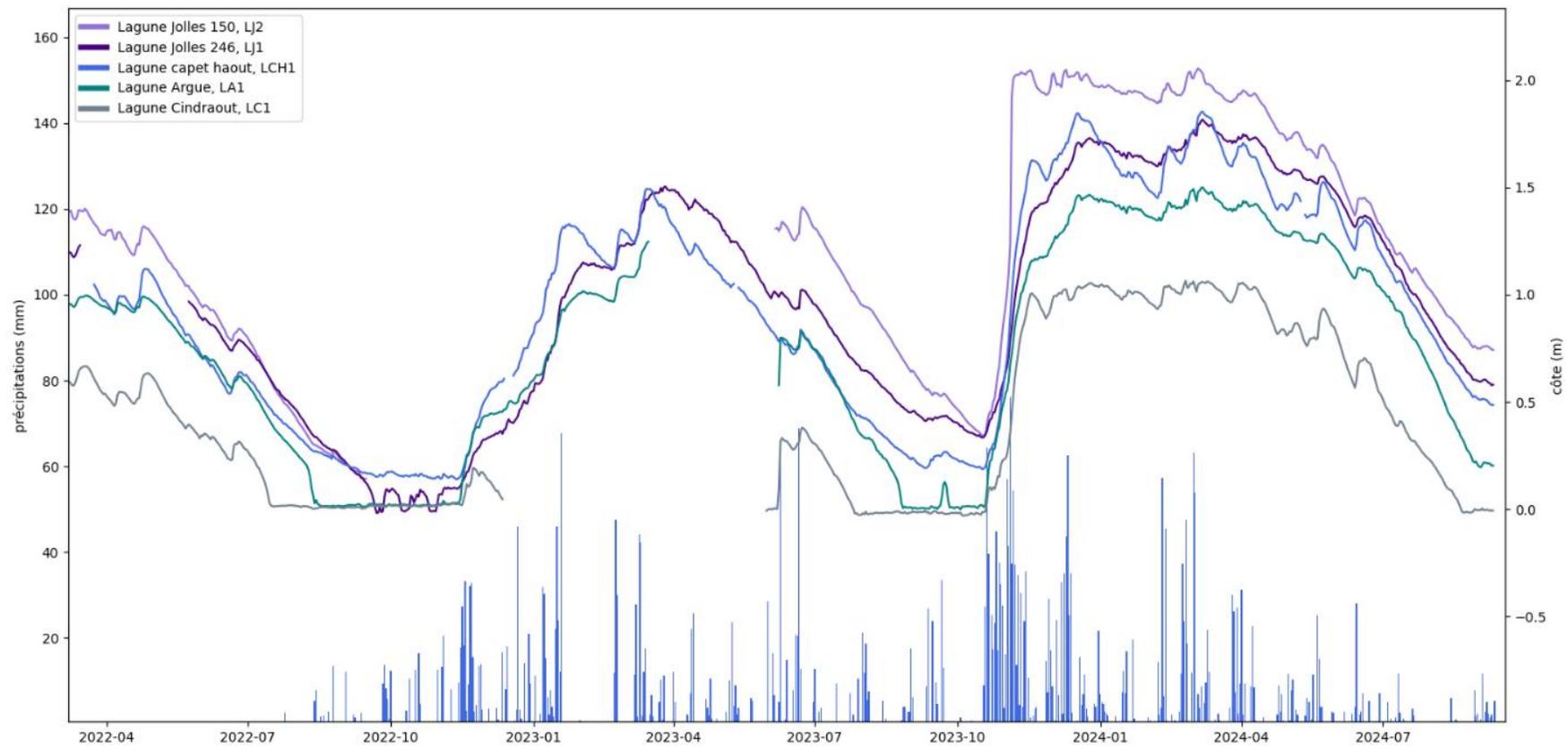


Figure 28 : Niveaux d'eau dans les lagunes (m) et pluviométrie (mm) mesurés de mars 2022 à septembre 2024

## Données en crastes et drains

Les sondes placées dans les crastes et drains ont été installées de manière à être immergées pendant les périodes humides. En période de basses eaux, étant donné la configuration des infrastructures, les sondes se retrouvent à sec et enregistrent alors une cote correspondant à leur altitude, et non plus au niveau de l'eau. A l'étiage le niveau d'eau est souvent inférieur au niveau du radier, ceux-ci sont asséchés avant même que la plupart des crastes ne soient totalement à sec.

L'hiver 2023-2024 est la seule période ayant permis d'obtenir des données complètes sur les niveaux d'eau dans les drains. Les périodes précédentes ont été marquées par des problèmes de sondes, des décalages de dates, des pertes de données, et, peut-être, des niveaux d'immersion trop faibles pour garantir des mesures pertinentes. En raison des conditions particulièrement humides, la dynamique de drainage a pu être clairement observée lors de l'hiver 2023-2024.

Les données révèlent une forte réactivité du système hydrologique aux précipitations. Lors des épisodes pluvieux, les drains montent rapidement en charge pour évacuer les excès d'eau, générant un pic de débit associé à l'arrivée soudaine de l'eau de pluie. Une fois ce pic passé, le niveau d'eau dans le drain diminue progressivement. La nappe, toujours drainée, continue d'alimenter le réseau, mais avec un temps de réponse plus lent que l'apport direct des précipitations.

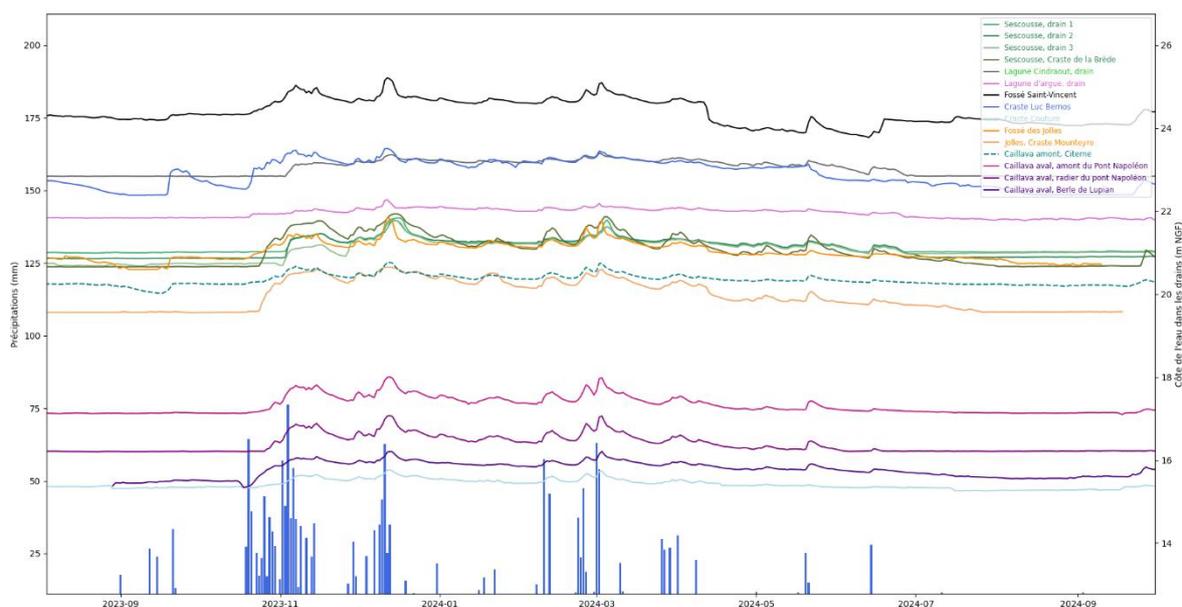


Figure 29: Mesure des niveaux d'eau (m NGF) dans les crastes et drains et pluviométrie (mm) de mars 2022 à Avril 2025

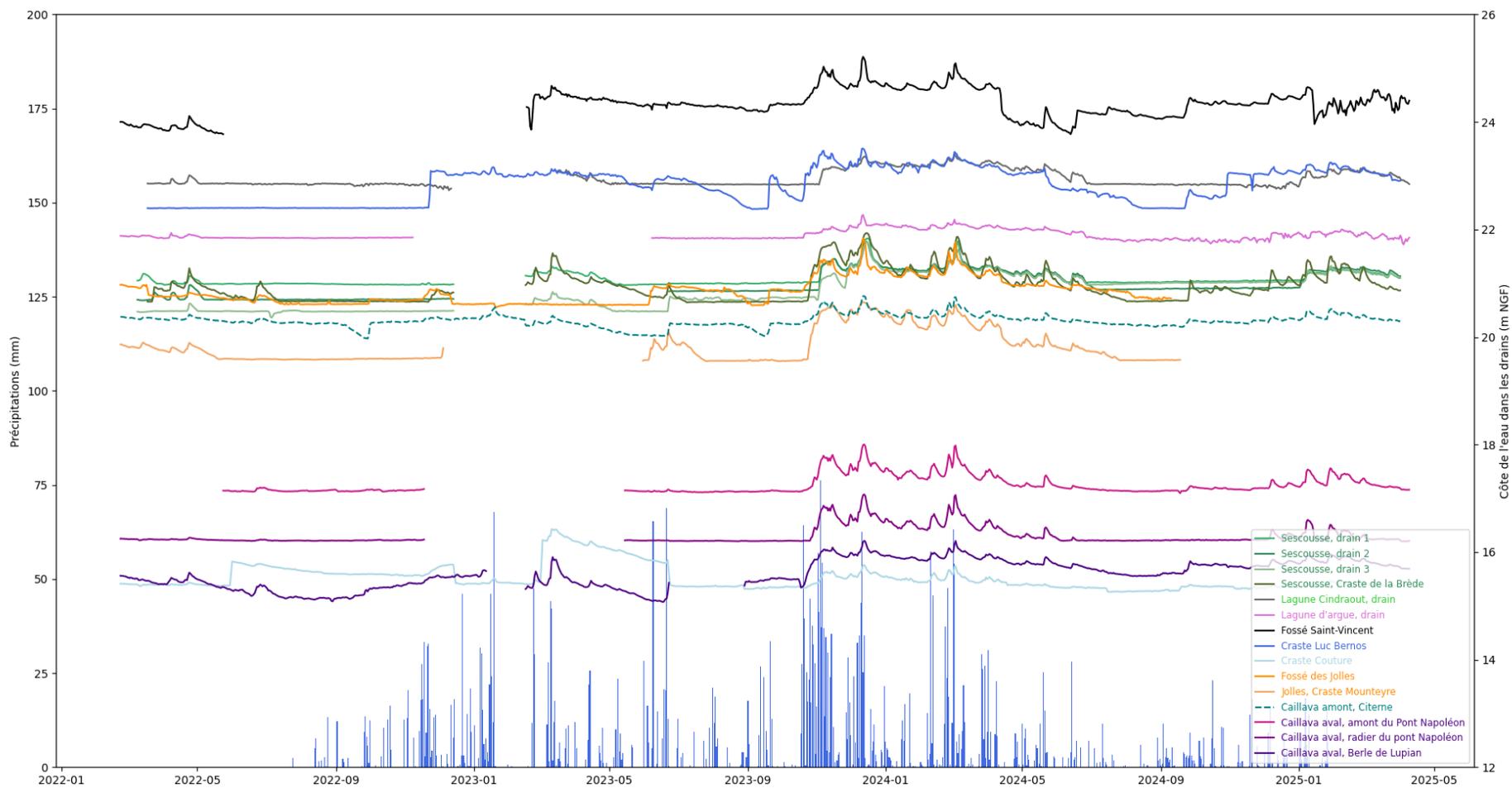


Figure 30: Mesure des niveaux d'eau (m NGF) dans les crastes et drains et pluviométrie (mm) de septembre 2023 à septembre 2024

La collecte de ces données vise à évaluer la réactivité du système de drainage ainsi que son interaction avec la nappe et les lagunes, en fonction des différents contextes d'étude : cœur de parcelle, proximité d'une lagune, proximité des plaines agricoles et proximité d'une craste incisée.

Elles ont également pour objectif de permettre d'identifier l'impact des travaux de reconnexion des fossés en comparant les débits avant et après intervention. Par ailleurs, les mesures de hauteur d'eau effectuées sur ces crastes et fossés fournissent aux chercheurs du laboratoire EPOC et de l'Université de Bordeaux des éléments essentiels pour évaluer les flux de nutriments de l'amont vers l'aval. Les points de suivis concernés ont ainsi fait l'objet de tarages et d'analyses géochimiques (Lupian, Couture, Caillava amont et aval).

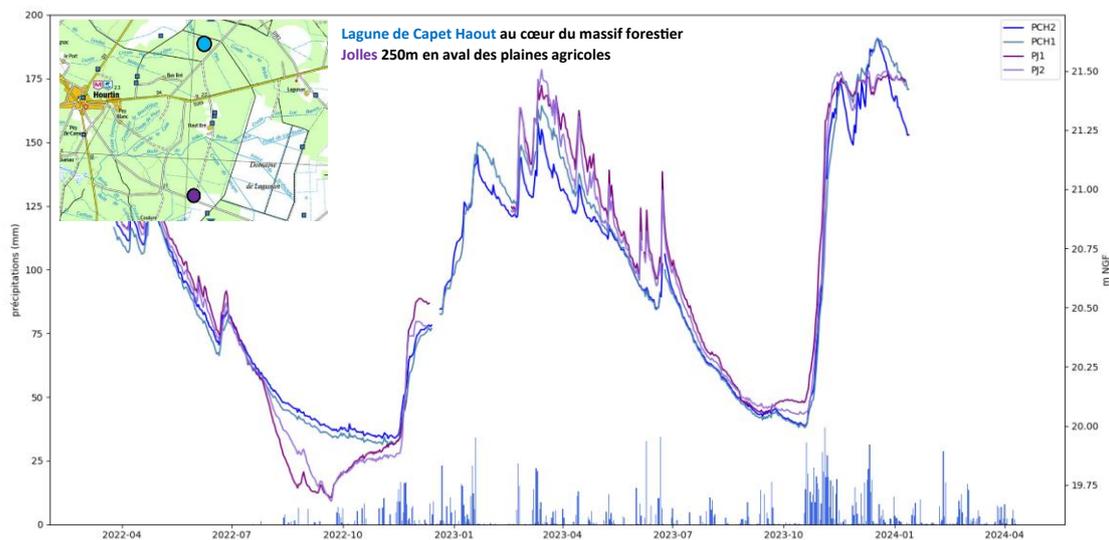
Par la suite, la capacité d'évacuation des crastes pourra être chiffrée à partir des données de débits et de hauteur limnimétriques fournies par Bordeaux Métropole sur les stations hydrométriques du bassin-versant. Ces débits seront rapportés à la surface des sous-bassins versants concernés, permettant ainsi de comparer les dynamiques hydrologiques entre eux et d'identifier la capacité de rétention propre à chaque secteur.

## 2. Nappe Plioquaternaire à l'étiage et occupation des sols

À l'étiage, l'ensemble des ouvrages met en évidence une baisse du niveau de la nappe jusqu'à un minimum stabilisé. Lorsque la nappe n'est plus accessible aux racines, aucun prélèvement racinaire direct n'a lieu. Les végétaux s'alimentent alors dans l'horizon de sol humide non saturé, situé au-dessus de la surface piézométrique. Lorsqu'ils ne parviennent plus à puiser suffisamment d'eau, ils entrent en état de stress hydrique.

L'analyse de deux étés météorologiquement contrastés met en évidence qu'au cours de la sécheresse de 2022, la nappe n'est pas descendue naturellement plus bas que d'habitude. Cependant, elle a atteint son niveau minimal plus tôt dans la saison et s'y est maintenue pendant une période prolongée. Ainsi, c'est la durée du stress hydrique qui s'avère déterminante.

Localement, la nappe peut s'abaisser davantage sous l'effet de prélèvements. Sur les graphiques les plus proches des exploitations agricoles, notamment aux piézomètres du Jolles, 250 m en aval des plaines agricoles (PJ1, PJ2, PJ5), on observe des décrochages par rapport à la tendance générale.



*Comparaison de données d'étiages en forêt et à l'aval de domaine agricole*

La surface piézométrique subit une baisse marquée, suivie parfois d'un effet rebond dans le sens inverse. Ces variations sont directement liées aux prélèvements réalisés pour l'irrigation agricole. Ce qu'on observe illustre le phénomène de cône de rabattement : plus on se rapproche de la source du pompage, plus la nappe est abaissée. Après l'arrêt des pompages, la nappe retrouve progressivement son équilibre, effaçant ainsi le cône de rabattement qui s'était localement formé.

En 2022, l'intensification des pompages agricoles pour assurer l'irrigation des cultures a accentué ce décrochage par rapport à 2023. La nappe est déjà inaccessible aux racines depuis plusieurs semaines, voire plusieurs mois lorsque l'impact de ces prélèvements agricoles devient notable.

### 3. Des dynamiques de drainage inégales en lien avec des contextes d'incision

En hautes-eaux, les données de nappe révèlent des contextes localement variables. Sur le Bassin versant des Lacs Médocains, la nappe tend à affleurer en hiver, en particulier sur les landes mésophiles à humides. L'analyse des sites de lagunes équipés d'un piézomètre interdrain et d'un piézomètre extérieur, situé à distance du drain, confirme l'effet de la distance au drain. Plus une nappe est proche d'un drain, plus les excès d'eau sont efficacement évacués, indépendamment de la profondeur du drain. Ainsi, les cœurs de parcelles conservent une humidité naturellement plus élevée que les zones périphériques proches des fossés intra parcellaires.

