

Hydrologie

Étude de référence – Projet minier Troilus

Rapport présenté à :

Troilus Gold

13 décembre 2024

Projet 141022002



Équipe de réalisation

Nemaska Ressources

Nadine Marois, biologiste, B. Sc.	Direction de projet et révision scientifique
Patrice Leroux, ingénieur, B. Sc.	Chargé de projet et rédaction
Patrice Ferron, géographe, B. Sc.	Analyse des données et rédaction
Francis Mathon, ingénieur, B. Sc.	Relevé terrain et analyse des données
Antoine Sicotte, technicien de la faune	Relevé terrain
Lucas Branger, technicien en arpentage	Relevé terrain
Jérôme Francoeur, technicien de la faune	Relevé terrain
Philip Dufour, CPI, B. Sc.	Relevé terrain et rédaction
Trestant Guevel, technicien de la faune	Relevé terrain
Gisèle Millette, géographe, M. Sc.	Cartographie
Francine Vallée, adjointe administrative	Édition

Préparé par :

Approuvé par :

<Original signé par>

<Original signé par>

Patrice Leroux
Ingénieur, B. Sc.

Nadine Marois
Biologiste, B. Sc.



01	2024-12-13	Version préliminaire
N° révision	Date	Description de la modification de l'émission

Portée et limitations

Le présent document doit être utilisé aux fins pour lesquelles il a été élaboré. Il est destiné au client pour qui il a été réalisé et celui-ci est libre de le partager à un tiers si telle est sa décision.

Le présent document a été réalisé avec les données recueillies sur le terrain et les informations disponibles sur les différents éléments étudiés en date du présent rapport. Les analyses techniques basées sur l'interprétation des divers articles de loi et des règlements en vigueur ne sont pas et ne doivent, en aucun temps, être considérées comme un avis juridique ou se substituer à un tel avis.

Les cartes portant le logo de Wachiih Ressources sont le résultat d'une compilation de l'information de bases de données publiques et des données d'inventaire récoltées sur le terrain. Elles n'ont pas été préparées par un arpenteur-géomètre et ne doivent pas être considérées comme telles. Wachiih Ressources ne se tient pas responsable des conclusions erronées dues à la dissimulation volontaire ou à la non-disponibilité d'une information pertinente au moment de réaliser le mandat.

Les analyses développées au sein de ce document sont présentées à titre indicatif seulement et la décision finale concernant les différentes modalités d'intervention et les zones officielles de protection sont du ressort du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs du Québec (MELCCFP) et/ou des autres ministères et organismes gouvernementaux (provincial, fédéral) ou de la municipalité concernée.

Par conséquent, Wachiih Ressources ne saurait être tenu responsable des interventions entreprises sur le milieu avant l'obtention de toutes les autorisations nécessaires ni pour d'éventuels dommages subis par un tiers résultant d'une décision prise ou basée sur ce rapport. Wachiih Ressources n'a aucun lien avec le client ni aucun intérêt dans la propriété à l'étude. Wachiih Ressources s'assure de l'intégrité du travail réalisé en évitant toutes situations de conflit d'intérêts.

Référence à citer

Wachiih Ressources. 2024. Hydrologie - Étude de référence – Projet minier Troilus. Rapport du projet 141022002. 27 pages.

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Mandat et objectifs	1
2	Localisation et description du projet.....	2
3	Méthodologie.....	5
3.1	Suivi hydrologique dans les cours d'eau et les fossés de drainage.....	5
3.2	Suivi hydrologique dans les lacs.....	8
3.3	Compensation barométrique et suivi des stations hydrométriques	8
3.4	Arpentage des stations hydrométriques et des sections transversales de cours d'eau.....	8
4	Résultats et discussion.....	10
4.1	Suivi hydrologique des niveaux d'eau et débits dans les cours d'eau – stations hydrométriques	10
4.2	Suivi hydrologique des niveaux d'eau et débit du lac A (sonde 3)	15
4.3	Suivi hydrologique des jauges à maxima.....	17
4.4	Relation niveau débit.....	21
4.4.1	Limites de la relation niveau-débit.....	23
5	Conclusion et recommandations.....	26
6	Références.....	27

