

# ETUDE HYDROGEOLOGIQUE



## Analyse de données

### Suivi quantitatif de l'eau sur le site Natura 2000 « tourbière et lac de Lourdes » (Campagne 2023)

LOURDES (65000)



*Dossier 6410917- HYGEO - Novembre 2023*

***PLVG (Pays de Lourdes et des vallées des Gaves)***

*4 rue Michelet  
65100 Lourdes*

**CLIENT**

<b>NOM</b>	PLVG (Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves)
<b>ADRESSE</b>	4 rue Michelet 65100 Lourdes
<b>INTERLOCUTEUR</b>	Madame Camille CHIRAY (PLVG)

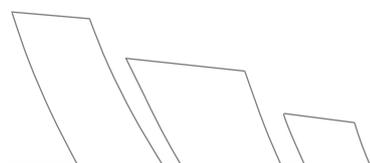
**FINANCEURS**

Projet cofinancé par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural  
L'Europe investit dans les zones rurales

**ECR ENVIRONNEMENT**

<b>CHARGE D'AFFAIRES</b>	C. LUCAS
<b>CHARGÉE D'ETUDES</b>	P. PUJOS

DATE	INDICE	OBSERVATION / MODIFICATION	REDACTEUR	VERIFICATEUR
24/11/2023	01	Création du document	P. PUJOS	E. AUBRUN
18/12/2023	02	Ajout des données de Décembre 2023	-	-



## SOMMAIRE

<b>PREAMBULE.....</b>	<b>5</b>
<b>1. NATURE et localisation des différents points de suivis.....</b>	<b>6</b>
1.1. <i>Données piézométriques .....</i>	<i>6</i>
1.2. <i>Pluviométrie.....</i>	<i>7</i>
1.3. <i>Mesure des débits (Jaugeage).....</i>	<i>7</i>
1.4. <i>Contexte Pluviométrique .....</i>	<i>12</i>
<b>2. Présentation des résultats .....</b>	<b>14</b>
2.1. <i>Données des sondes piézométriques .....</i>	<i>14</i>
2.2. <i>Mesures de débits.....</i>	<i>22</i>
<b>3. conclusion .....</b>	<b>30</b>
3.1. <i>Niveaux d'eau .....</i>	<i>30</i>
3.2. <i>Conductivité et température .....</i>	<i>30</i>
3.3. <i>Mesures de débits.....</i>	<i>31</i>
<b>4. Perspectives .....</b>	<b>32</b>



## TABLE DES ILLUSTRATIONS

<b>Figure 1 : Localisation des points de suivi +baro.....</b>	<b>6</b>
<b>Figure 2 : Localisation des différents points de mesure de débit.....</b>	<b>8</b>
<b>Figure 3 : Photographies des points de mesures .....</b>	<b>11</b>
<b>Figure 4 : Pluviométrie journalière sur la période du 10/10/22 au 06/12/23 (Pluviomètre DREAL LOURDES) .....</b>	<b>12</b>
<b>Figure 5 : Répartition des cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur les années 2022 et 2023. ....</b>	<b>13</b>
<b>Figure 6 : Suivi des niveaux piézométriques d’octobre 2022 à décembre 2023 .....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 7 : Suivi des niveaux piézométriques d’octobre 2021 à septembre 2022 (ETIAGES) .....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 8 : Cotes altimétriques des niveaux d’eau. ....</b>	<b>17</b>
<b>Figure 9 : Evolution de la conductivité en fonction du temps. ....</b>	<b>18</b>
<b>Figure 10 : Evolution de la conductivité en fonction du temps (ETIAGES).....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 11 : Evolution de la température de l’eau en fonction du temps (2022-2023).....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 12 : Evolution de la température de l’eau en fonction du temps (2021-2022).....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 13 : Localisation des différents points de mesure de débit.....</b>	<b>22</b>
<b>Figure 14 : Point de mesure sur l’exutoire (Exutoire Lac).....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 15 : Courbe d’étalonnage hauteur/débit (CETRA 2019).....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 16 : Evolution projetée des paramètres des écoulements de surface sur trois mesures (24/05, 27/07, 07/11 et 06/12/2023) .....</b>	<b>26</b>
<b>Figure 17 Points de mesures de débits selon leurs caractéristiques .....</b>	<b>28</b>
<b>Figure 18 : Evolution des débits à l’exutoire du Lac sur l’année 2022 et 2023 selon l’équation de la courbe d’étalonnage CETRA .....</b>	<b>29</b>
<b>Figure 19 : vue sur l’échelle et la sonde du lac.....</b>	<b>33</b>
<b>Tableau 1: Dates des relevés de sondes .....</b>	<b>7</b>
<b>Tableau 2 : Relevés manuels des niveaux piézométriques en mètres par rapport au Terrain (m/T) sur la période de suivi .....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 3 : Nivellement (CETRA 2019) .....</b>	<b>17</b>
<b>Tableau 4 : Résultats des mesures de débit .....</b>	<b>24</b>



## PREAMBULE

A la demande et pour le compte de la PLVG, une étude hydrogéologique a été réalisée par ECR Environnement sur le site Natura 2000 « tourbière et lac de lourdes » en 2023.

Cette étude répond au bon de commande du client du 28 mars 2023, acceptant notre proposition technique et financière n°6410330 du 15/03/2023.

Son objectif principal était de poursuivre un suivi portant sur les composantes hydrologiques souterraines et superficielles associées au lac de Lourdes afin de mieux comprendre le fonctionnement hydro(géo)logique global du site.

Elle comprenait :

- **Une analyses des données des sondes piézométriques automatiques de type SOLINST LTC.**

La récolte des données et leur vérification (mesure manuelle de niveau d'eau, température et conductivité) a été effectuée par ECR environnement le 26/04/2023, le 10 et 27/07/2023, le 07/11/2023 et le 06/12/2023.

- **Des mesures de débit sur l'exutoire du lac et sur plusieurs écoulements superficiels.**

ECR environnement a effectué plusieurs campagnes (4) de mesures de débit en conditions hydrologiques différentes (basses et hautes eaux). Durant ces quatre campagnes, une mesure de la température et de la conductivité a été effectuée.

- **Un rapport de synthèse des résultats de la campagne actuelle avec une proposition de perspectives sur les campagnes futures.**
- **Une confrontation de certains résultats avec la campagne 2022**



## 1. NATURE ET LOCALISATION DES DIFFERENTS POINTS DE SUIVIS

### 1.1. Données piézométriques

Lors de campagnes précédentes, La PLVG a mis en place quatre piézomètres notés Pz1, Pz2, Pz3 et Pz6 sur la tourbière. Ces ouvrages ont été équipés de sondes automatiques SOLINST LTC afin d'assurer un suivi continu des niveaux piézométriques de la nappe superficielle, mais également de la conductivité et de la température de l'eau. Le pas de temps d'acquisition a été fixé à 15 min.

Ce type de sonde a également été installé au niveau de l'échelle millimétrique située en rive sud du Lac (noté « Lac Golf » sur la figure ci-dessous).

La compensation des mesures de pression est réalisée à l'aide d'une sonde barométrique installée sur le toit du restaurant du lac.

La localisation des points de suivi est présentée sur la figure suivante.

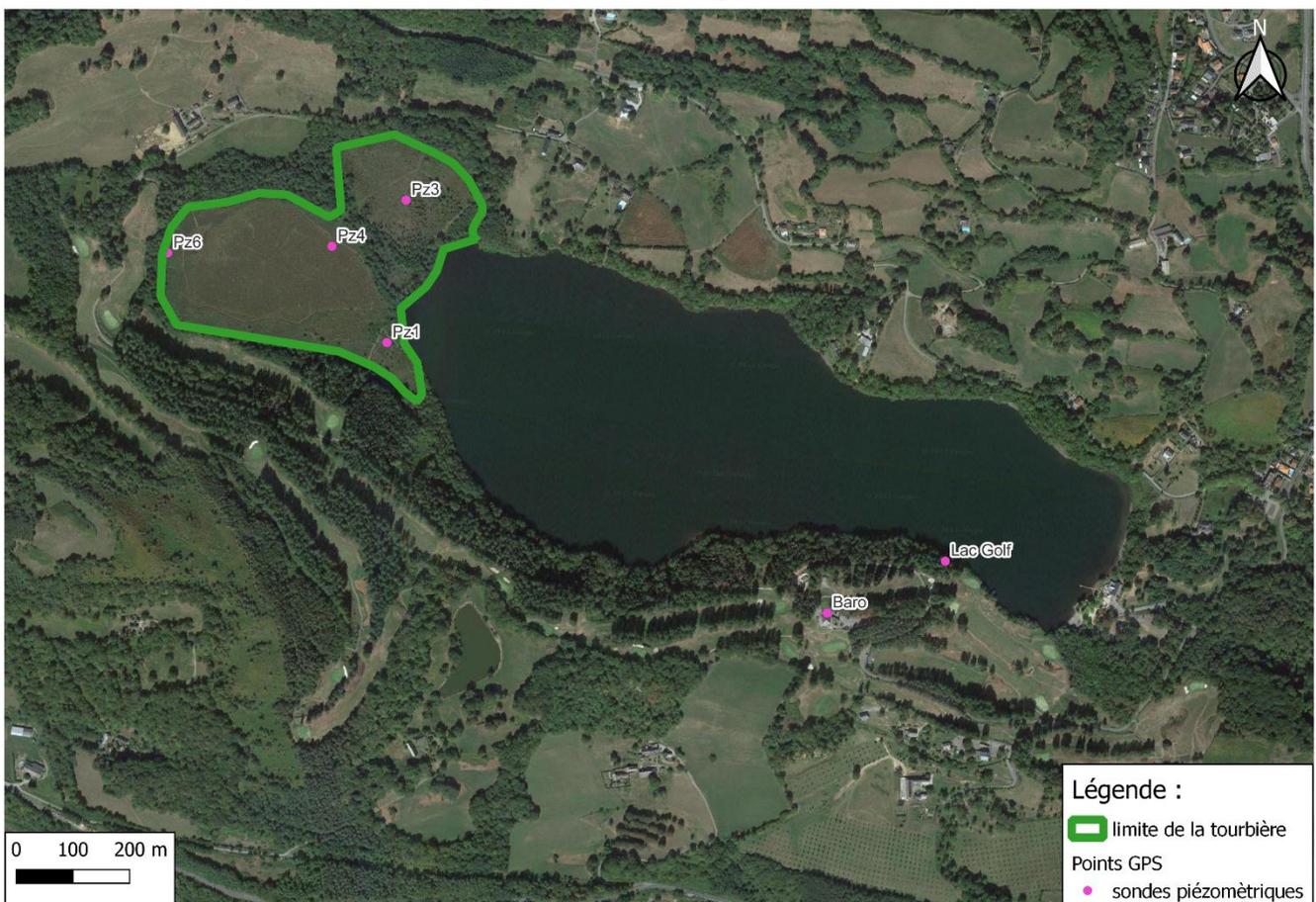


Figure 1 : Localisation des points de suivi +baro

L'historique de la relève des sondes est présenté ci-dessous.