#### Contexte d'incision

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 <b>3 m</b> sous le TN	15,77 m NGF <b>1,50 m</b> sous le TN
Niveau de plus hautes-eaux 2024	17,24 <b>1 m</b> sous le TN	23,67 <b>Affleure</b> à quelques centimètres du TN

Tableau 1: Côtes globales du terrain naturel du réseau de suivi en 2023-2024

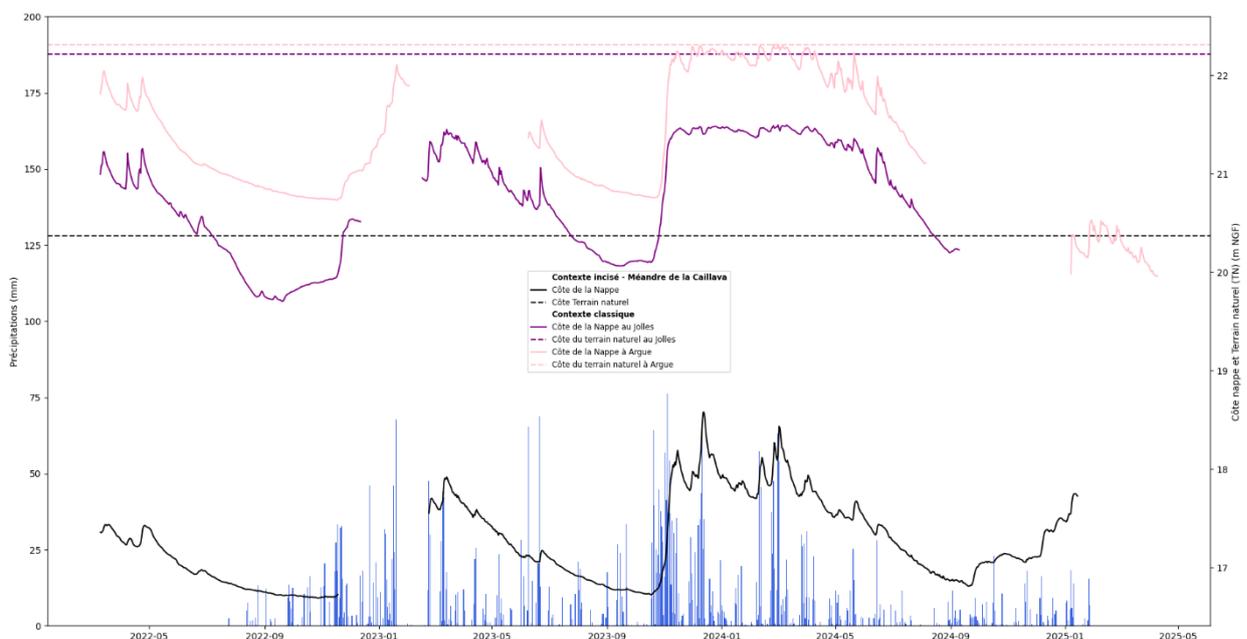


Figure 31 : Côte de la nappe en contexte incisé comparativement à un contexte classique

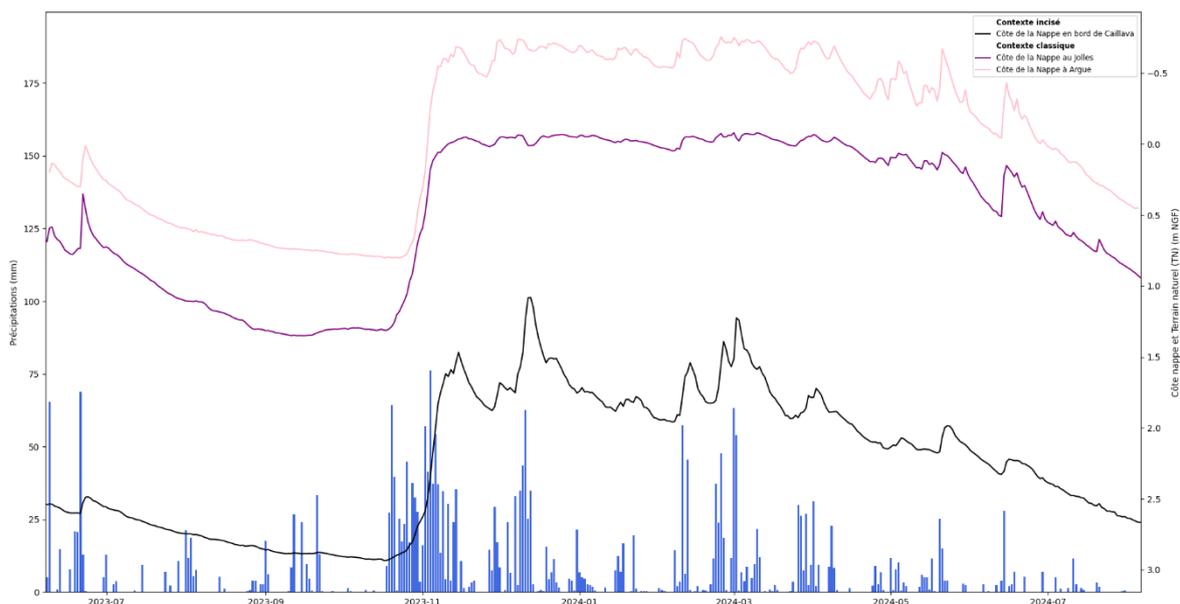


Figure 32 : Profondeur de la nappe en contexte incisé comparativement à un contexte classique

Les pratiques de curage, menées par le passé pour accélérer l'écoulement en période de hautes-eaux, ont fragilisé l'alias, 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'alias, 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.



### Lien avec les peuplements forestiers

La productivité des peuplements forestiers longeant ces crastes incisées est directement impactée. Différentes placettes de suivi sont réparties sur le sous-bassin versant de la Caillava, permettant des comparaisons entre peuplements équivalents (même âge, mêmes mesures de gestion, même densité). Cette étude fait l'objet du suivi et d'un rapport spécifique du GPF Médoc. Une placette de suivi se situe au droit du point de suivi dans le méandre de la Caillava (PCav1). **La circonférence des pins y est 4 cm plus faible que celle des pins à Moure, pourtant 5 ans plus jeunes.**

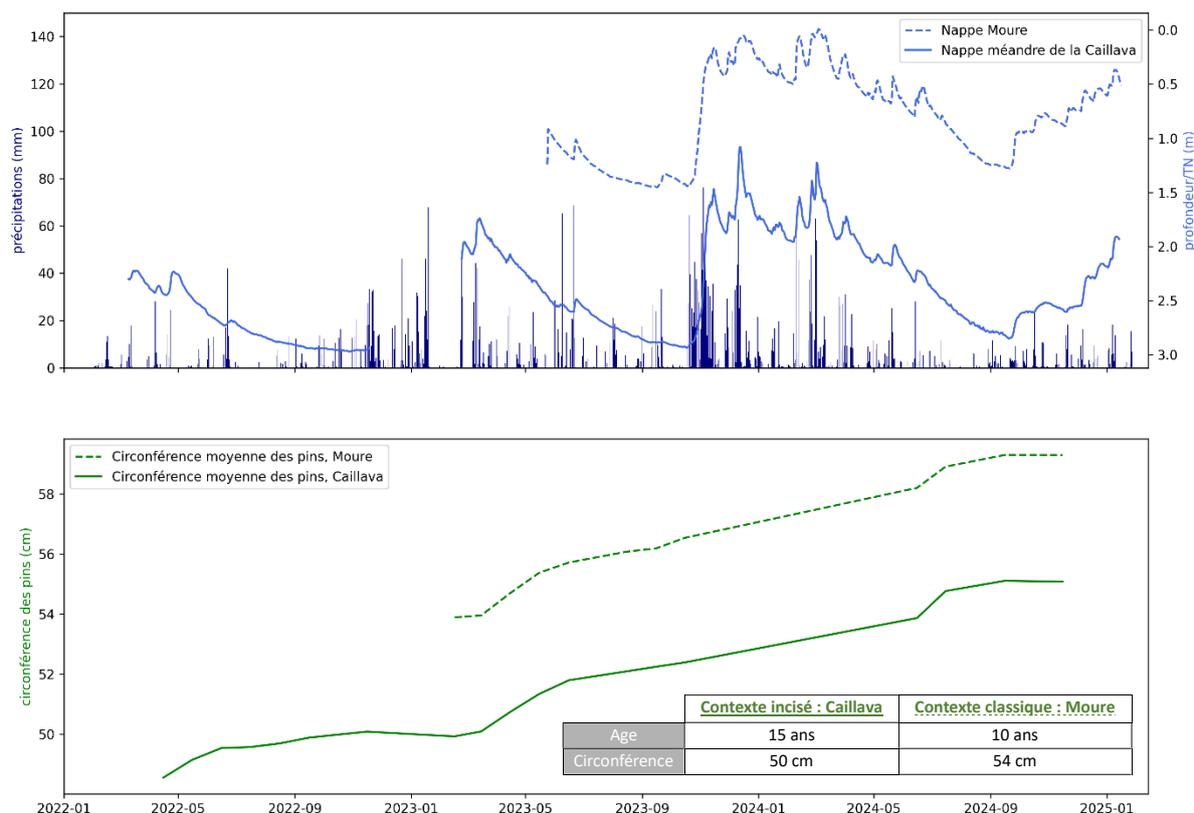


Figure 33: Impact sylvicole de l'incision des crastes

**L'impact majeur de cette incision se manifeste à l'été. 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 la rend inaccessible aux racines des pins plus tôt dans la saison et pour une durée prolongée par rapport à un contexte classique.**

Les pins 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'été, 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 classique.**



### Débits vers l'aval

Ce phénomène d'incision intensifie 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 ses annexes hydrauliques. Des données chiffrées pourraient être mesurées (courantomètre, tarage) pour affiner ce constat.



## Zones humides

Outre la déconnexion du cours d'eau, qui affaiblit déjà la fonctionnalité et la capacité des zones humides à stocker et épurer l'eau, l'incision accentue le drainage en abaissant durablement le niveau de la nappe. Cela réduit l'humidité des sols, limite la recharge des zones humides en eau et compromet leur rôle tampon face aux sécheresses comme face aux crues. À long terme, cette dynamique peut entraîner un assèchement progressif, une perte de biodiversité et une diminution des services écologiques qu'offrent ces milieux. Sont considérées à la fois les zones humides de type lagunes forestières, zones humides alluviales de bord de cours d'eau et marais de bord de lac.



## Qualité d'eau

L'incision du cours d'eau favorise des flux trop rapides pour permettre les processus biogéochimiques. Cela dégrade la qualité de l'eau en intensifiant l'érosion, augmentant la turbidité et réduisant la capacité d'auto-épuration naturelle, en lien avec les dysfonctionnements des zones humides attenantes. Elle accélère le transport des polluants (nitrates, phosphates, pesticides) vers l'aval et altère les échanges nappe-rivière.



## Biodiversité

En lien avec l'altération de la qualité de l'eau due à l'incision et à la déconnexion des annexes hydrauliques, les habitats aquatiques sont également impactés. La modification des conditions physiques et chimiques du milieu, constitue une perturbation qui fragilise les écosystèmes aquatiques et mène à la réduction de la diversité des espèces inféodées à ces milieux. La flore, premier niveau de l'habitat, ne peut pas s'installer durablement sur un écosystème dégradé.

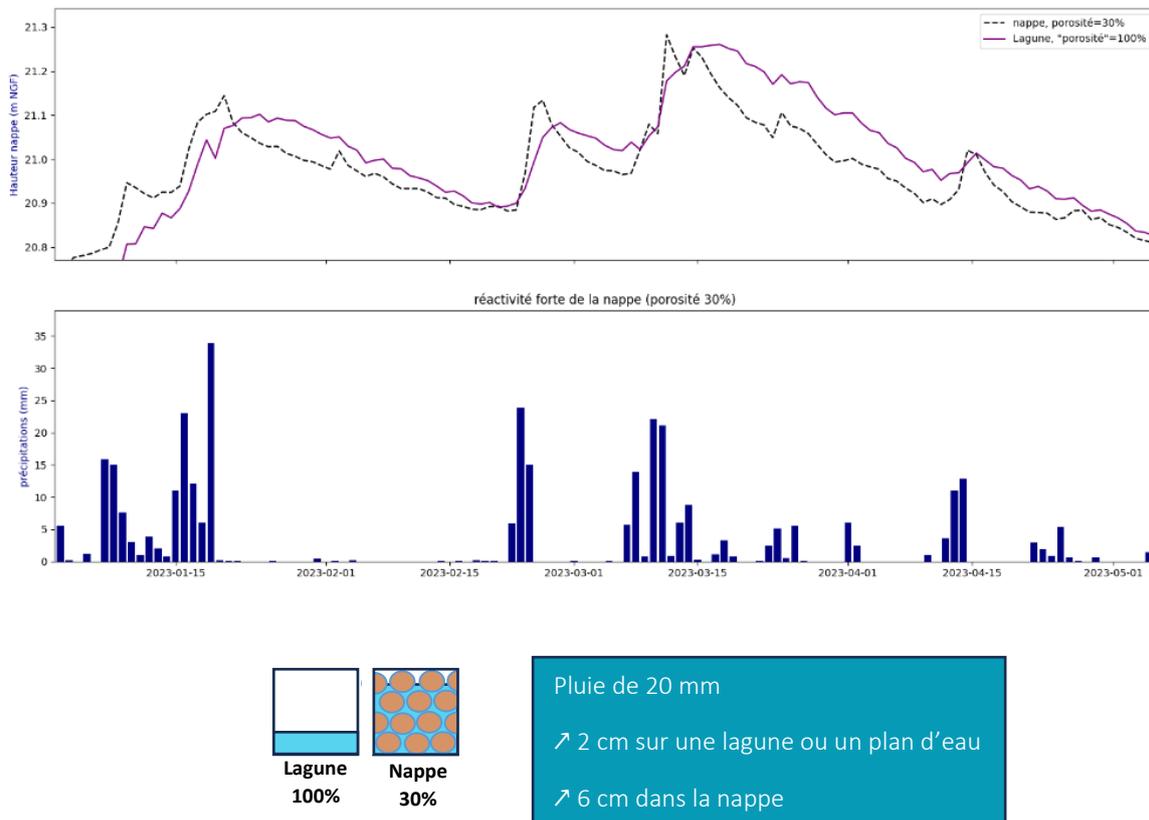
#### 4. Caractéristiques du milieu poreux : porosité et perméabilité

Globalement, les données acquises sur le territoire rappellent les caractéristiques intrinsèques du milieu poreux et permettent d'observer les dynamiques hydrologiques spécifiques qui en découlent.

##### Porosité

Le sol du territoire est principalement constitué de sables fins à moyens, sur une profondeur de 10 à 30 mètres, offrant une **porosité statique** d'environ 30 % (proportion de vide dans le volume de sol) d'après la bibliographie (SMEGREG). Il s'agit également de la valeur vers laquelle le modèle réalisé dans le cadre du projet SESCOUSSE a convergé. Cela signifie que, dans un mètre cube de sol sableux sec, environ 0,3 m<sup>3</sup> peut potentiellement stocker de l'eau.

Le graphique ci-dessous, présente les données de niveau d'eau mesurées en nappe (pointillés noirs) et dans la lagune (violet) à Capet Haout entre janvier et avril 2023, on observe un épisode de récession suite à un évènement pluvieux. Ce laps de temps sans précipitation permet l'observation de la dynamique de drainage.



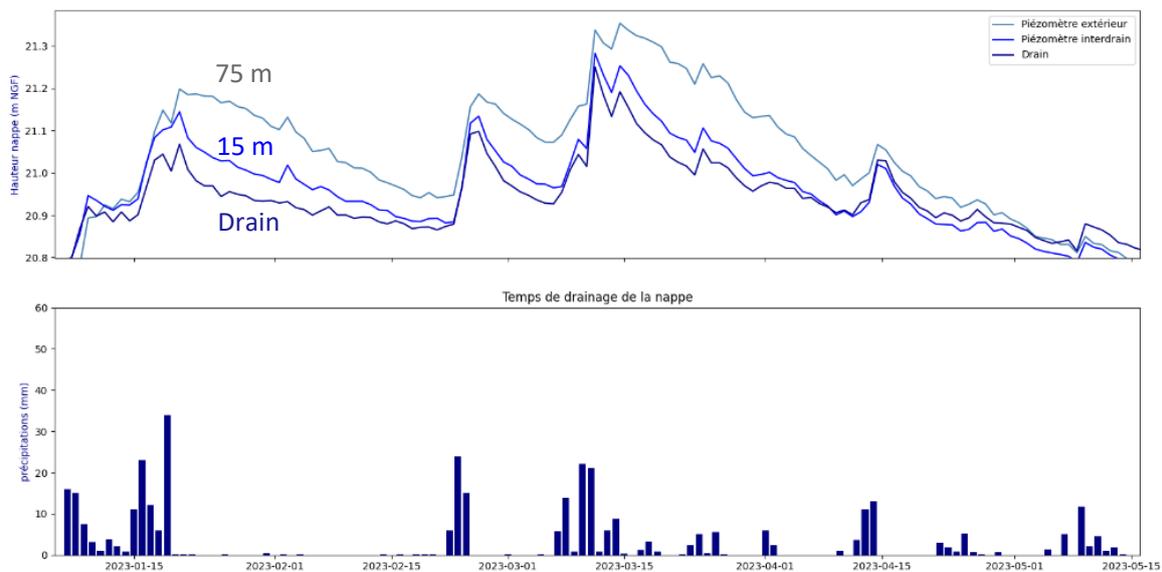
Observation des données révélant la forte réactivité de la nappe (Lagune Capet Haout)

Suite aux pluies, la nappe réagit plus fortement que la lagune du fait de sa porosité. Ainsi, pour un même épisode pluvieux de 20 mm, le niveau d'eau dans la lagune (surface d'eau libre) augmente de 2 cm, tandis qu'il s'élève de 6 cm dans le sol, en lien avec la porosité de la nappe Plioquaternaire. Lors de la récession, le niveau d'eau baisse également plus rapidement dans la nappe que dans la lagune, et l'équilibre entre ces deux compartiments n'est retrouvé qu'au bout d'un mois.

## Perméabilité

La seconde caractéristique intrinsèque du milieu poreux mise en évidence par les données est sa **perméabilité**, estimée à environ  $10^{-5}$  m/s dans l'étude menée par le SMEGREG à Sainte-Hélène et de même dans le projet de modélisation menée à Sescousse. À ce rythme, une particule d'eau met environ **10 jours pour parcourir 10 mètres dans le milieu poreux (1 m/j)**. Cela montre que, quelle que soit la profondeur du drain en périphérie des parcelles, **c'est la distance au drain qui régit principalement la dynamique de drainage et la réactivité de ressuyage de la parcelle après un événement pluvieux.**

Le graphique ci-dessous présente les niveaux d'eau (en m NGF) dans un drain ainsi que les niveaux de nappe mesurés dans des piézomètres situés à 15 mètres et 75 mètres du drain à Capet Haout.



*Observation des données révélant l'effet limitant de la perméabilité sur la dynamique de drainage (Lagune Capet Haout)*

En réponse à l'épisode pluvieux, le niveau d'eau augmente dans l'ensemble des compartiments. Plus on s'éloigne du fossé, plus la surface piézométrique est élevée, se rapprochant ainsi du niveau du terrain naturel. Ce phénomène correspond au rabattement de la nappe causé par l'effet du fossé de drainage. En effet, la nappe est drainée par le fossé, qui l'alimente en eau.

Plus précisément, on observe un rabattement rapide du niveau d'eau, avec une rechute rapide du niveau de nappe dans le piézomètre situé à 15 m du fossé. En revanche, à mesure qu'on s'éloigne de l'influence du fossé, le niveau d'eau devient plus stable et met davantage de temps à redescendre. Lors de la période de récession, sans précipitations, le retour au niveau initial est observé après environ 3 semaines à 15 m du fossé. Cependant, à 75 m, la période sans précipitations n'est pas encore suffisante, même après un mois, pour permettre un retour complet au niveau d'avant précipitation. Le niveau d'eau reste alors plus élevé qu'au départ.

Sur ces données mesurées à Capet Haout, on observe un drainage plus rapide à 15 m, tandis qu'à 75 m, le retour à la normale est plus lent. **Lors de précipitations cumulées, la nappe monte d'autant plus haut, car la distance au drain ne permet pas un ressuyage suffisant avant la pluie suivante.**

**On met ici en évidence une zone d'influence des drains assez restreinte.** Dans ce cas précis, le drain, d'une profondeur de 1,20 m, semble peu actif dans un rayon au-delà de 75 mètres. Il semble

intéressant d'étudier l'effet d'un réseau de drains plus dense sur la période d'activité des drains (hautes-eaux).