Liste des cartes

Carte 1.	Localisation du projet minier Troilus.....	3
Carte 2.	Localisation des stations hydrométriques	4

Liste des tableaux

Tableau 1.	Données de jaugeage des cours d'eau et lacs en 2024.....	15
Tableau 2.	Données annuelles et saisonnières des jauges à maxima.....	17
Tableau 3.	Hauteur et élévation limite pour l'utilisation des courbes de tarage.....	25

Liste des figures

Figure 1.	Exemple de calcul de débit.....	7
Figure 2.	Niveau d'eau et précipitations à la sonde 1 entre le 1 ^{er} janvier et le 17 juillet 2024	10
Figure 3.	Niveau d'eau et précipitations sur une période de 24 heures pour la pluie du 27 mai 2024.....	11
Figure 4.	Niveau d'eau et précipitations sur une période de 24 heures pour la pluie du 13 juin 2024.....	11
Figure 5.	Niveau d'eau et précipitations à la sonde 4 entre le 1 ^{er} janvier et le 16 juillet 2024	13
Figure 6.	Niveau d'eau et précipitations à la sonde 3 (lac A) entre le 1 ^{er} janvier et le 16 juillet 2024	16
Figure 7.	Variations journalières du niveau d'eau dans les cours d'eau à l'étude entre 2022 et 2024	20
Figure 8.	Relation entre le niveau d'eau (m) et le débit (m ³ /s) pour les cours d'eau à l'étude.....	22
Figure 9.	Profil des stations de jaugeage.....	24

Liste des acronymes

CE	Cours d'eau
DGPS	Système de positionnement géographique différentiel
GPS	Global positioning system (système de positionnement géographique)
GRHQ	Géobase des données hydrographiques du Québec
LQE	Loi sur la qualité de l'environnement
MELCCFP	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
MERN	Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles
MH	Milieu humide
MPO	Pêches et Océans Canada
RAMHHS	Règlement sur les activités dans les milieux hydriques, humides et sensibles
REAFIE	Règlement sur l'encadrement des activités en fonction de leur impact sur l'environnement
RHF	Règlement sur les habitats fauniques

1 Introduction

Le présent mandat en hydrologie consiste en l'accompagnement de Troilus Gold dans la réalisation de leurs études environnementales pour l'année 2024. Le programme de suivi environnemental a pour objectif général de mesurer, observer et documenter le contexte hydrographique et hydroclimatique du site, permettant ainsi à Troilus Gold de respecter ses engagements auprès des autorités gouvernementales et des communautés locales. Ce mandat inclut la collecte de données grâce à l'utilisation de sondes et de jauges à maxima pour approfondir la compréhension du régime hydrologique du secteur. Des jaugeages réguliers sont effectués afin d'associer les hauteurs d'eau mesurées aux débits correspondants, renforçant ainsi la fiabilité des analyses. En parallèle, une analyse des précipitations est réalisée pour évaluer la réponse hydrologique des bassins versants, rivières et lacs aux événements pluvieux.

Chaque année de collecte se conclut par la rédaction d'un rapport synthèse démontrant l'avancement des observations et des analyses. Cette saison, deux campagnes hydrologiques sur le terrain ont été menées, produisant des données essentielles pour le suivi environnemental.

1.1 Mandat et objectifs

Le suivi des conditions hydrologiques vise spécifiquement l'atteinte des objectifs suivants :