Le dernier relevé effectué par le bureau d'étude **Etiage** date du 10/10/2022.



Les relevés effectués par ECR environnement ont débuté le 26/04/ 2023.

Les données acquises entre ses deux dates par les différentes sondes en place ont pu être récupérées à cette date.

Tableau 1: Dates des relevés de sondes

Dates des relèves	PZ1	Pz3	PZ4	PZ6	Lac Golf
	10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022
	26/04/2023	26/04/2023	26/04/2023	26/04/2023	26/04/2023
	10/07/2023	27/07/2023	10/07/2023	27/07/2023	10/07/2023
	07/11/2023	07/11/2023	07/11/2023	07/11/2023	07/11/2023
	06/12/2023	06/12/2023	06/12/2023	06/12/2023	06/12/2023

## 1.2. Pluviométrie

Sur la durée des investigations réalisées par ECR Environnement, le pluviomètre du restaurant du Lac était toujours hors service.

Les données de pluviométrie utilisées dans le cadre de ce suivi sont celles mesurées par un pluviomètre situé à environ 4 kilomètres au sud-est de la tourbière. Ces dernières ont été récupérées en ligne sur un site eaufrance.

## 1.3. Mesure des débits (Jaugeage).

Pour mieux comprendre le fonctionnement hydrologique du lac, des mesures de débit ont été réalisées à la fois sur l'exutoire du lac mais également sur plusieurs cours d'eau d'importance modérée et alimentant ce derniers (à noter que ces différents écoulements de surface avaient été préalablement identifiés lors de précédentes prospections réalisées avec la PLVG).

Les différentes campagnes de mesures ont été réalisées dans des conditions hydrologiques variables et selon différentes méthodes.

- Pour l'exutoire, la mesure a été réalisée par la méthode de « jaugeage par exploration de vitesse » à l'aide d'un micro moulinet de type Flow Prode (Global Water).
- Pour les écoulements de surface, la méthode de jaugeage par empotage a été mise en œuvre.

Ces différentes mesures ont systématiquement été complétées par des mesures de conductivité et de température de l'eau.

La localisation des différents points de mesures est présentée ci-dessous.





Figure 2 : Localisation des différents points de mesure de débit

Une vue de chaque point de mesure est présentée ci-après.



P7



P2





**P1**



**P8**



**P9**





**P10**



**P11-12**



**P13-14**





**P15**



**Exutoire du Lac**

**Figure 3 : Photographies des points de mesures**



## 1.4. Contexte Pluviométrique

La Figure 4 présente la pluviométrie journalière enregistrée sur le pluviomètre de la DREAL entre le 10/10/2022 et le 06/12/2023.

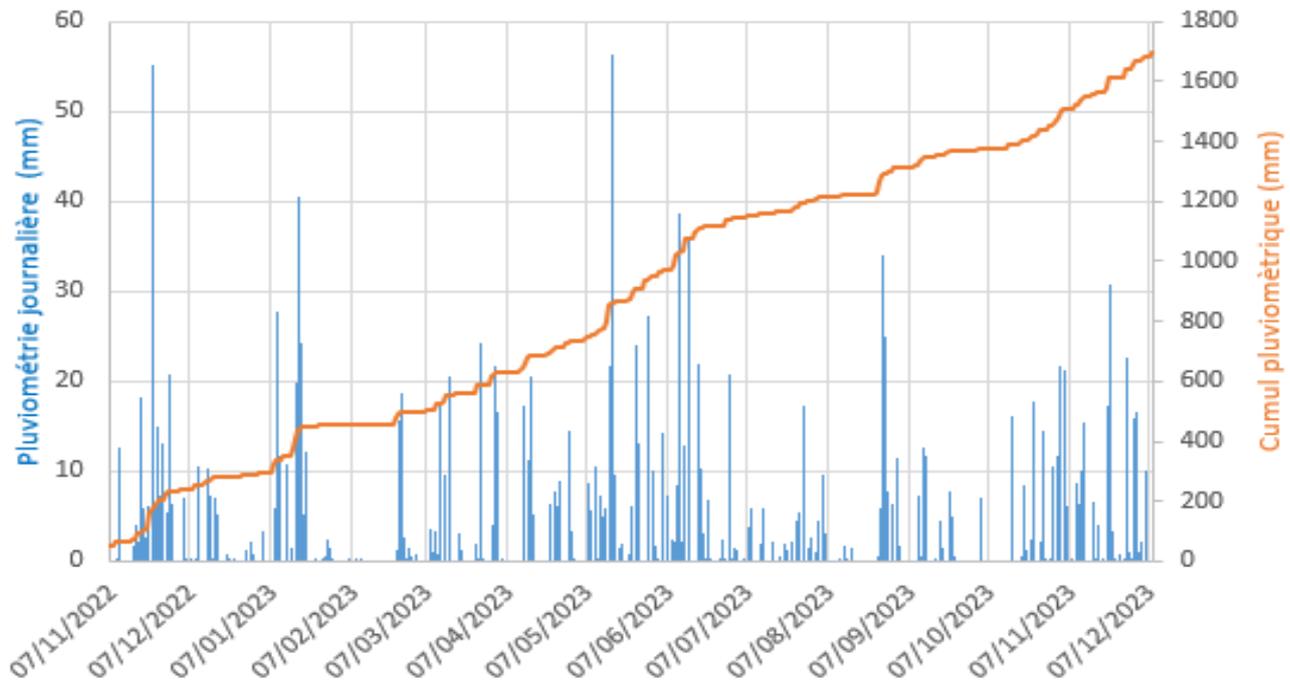


Figure 4 : Pluviométrie journalière sur la période du 10/10/22 au 06/12/23 (Pluviomètre DREAL LOURDES)

Les observations suivantes peuvent être faites :

- En 2022, un cumul de précipitation important sur le mois de novembre et décembre (+200 mm) a été observé ;
- En 2023, le début d'année (janvier) a été marqué par un pic de précipitation (+147 mm en 10 jours) ;
- Un fort cumul de précipitation a été enregistré de mars 2023 à juin 2023 (+400 mm) avec un pic de précipitations en mai et juin ;
- Les périodes de juillet/août mais également octobre 2023 présentent de faibles cumuls pluviométriques.
- un cumul de précipitation important a été enregistré durant les mois de novembre et décembre 2023;



Les graphiques suivants présentent la répartition des cumuls pluviométriques mensuels enregistrés au cours des deux dernières années (2022/2023).