**Globalement, cette situation met en évidence la forte réactivité de la nappe aux précipitations, aussi bien lors de la recharge que du drainage (porosité), et la lenteur de l'évacuation de l'eau (perméabilité).** Si les épisodes pluvieux se prolongent sur plusieurs semaines sans interruption, l'accumulation d'eau excédentaire ne peut être compensée par un drainage suffisant. Un drainage trop excessif pourrait compromettre l'équilibre tant d'un point de vue d'évacuation des excès, en réduisant la capacité de la nappe à stocker l'eau et en provoquant des inondations en aval, que d'évitement des déficits, en diminuant les réserves d'eau souterraine nécessaires lors des périodes de sécheresse.



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 ou une altération des sols. Les sols saturés rendent l'accès difficile pour la DFCI 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 surdrainage 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.



D'un point de vue écologique, le maintien des zones humides en eau, en limitant le drainage, est bénéfique sur l'ensemble de leurs fonctions (stockage du carbone, filtre, support de biodiversité...). La limitation du drainage par la perméabilité du sol permet aux zones humides de jouer leur rôle tampon en restituant lentement, et donc sur une durée allongée, l'eau stockée aux milieux attenants, jouant le rôle de soutien à l'étiage.



Dans les crastes et fossés, des pics de débit se produisent en réponse aux précipitations du fait de la nature et des propriétés du sol. Ces pics sont d'autant plus marqués lorsque la nappe est déjà haute. En définitive, **c'est la perméabilité du sol qui joue un rôle clé dans l'atténuation des flux, la résistance du sable à l'écoulement permet de tamponner les flux.**

Un drainage excessif pourrait compromettre l'équilibre à la fois en termes d'inondation et de gestion des sécheresses. Un drainage trop profond a pour effet de réduire la capacité de stockage de la nappe, on évacue trop rapidement l'eau qui aurait autrement été retenue dans les pores du sol. Lorsque l'eau est évacuée à un rythme trop rapide, l'eau excédentaire qui serait normalement absorbée et filtrée s'écoule rapidement vers l'aval. Ce flux accéléré peut

entraîner des inondations en aval en raison de débits excessivement forts et d'un flux d'eau trop rapide. D'autre part, ce même drainage réduit les réserves d'eau nécessaires pour les périodes de sécheresse à venir, augmentant le risque de déficit.



Par ailleurs, les remises en eau brutales observées par le passé ont montré qu'elles pouvaient provoquer d'importants flux de nutriments vers l'aval, ainsi que des débordements et des phénomènes de refoulement des réseaux en zone urbanisée.

## Perspectives

Par la suite, des essais de pompage en nappe réalisés dans différents contextes pédologiques pourraient permettre d'affiner l'estimation des paramètres hydrogéologiques, tels que la perméabilité et la transmissivité, ainsi que d'analyser leur variation en fonction des types de sol.

Les futures chroniques de suivi pourraient permettre de déterminer la plage de valeurs et la variabilité de la porosité dynamique sur le secteur. La **porosité dynamique** désigne une variation de la porosité au fil du temps, influencée par des facteurs tels que l'humidité, la pression, la température et l'écoulement d'eau. Contrairement à la porosité statique, qui mesure les espaces vides à un instant donné, la porosité dynamique prend en compte les changements de ces espaces vides en fonction des conditions environnantes. Dans les sables landais, la porosité dynamique peut varier de façon significative entre les périodes de recharge et de fin d'été, et ainsi affecter la conductivité et la capacité de stockage.

En période de recharge, lorsqu'il y a une infiltration d'eau et un taux d'humidité élevé, la porosité dynamique peut augmenter légèrement, les pores sont remplis d'eau de manière plus homogène, ce qui facilite l'infiltration et le mouvement de l'eau. En revanche, à la fin de l'été, la porosité dynamique pourrait diminuer légèrement, car les espaces vides et secs deviennent plus importants, l'écoulement de l'eau devient plus difficile. Ces variations sont sous l'influence de nombreux facteurs (texture et composition du sol, teneur en matière organique ou argiles, conditions climatiques locales...). La fourchette de variation est de quelques pourcents. Bien que la différence semble faible, cela peut avoir un impact important sur les dynamiques de drainage. **En fonction des caractéristiques du sol, cela peut conduire à des variations dans la durée et la vitesse des processus de drainage, allant de quelques jours à plusieurs semaines.**

Pour observer ce phénomène, il serait nécessaire de comparer deux épisodes pluvieux similaires (durée, intensité) en fin d'automne et au printemps. À ce stade, étant donné les deux années très contrastées du point de vue pluviométrique, ces conditions ne sont pas encore réunies. Des tests de porosité et de perméabilité réalisés sur des échantillons de sol à différentes humidités permettraient également d'étudier directement la variation de porosité dynamique en fonction des conditions hydriques.

## 5. Fonctionnement hydrologique des lagunes

### Etat des lieux des lagunes objets de l'étude

Les cinq lagunes étudiées sont situées sur la commune d'Hourtin, en tête de bassin-versant. Chacune présente une dynamique hydrologique et écologique spécifique, influencée par le contexte environnemental dans lequel elle s'inscrit. L'analyse des données recueillies révèle des fonctionnements très contrastés d'un site à l'autre, en raison de la diversité des facteurs influençant l'hydrologie de ces lagunes.

Parmi ces facteurs, on distingue **des connexions plus ou moins libres entre les lagunes, la nappe et le réseau de drainage**, modulées par la présence d'argiles, de remblais ou encore de merlons de curage anciens. D'autres éléments, tels que la topographie locale, la proximité de crastes incisées, la végétation environnante ou encore l'influence des activités agricoles, jouent également un rôle déterminant.

L'effet hydrologique de la **couche d'aliôs** reste largement méconnu. Sa présence, son épaisseur et sa continuité sur le territoire ne sont pas clairement identifiées, tout comme ses propriétés hydrologiques, qui mériteraient d'être mieux caractérisées.

**La distance des lagunes au drain** varie entre 16 et 140 mètres, ce dernier étant systématiquement moins profond que les lagunes, ce qui contribue à leur maintien en eau en période d'étiage. L'histoire de ces lagunes et les **interventions humaines passées** influencent fortement leur fonctionnement hydrologique. En particulier, la **présence de merlons de curage** perturbe les échanges avec la nappe et le réseau de drainage périphérique. Lorsqu'un reprofilage est nécessaire à la restauration des lagunes, les pratiques actuelles privilégient des approches minimisant toute altération du fond. Ce procédé, moins impactant en principe, préserve davantage l'équilibre hydrologique du milieu. Toutefois, à court terme, l'effet tampon des lagunes se trouve réduit en raison du retrait du couvert végétal et du remaniement de la matière organique, influant temporairement sur leur capacité de rétention et de régulation des eaux.

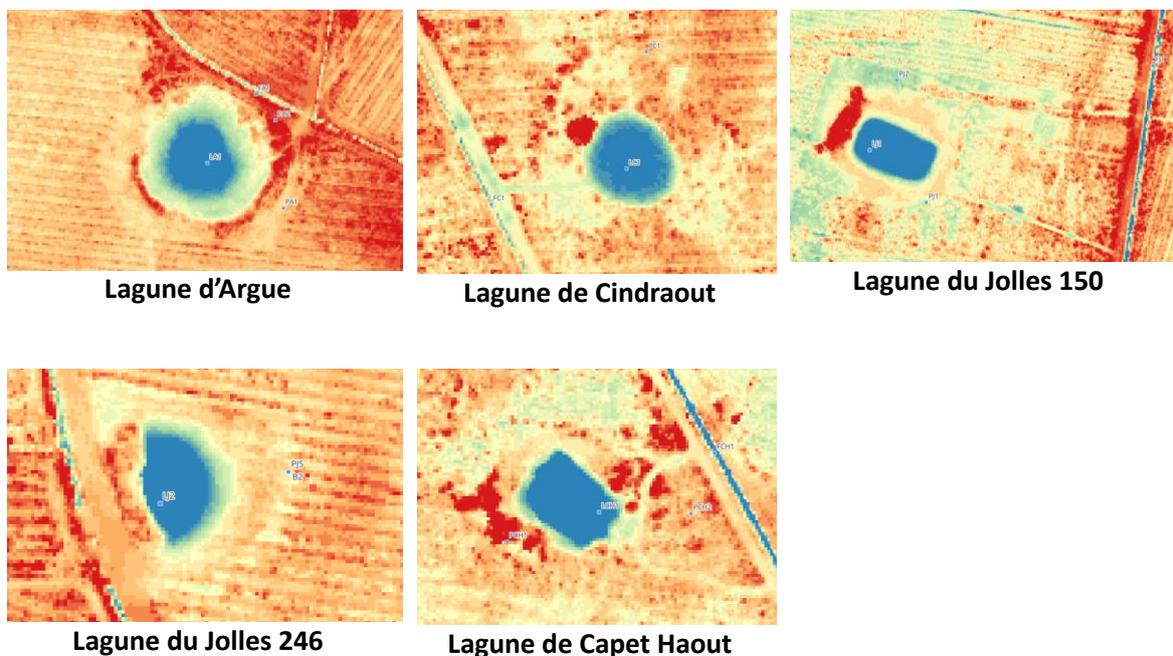


Figure 34: Vue aérienne LIDAR des lagunes

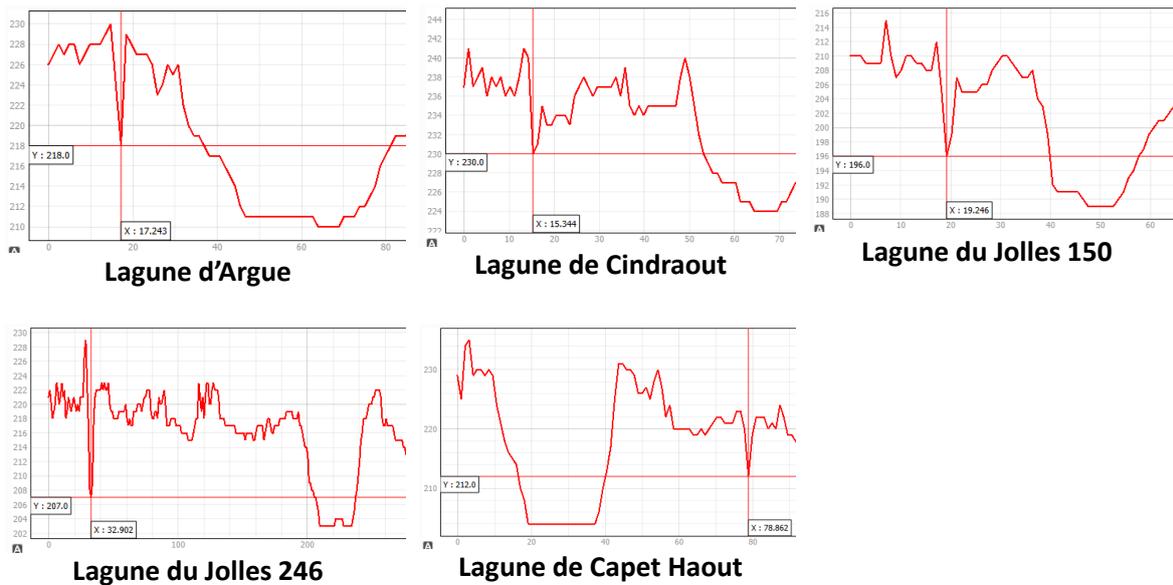


Figure 35 : Vue en coupe des lagunes (LIDAR)

### Recharge des lagunes

Les lagunes sont principalement alimentées par les précipitations, qui jouent un rôle clé aussi bien dans le remplissage direct des lagunes que dans la recharge de la nappe phréatique. La connexion entre ces deux réservoirs dépend toutefois de la perméabilité du fond des lagunes.

Dans le cas des lagunes à fond perméable, l'eau de pluie s'infiltré librement, alimentant simultanément la nappe et la lagune. La nappe affleure alors dans ces dépressions, créant un mélange homogène entre l'eau lagunaire et l'eau souterraine, qui présentent ainsi une composition similaire.

En hautes eaux, on observe dans la majeure partie des cas des niveaux de nappe plus élevés en amont des lagunes (piézomètre extérieur) et allant en diminuant jusqu'au drain. Ainsi, **localement, la nappe alimente la lagune tandis que le réseau périphérique draine la nappe**. Indirectement, le réseau périphérique draine les lagunes. Les données de la lagune de Capet Haout illustrent ce type de fonctionnement.

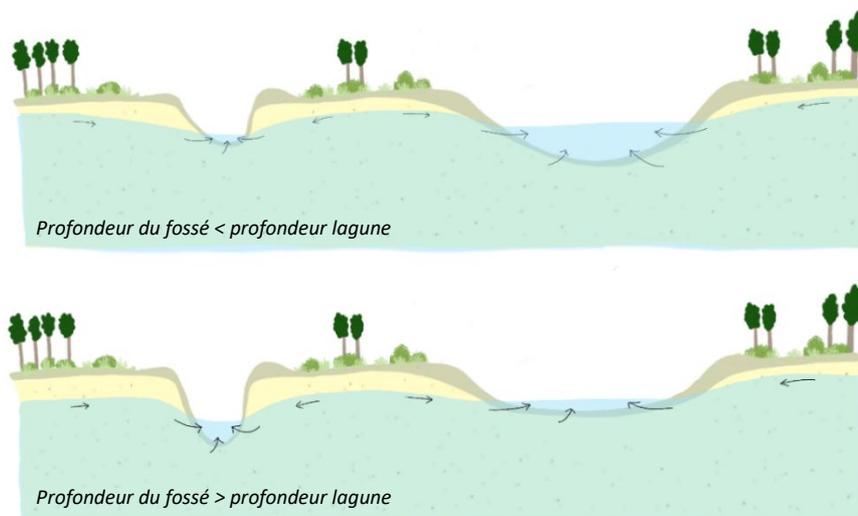


Figure 36 : Hautes-eaux : Cas des lagunes perméables alimentées par la nappe et indirectement drainées par le réseau périphérique

En revanche, lorsque le fond des lagunes devient peu perméable en raison de l'accumulation de matière organique, la présence d'argiles ou encore le développement de la végétation, les échanges avec la nappe sont limités. Dans ce cas, l'eau de la lagune provient presque exclusivement des précipitations directes, tandis que la nappe conserve une alimentation indépendante. Cette séparation hydrologique entraîne une différenciation des compositions chimiques entre l'eau de la lagune et celle de la nappe, chaque réservoir évoluant selon ses propres dynamiques de recharge et d'évaporation.

Dans ces cas-là, les échanges nappe-rivière sont limités et le niveau d'eau des lagunes peut s'élever au-dessus de celui de la nappe. La couche de sol peu perméable (alios, argile, matière organique) au fond de la lagune favorise le maintien en eau de la lagune en limitant l'effet drainant des fossés périphériques. Ainsi, lorsque la typologie des sols varie, le fonctionnement hydrologique s'adapte en conséquence.

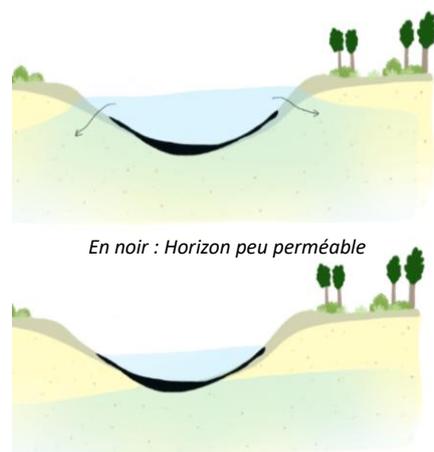
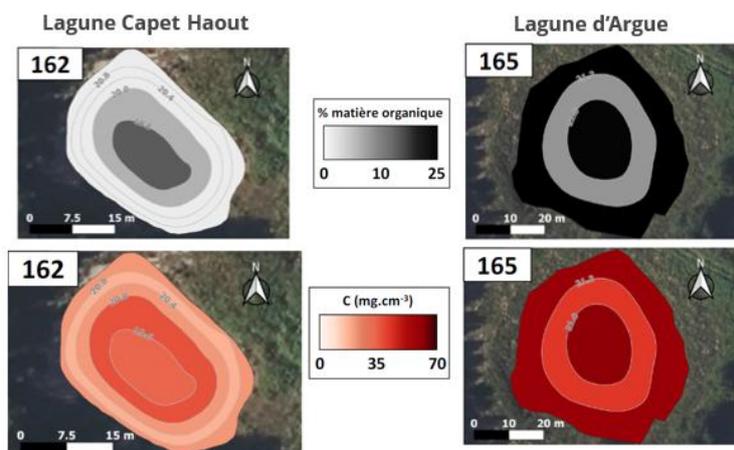


Figure 37 : : Illustration schématique de l'impact d'une diminution de la perméabilité du fond d'une lagune sur sa connexion avec la nappe

**Exemple :** C'est le cas de la lagune d'Argue, elle présente un fond argileux qui **limite les échanges avec la nappe**.



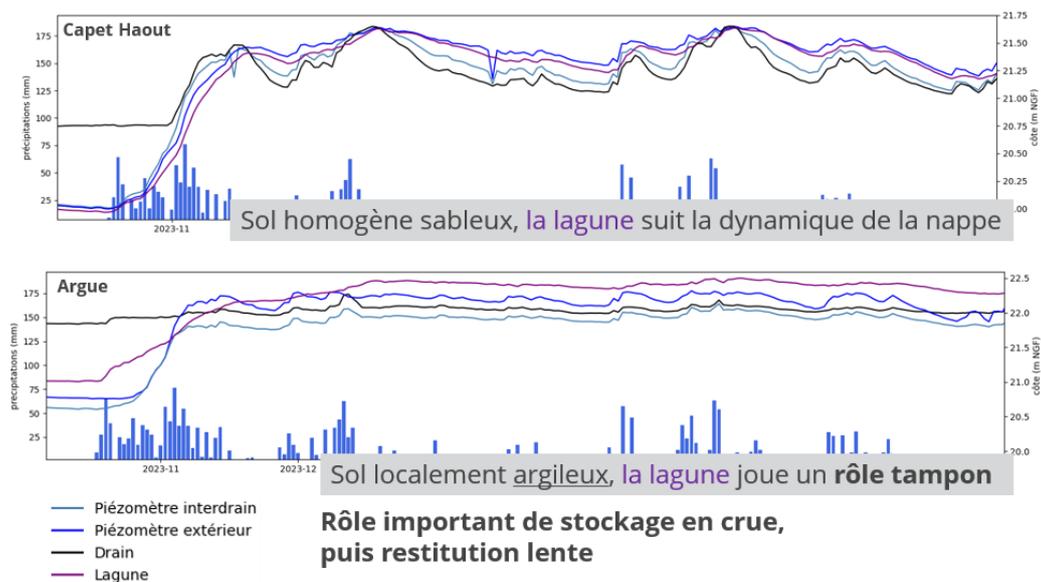


Figure 38: Cas des lagunes de Capet Haout et Argue : des typologies de sol différentes induisent un fonctionnement hydrologique différent

En pratique, la perméabilité se manifeste à une échelle micro locale, de sorte qu'une même lagune peut entretenir une connexion variable avec la nappe à différents points de leur interface. Cette variabilité spatiale influe sur les échanges hydriques et peut créer des dynamiques contrastées au sein d'un même plan d'eau. Le fond des lagunes, en particulier, est le lieu privilégié d'accumulation de matière organique, ce qui le rend localement moins perméable que les bords de la lagune.