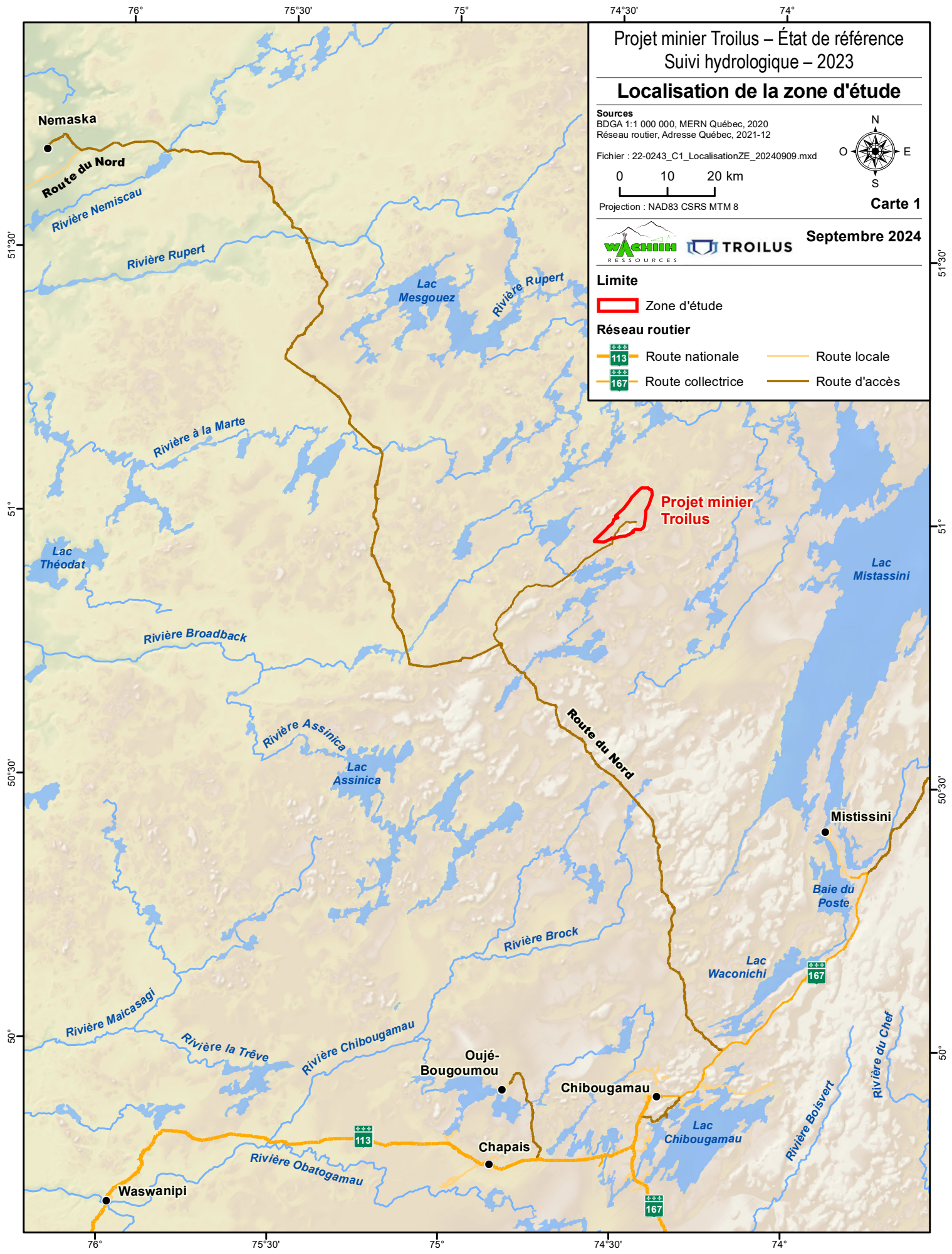
- Évaluer les variations saisonnières et interannuelles des cours d'eau et plan d'eau présents sur le territoire;
- Déterminer les conditions hydrauliques et les courbes de tarage des cours d'eau;
- Évaluer l'impact des conditions météorologiques (température, précipitations, etc.) sur les conditions hydrauliques, notamment la hauteur d'eau, la vitesse d'écoulement et les débits, afin de mieux comprendre la dynamique des cours d'eau.

2 Localisation et description du projet

Le projet minier Troilus est situé dans le territoire du gouvernement régional d'Eeyou Istchee Baie-James (GREIBJ), au nord du Québec. Il est accessible à partir du kilomètre 108 de la route du Nord par une route d'accès de 44 kilomètres. Le site se trouve à environ 140 kilomètres au nord de Chibougamau, dans une région caractérisée par un paysage mixte de forêts boréales et de nombreux plans d'eau.