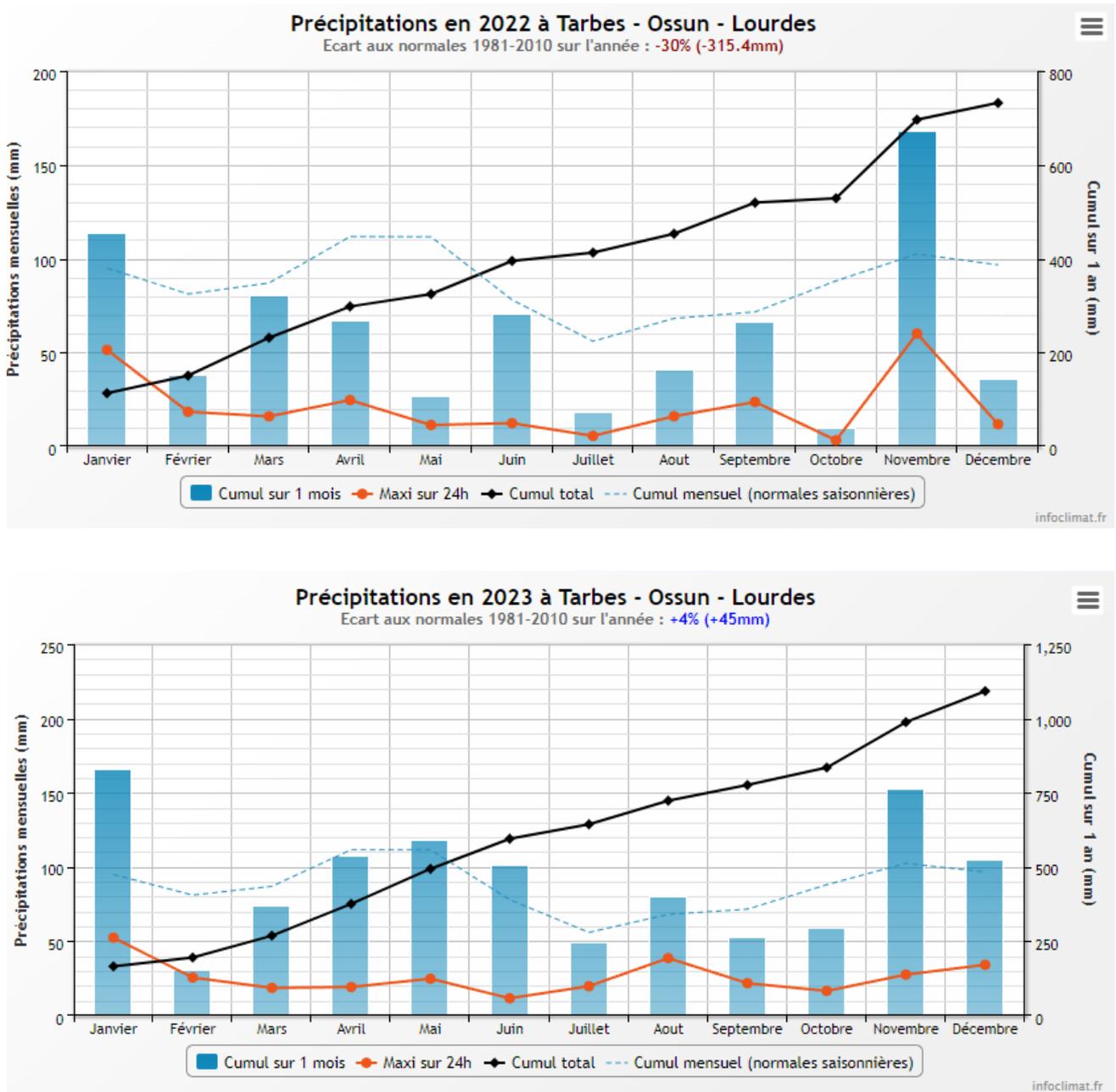


Figure 5 : Répartition des cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur les années 2022 et 2023.



## 2. PRESENTATION DES RESULTATS

### 2.1. Données des sondes piézométriques

#### 2.1.1. Chronique piézométrique

La chronique piézométrique est le recueil de l'évolution dans le temps du niveau de la nappe surveillée. Elle est constituée de mesures qui associent, à une date donnée, le niveau de la nappe (BRGM).

Un suivi piézométrique manuel a été réalisé en parallèle du suivi automatisé et a débuté en même temps que celui-ci, à savoir en Avril 2023.

Les mesures manuelles des niveaux piézométriques sont compilées dans le tableau suivant :

**Tableau 2 : Relevés manuels des niveaux piézométriques en mètres par rapport au Terrain (m/T) sur la période de suivi**

Date	Pz1	Pz3	Pz4	Pz6	PzGolf
10/10/22	0,48	0,42	0,89	0,57	-0,11
26/04/23	0,01	0,03	0,04	0,08	0,27
10/07/23	0,05	0,05	0,1	/	0,35
27/07/23	/	/	/	0,14	0,2
07/11/23	0,12	0,17	0,11	0,09	0,2
06/12/23	0.07	0.14	0.02	0,06	0,36

Pour le PzGolf, la mesure est faite sur l'échelle de hauteur d'eau installée sur le bord du lac (m/échelle).

Ces mesures sont des données ponctuelles et ne constituent pas une chronique représentative sur la période de suivi.

Les chroniques enregistrées sur les piézomètres entre le 10/10/22 et le 06/12/2023 sont présentées ci-dessous sous forme graphique.



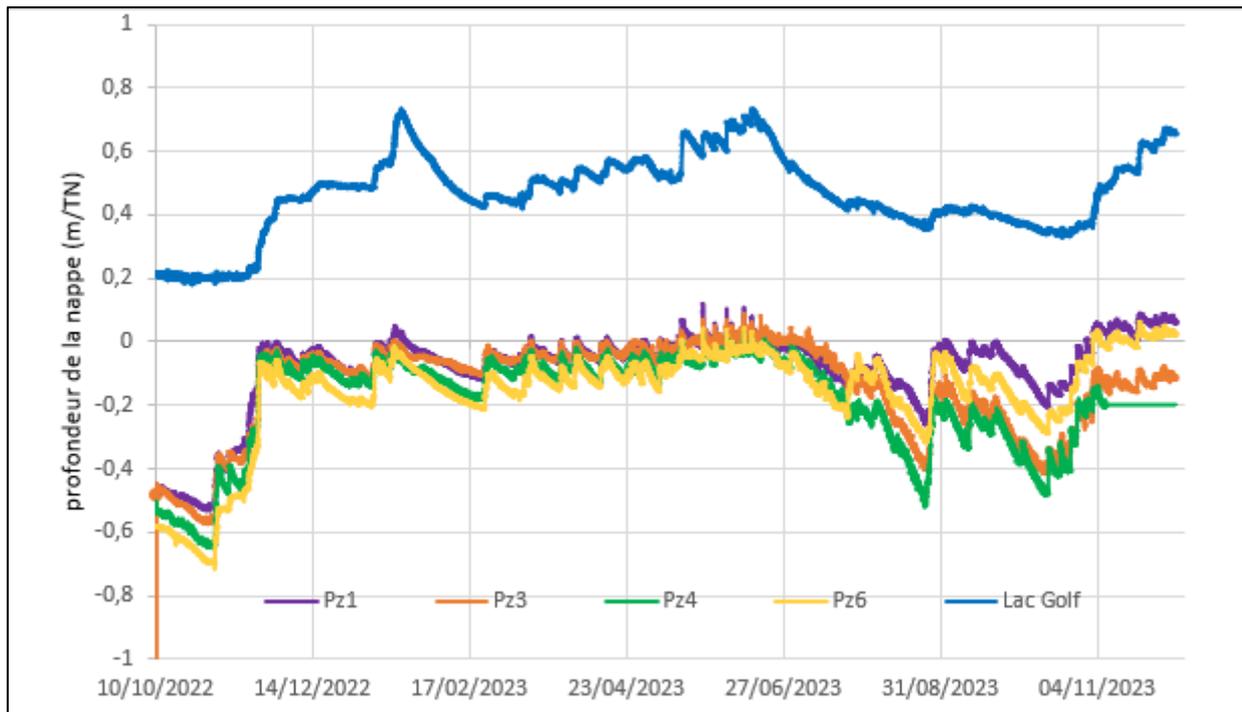


Figure 6 : Suivi des niveaux piézométriques d'octobre 2022 à décembre 2023

Le suivi des niveaux piézométriques permet de mettre en évidence :

- Un niveau d'eau bas sur la période antérieure à novembre 2022 ;
- Une remontée rapide du niveau d'eau jusqu'au terrain naturel à la fin novembre- début décembre 2022 en lien avec les précipitations hivernales importantes (il s'agit du principal épisode de recharge observé durant cette période de suivi) ;
- Un niveau haut de la mi-décembre 2022 à la fin avril 2023 à l'affleurement ou avec une oscillation de -0,10/-0,20 m ;
- Un niveau d'eau au-dessus du terrain naturel de début mai jusqu'à la fin juin 2023 lié aux forts cumuls de précipitation entre avril et juin 2023.
- Une baisse du niveau d'eau sur la période estivale (fin juillet-août) avec quelques remontées ponctuelles à la mi-août et septembre. Ces pics sont liés aux épisodes pluvieux survenus durant les mois d'août et septembre 2023.
- Une remontée du niveau d'eau jusqu'au terrain naturel, voire au-dessus, sur la période hivernale (novembre et décembre 2023) en lien avec les précipitations hivernales importantes (il s'agit du deuxième épisode de recharge observé durant cette période de suivi).



Sur la période antérieure au suivi (03/2021-09/2022), on peut observer un fonctionnement similaire de la nappe avec cependant une baisse plus significative du niveau d'eau en période estivale sur l'année 2022 (environ -0,8 m) que sur 2023 (environ -0,4 m). Cette différence peut être expliquée par un déficit pluviométrique important (écart aux normales : -30% ; -315,4 mm) sur l'année 2022 par rapport à la normale observée sur la période 1981-2010. Ce qui n'est pas le cas sur l'année 2023 (écart aux normales : +4% ; + 45 mm) (Figure 5).