D'après la bibliographie, la matière organique joue sur le comportement hydrologique mais la typologie de matière organique considérée est également un facteur d'influence (structure, granulométrie etc.). Une granulométrie importante peut favoriser les écoulements (chemins préférentiels) tandis qu'une granulométrie fine peut mener à une réduction importante de la conductivité hydraulique (les particules de MO se logeant dans les interstices et réduisant la porosité).

### Vidange des lagunes à l'étiage et capacité tampon

À l'étiage, lorsque la nappe descend en dessous du fond des drains (pointillés jaunes), ces derniers ne jouent plus aucun rôle de drainage pour les entités hydrologiques périphériques. Les lagunes forestières plus profondes que les drains se maintiennent davantage en eau. La nappe descend ensuite progressivement sous l'effet du prélèvement racinaire et de l'évapotranspiration. Lorsque la nappe est plus basse que le niveau d'eau de la lagune, la lagune joue un rôle tampon et restitue de l'eau à la nappe. Autrement dit, la lagune alimente la nappe (la nappe draine la lagune).

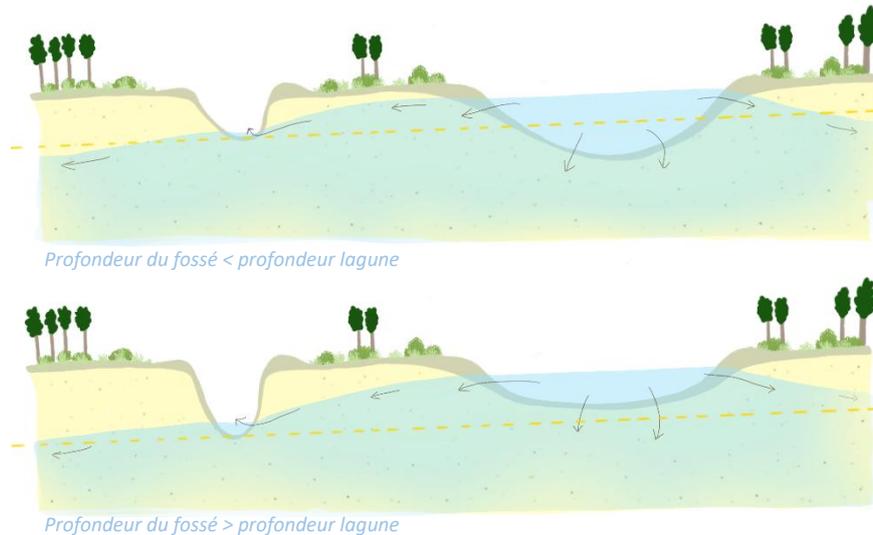


Figure 39: Les lagunes restituent lentement au milieu les excès d'eau stockés lors des Hautes-eaux

On note bien que **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. Les données indiquent que la profondeur des drains a un impact significatif principalement en période d'étiage, et non en période humide. Le modèle réalisé à Sescousse confirme cette tendance : plus un drain est profond, plus il accentue le rabattement de la nappe en période d'étiage. 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.

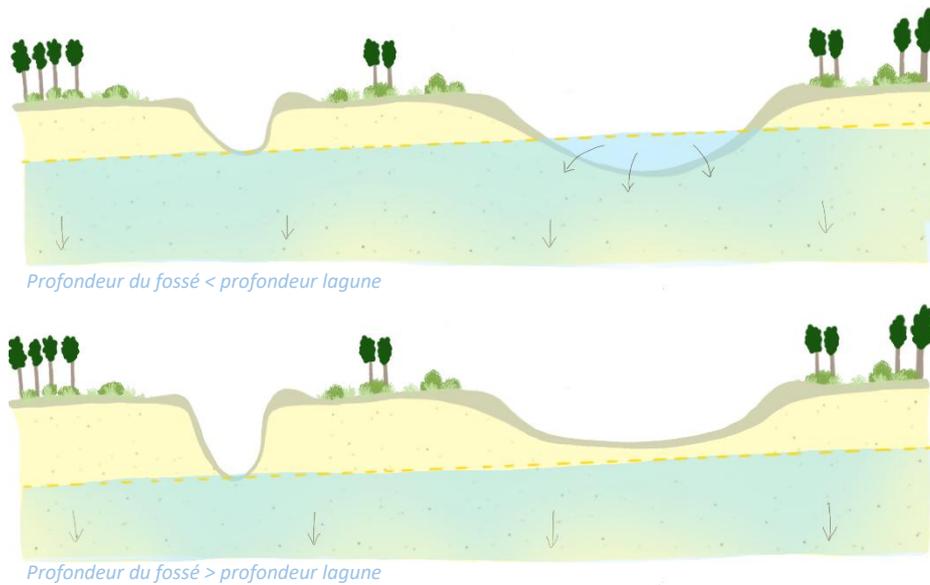


Figure 40 : Lorsque la nappe descend sous le niveau des drains, le réseau de drainage n'est plus actif, la nappe descend jusqu'à atteindre sa côte minimum

**Nous mettons en évidence deux facteurs clés : d'une part, une profondeur accrue des drains prolonge la durée de drainage et augmente le stress hydrique à l'étiage ; d'autre part, la densité du réseau de drainage influence la vitesse d'évacuation des eaux en période humide. Un système plus dense est plus réactif.**

Dans ce système, les lagunes ont un rôle tampon à la fois d'accumulation d'eau en crue et de rétention diffuse en période sèche. La présence de drains à proximité directe d'une lagune compromet ce rôle tampon. Bien que le marnage saisonnier soit habituel sur ces écosystèmes humides, il convient de favoriser le maintien d'un niveau d'humidité important pour garantir la bonne expression des services écosystémiques de ces milieux (Filtre, Habitat, Stockage de Carbone...).

## 6. Quantification des effets des travaux de diffusion des eaux

L'un des objectifs de ce réseau de suivi était de mettre en évidence l'effet de travaux sur les cours d'eau plus en aval ou sur le chevelu de fossés à proximité, sur les têtes de bassins versant. Il s'agissait notamment, pour mesurer l'effet des reconnections entre la Berle et le marais (annexes hydrauliques historiques), de comparer des modifications de hauteurs d'eau pour des épisodes pluvieux équivalents avant et après travaux. En pratique il est très rare de retrouver deux situations rigoureusement comparables. Lorsque les précipitations sont équivalentes, le niveau de nappe initial ne l'est pas forcément. Etant donné la complexité du réseau, le fait que l'eau emprunte un chemin dès lors que telle côte est atteinte, sinon c'en sera un autre etc. il est moins aisé que prévu d'attribuer les effets observés aux travaux réalisés. Pour autant, les observations vont dans le sens escompté. L'enregistrement de davantage de chroniques sur les prochaines années et avec des climats contrastés devrait permettre de confirmer les résultats qui semblent se dessiner.

Cependant, il est difficile d'avoir un témoin stable sur un territoire aux enjeux variés (Travaux de reconnection du réseau hydrologique, influence de multiples paramètres notamment les prélèvements agricoles évolutifs, gestion forestière...). Lorsque les années sont contrastées, les usages le sont également. En effet, lors de l'été 2024, la nappe bénéficiait encore de niveau particulièrement haut en période d'étiage, étant donné l'hiver humide qui avait précédé. En conséquence, les prélèvements d'eau pour l'irrigation agricole n'avaient rien de comparable avec les prélèvements de l'été 2022 particulièrement sec. Ces prélèvements impactent donc les chroniques des ouvrages les plus proches des champs, qui ne peuvent plus être mis en comparaison avec les ouvrages non impactés.

### Effet qualitatif des travaux de répartition des eaux autour du domaine de Coutin



**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.

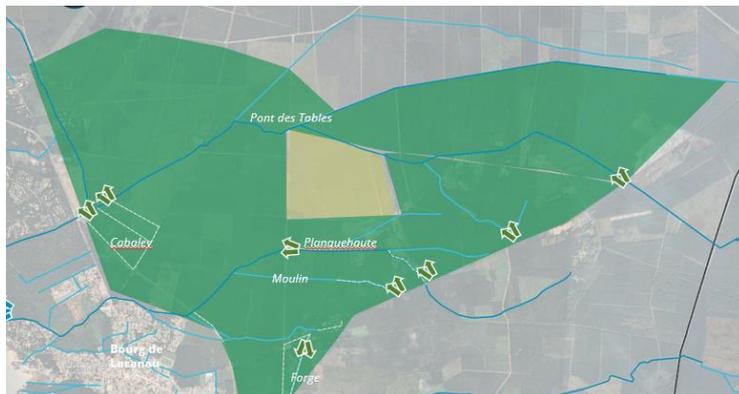


Figure 41 : Vue sur les aménagements Biron - Lambrusse

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.

### Travaux d'atténuation des crues à Lacanau



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

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 améliorées 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.

## Reconnexion des crastes Jolles et Jaugas

Les reconnexions réalisées en aval du domaine Saint Jean ont la vocation d'augmenter le temps de résidence de l'eau dans les fossés par le biais d'un chevelu hydrographique allongé. Sur la craste Luc Bernos, 3 km de crastes ont été reprofilées et reconnectées. Des opérations similaires ont été réalisées en 2024 sur la craste Jaugas, au Sud du domaine St Jean sur **1.2 km**. Encore plus au Sud, les crastes du secteur du Jolles ont bénéficié en 2022 et 2024 de mêmes opérations sur **2.5 km**.



Figure 42 : Vue sur la craste Jaugas (à gauche) et le fossé du Jolles sud (à droite) après travaux

Afin de montrer l'efficacité des travaux, et donc l'augmentation du linéaire de fossé connecté, il s'agit de comparer les données de deux stations, en amont et en aval des reconnexions : Fossé Saint-Vincent et Caillava amont (Citerne).

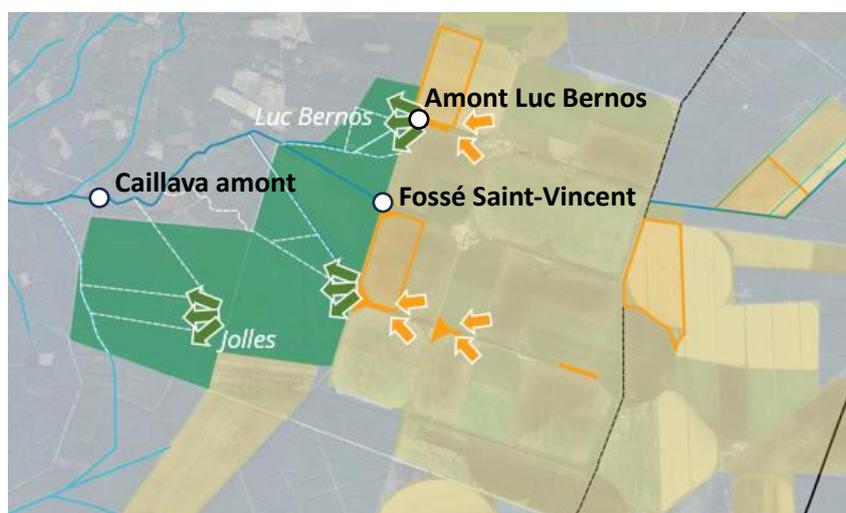


Figure 43 : Localisation des travaux et des ouvrages de suivis des niveaux d'eau utilisés pour l'étude

A débit équivalent mesuré à la Matouse (224 l/s), qui sert de référence locale, l'écart entre les hauteurs d'eau mesurées en amont et en aval des travaux sont toutefois stables. Avec un écart moyen de 4,23 m entre l'amont et l'aval qui se maintient globalement depuis janvier 2023, avec des écarts de +/- 3 cm.

Date	Débit Matouse (l/s)	côte Aval: caillava citerne (m NGF)	côte Amont: St Vincent (m NGF)	Ecart (m)
17/01/2023	224	20.49		
12/03/2023	224	20.4	24.62	4.22
14/03/2023	224	20.36	24.6	4.24
18/11/2023	224	20.51	24.75	4.24
03/12/2023	224	20.44	24.66	4.22
29/12/2023	224	20.44	24.66	4.22
31/12/2023	224	20.45	24.66	4.21
03/01/2024	224	20.45	24.71	4.26
05/01/2024	224	20.44	24.65	4.21
17/02/2024	224	20.41	24.66	4.25
16/03/2024	224	20.44	24.7	4.26
28/03/2024	224	20.41	24.63	4.22

Figure 44 : Comparaison des côtes de niveau d'eau en amont et aval des travaux pour un même débit mesuré à la Matouse

Une autre manière de procéder est de comparer le débit de la Matouse à la station Caillava citerne avant et après travaux.

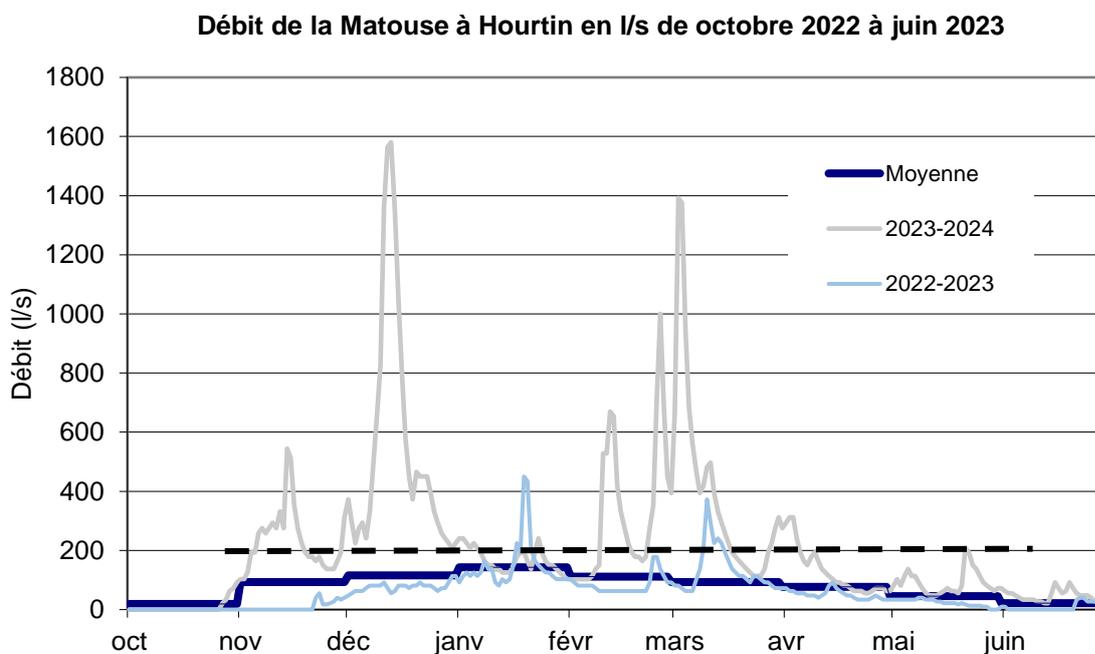


Figure 45: Débit de la craste Matouse à Hourtin

Date	Débit Matouse (l/s)	côte Caillava citerne (m NGF)	hauteur d'eau caillava citerne (m)
17/01/2023	224	20.49	0.24
12/03/2023	224	20.4	0.15
14/03/2023	224	20.36	0.11
18/11/2023	224	20.51	0.26
03/12/2023	224	20.44	0.19
29/12/2023	224	20.44	0.19
31/12/2023	224	20.45	0.2
03/01/2024	224	20.45	0.2
05/01/2024	224	20.44	0.19
17/02/2024	224	20.41	0.16
16/03/2024	224	20.44	0.19
28/03/2024	224	20.41	0.16

Figure 46 : Côtes mesurées à Caillava citerne pour un même débit mesuré à la Craste Matouse

### Effet reconexion du marais

De la même manière, un regard sur les travaux de reconexion du marais est envisageable par le contrôle des hauteurs d'eau pour un même débit au Pont Napoléon, à Couture et à Lupian.

Date	Débit Matouse (l/s)	côte Pont napoléon (m NGF)	côte couture (m NGF)	côte lupian (m NGF)	Delta Nap-Cou	Delta Cou-Lup	Delta Nap-Lup
17/01/2023	224		15.47				
12/03/2023	224			15.91			
14/03/2023	224			15.86			
18/11/2023	224	17.64	15.56	16.00	2.08	0.44	1.64
03/12/2023	224	17.52	15.56	15.96	1.96	0.40	1.56
29/12/2023	224	17.51	15.55	15.94	1.96	0.40	1.57
31/12/2023	224	17.50	15.54	15.93	1.97	0.39	1.57
03/01/2024	224	17.55	15.53	15.93	2.01	0.40	1.61
05/01/2024	224	17.51	15.53	15.93	1.98	0.41	1.57
17/02/2024	224	17.47	15.49	15.91	1.97	0.42	1.55
16/03/2024	224	17.48	15.46	15.95	2.01	0.49	1.53
28/03/2024	224	17.41	15.48	15.90	1.93	0.43	1.51

Figure 47 : Niveaux d'eau NGF mesurés par les sondes au pont Napoléon, à Couture et à Lupian pour un même débit mesuré à la Matouse

**Le manque de données antérieures aux reconnections limite la possibilité d'objectiver les évolutions constatées. Les faibles écarts types calculés ne traduisent pas de changement significatif de dynamique hydrologique. Néanmoins, les observations de terrain montrent des effets perceptibles des reconnections, ce qui suggère une influence concrète sur le fonctionnement du système. De plus, le débit du Canal des étangs à l'exutoire à Lège est lissé et témoigne bien d'un effet tampon des travaux à l'échelle du bassin-versant.**

L'une des principales difficultés rencontrées dans l'évaluation des effets des travaux de reconexion est le manque de données sur les débits ainsi que les lacunes en matière de nivellement. Le contexte hydromorphologique du site est marqué par une forte dynamique sédimentaire, avec un sable facilement mobilisable dès les premiers débits significatifs. Cette particularité entraîne une évolution rapide du lit du cours d'eau, modifiant ainsi les relations hauteur-débit.

Même lorsque des tarages existent, ils ne sont pas durables dans le temps. À chaque crue, la morphologie du lit change, rendant obsolète la formule de tarage reliant la hauteur d'eau au débit. Il est difficile d'isoler la part liée aux crues, notamment celle de décembre, et à la recharge sédimentaire qui en découle.

Par ailleurs, si les sondes en place permettent d'obtenir des côtes en mètres NGF, elles ne renseignent pas directement sur la hauteur d'eau réelle, faute de données précises sur la côte du fond du lit. Ainsi, l'interprétation des niveaux d'eau reste partielle. Seules quelques hauteurs relevées à l'échelle permettent un contrôle, mais elles restent insuffisantes pour caractériser précisément les variations hydrauliques du site.

### **Perspectives**

Un complément de données, notamment par des levés topographiques et des suivis hydrauliques plus approfondis, permettrait d'affiner l'analyse des effets des travaux de reconnexion en tenant compte des évolutions naturelles du cours d'eau.

D'autres pistes sont explorées afin de tout de même mettre en évidence une modification du régime hydrologique qui témoignera de l'effet direct des travaux menés sur le BV :

### **Mesures de débits au courantomètre**

Là où des mesures de débit existaient avant les travaux, il peut être pertinent d'effectuer de nouvelles mesures après les travaux afin de les comparer. Toutefois, il est préférable que l'état initial dispose de données horaires plutôt que journalières, afin d'éviter un lissage des pics de crue et de mieux les mettre en évidence.