Le secteur environnant est dominé par un réseau complexe de rivières, de lacs et de bassins versants interconnectés. Ces cours d'eau jouent un rôle clé dans la régulation hydrologique de la région et constituent un habitat important pour la faune aquatique locale. Le climat de la région est typiquement subarctique, avec des hivers longs et rigoureux, et des étés courts et relativement humides. Les précipitations annuelles sont variables, influençant directement les niveaux d'eau et les conditions hydrauliques des plans d'eau.

Le site de la mine comprend des infrastructures minières, des installations de traitement et des accès routiers, intégrés dans un environnement sensible nécessitant une surveillance hydrologique continue pour minimiser les impacts potentiels sur l'écosystème. Les activités minières et les études associées tiennent compte des spécificités géographiques et climatiques pour assurer une gestion durable et responsable des ressources en eau.



Projet minier Troilus – État de référence
Suivi hydrologique – 2023

Localisation de la zone d'étude

Sources
BDGA 1:1 000 000, MERN Québec, 2020
Réseau routier, Adresse Québec, 2021-12

Fichier : 22-0243_C1_LocalisationZE_20240909.mxd

0 10 20 km

Projection : NAD83 CSRS MTM 8

Carte 1

WACHIN RESSOURCES **TROILUS** **Septembre 2024**

Limite
 Zone d'étude

Réseau routier

	Route nationale		Route locale
	Route collectrice		Route d'accès

Projet minier Troilus

Projet minier Troilus – État de référence
Suivi hydrologique 2023

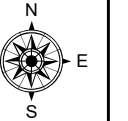
Localisation des stations hydrométriques

Sources
BDTQ 1:20 000, MRNF Québec, 2012
BDGA 1:1 000 000, MERN Québec, 2020
Réseau routier, Adresses Québec, 2019-07 (modifié)
Inventaire, Wachihi, 2019, 2022 et 2023
Orthophoto, Service WMTS de l'inventaire écoforestier, MFFP Québec, 2022

Fichier : 22-0243_C2_LocaStnHydro_20240909.mxd

0 500 1 000 m

Projection : MTM fuseau 8, NAD83



Carte 2



Septembre 2024



Limite

Zone d'étude

Station hydrométrique

- Baromètre
- Sonde à niveau d'eau
- Station de jaugeage
- Jauge à maxima

Hydrographie

- Sens de l'écoulement
- Cours d'eau intermittent
- Cours d'eau permanent
- Plan d'eau
- Bassin versant