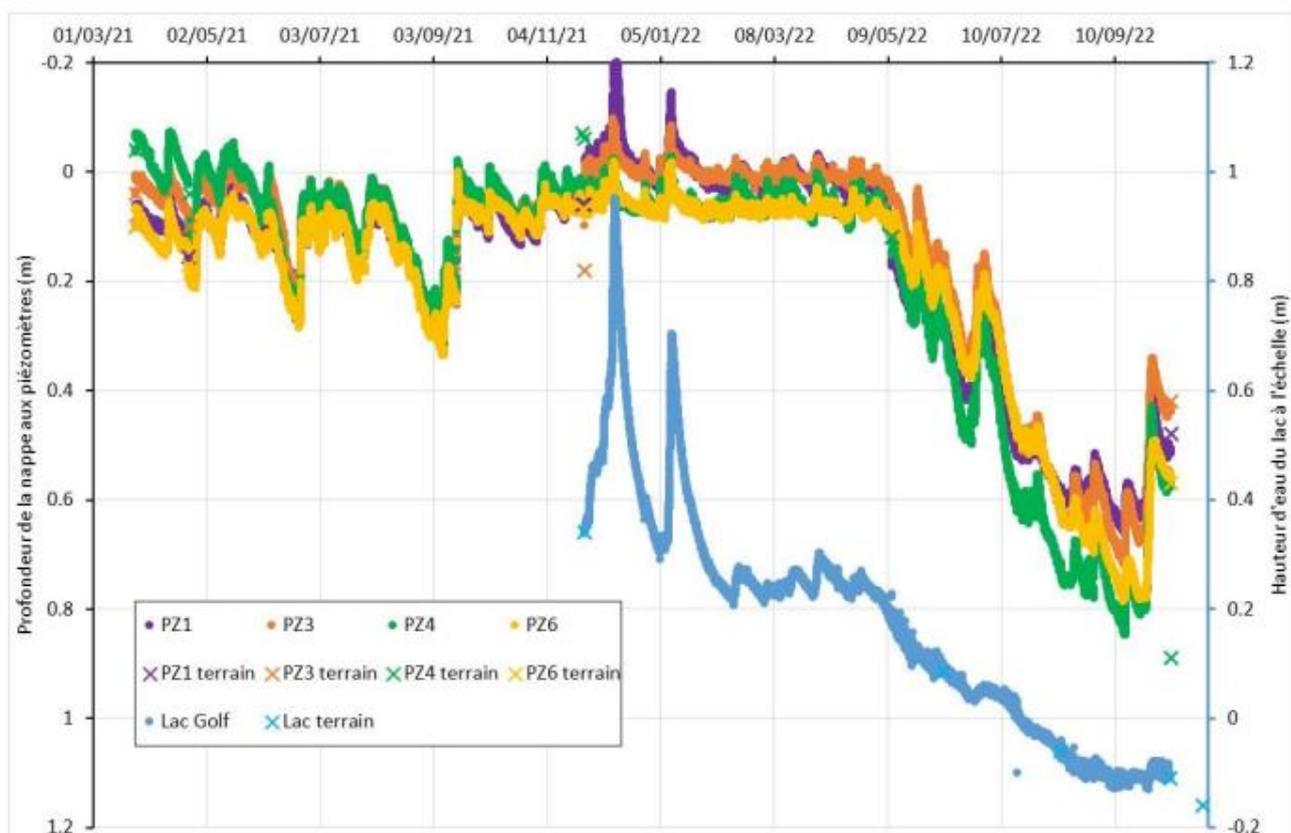
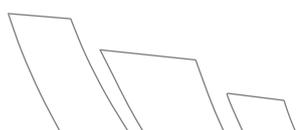


Figure 7 : Suivi des niveaux piézométriques d'octobre 2021 à septembre 2022 (ETIAGES)



Les données de la campagne actuelle sont présentées ici en mètre NGF sur la base des relevés topographiques réalisés par CETRA. Les données brutes du nivellement sont présentées ci-dessous. Les mesures ont été obtenues en prenant comme point de repère, le haut des piézomètres et de l'échelle du Lac.

Tableau 3 : Nivellement (CETRA 2019)

	Lac Golf	Pz1	Pz3	Pz4	Pz6
m NGF/repère	423.81	425.37	426.28	426.65	428.92

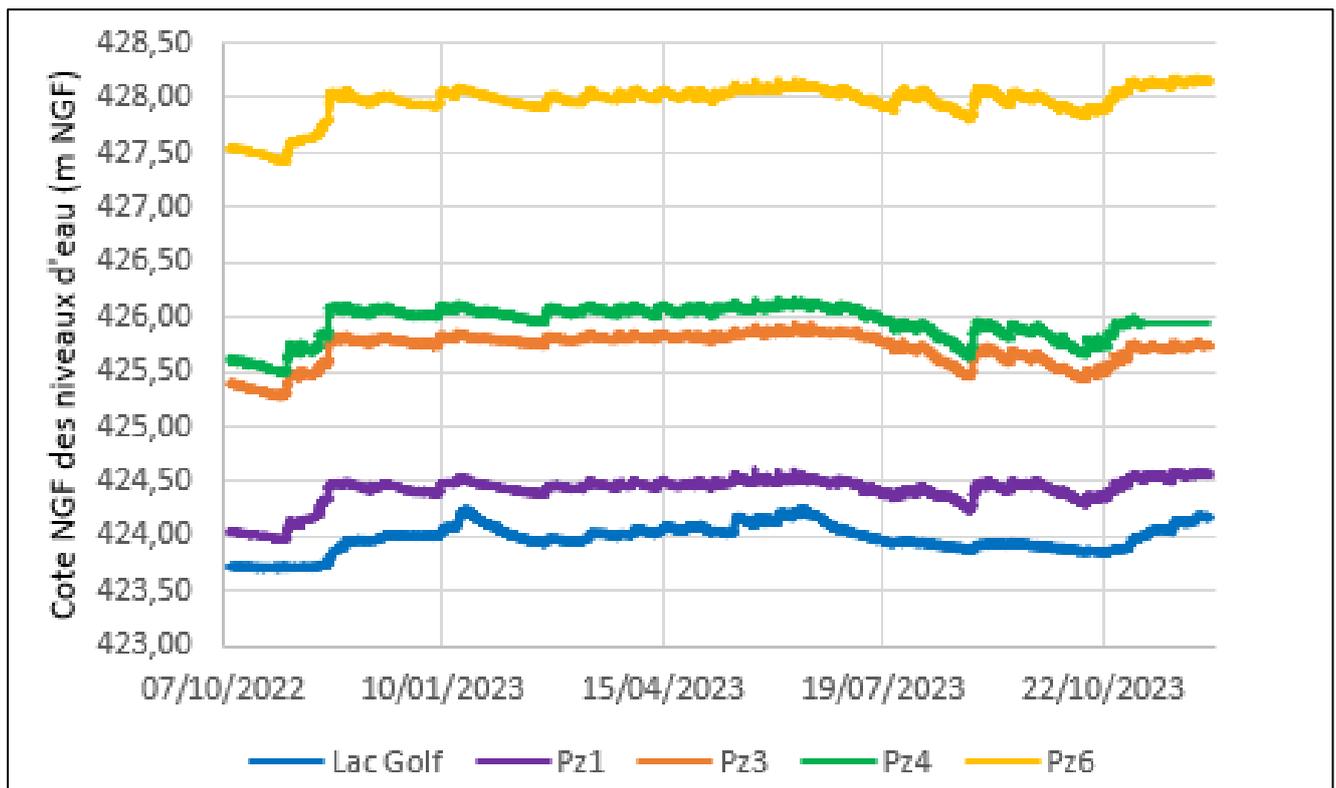


Figure 8 : Cotes altimétriques des niveaux d'eau.

On constate à l'échelle de la tourbière et sur la période suivie, que les niveaux piézométriques enregistrés sur l'ensemble des points de suivi se comportent de la même manière, ce qui traduit un fonctionnement homogène de la nappe.



### 2.1.2. Evolution de la conductivité et de la température

La Figure 9 présente l'évolution de la conductivité sur la période de mesure.

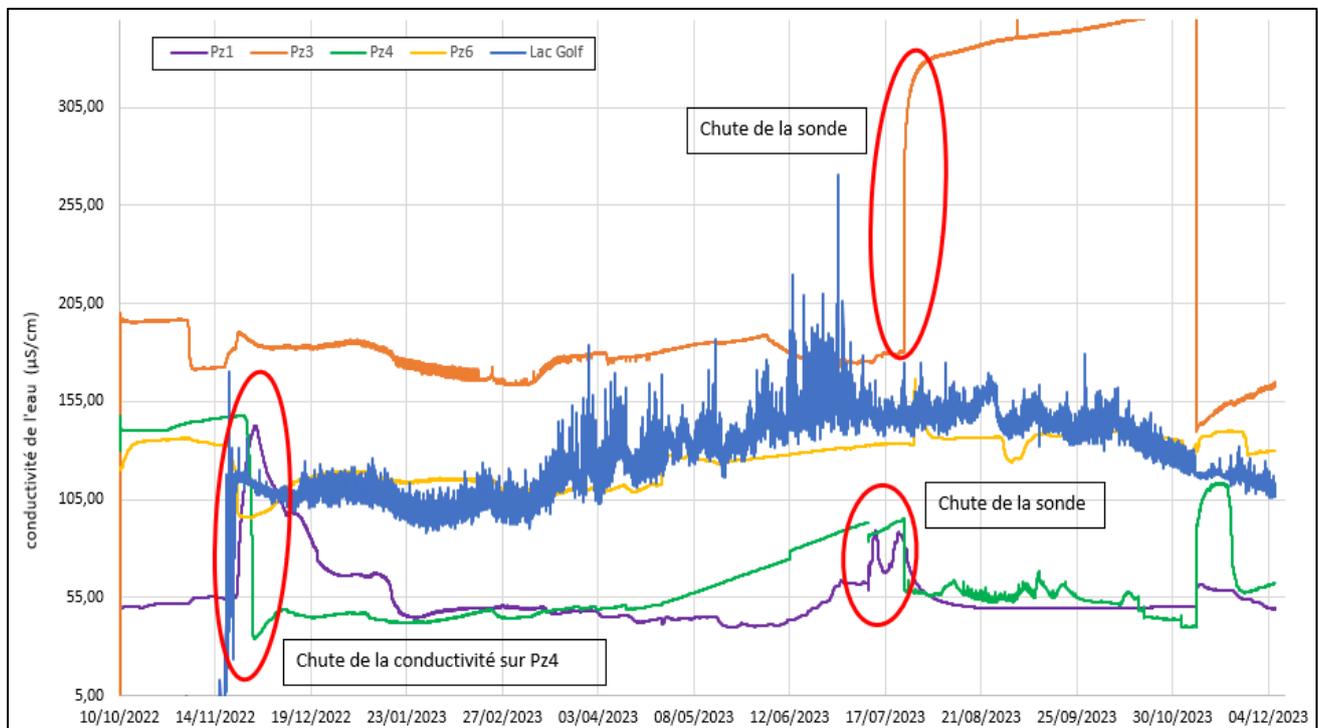


Figure 9 : Evolution de la conductivité en fonction du temps.

Sur la fin d'année 2022, on observe une chute brutale de la conductivité sur Pz4 et une augmentation brutale (de 55 à 155  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) sur Pz1. Pour ce dernier, la conductivité baisse ensuite plus progressivement pour revenir à 55  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Les sondes PZ1, Pz3 et Pz6 ont toutes été retrouvées au fond des ouvrages le 23/07/2023. Elles ont été remises en place le 07/11/2023.