Dans le cadre de la reconnexion de linéaires de fossés auparavant déconnectés du réseau hydrique, et à débit équivalent à l'exutoire, le débit mesuré sur chaque fossé devrait être inférieur à celui observé avant les travaux.

### **Utilisation d'une équation de mélange**

Il est possible de mesurer l'impact de travaux sur le régime hydrologique d'un cours d'eau à l'aide d'une équation de mélange basée sur la conductivité, le tout en s'appuyant sur le principe de conservation de la masse appliqué aux eaux de différentes origines. L'équation de mélange repose sur l'idée que la conductivité électrique ( $\sigma$ ) d'un mélange de deux ou plusieurs sources d'eau est une combinaison pondérée de leurs conductivités respectives, proportionnelle à leurs débits (Q).

Les eaux forestières et agricoles ont des signatures géochimiques distinctes. Si des travaux modifient les écoulements, ils vont affecter les flux entrants ou sortants du système. En mesurant les variations de conductivité avant et après les travaux, on peut déterminer les modifications des contributions hydrologiques : une augmentation de la conductivité en aval peut indiquer une concentration accrue en sels minéraux, souvent liée aux eaux issues du drainage agricoles, tandis qu'une diminution peut signaler une dilution. Ainsi, en mesurant les variations de conductivité et de débit en amont et en aval avant et après les travaux, on peut estimer la part des modifications imputables aux changements hydrologiques induits par les travaux.

La relation entre conductivité et concentration en solutés peut être influencée par des réactions chimiques dans le sol. Cette méthode doit être complétée par d'autres observations pour une interprétation fine.

## 7. Quantification de la demande évapotranspiratoire des pins

Les incendies de 2022 dans les secteurs de Saumos et Sainte-Hélène offrent une opportunité unique d'étudier la demande évapotranspiratoire des pins. En effet, des données mensuelles de niveaux de nappe ont été relevées depuis 2015 sur des ouvrages proches des parcelles forestières incendiées, fournissant un état initial propice à la **comparaison du bilan hydrique avant et après l'incendie**. Ces données, fournies par l'AMAF, ont été la base d'un projet étudiant proposé par le SIAEBVELG et encadré par l'ENSEGID de décembre 2024 à mars 2025.

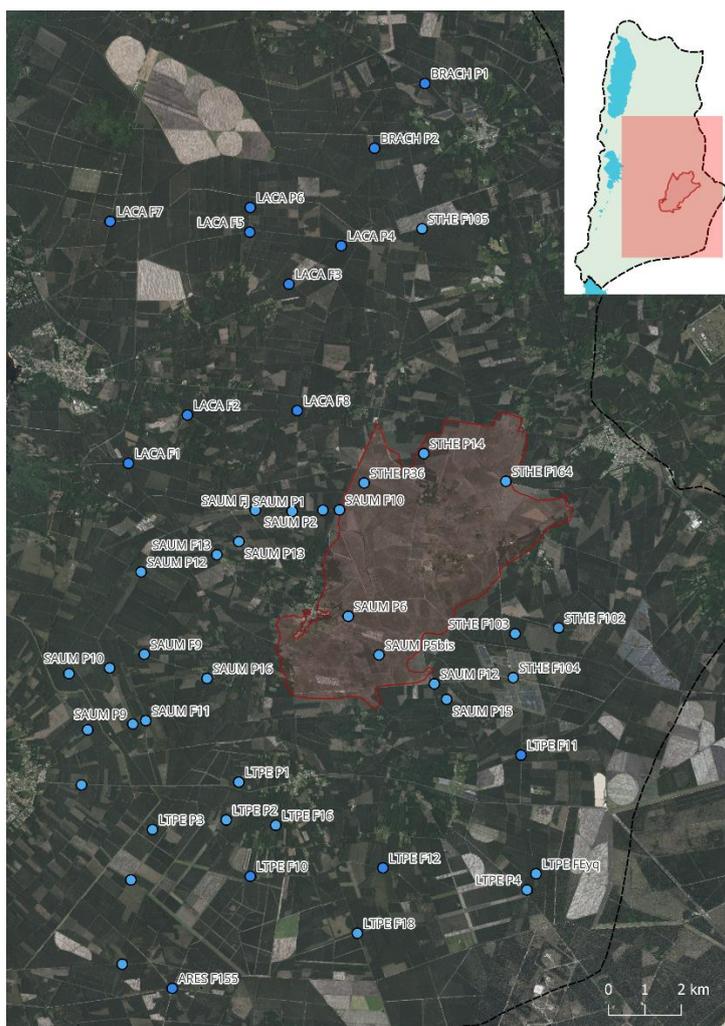


Figure 48: Localisation de la zone incendiée en 2022 et réseau de suivi AMAF

Un modèle de série temporelle (PASTAS) a été développé et configuré sur les données initiales, et les données météorologiques des années 2023 et 2024 ont ensuite été intégrées à ce modèle pour simuler le comportement des parcelles forestières en l'absence d'incendie. La comparaison avec les données réelles observées après le feu permet ainsi de **quantifier le changement associé à l'absence de plantation**.

Les résultats ont montré un écart de hauteur de nappe d'environ 46 cm entre les données simulées et observées, ce qui correspond à une **lame d'eau non consommée par les pins de l'ordre de 69 à 138 mm**, particulièrement près du cœur de l'incendie (P5bis). **Cet écart est interprété comme la quantité**

d'eau que la végétation, et en majeure partie les pins, aurait mobilisé dans des conditions non-perturbées pour subvenir aux besoins évapotranspiratoires estivaux. En outre, à proximité d'une craste incisée (P6), cet écart a atteint 37 cm, correspondant à une lame d'eau non consommée de 55 à 111 mm, soulignant l'effet drainant de la craste de l'Eyron. Enfin, à mesure que l'on s'éloigne de l'épicentre du feu (P36), la variation du niveau de la nappe devient plus faible, avec une lame d'eau non consommée d'environ 40 à 81 mm, indiquant une mortalité plus faible des plantations et du sous-bois.

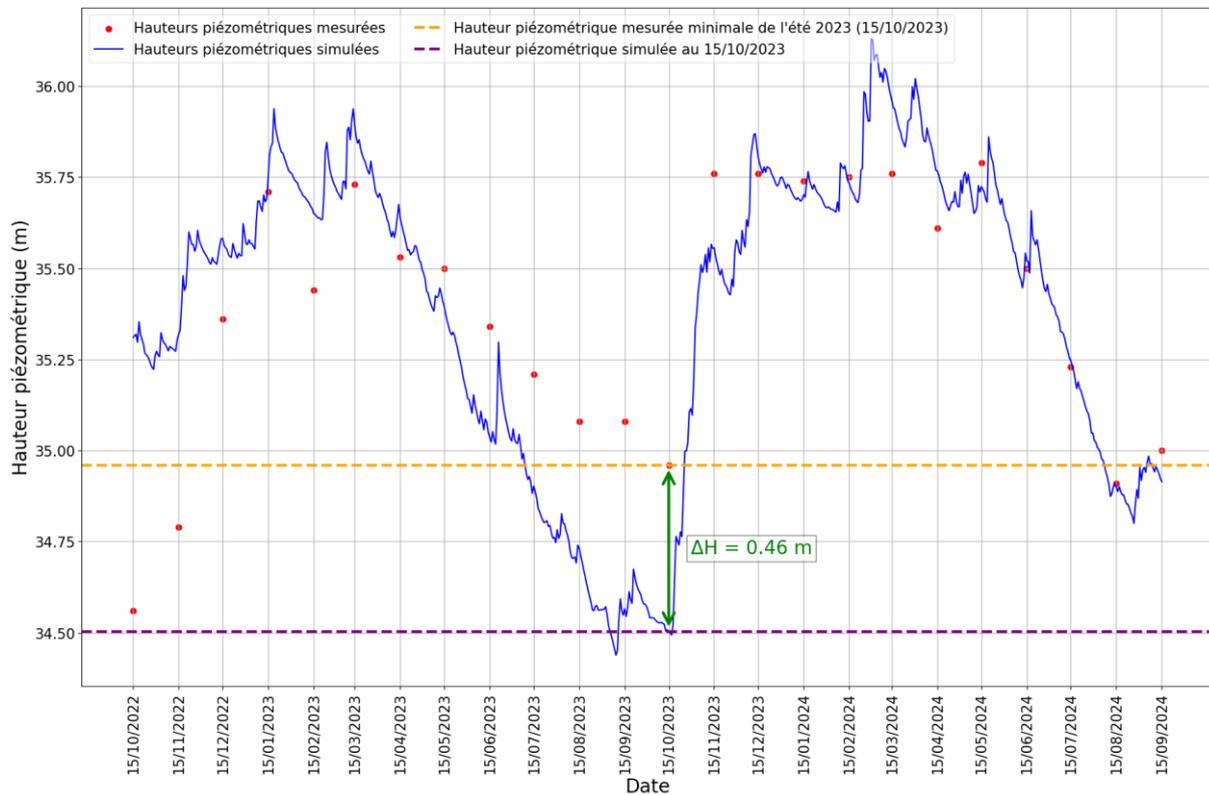


Figure 49 : Hauteurs piézométriques simulées et mesurées au droit du piézomètre P5bis au cœur de l'incendie

Ces travaux ont également révélé une **demande évapotranspiratoire significative du sous-bois**, avec une répartition de 55 % pour la Molinie et 45 % pour les pins. Une hypothèse pourrait être que la Molinie mobilise l'eau sans engendrer d'évaporation vers l'atmosphère, et la rend ainsi accessible pour les pins ensuite.

Une comparaison a été envisagée avec les coupes rases afin d'évaluer si les effets étaient similaires. Bien que les coupes rases entraînent également une légère réhausse du niveau de nappe et une baisse de l'évapotranspiration, l'inertie de ces deux formes de dépeuplement s'avère incomparable. En effet, **l'incendie a dévasté 3000 ha en seulement 2 jours, tandis qu'une coupe rase exploite environ 10 ha en 3 semaines**. De plus, contrairement à un incendie, une coupe rase laisse les souches en place, ce qui permet aux racines de continuer à exercer une certaine activité contrairement aux pins incendiés.

## Conclusions

### Une typologie de sol qui détermine la dynamique hydrologique

- Sables fins de perméabilité estimée à 10-5 m/s et porosité à 30%
- **Grande réactivité** de la nappe du fait de sa porosité
- La perméabilité du sol joue un rôle clé dans **l'atténuation des flux**, la résistance du sable à l'écoulement permet de lisser et tamponner les flux

### Effets de la géométrie du réseau de drainage

**Espacement des drains** : contrôle la dynamique de drainage (réactivité), un système plus dense favorise une évacuation rapide des excès d'eau

**Profondeur des drains** : plus ils sont profonds, plus la nappe est abaissée durablement, induisant un **stress hydrique accru à l'étiage**.

Un drainage excessif nuit à l'équilibre :

- Risques d'inondation majorés en période humide
- Sécheresse amplifiée en période d'étiage



### Conséquences sur la forêt

**En période de hautes eaux**, l'eau s'accumule rapidement dans les sols peu perméables, engendrant :

- Engorgement des sols, asphyxie racinaire, chablis et sols difficilement praticables (DFCI, exploitation)
- Risques accrus lors d'événements concomitants (tempêtes, fortes pluies)

**En période de basses eaux**, l'incision et le sur-drainage provoquent :

- Stress hydrique précoce et prolongé, d'autant plus à proximité de crastes incisées
- Vulnérabilité accrue des arbres (maladies, insectes, affaiblissement physiologique)



### Débits vers l'aval

Le drainage excessif favorise l'accélération des flux et l'incision, tous deux mènent à :

- Une réduction des réserves d'eau mobilisables en période sèche
- Flux plus rapides vers l'aval, avec des pics de débit accentués après les précipitations
- Risques accrus d'inondations en aval



## Zones humides

L'incision entraîne une **déconnexion du lit mineur** avec ses annexes hydrauliques :

- Réduction de la recharge en eau des zones humides, assèchement progressif
- Perte de biodiversité et de fonctionnalités écologiques (épuration, régulation, soutien d'étiage)

Le drainage profond abaisse durablement la nappe :

- Assèchement des sols et dégradation du rôle tampon des zones humides sur le long terme

Les **zones humides impactées** incluent les lagunes forestières, les zones alluviales de bord de cours d'eau et les marais de bord de lac.



## Lagunes forestières

Les lagunes jouent un **double rôle tampon** : **Accumulation** lors des crues et **restitution lente** permettant le soutien à l'étiage.

La proximité de drains altère ce fonctionnement :

Génère un risque de dessèchement excessif ou de vidange trop rapide

- Compromet les services rendus : filtration, stockage du carbone, habitat, etc

Le marnage saisonnier est naturel et dépendant des conditions météorologiques, il convient donc de limiter l'effet supplémentaire du drainage pour préserver les fonctions écologiques.



## Qualité d'eau

L'accélération des flux empêche les **processus de filtration naturels** :

- Augmentation de la turbidité
- Erosion accentuée
- Moindre capacité d'auto-épuration par les zones humides
- Transport rapide des polluants (nitrates, phosphates, pesticides) vers l'aval et vers les lacs



## Biodiversité

La perte d'humidité et la déconnexion hydrologique dégradent les habitats :

- Moins d'eau → moins d'habitats fonctionnels pour la faune et la flore aquatiques.
- Modification des conditions physico-chimiques → écosystèmes fragilisés.
- La végétation aquatique peine à s'installer durablement → perte de diversité.

**En résumé, restaurer un fonctionnement plus naturel des milieux, en limitant l'incision et le drainage excessif, est essentiel pour redonner de la résilience aux écosystèmes, préserver les usages et mieux faire face aux effets du changement climatique.**

## Points de contrôle et besoins identifiés pour les prochains suivis

Au cours de cette étude, plusieurs points d'amélioration ont été identifiés :

### Choix des sondes de pression

Le choix des sondes de mesure à utiliser mérite d'être réévalué. Bien que le critère principal pour sélectionner les sondes HOBO ait été d'ordre économique, il est crucial de souligner qu'elles ont rencontré de sérieux problèmes de données. Malgré leur installation en 2022, nous ne disposons que d'un an de données fiables. De nombreux décalages de dates ont été observés dans les données exportées, ce qui a conduit à mettre en place un relevé des données plus régulier, limité à un maximum de deux mois, afin de réduire le risque de perte d'informations.

De plus, l'utilisation de ces sondes n'encourage pas une démarche écoresponsable, ce qui soulève des préoccupations quant à leur impact environnemental. Lorsque la batterie est hors service, le coût de son remplacement est similaire à celui d'une nouvelle sonde. De plus, la précision de ces sondes n'est pas la meilleure du marché. Deux alternatives intéressantes pourraient être envisagées : les sondes DIVER, qui ont été testées dans le cadre d'une étude spécifique au nord d'Hourtin sur les landes de Sescousse, ou les sondes de la marque française NKE Instrumentation basée à Lorient (56), qui offriraient un support utilisateur facilité.

### Nivellement professionnel des ouvrages

Avec le recul, un nivellement professionnel offrant une précision de l'ordre d'un à deux centimètres aurait dû être mis en place dès le début du projet. Cela aurait non seulement évité des imprécisions dans l'interprétation des résultats, mais aussi représenté un gain de temps, puisque nous avons fini par y avoir recours sur certains points après plusieurs tentatives infructueuses avec le matériel de nivellement de l'ENSEGID. Il aurait également été pertinent de privilégier, dans la mesure du possible, des emplacements où un nivellement fiable pouvait être assuré, afin d'optimiser l'utilité des ouvrages. Sans ces précautions, la précision des relevés risque d'être compromise, réduisant la pertinence des données collectées. En zone forestière, le signal est souvent très faible ; dans ces conditions, un nivellement par cheminement optique peut être réalisé pour assurer la robustesse des données entre les ouvrages d'un même site.

### Donnée à collecter

Afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement hydrologique local, plusieurs types de données doivent être collectés.

- Pompages d'essai en nappe afin de consolider paramètres hydrogéologiques, notamment la perméabilité, et ce dans plusieurs contextes pédologiques.
- Caractérisation des types de sols présents (argiles, alios), notamment dans les zones de lagunes, et détermination de leur perméabilité (par exemple via des tests de Porchet) ainsi que leur porosité dynamique.
- Mesures précises de débits et de sections d'écoulement sont également à prévoir pour fiabiliser les résultats. L'exploitation des données de Bordeaux Métropole récemment transmises permettra de consolider les analyses avec des jeux de données plus robustes.
- Calcul de capacité d'évacuation des crastes à réaliser

### **Quel réseau de suivi futur ?**

La définition d'un réseau de suivi pérenne est essentielle pour assurer un suivi hydrologique et météorologique pertinent à moyen et long terme. Il conviendra d'évaluer l'opportunité de maintenir les sites actuels de mesure, tout en envisageant des modifications ainsi que l'ajout de nouveaux points de suivi.

Dans le cadre d'un projet Eau & Forêt avec l'ONF, de nouveaux secteurs à Carcans et Sainte-Hélène vont faire l'objet d'une instrumentation ainsi que de travaux de restauration hydromorphologique (méandrage et gain de mobilité latérale).

La position de la station météo pourra être révisée, pour être déplacée au plus proche de ces nouveaux sites de suivi par exemple. Ce réseau futur permettra de consolider les données acquises et d'améliorer la compréhension globale du fonctionnement hydrologique du territoire.

## Sources bibliographiques

Darul, R. (2024). *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* (Thèse de doctorat, Université de Bordeaux). École doctorale Sciences et Environnements. Sous la direction de P. Anschutz & C. Ribaud. En partenariat avec le laboratoire Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux (EPOC).

Garnier, J.-B. (2009). *Évaluation hydrogéologique des formations tertiaires du bassin d'Arcachon (Gironde)* (Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1). Disponible sur HAL : <https://theses.hal.science/tel-00487882/document>

Guillot, M. (2011). *Analyse rétrospective des relations nappe–végétation de sous-bassins versants forestiers de la rivière Leyre* (Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1). École doctorale Sciences et Environnements. Sous la direction de D. Loustau & J.-P. Wigneron.

Peragallo, J. (2020). *Monographie sur l'eau, la forêt, et les crastes du bassin versant de l'Eyron : Comment sont amplifiés les effets du dérèglement climatique sur la forêt. Bilan des observations d'un collectif de forestiers du Médoc de 2015 à 2020*. Mémoire interne, non publié.

SIGES Nouvelle-Aquitaine – Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines. (s.d.) *Bases de données hydrogéologiques*. Consulté en mars 2025 sur : <https://sigesna.brgm.fr>

Skaggs, R. W., Tian, S., Chescheir, G. M., Amatya, D. M., & Youssef, M. A. (2016). **Forest drainage**. In D. M. Amatya, T. M. Williams, L. Bren, & C. de Jong (Éds.), *Forest Hydrology: Processes, Management and Assessment* (pp. 124–140). CABI Publishers. [https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2016/ja\\_2016\\_amatya\\_010.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2016/ja_2016_amatya_010.pdf)

SMEGREG. (2024). *Simulations du champ captant de Sainte-Hélène – Modélisation prospective à l'horizon 2040*. Syndicat Mixte d'Études et de Gestion de la Ressource en Eau du Département de la Gironde. Disponible sur : <https://www.smegreg.org/wp-content/uploads/2024/01/Simulations-du-champ-captant-de-Sainte-Helene.pdf>

Vernier, F., & Castro, A. (2010). *Expertise "Avenir du Massif Landais" – Rapport d'expertise. Critère "Préservation de l'environnement" – Sous-critère "Eau"*. CEMAGREF & CRPF Aquitaine. Rapport remis en mars 2010.