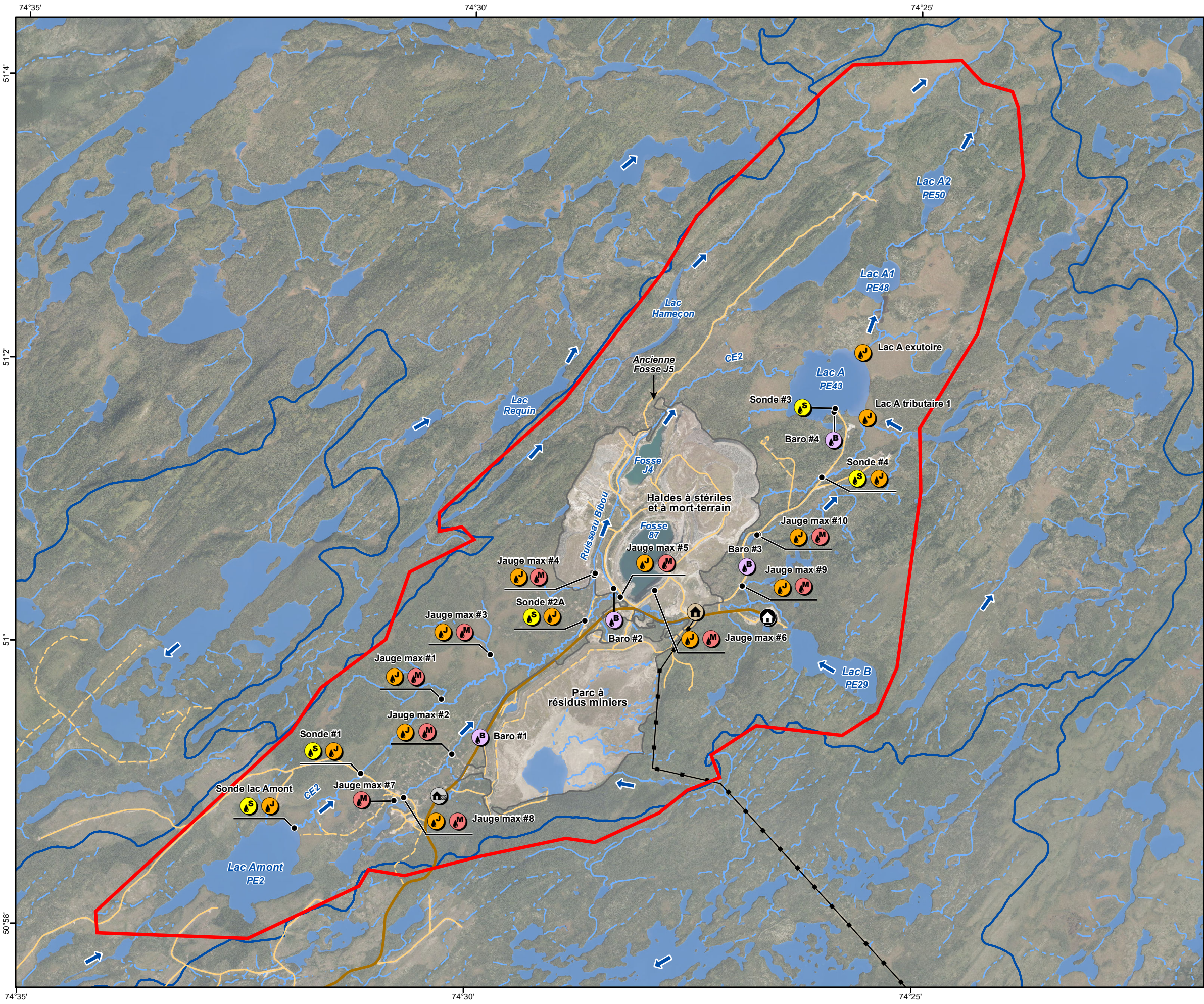
Infrastructure

- Bâtiment d'exploration
- Camp des travailleurs
- Guérite
- Ligne de transport d'électricité

Réseau routier

- Route d'accès
- Chemin carrossable
- Sentier

PRÉLIMINAIRE



3 Méthodologie

3.1 Suivi hydrologique dans les cours d'eau et les fossés de drainage

L'année 2024 correspond à la deuxième année de suivi pour ce site. Les débits et les niveaux d'eau ont été mesurés sur les principaux cours d'eau potentiellement affectés par le projet (carte 2). Le suivi dans les cours d'eau comprend quatre (4) stations hydrométriques (sonde 1, 2a, 4 et lac Amont) équipées d'enregistreurs de niveau d'eau (*Levellogger 5, M10 de Solinst*) en continu dont la précision est de 0,01 m et neuf (9) jauges à maxima, installées dans le littoral afin de renseigner sur les niveaux d'eau annuels maximaux généralement obtenus lors de la crue printanière répartie sur le site à l'étude. Hormis la sonde du lac Amont qui a été installée lors de la campagne printanière en 2023, toutes les autres stations, incluant les jauges à maxima, ont été installées à l'automne 2022. Quatre (4) baromètres de type Barologger 5 modèles M1.5 de Solinst ont été ajoutés à différentes élévations dans le but d'appliquer une correction aux valeurs de pression hydrostatique des cinq (5) sondes à niveau d'eau installées sur le site en intégrant la pression atmosphérique. Ceci permet de faire abstraction aux variations barométriques locales et ainsi atteindre un haut niveau de précision des mesures. Finalement, afin de minimiser la perte de temps et les risques d'erreur lors de la récupération des données, un système Bluetooth a été utilisé pour télécharger les données des sondes à niveaux lorsque possible. Ce système permet de laisser les sondes à l'eau lors de la récupération des données.