Cette « chute des sondes » a vraisemblablement eu un impact sur les mesures de conductivités.

En effet, après le 23/07/2023, on constate une augmentation brutale de la conductivité sur Pz3 et une baisse brutale pour PZ4 et Pz1.

Les conductivités les plus élevées ont été mesurées au droit de Pz3 (environ 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), les plus faibles au droit de Pz1 et Pz4 (environ 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Globalement ces eaux sont faiblement minéralisées, ce qui correspond à un temps de résidence des eaux dans le sous-sol relativement court.

Cette observation a également été faite en 2022.



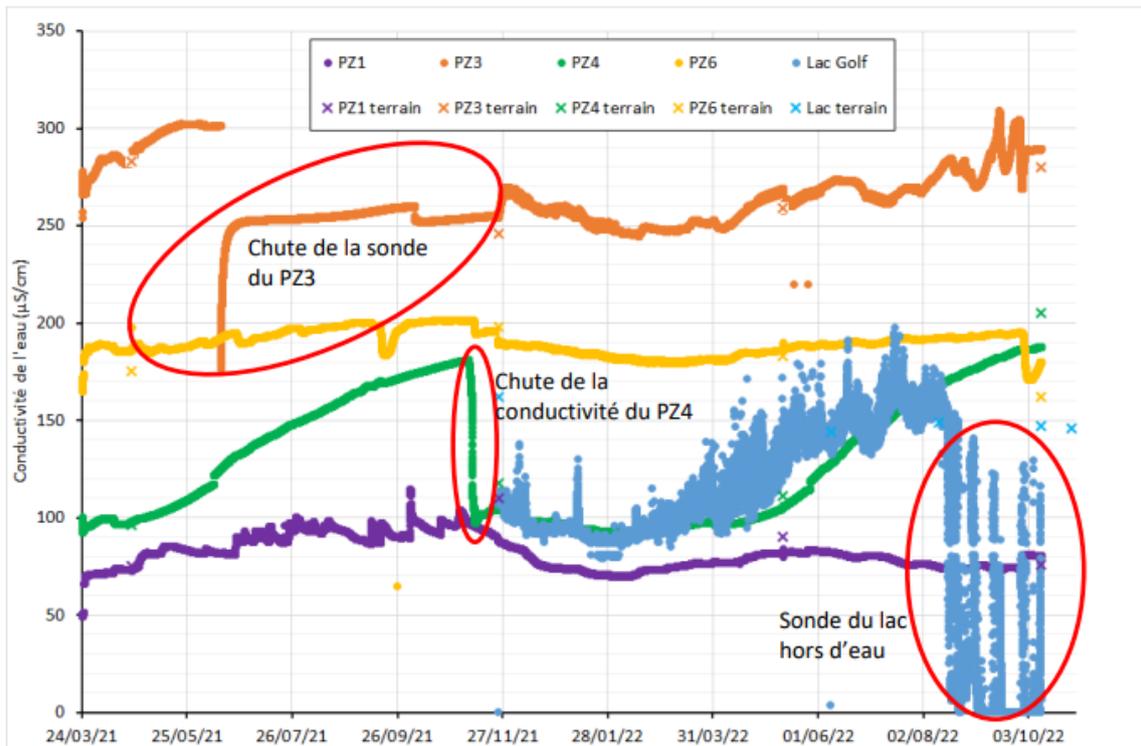


Figure 10 : Evolution de la conductivité en fonction du temps (ETIAGES).

La chute brutale de la conductivité sur Pz4 a été également observée lors de la campagne précédente sur la même période (novembre).

Le piézomètre PZ4 serait situé, d'après les observations d'ETIAGES, au droit d'un écoulement de surface.

Cette chute, pourrait être expliquée par une augmentation importante de la pluviométrie à cette période ou par une relation plus étroite de la nappe dans ce secteur avec le milieu superficiel.

Globalement les conductivités mesurées par ETIAGES en 2021-2022 sont cohérentes avec celle mesurées en 2022-2023.

**Ainsi, on peut observer une continuité des valeurs de la conductivité de l'eau entre 2022 et 2023.**



La figure ci-dessous présente l'évolution de la température de l'eau en fonction du temps. On notera que les sondes installées sur Pz1, Pz3 et Pz4 sont toutes tombées au fond des piézomètres le 23/07/2023. Ainsi, les valeurs mesurées après cette date peuvent être erronées.

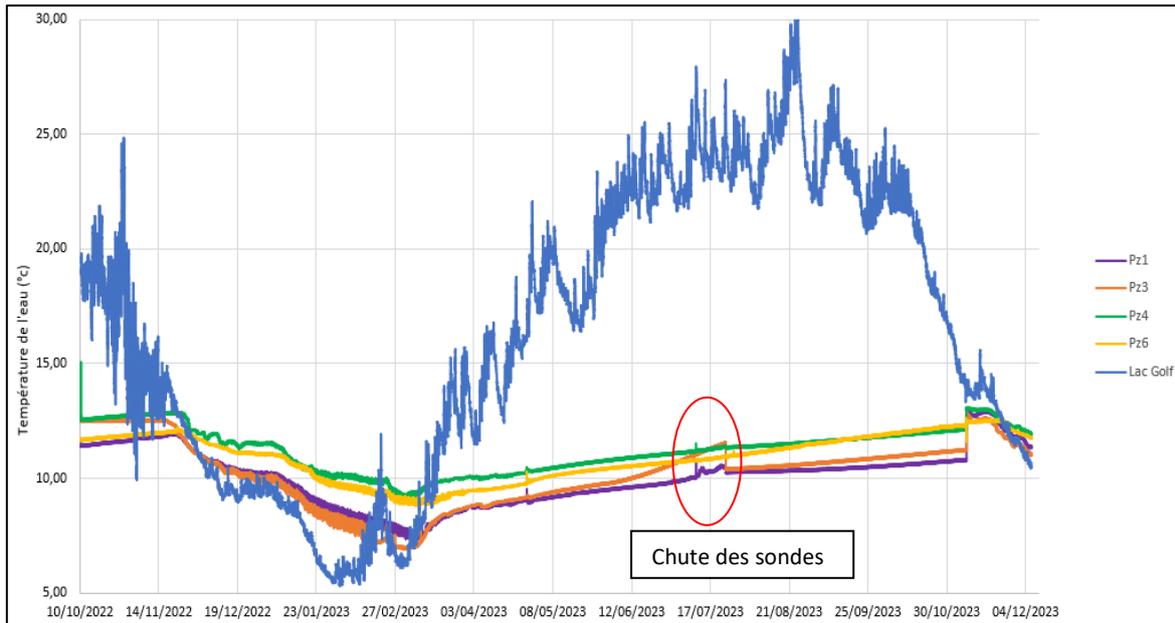


Figure 11 : Evolution de la température de l'eau en fonction du temps (2022-2023)

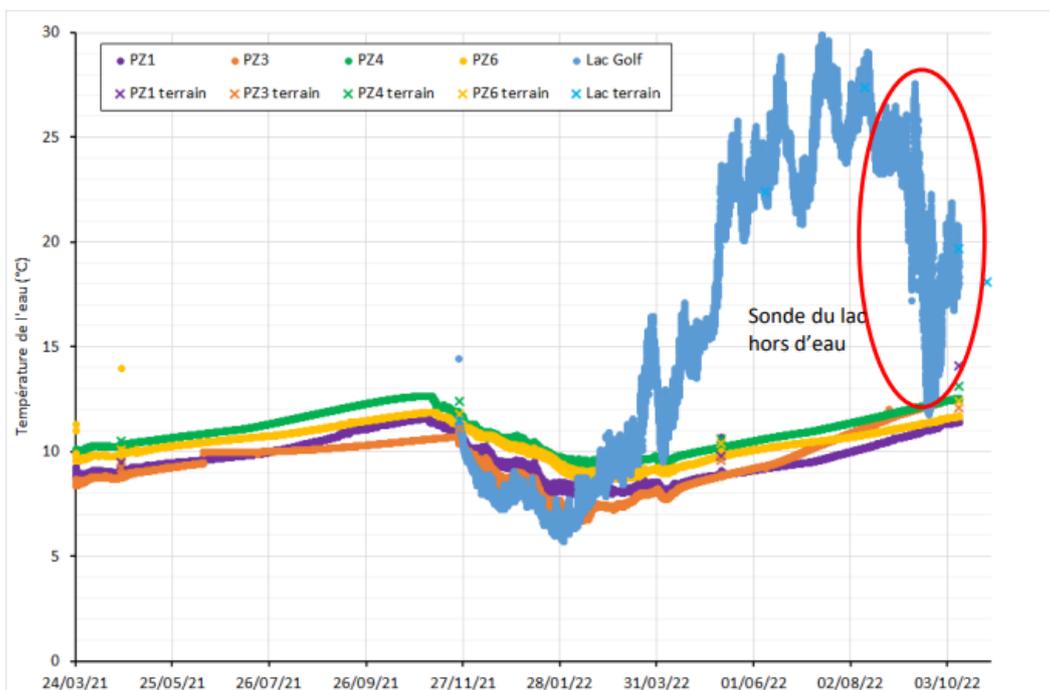


Figure 12 : Evolution de la température de l'eau en fonction du temps (2021-2022)



Sur le suivi de 2023, on peut observer :

La température de l'eau sur la tourbière et sa variation dans le temps est très similaire entre les différents points de mesures.

Sur la période fin 2022-début 2023, on observe une diminution de la température passant de 12 à 6-8°C correspondant à la période hivernale. A partir de la mi-février, la température augmente jusqu'à la fin avril (de 7-8 à 9-10°C) puis se stabilise pour augmenter plus progressivement.

Sur l'année 2023, on constate une absence de variation significative de la température sur la période estivale traduisant une bonne stabilité de la température au cours du temps.