Les Bilans d'activité et rapports du SIAEBVELG en lien avec ce projet sont disponibles en ligne sur le site internet du Syndicat : <https://www.lacsmedocains.fr/>

# Annexes

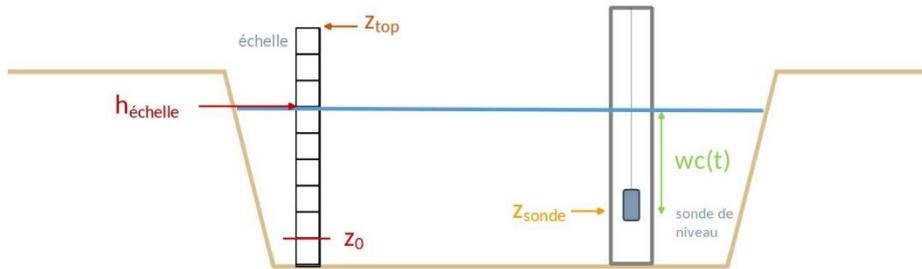
## Annexe 1 : Notice de nivellement selon le type d'ouvrage

Calcul de la position de la sonde par une mesure sur une échelle

A  $t = t_m$  (mesure de l'échelle) :

$$\Rightarrow Z_{\text{sonde}} = (Z_{\text{top}} - 1) + h_{\text{échelle}}(t_m) - wc(t_m)$$

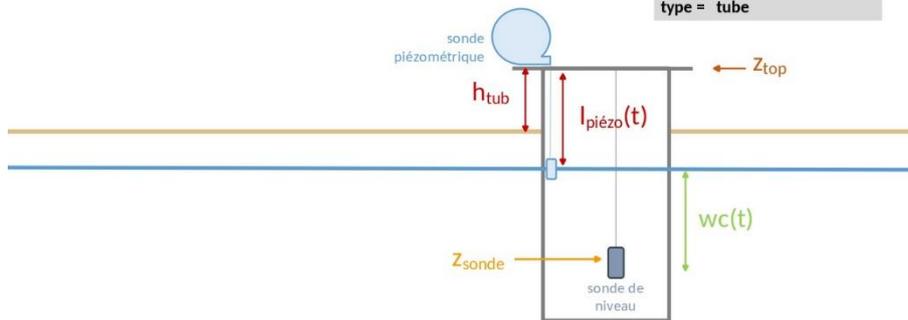
Dans points\_suivi.xlsx  
type = échelle



Calcul de la position de la sonde dans un forage piézo

A  $t = t_m$  (mesure piézo) :  $Z_{\text{sonde}} = Z_{\text{top}} - (l_{\text{piézo}}(t_m) + wc(t_m))$

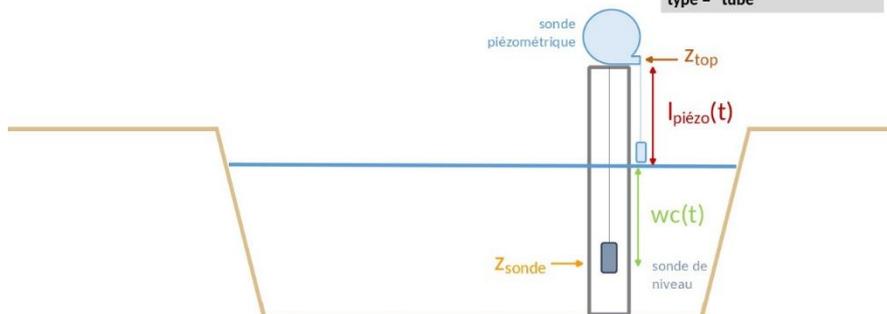
Dans points\_suivi.xlsx  
type = tube



Calcul de la position de la sonde par une mesure avec une sonde piézo

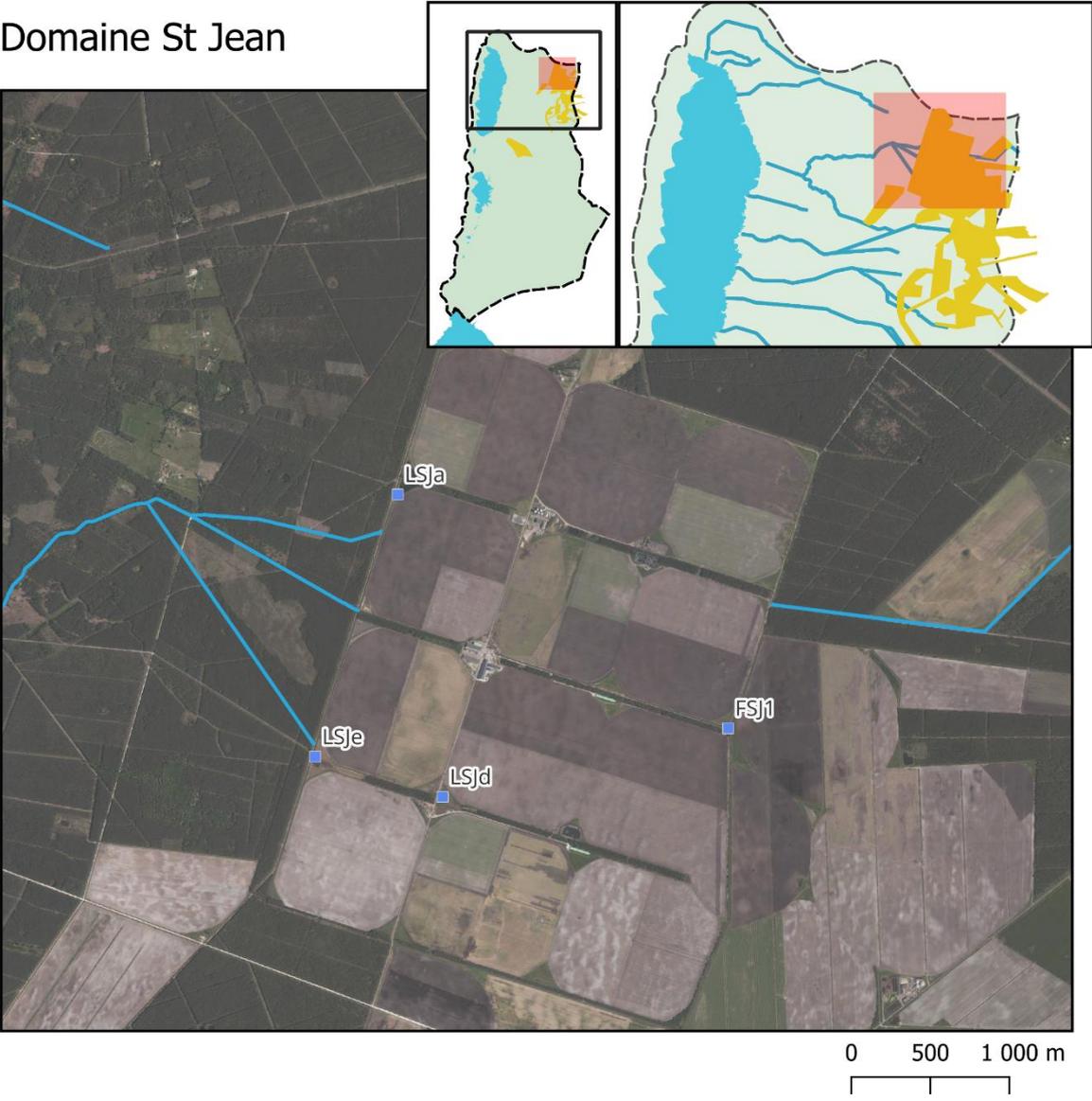
A  $t = t_m$  (mesure piézo) :  $Z_{\text{sonde}} = Z_{\text{top}} - (l_{\text{piézo}}(t_m) + wc(t_m))$