Lors de l'installation des enregistreurs et à chacun des suivis subséquents, l'élévation de l'eau du jour a été relevée et positionnée dans un système de coordonnées terrestre à l'aide d'un GPS GNSS (Trimble modèle R10) qui offre une précision centimétrique. Ce GPS permet de valider les hauteurs d'eau enregistrées par les sondes en fournissant des mesures précises et indépendantes, ce qui permet de détecter tout déplacement ou dysfonctionnement éventuel de celles-ci.

Au cours du suivi réalisé en 2024, les données récoltées par les enregistreurs ont été téléchargées à chacune des campagnes (crue printanière et étiage estival). Les enregistreurs sont toujours en fonction et les enregistreurs défectueux sont remplacés au besoin lors des campagnes subséquentes.

L'objectif recherché pour chacune des quatre (4) stations hydrométriques localisées dans un cours d'eau est d'établir la relation niveau/débit afin de pouvoir directement transposer un niveau d'eau à un débit. Pour ce faire, une coupe transversale du cours d'eau à proximité de la sonde a été définie sur laquelle des lectures de vitesse du courant ont été prises afin d'en extraire un débit associé à un niveau d'eau précis. Les mesures ont été prises minimalement à trois moments lors des campagnes de 2024, soit :

- Pendant la décrue printanière (30 avril au 1^{er} mai 2024);
- En étiage estival (16 au 17 juillet 2024).

Les mesures de la vitesse du courant ont été réalisées à l'aide d'un courantomètre à induction électromagnétique de type Swoffer 2100. Pour chaque section transversale d'un cours d'eau, entre 5 et 10 stations de mesures ont été uniformément réparties le long de la section. À chacune des stations, la vitesse du courant a été mesurée à 60 % de la profondeur du cours d'eau lorsque celui-ci était d'une profondeur inférieure à 1 mètre et à 20 % puis 80 % de la profondeur du cours d'eau lorsque la profondeur était supérieure à 1 mètre.

Les vitesses moyennes du courant (c'est-à-dire, la vitesse mesurée et enregistrée par l'appareil durant une période de 30 secondes) ont été mises en relation avec les superficies d'écoulement (surface comprise par la station de mesure) pour calculer le débit. Le débit du cours d'eau correspond au cumul des débits de toutes les sections d'écoulement de la coupe transversale du cours d'eau (figure 1).

Les campagnes de jaugeage dans les cours d'eau ont permis de récolter des données à une période précise et de les mettre en relation avec les données des sondes recueillies au même moment. Par conséquent, plus il y aura de campagnes de prise de données de vitesse de courant pour différentes variations des niveaux d'eau (crue, moyen et étiage), plus la relation niveau/débit sera raffinée. Cette relation permettra ultimement la prévision des débits en fonction des niveaux d'eau recueillis en continu, ce qui rendra optionnelle, à moyen terme, la prise de lectures de vitesse du courant. En effet, les sondes enregistrent en continu les variations de niveaux d'eau (une donnée/demi-heure), contrairement aux campagnes de jaugeage où la donnée recueillie est un instantané (photo) à un moment précis dans le temps du niveau d'eau. Cependant, la mise en relation dépend :

- Qu'il n'y ait pas de changement significatif au niveau de la coupe transversale du cours d'eau;
- Que l'enregistreur de niveau demeure au même endroit;
- Que la valeur du coefficient de corrélation soit acceptable.

Subséquemment, ces débits pourront être jumelés avec les données de précipitation afin d'établir des bilans hydriques par bassin versant sur l'ensemble du site à l'étude. Cette étape ne fait toutefois pas partie du présent mandat.