Pour le lac, les températures sont plus variables avec des amplitudes de température plus importantes :

Les valeurs chutent brutalement d'octobre 2022 jusqu'à février 2023 (de 20 à 5°C) puis augmentent plus progressivement pour atteindre un pic à 30°C en août. A partir de cette date, on peut commencer à apercevoir une baisse de la température jusqu'à la mi-décembre (fin des données récoltées) qui semble se poursuivre. A noter que cette valeur de température correspond à la température de la « surface du lac » qui s'avère être particulièrement influencée par les conditions atmosphériques.

En comparant les deux années, 2022 et 2023 la variation de température au cours du temps est similaire.



## 2.2. Mesures de débits



Figure 13 : Localisation des différents points de mesure de débit

- ✓ Le débit de vidange du lac (Exutoire Lac) a été mesuré à l'aide d'un courantomètre de type Flow Prode

La figure suivante présente une vue du point de mesure.

- ✓ Les débits des écoulements de surfaces identifiés précédemment, ont été obtenus à l'aide de la méthode par empotage.

Dans les deux cas, quatre campagnes de mesures ont été réalisées (mai, juillet, novembre et décembre 2023), afin d'obtenir des mesures en basses eaux (juillet) et en hautes eaux (novembre et décembre).

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus lors des trois campagnes. Pour la localisation des points de jaugeage se référer à la Figure 2.





Figure 14 : Point de mesure sur l'exutoire (Exutoire Lac)

Une courbe d'étalonnage mettant en relation la hauteur d'eau du lac (échelle) et le débit sur l'exutoire a été établie par le bureau d'étude CETRA.

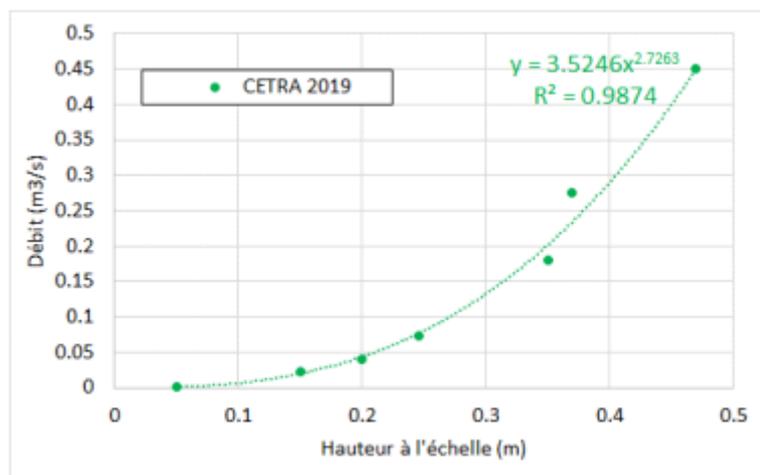


Figure 15 : Courbe d'étalonnage hauteur/débit (CETRA 2019)

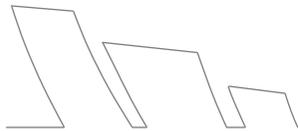


Tableau 4 : Résultats des mesures de débit

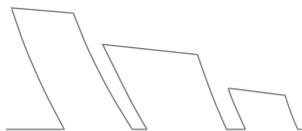
Dates	paramètres	P1	P2	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
24/05/2023	Température (T°C)	13,99	15,46	16,28	13,94	13,79	13,81	13,94	13,91	13,18	13,01	13,37	
	Conductivité (µs/cm)	165	138	219	189	196,00	183	235	235	144	150	172	
	Conductivité A (µs/cm)**	131	113	183	149	154,00	144	186	185	111	116	134	
	Débit moyen (m³/h)	0,53	12,57	9,62	3,45	9,22	8,13	1,43	1,59	4,78	6,17	1,68	
27/07/2023	Température (T°C)	17,29	16,6	21,06	19,5	17,1	18,3	18,65	18,65	*	19,1	SEC	27,2
	Conductivité (µs/cm)	201	188	198	265	254	235	313	313	*	174	SEC	151
	Conductivité A (µs/cm)**	171	158	183	238	217	206	275	275	*	154	SEC	157
	Débit moyen (m³/h)	2,29	0,09	0,3	3,53	1,49	0,65	0,18	0,23	*	0,19	SEC	
07/11/2023	Température (T°C)	11,95	13,2	14,33	12,21	13,13	13,12	11,95	/	*	11,77	14,85	13,87
	Conductivité (µs/cm)	151	165	141	259	265,00	247	241	/	*	107	340	157
	Conductivité A (µs/cm)**	114	128	113	/	/	192	181	/	*	80	274	124
	Débit moyen (m³/h)	6,9	1,09	0,84	3,55	1,55	1	1,22	1,38	*	0,6	3,02	
06/12/2023	Température (T°C)	7,50	10,6	9	10,5	12,70	12,9	9	9	11,2	11,3	12,7	10,4
	Conductivité (µs/cm)	123	159	185	180	179,00	184	212	213	134	134	213	151
	Conductivité A (µs/cm)**	82	116	129	132	138,00	142	148	148	99	99	163	109
	Débit moyen (m³/h)	10,9	1,46	9,6	17,94	10,93	10,5	3,9	3,36	7,2	9,6	6,4	

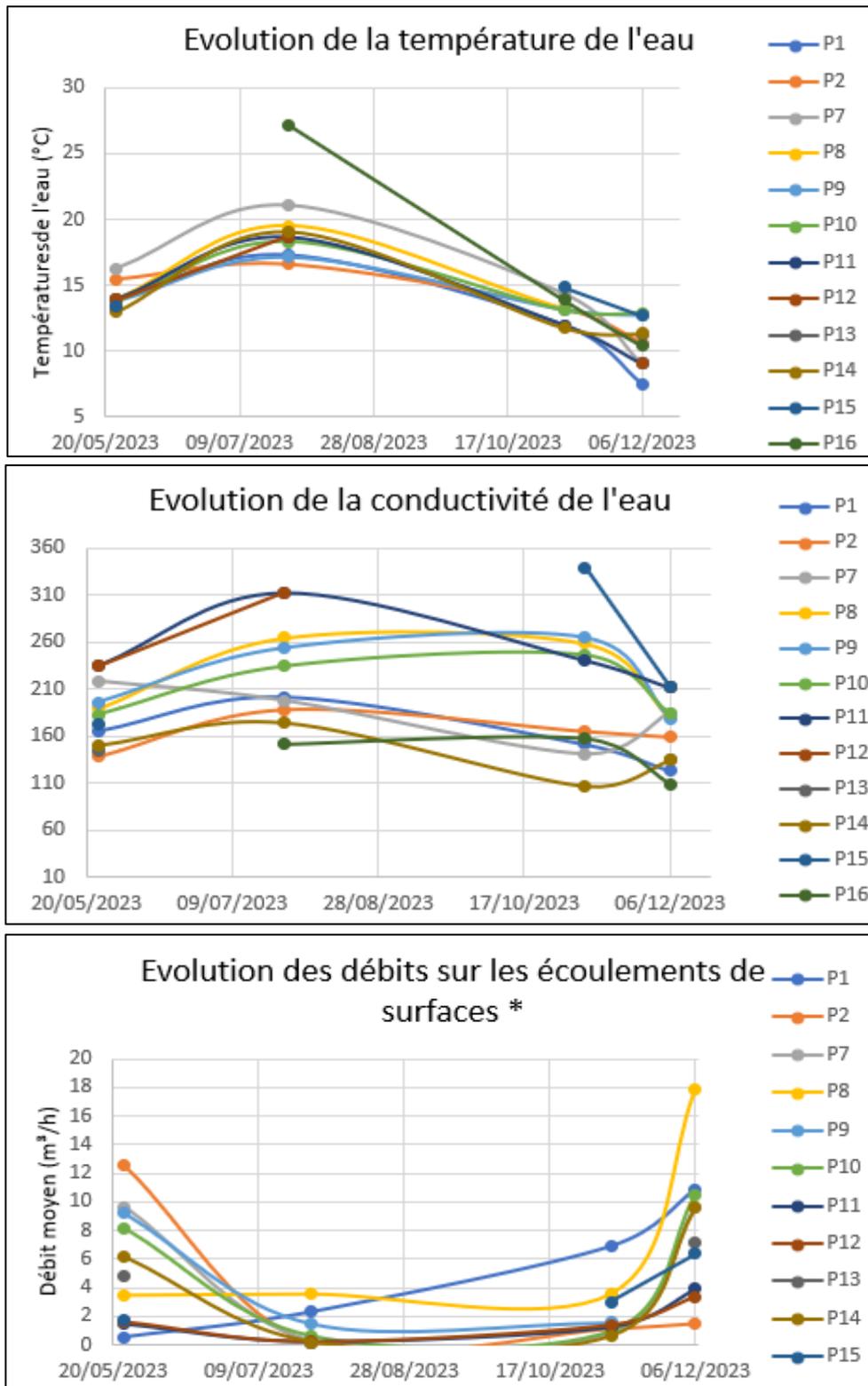
\* petit filet d'eau non mesurable

\*\*Conductivité à 25°C



	Hauteur d'eau à l'échelle (m)	Débits ECR (m <sup>3</sup> /s)*	Débits CETRA (m <sup>3</sup> /s)**
09/06/2023	0,35	<b>0,12/0,22</b>	entre 0,15 et 0,20
27/07/2023	0,15	<b>0,02/0,03</b>	<0,05
07/11/2023	0,2	<b>0,04/0,04</b>	0,04
06/12/2023	0,36	<b>0,20/0,23</b>	0,2
<i>* Mesures sur l'exutoire (P16) à deux profondeurs pour une meilleure représentativité</i>			
<i>**deduit de la courbe d'étalonnage CETRA</i>			





\* Evolution du débit estimée par extrapolation de 4 mesures ponctuelles

Figure 16 : Evolution projetée des paramètres des écoulements de surface sur trois mesures (24/05, 27/07, 07/11 et 06/12/2023)



Les graphiques ci-dessus présentent l'évolution des paramètres de l'eau au niveau des points de mesures en fonction du temps.