Dans points\_suivi.xlsx  
type = tube

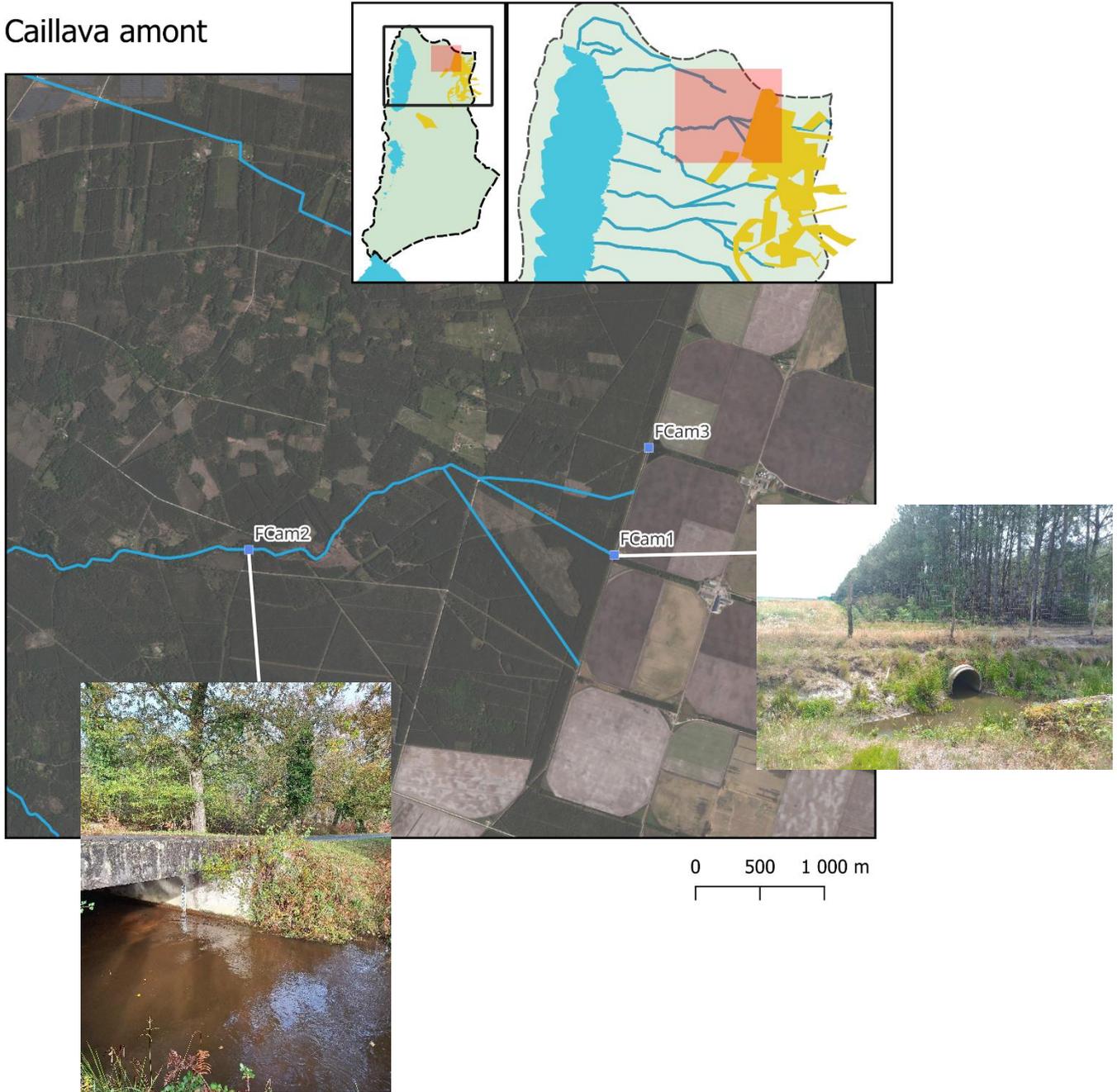


Annexe 2 : Fiches par site du réseau de suivi

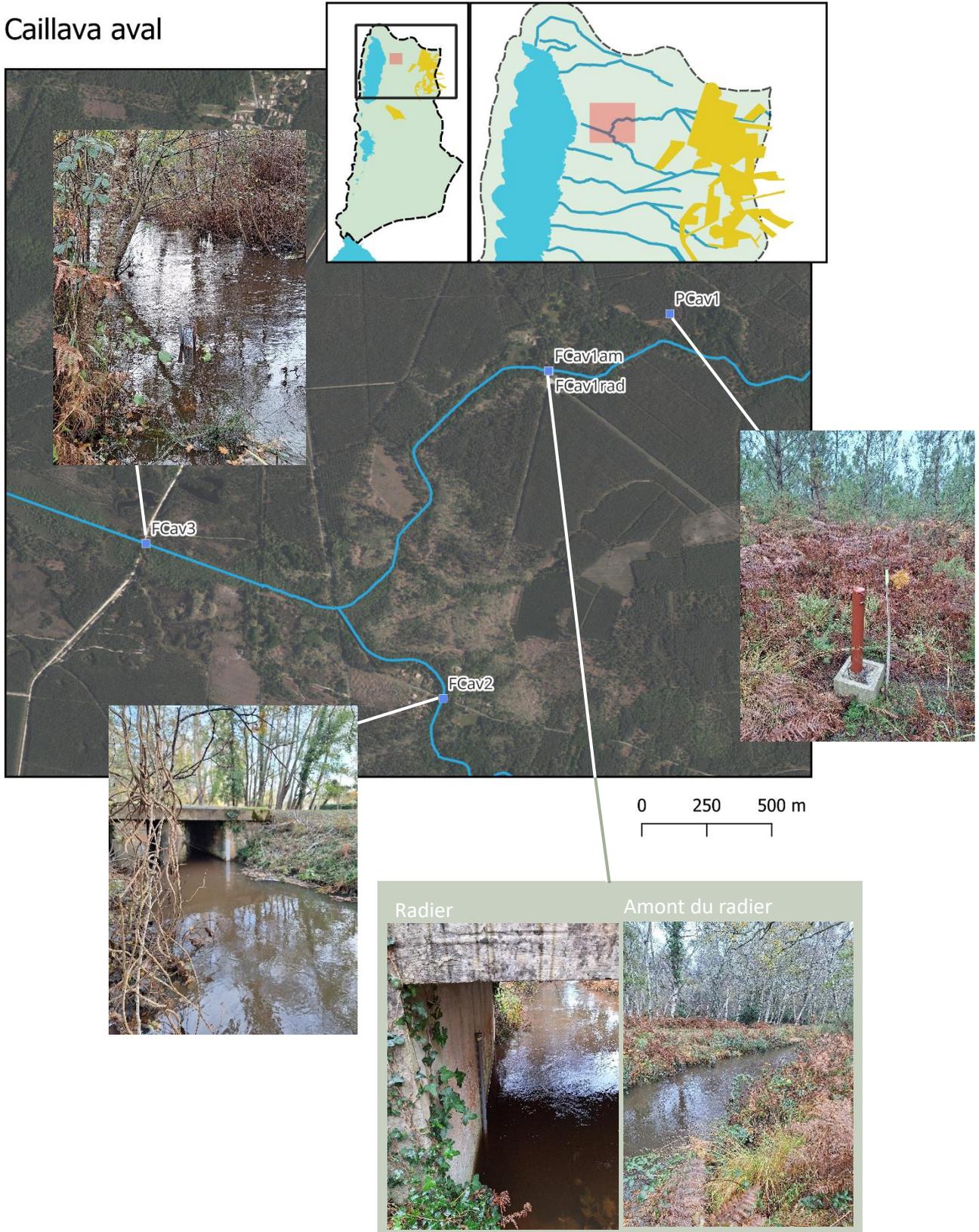
Domaine St Jean



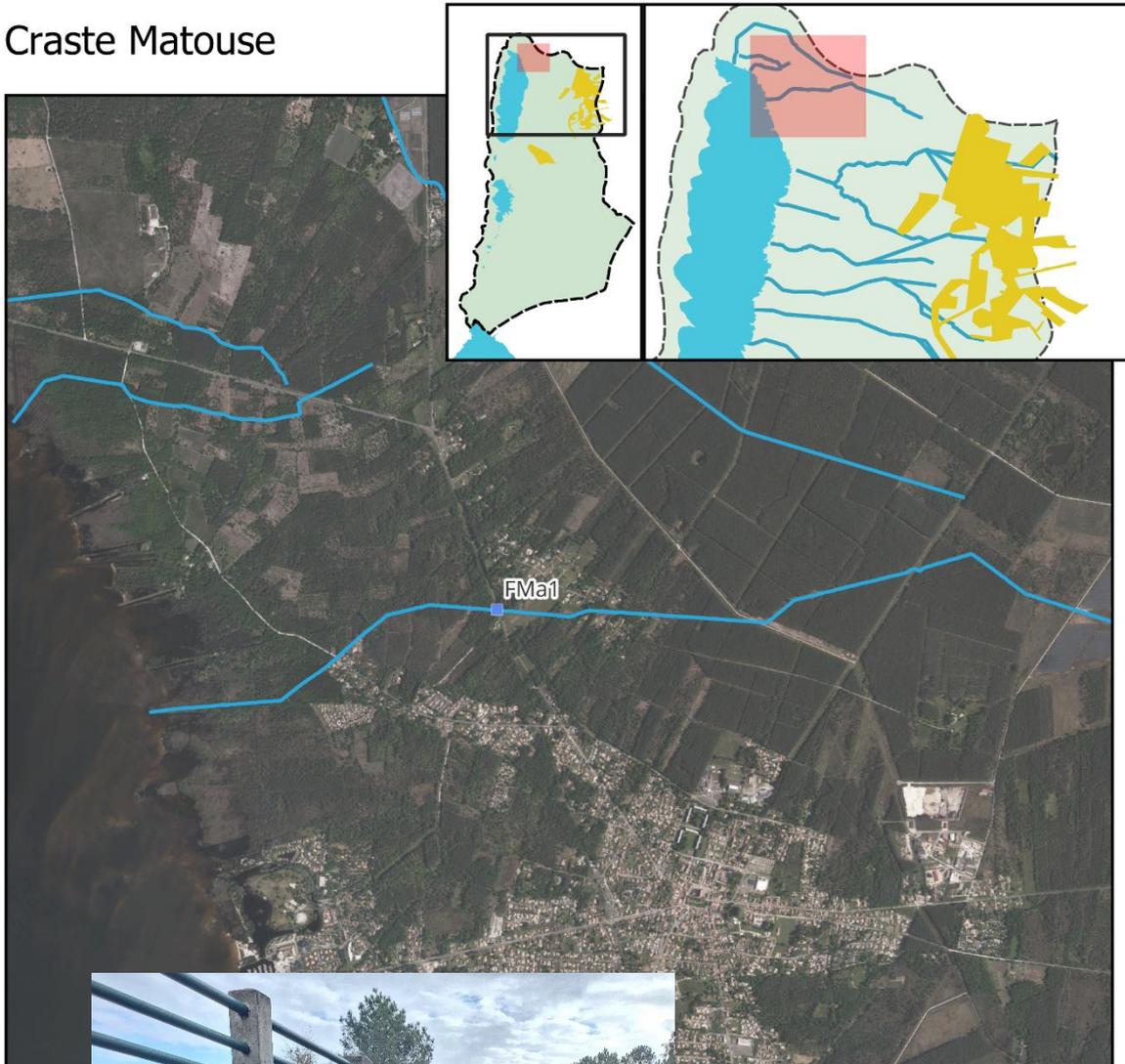
# Caillava amont



# Caillava aval

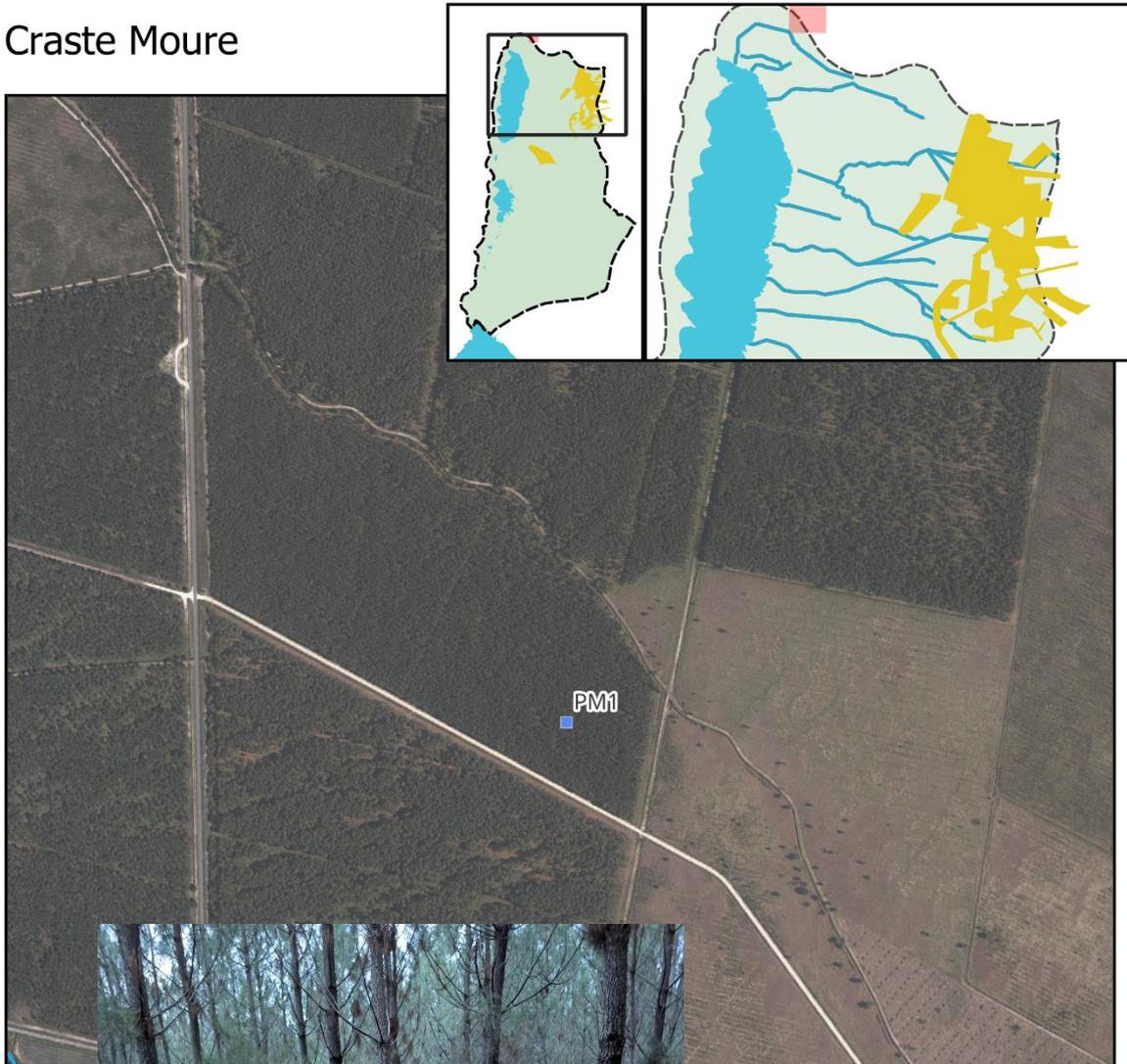


# Craste Matouse

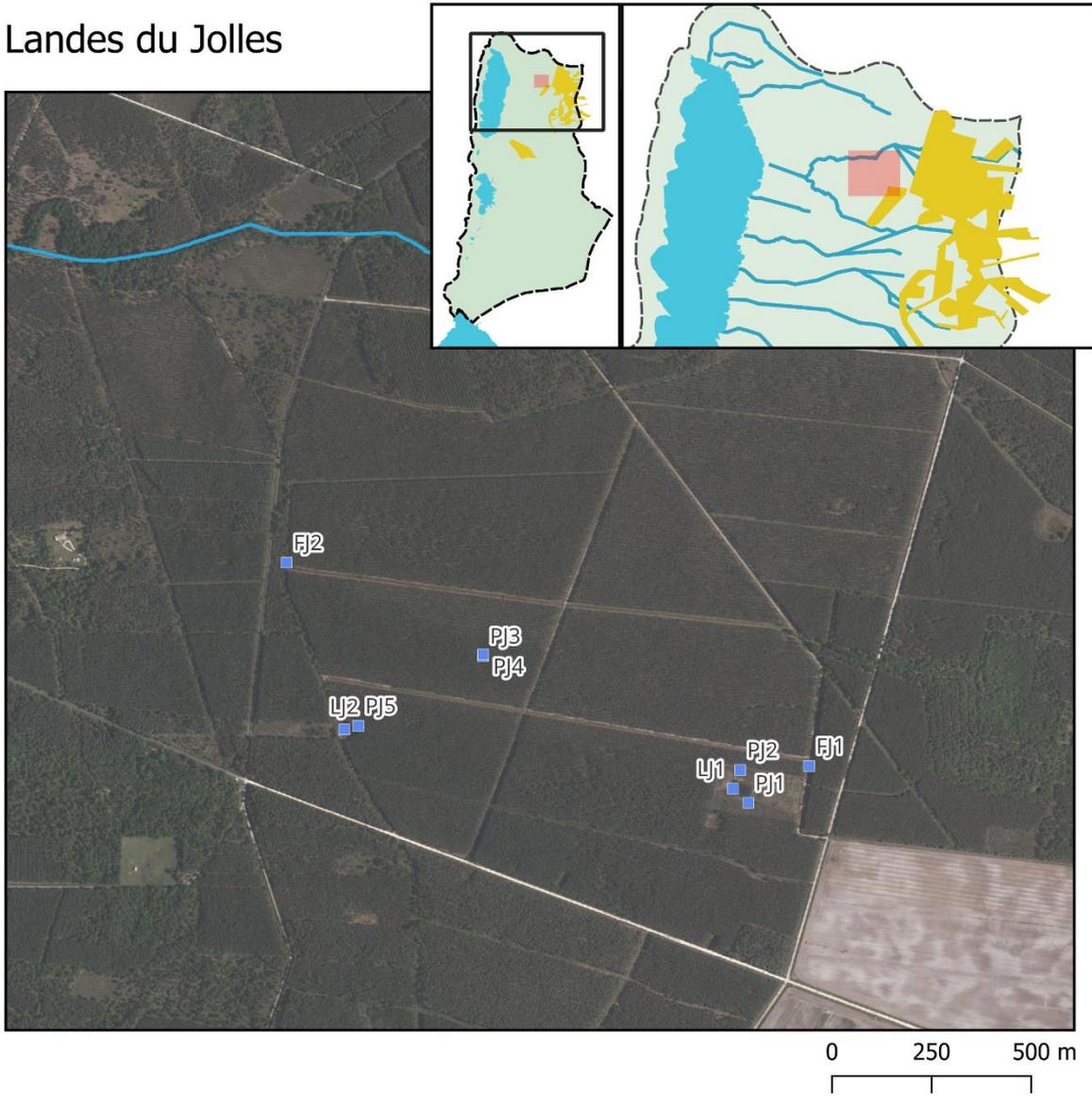


0 500 1 000 m

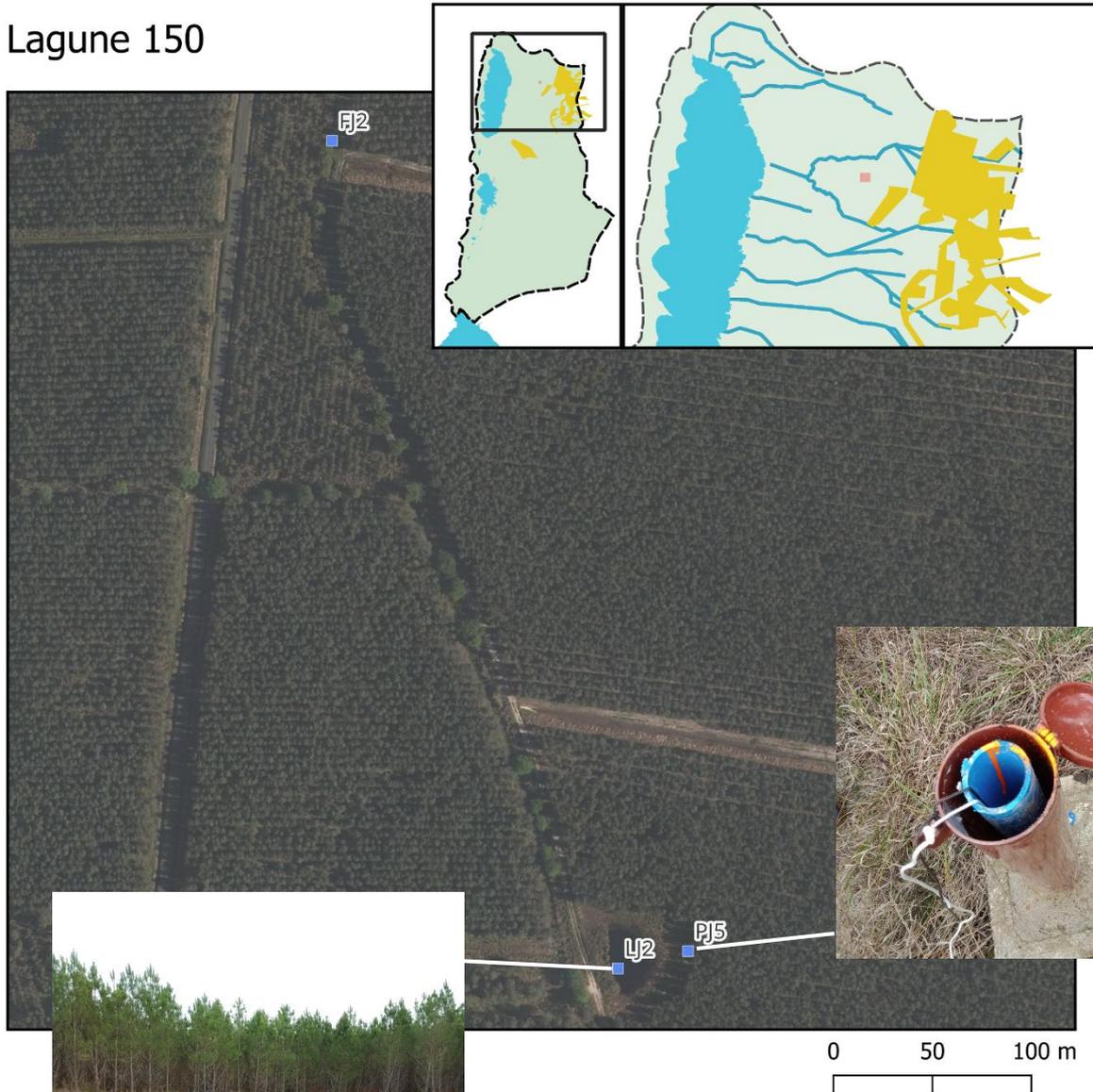
# Craste Moure



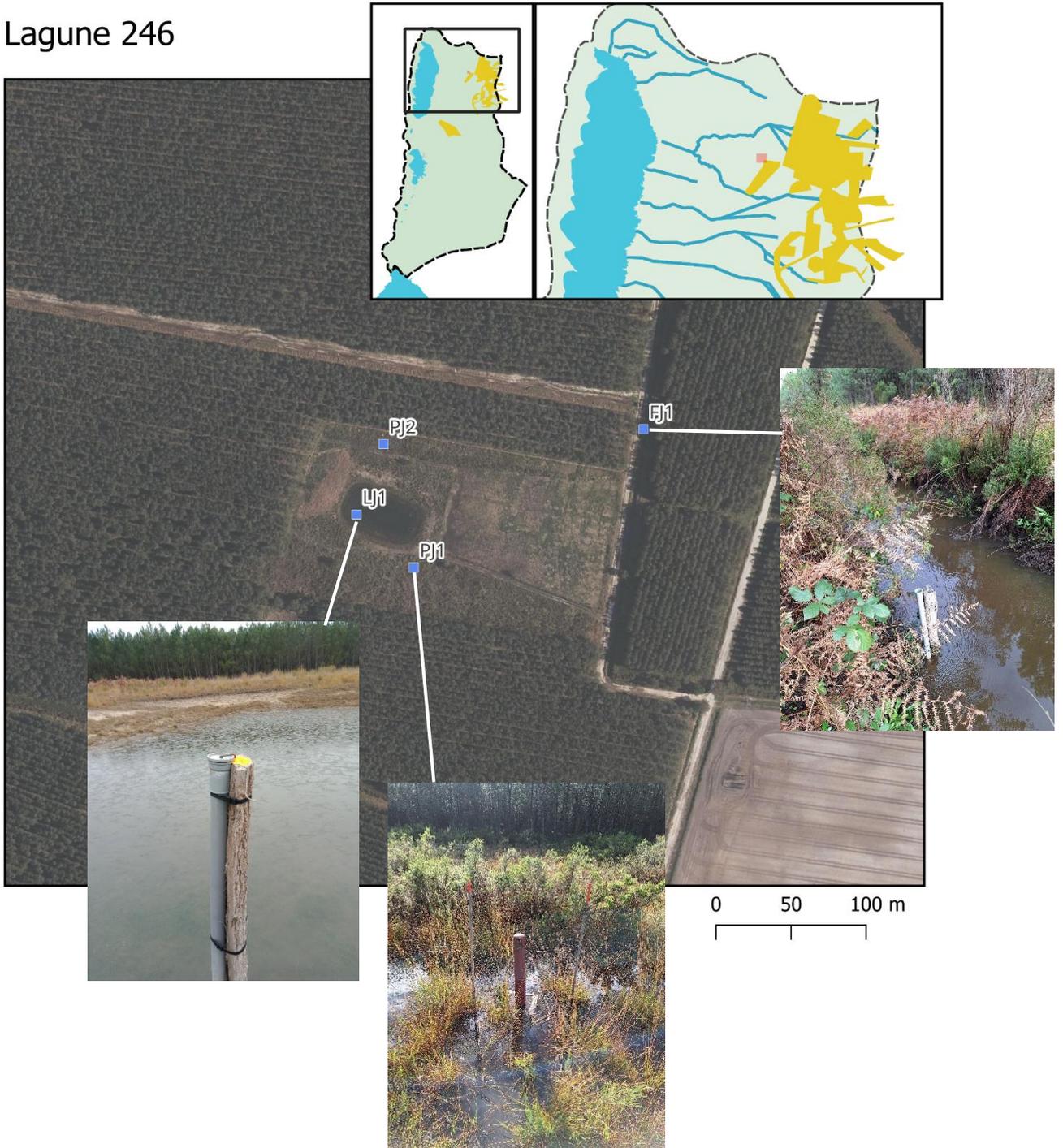
# Landes du Jolles



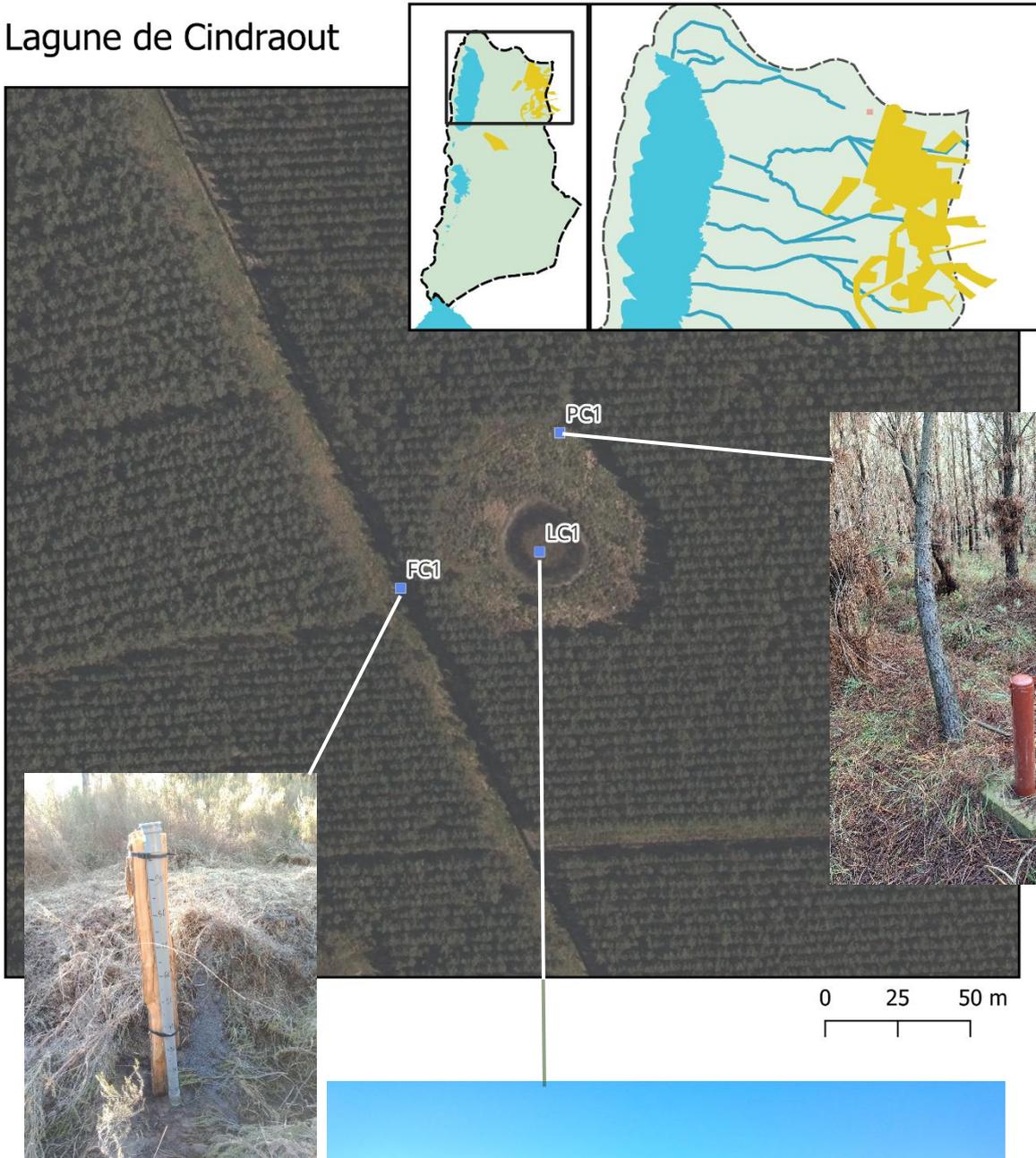
# Lagune 150



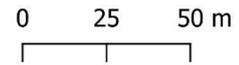
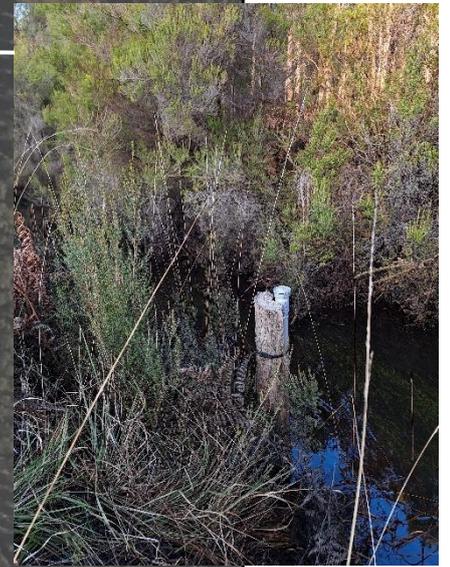
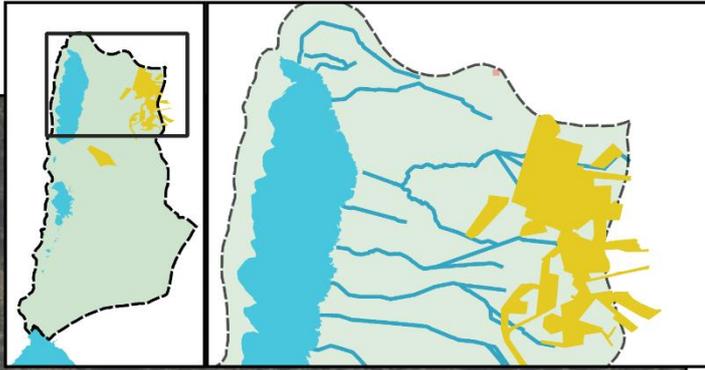
# Lagune 246