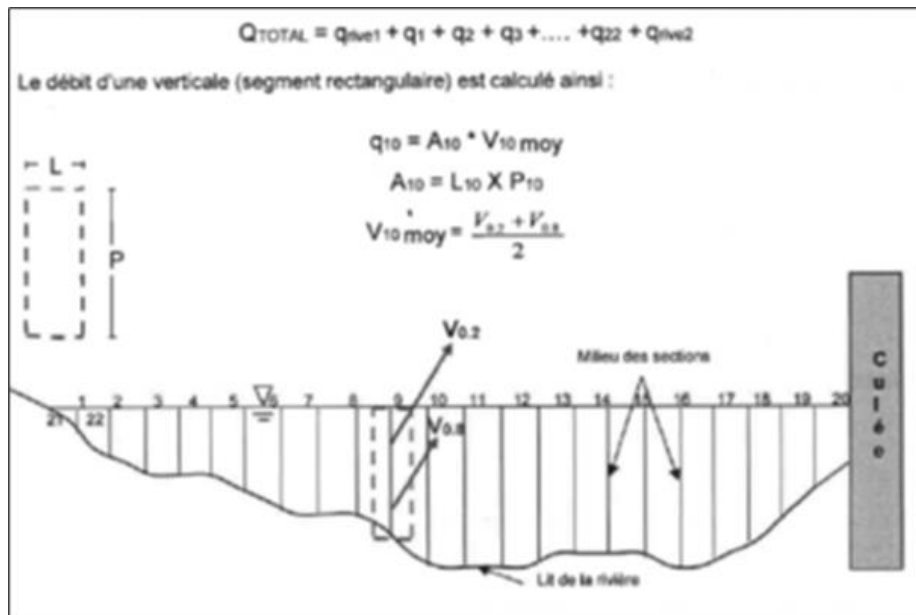


Figure 1. Exemple de calcul de débit

Des lectures de jaugeage ont également été collectées aux jauges à maxima même si celles-ci ne sont pas munies d'une sonde enregistrant en continu la variation des niveaux d'eau. Ce type d'installation permet la prise de la hauteur maximale du niveau d'eau atteint par le cours d'eau lors de la crue printanière. La prise des données en ces endroits, bien qu'elle demeure un instantané (photo) à un moment précis dans le temps du niveau d'eau et des débits, permettra ultimement de corroborer voire affiner la relation niveau/débit issue de l'équation empirique de Manning-Strickler, équation permettant d'estimer les vitesses moyennes d'écoulement de l'eau en surface libre¹. De plus, elle permettra de vérifier la validité de transposer les débits des cours d'eau monitorés à ceux équipés de jauges à maxima pour ainsi déterminer les bilans hydriques des cours d'eau équipés d'une jauge seulement.

¹ <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26521613/equation-de-manning>

3.2 Suivi hydrologique dans les lacs

Le suivi de la variation des niveaux d'eau des lacs a été effectué sur deux plans d'eau potentiellement affectés par le projet (carte 2) en 2024, soit le lac A et le lac C2. Le suivi du lac A est assuré par une sonde à niveau d'eau (*Levelogger*) de type Solinst M10 qui enregistre en continu la variation des niveaux d'eau du lac depuis octobre 2022. L'enregistreur a été installé à l'intérieur du littoral à une profondeur suffisante pour éviter d'être exondé. L'instrument a été programmé de manière à mesurer les variations de niveau d'eau chaque demi-heure pendant toute l'année. Le lac C2 est quant à lui suivi à l'aide d'une jauge à maxima (jauge max 7) qui permet de visualiser le niveau d'eau annuel maximal obtenu lors de la plus forte crue. La sonde a été implantée dans le littoral du lac C2, soit à moins de trois (3) mètres du niveau d'eau estival moyen.