Les données acquises (cf. Tableau 4 et Figure 16) ont permis de réaliser les observations suivantes :

✓ **Pour les mesures sur les écoulements de surfaces (P1 à P15).**

- Les valeurs de température relevées sont relativement similaires entre les différents points de mesures ;
- Dans l'ensemble, une augmentation de la température sur la période estivale (27/07/2023) puis une baisse sur la période automnale et hivernale jusqu'à approcher les valeurs de mai 2023. Cette augmentation peut être expliquée d'une part par une augmentation de la température atmosphérique et d'autre part, par une diminution des précipitations traduisant une baisse de hauteur d'eau engendrant un réchauffement plus important de l'eau.
- Les valeurs de conductivité mesurées sur les différents points sont relativement homogènes (comprises entre 100 et 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).
- En revanche, les variations observées sont parfois différentes d'un point à un autre.
- Les différents points de mesures présentent des valeurs de débit différentes, mais une tendance générale identique tout au long de l'année.
- Deux régimes d'écoulement sont observés sur site (permanent et intermittent)
- Le point P8 présente un débit constant sur les trois premières périodes de mesures. Cette différence de comportement par rapport aux autres points de mesures, peut être expliquée par la présence d'un bassin de rétention (Figure 3), mis en place après un sinistre sur le terrain (d'après le propriétaire), permettant la régulation du débit en sortie.

Les différences de débits entre les points de suivi peuvent être liées à :

- Des infrastructures (drains, buses, canalisation...) pouvant influencer le débit,
- Une difficulté de prélèvement sur certains points (P11, P12, P13, P15),

On notera également que pour certains écoulements, le point de mesure a été adapté entre les périodes de mesures en fonction de la hauteur d'eau, l'idéal étant de réduire au maximum les pertes liées à la mesure.



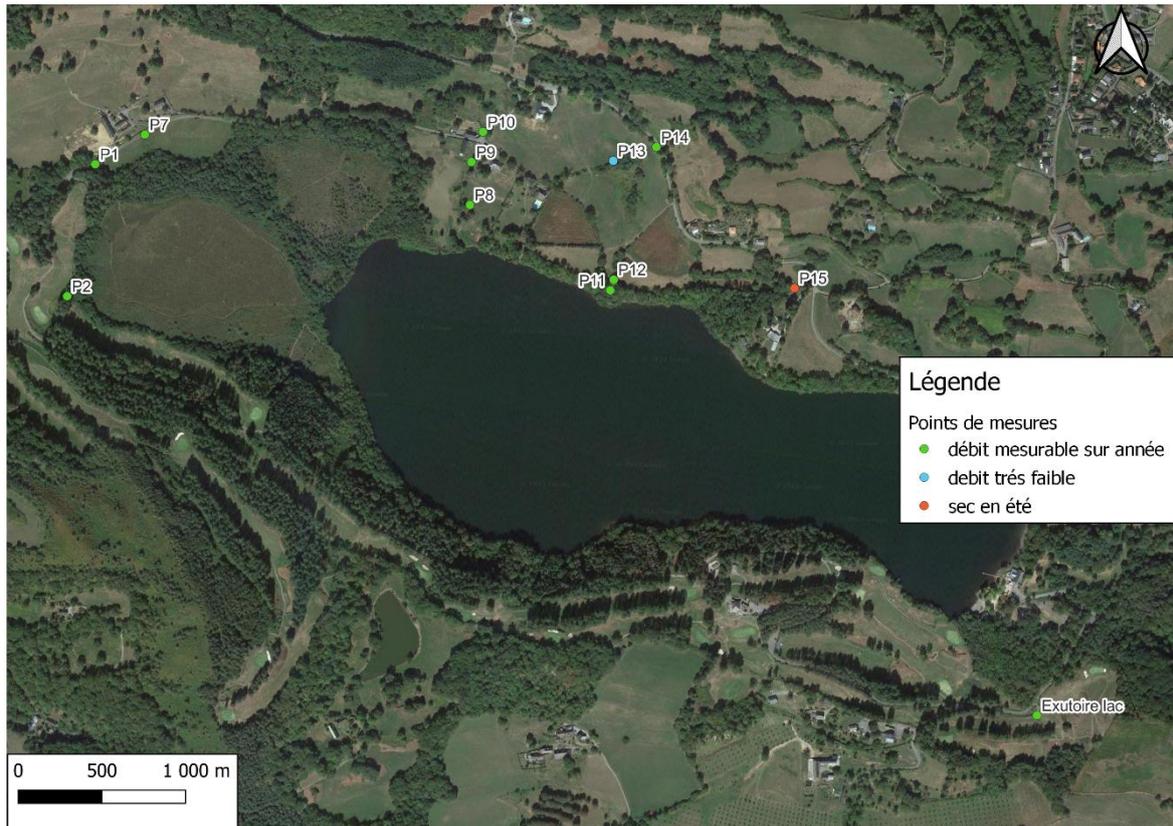
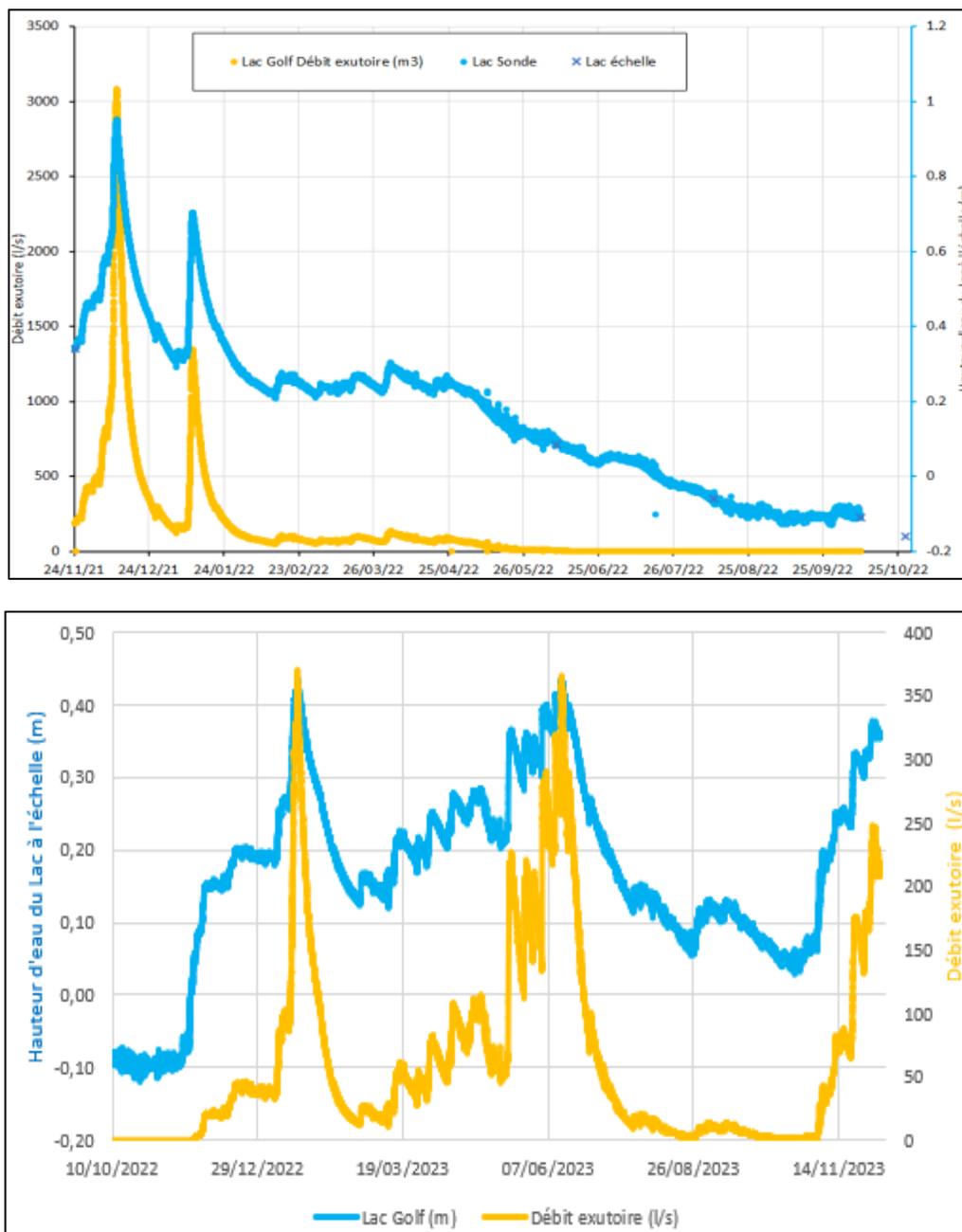


Figure 17 Points de mesures de débits selon leurs caractéristiques

✓ **Pour les mesures sur l'exutoire du lac (P16).**

- Une relation entre le niveau du lac et le débit de l'exutoire :  
Un débit plus faible lorsque le niveau d'eau dans le lac diminue et inversement.
- Des valeurs de débits similaires ou égales à celles déduites de la courbe d'étalonnage définie en 2019 par le bureau d'études Cetra.





**Figure 18 : Evolution des débits à l'exutoire du Lac sur l'année 2022 et 2023 selon l'équation de la courbe d'étalonnage CETRA**

On constate des débits très bas sur l'année 2022 liée à un déficit de précipitation engendrant une baisse du niveau d'eau.

A l'inverse, sur l'année 2023, les débits sont plus importants et semblent suivre l'évolution du niveau d'eau. On peut observer des pics de débits en février, mai-juin et novembre 2023, associés à des hausses de niveaux d'eau sur le lac.