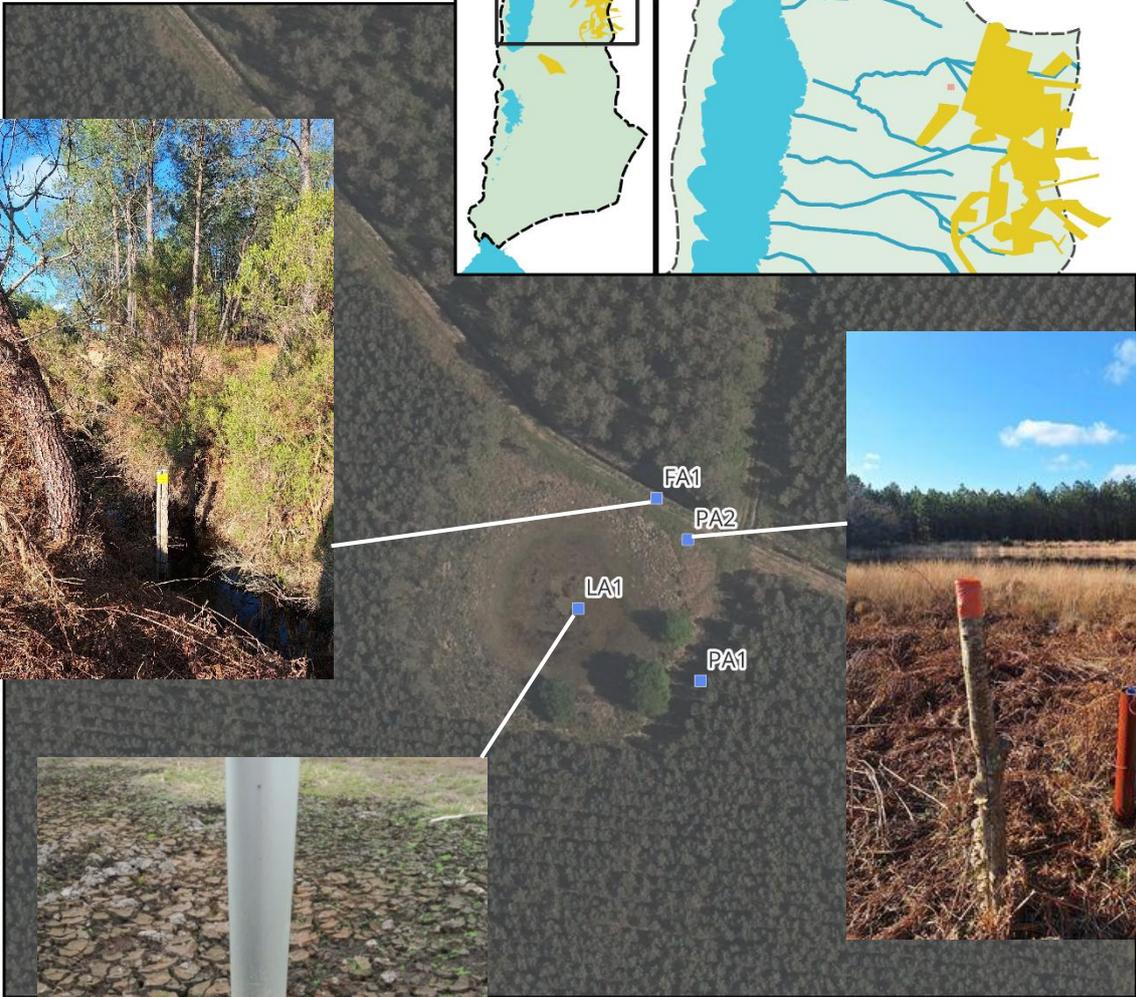
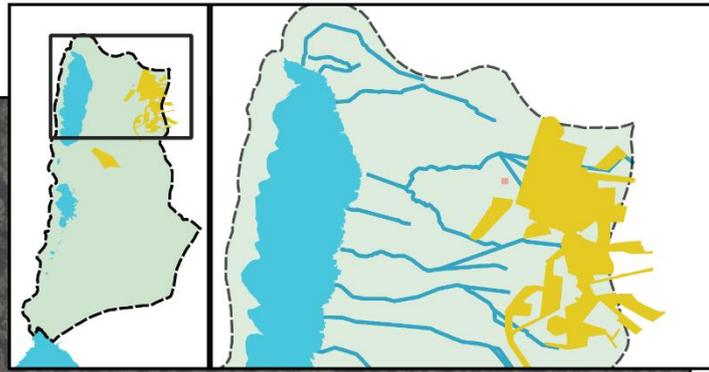
# Lagune de Cindraout



# Lagune de Capet Haout

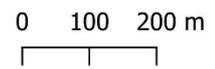
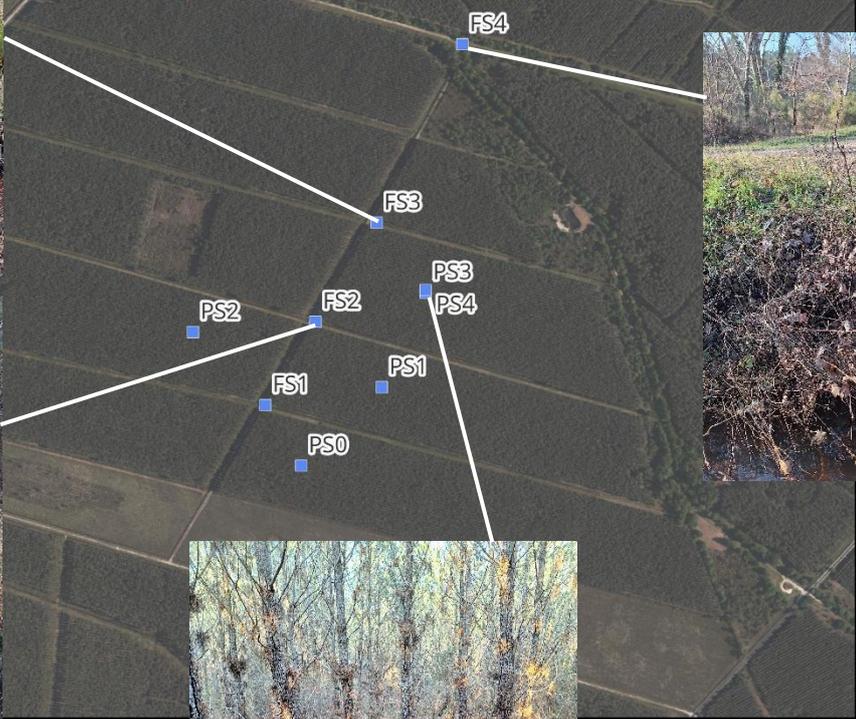
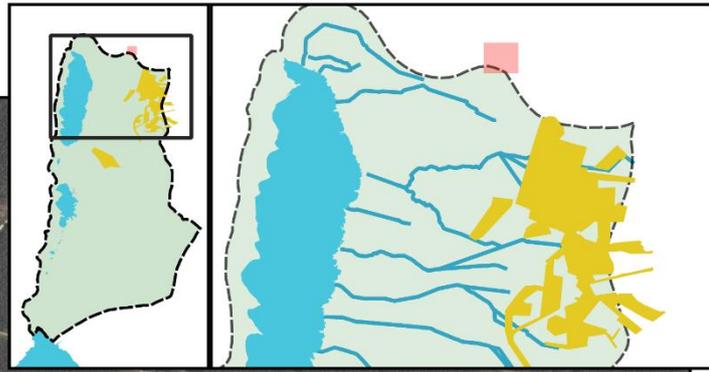


# Lagune d'Argue

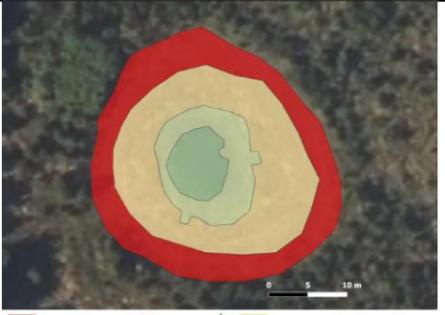
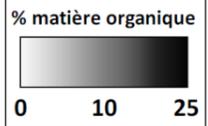
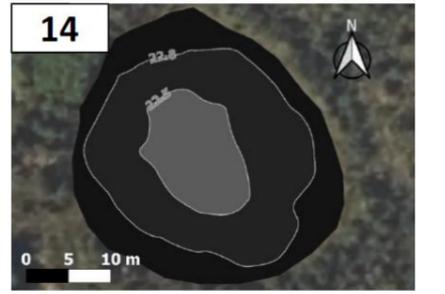
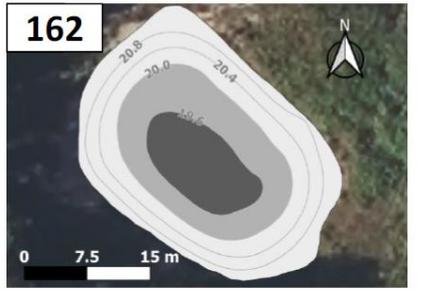
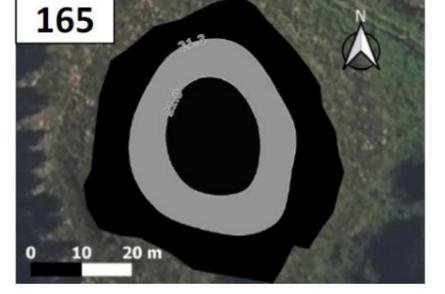
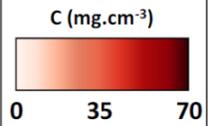
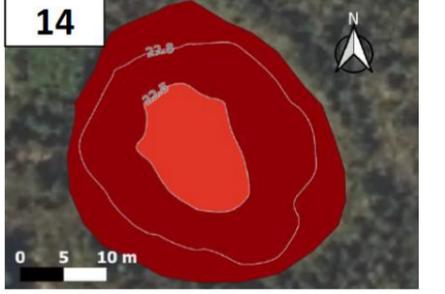
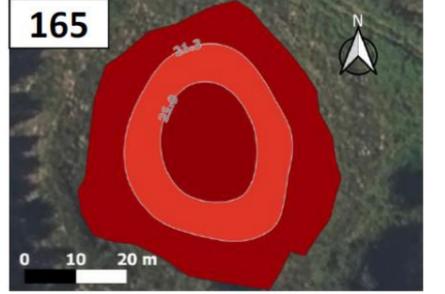
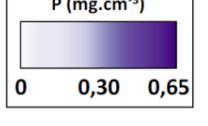
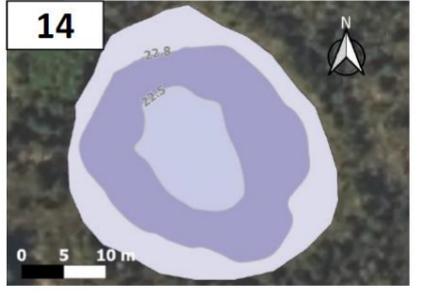
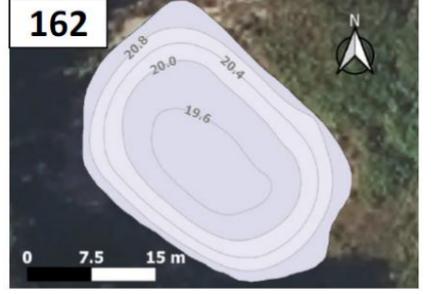
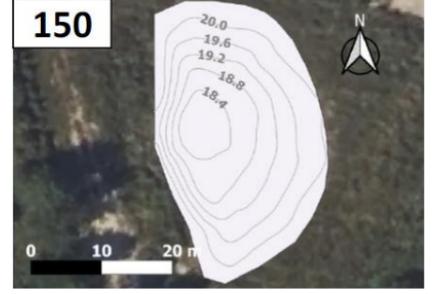
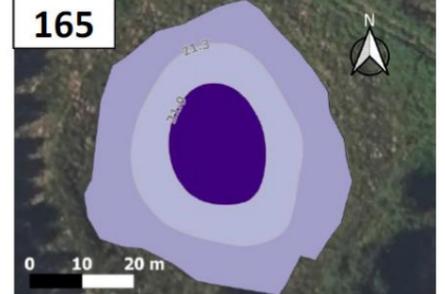


0 25 50 m

# Landes de Sescousse



Annexe 3 : Caractéristiques des lagunes suivies (source : Thèse de Romane Darul)

Lagune	Cindraout N°14	Capet Haout N°162	Jolles N°150	Jolles N°246	Argue N°165
<b>Ceintures de végétation</b>	 <ul style="list-style-type: none"> <li><b>1</b> • <i>Molinia caerulea</i> (3) • <i>Agrostis canina</i> (3) • <i>Hydrocotyle vulgaris</i> (2) • <i>Potentilla erecta</i> (1) • <i>Viola lactea</i> (1) • <i>Sphagnum</i> sp (1)</li> <li><b>2</b> • <i>Eleocharis multicaulis</i> (5) • <i>Agrostis canina</i> (2) • <i>Ranunculus ololeucus</i> (1) • <i>Isolepis fluitans</i> (1) • <i>Sphagnum</i> sp (1)</li> <li><b>3</b> • <i>Ranunculus ololeucus</i> (4) • <i>Juncus bulbosus</i> (4) • <i>Isolepis fluitans</i> (3)</li> <li><b>4</b> • <i>Glyceria fluitans</i> (4) • <i>Juncus bulbosus</i> (4) • <i>Ranunculus ololeucus</i> (1)</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li><b>1</b> • <i>Molinia caerulea</i> (5)</li> <li><b>2</b> • <i>Juncus bulbosus</i> (5)</li> <li><b>3</b> • <i>Nymphaea alba</i> (3) • <i>Ranunculus ololeucus</i> (3)</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li><b>1</b> • <i>Molinia caerulea</i> (3) • <i>Agrostis canina</i> (1)</li> <li><b>2</b> • <i>Agrostis canina</i> (1)</li> <li><b>3</b> • <i>Eleocharis multicaulis</i> (4) • <i>Baldellia repens</i> (2) • <i>Agrostis canina</i> (1)</li> <li><b>4</b> • Eau libre</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li><b>1</b> • <i>Agrostis canina</i> (2)</li> <li><b>2</b> • <i>Eleocharis multicaulis</i> (4) • <i>Baldellia repens</i> (2) • <i>Agrostis canina</i> (1)</li> <li><b>3</b> • <i>Juncus bulbosus</i> (3)</li> <li><b>4</b> • Eau libre</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li><b>1</b> • <i>Molinia caerulea</i> (5) • <i>Hydrocotyle vulgaris</i> (3) • <i>Frangula alnus</i> (2) • <i>Lonicera periclymenum</i> (1)</li> <li><b>2</b> • <i>Sphagnum</i> sp (3) • <i>Molinia caerulea</i> (3) • <i>Eleocharis multicaulis</i> (2) • <i>Hydrocotyle vulgaris</i> (2) • <i>Ranunculus flammula</i> (2)</li> <li><b>3</b> • <i>Agrostis canina</i> (5) • <i>Molinia caerulea</i> (2) • <i>Ranunculus flammula</i> (2) • <i>Hydrocotyle vulgaris</i> (2) • <i>Eleocharis multicaulis</i> (1)</li> <li><b>4</b> • <i>Eleocharis multicaulis</i> (5) • <i>Agrostis canina</i> (2) • <i>Ranunculus flammula</i> (2) • <i>Ranunculus ololeucus</i> (1) • <i>Hypericum elodes</i> (1)</li> <li><b>5</b> • <i>Ranunculus ololeucus</i> (5) • <i>Helosciadium inundatum</i> (4) • <i>Hypericum elodes</i> (3) • <i>Juncus bulbosus</i> (2) • <i>Galium palustre</i> (1)</li> <li><b>6</b> • <i>Glyceria fluitans</i> (5) • <i>Ranunculus ololeucus</i> (2)</li> <li><b>7</b> • <i>Juncus effusus</i> (3) • <i>Ranunculus ololeucus</i> (2)</li> <li><b>8</b> • <i>Ranunculus ololeucus</i> (1)</li> </ul>
<b>Pentes</b>	Douces	Abruptes	Abrupte	Douces	Douces
<b>Proximité au drain</b>	30m	40m	16m	140m	35m
<b>% matière organique</b> 					
<b>C (mg.cm<sup>-3</sup>)</b> 					
<b>P (mg.cm<sup>-3</sup>)</b> 					

<b>Mare</b>	<b>Flux de C kg C/an</b>	<b>Enfouissement C kg C/an</b>	<b>Bilan du C kg C/an</b>	<b>Stock sédimentaire kg C</b>	<b>Séquestration en biomasse kg C/an</b>
<b>14</b>	41 ± 21	180	-139	2346	182
<b>94</b>	27 ± 14	86	-60	2546	602
<b>165</b>	104 ± 77	113	-3	5959	624
<b>162</b>	12 ± 13	10	4	804	102
<b>150</b>	16 ± 11	7	10	804	66
<b>246</b>	117 ± 19	4	112	850	83