## 3. CONCLUSION

### 3.1. Niveaux d'eau

#### **Pluviométrie :**

Sur la période traitée, deux périodes de forts cumuls pluviométriques se distinguent : novembre 2022 (période hivernale) et le printemps 2023 (de mars à juin). On n'observe pas de déficit important de pluviométrie sur la période estivale de 2023 comme on a pu le constater sur l'été 2022.

#### **Niveaux d'eau :**

Les variations des niveaux d'eau sont influencées par la pluviométrie. On peut constater cependant, que la variation de niveau d'eau est plus importante sur le lac que sur la tourbière.

**L'évolution du niveau d'eau sur l'année 2023 est similaire aux observations faites en 2022.**

**Des anomalies suite à des « chutes de sondes » ont été détectées sur plusieurs sondes sur la tourbière (Pz1, Pz3 et Pz4), le 23/07/2023 entre 20 h et 22h15. Les bouchons servant d'accroche aux sondes ont été abîmés ou été absent. Un acte accidentel ou volontaire n'est cependant pas à exclure.**

**Suite à cela, une sécurisation des sondes a été menée à l'aide de nouveaux bouchons.**

### 3.2. Conductivité et température

**On notera que les données obtenues après le 23/07/2023 peuvent être erronées du fait de la chute des sondes.**

#### **Conductivité :**

Les sondes automatiques ont toutes été recalibrées courant juillet 2023 à l'aide d'une solution à 1 413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

A l'échelle de la tourbière, nous observons une différence de minéralisation de l'eau suivant la localisation des points de mesures, traduisant une alimentation différente de la nappe en fonction de l'espace. Cela peut être expliqué en partie par un apport météorique différent ou par les écoulements de surfaces présentés précédemment, pouvant alimenter en eau la tourbière. Des prélèvements en amont sur ces écoulements peuvent également influencer ces apports en eau.



La chute de conductivité sur le Pz4 a été observée à deux reprises à un an d'intervalle (novembre 2021 et novembre 2022). La récurrence du phénomène n'a pas pu être confirmée sur novembre 2023 en raison des mouvements de sondes rencontrés durant le suivi qui ont perturbé l'acquisition des données (à vérifier lors de la prochaine étude).

Pour l'heure, nous ne pouvons faire qu'une hypothèse sur cet événement (cumul pluviométrique important ou alimentation par des écoulements de surfaces).

### **Température :**

L'évolution de la température sur les piézomètres de la tourbière est liée aux conditions hydrologiques et climatiques.

La température de l'eau à l'échelle de la tourbière est homogène puisqu'on observe la même évolution au cours du temps avec des valeurs proches entre les différents points de mesures.

Sur le lac, la variation de la température de l'eau est beaucoup plus importante avec un gradient de température plus élevé que celui de la tourbière.

L'eau du lac (ressource superficielle) est plus soumise aux variations météoriques et climatiques que l'eau de la tourbière (comme précisé, les valeurs de température relevées sur la sonde correspondent à la température de la « surface du lac » qui s'avère être particulièrement influencée par les conditions atmosphériques).

La différence de température est aussi visible à l'échelle d'une journée (diurne/nocturne).

**Les observations faites sur la période de mesures sont similaires à celles de la précédente campagne faite en 2022 par ETIAGES.**

## **3.3. Mesures de débits**

### **Débit sur l'exutoire du lac**

Les débits sur l'exutoire du lac sont dépendants de la hauteur d'eau sur le lac.

Sur l'ensemble des trois campagnes de mesures, des débits faibles ont pu être mesurés avec également une faible hauteur d'eau au niveau du point de mesure.

Pour une même hauteur d'eau sur le lac, les valeurs de débit mesurées sur la présente campagne sont similaires aux débits mesurés par CETRA lors d'une campagne en 2019 (courbe d'étalonnage).

A l'échelle de l'année 2023, pour une même période, les débits projetés sont supérieurs à ceux de 2022.



## Débit sur les ruissellements de surface

Les mesures de débit sur les différents écoulements de surface sont dépendantes de la pluviométrie puisqu'on observe une variation des débits en fonction du temps.

Il est possible qu'il y ait des prélèvements d'eau sur ces écoulements pour le bétail ou autres activités agricoles qui peuvent influencer le débit.

Deux cas de figure ont été observés :

- Un débit mesurable tout au long de l'année (régime d'écoulement de type « permanent »)
- Un débit très faible ou sec en période estivale (régime d'écoulement de type « intermittent »)

## Bilan

- Cumul pluviométrique :
  - o Déficitaire en 2022 de -315,4 mm par rapport à la normale mesurée sur la période 1981-2010 ;
  - o Proche de la normale 1981-2010 voire légèrement excédentaire en 2023 +45 mm
- Niveau du lac :
  - o Particulièrement bas en 2022 avec une sonde hors d'eau en été ;
  - o Recharge très rapide en début d'année 2023 (atteinte des niveaux d'eau de 2022 avant sa période de basse eaux) ;
  - o Niveau d'eau relativement stable sur l'année 2023 : **il n'y a pas eu de déficit important sur les entrées d'eau.**
- Débits mesurés à l'exutoire :
  - o Plus important en 2023 par rapport à ceux mesurés en 2022 → lié à une hauteur d'eau du lac plus importante.

## 4. PERSPECTIVES

### - Mesures de débit sur l'exutoire :

Au cours des quatre campagnes de mesures de débit, le niveau d'eau de l'exutoire était faible (10 à 40 cm max) et les vitesses mesurées également, malgré des mesures à des périodes différentes (min = 0,1 et max= 0,2/0,3 m/s),

L'utilisation d'un courantomètre a présenté quelques difficultés dans l'acquisition des mesures.

En effet, l'appareil ne peut mesurer qu'une valeur de vitesse en m/s avec seulement 1 décimale. Les valeurs en dessous de 0,1 m/s ne sont donc pas mesurées et affichent 0 m/s.



Ainsi, la plage de mesure n'étant pas adaptée et la marge d'erreur étant plus importante, il serait judicieux d'utiliser, pour les prochaines campagnes un courantomètre avec une gamme de mesures plus basse de type OTT C31 (0.025 à 10 m/s)  $\leq$  600 € TTC/semaine.

- **Mesures de débit sur les écoulements de surface :**

Certains points de mesures présentait des débits faibles même en période de hautes-eaux voir sec en période estivale ce qui a rendu les mesures plus compliquées ou impossibles.

Les débits mesurés étant hétérogènes entre les points de mesures et étant donné que seules quatre campagnes de mesures ont été effectuées, il serait judicieux d'attendre la prochaine campagne 2024 pour établir une interprétation sur le comportement des écoulements de surfaces. Seules des hypothèses peuvent être établies à ce niveau.

- **Sondes piézométriques :**

La sonde du Lac est située à un endroit avec une faible hauteur d'eau ce qui engendre un manque de données lorsque la sonde est hors d'eau et des valeurs (température et conductivité) susceptible d'être non-représentatives de l'eau du lac.



Figure 19 : vue sur l'échelle et la sonde du lac

Pour la prochaine campagne, il serait judicieux de positionnée la sonde plus en profondeur afin de minimiser les variations liées aux conditions atmosphériques.

Dans un temps plus long et si l'étape précédente n'a pas d'effet, une localisation plus adaptée pour la mise en place de la sonde du lac sera à chercher.



## CONDITIONS PARTICULIÈRES

---

Le présent rapport ou Procès-verbal ainsi que toutes annexes, constituent un ensemble indissociable.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT serait dégagée de toute responsabilité dans le cas d'une mauvaise utilisation de toute communication ou reproduction partielle de ce document, sans accord écrit préalable. En particulier, il ne s'applique qu'aux ouvrages décrits et uniquement à ces derniers.

Si en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, nous avons été amenés dans le présent rapport à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient à notre client ou à son maître d'œuvre de communiquer par écrit à la société ECR ENVIRONNEMENT ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour aucune raison nous être reproché d'avoir établi notre étude pour le projet que nous avons décrit.

Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne permet pas de s'affranchir des aléas des milieux naturels, et ne peut prétendre traduire le comportement du sol dans son intégralité.

Ainsi, tout élément nouveau mis en évidence lors de l'exécution des fondations ou de leurs travaux préparatoires et n'ayant pu être détecté lors de la reconnaissance des sols (ex. : remblais anciens ou nouveaux, cavités, hétérogénéités localisées, venue d'eau, etc.) doit être signalé à E.C.R. ENVIRONNEMENT qui pourra reconsidérer tout ou une partie du Rapport. Pour ces raisons, et sauf stipulation contraire explicite de notre part, l'utilisation de nos résultats pour chiffrer à forfait le coût de tout ou une partie des ouvrages d'infrastructure ne saurait en aucun cas engager notre responsabilité.

De même, des changements concernant l'implantation, la conception ou l'importance des ouvrages par rapport aux hypothèses de base de cette étude, peuvent conduire à modifier les conclusions et prescriptions du Rapport et doivent être portés à la connaissance d'E.C.R. ENVIRONNEMENT. Toute modification du rapport ou intervention complémentaire engendrée par une modification du projet initiale (déplacement du dispositif en dehors de la zone d'étude, modification des hypothèses de dimensionnement, réalisation de sondages complémentaires...) après le rendu de notre étude pourra être facturée.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans le cas où elle aurait donné son accord écrit sur les dites modifications.

Les altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cote de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un Géomètre-Expert. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.

Cette étude est une étude de faisabilité de mise en place d'une filière de gestion des eaux pluviales, il ne s'agit en aucun cas d'une mission quelconque de maîtrise d'œuvre (avant-projet sommaire, projet...). Nous conseillons donc au client de faire réaliser les travaux d'assainissement avec le conseil et le suivi d'un maître d'œuvre compétent.

---