3.3 Compensation barométrique et suivi des stations hydrométriques

En raison de la topographie et de la distance, quatre (4) baromètres de type Barologger 5 modèle M1.5 de Solinst ont été ajoutés afin de relier les données atmosphériques avec les niveaux d'eau des cinq (5) sondes à niveau d'eau installées sur le site. Ceci permet de faire abstraction des variations barométriques locales et ainsi atteindre un haut niveau de précision des mesures. Finalement, afin de minimiser la perte de temps et les risques d'erreur lors de la récupération des données, un système Bluetooth a été utilisé pour télécharger les données des sondes à niveaux lorsque possible. Ce système permet de laisser les sondes à l'eau lors de la récupération des données.

3.4 Arpentage des stations hydrométriques et des sections transversales de cours d'eau

L'arpentage de toutes les stations hydrométriques a été réalisé lors de chacune des campagnes de 2024. À cette occasion, les coordonnées planimétrique et altimétrique des sondes et/ou jauge à maxima ont été mesurées à l'aide d'un GPS GNSS dont la précision optimale est de 0,010 mètre en planimétrie et de 0,015 mètre en altimétrie. L'appareil utilisé était un Trimble R12i fonctionnant en mode bifréquence et compatible avec les constellations de satellites GNSS, notamment, Glonass, Galileo et Beidou.

Pour chacune des stations hydrométriques installées en cours d'eau, deux (2) repères altimétriques permanents disposés de part et d'autre du cours d'eau à la hauteur de la section de jaugeage ont été implantés afin de faciliter les campagnes futures pour notamment :

- Localiser la section à jauger;
- Contrevérifier la précision des données recueillies;
- Faciliter l'utilisation d'instruments de mesure plus conventionnels tels que le ruban à mesurer, niveau d'arpentage ou station totale.

Outre les repères altimétriques, le haut et le bas de talus, la limite de l'eau du jour sur chacune des rives, la profondeur et le positionnement des stations de mesures de vitesse de courant ont été relevés pour chacune des sections de jaugeage. L'élévation des niveaux d'eau de chacune des stations hydrométriques (sondes et jauge à maxima) a également été notée à chaque campagne afin de la mettre en relation avec les données des sondes enregistrées au même moment.

Pour les stations hydrométriques installées en lac, un repère altimétrique permanent a été implanté à la hauteur de chacune des stations (lac A et C2) au printemps 2023 et seules l'eau du jour et la position des repères sont recueillies lors des visites de terrain.

À la demande du client, des sections transversales supplémentaires ont été réalisées lors des campagnes de terrain de l'année 2024. Pour chacune des sections transversales, le haut et le bas de talus, la limite de l'eau du jour sur chacune des rives et près d'une dizaine de points de profondeur étaient relevés afin de représenter fidèlement la section d'écoulement.

Le positionnement planimétrique et altimétrique des données a été fourni dans les systèmes de référence établis par le client, habituellement dans le datum NAD83 SCRS et dans la projection MTM Fuseau 8 en planimétrique et dans le Système canadien de référence altimétrique de 1928 (géoïde hybride HT2.0) en altimétrique.

4 Résultats et discussion

Les données de suivi hydrologique des différents lacs et cours d'eau récoltés en 2024 sont présentées aux tableaux 1 et 2 et dans les figures 2 à 7. La relation niveau-débit est présentée à la figure 6.

4.1 Suivi hydrologique des niveaux d'eau et débits dans les cours d'eau – stations hydrométriques

L'hydrogramme de la sonde 1 (figure 2) pour la saison 2024 présente une réponse rapide et marquée de la rivière en fonction des événements pluvieux et climatiques tels que la crue printanière qui se déroule entre la fin mai et début juin. Cette montée graduelle des niveaux d'eau au printemps correspond à la fonte des neiges combinée aux pluies printanières, créant un apport considérable en eau. À partir de la mi-juin, le niveau d'eau diminue de manière constante, signalant le début de l'étiage estival. Durant cette période, malgré la présence de précipitations ponctuelles, la rivière réagit de moins en moins, suggérant que l'infiltration, l'évapotranspiration et la capacité d'absorption du bassin versant deviennent des facteurs dominants. Ce comportement hydrologique saisonnier révèle la résilience de la rivière et fournit des indications sur la relation eau de surface/souterraine (perchée) du bassin versant.

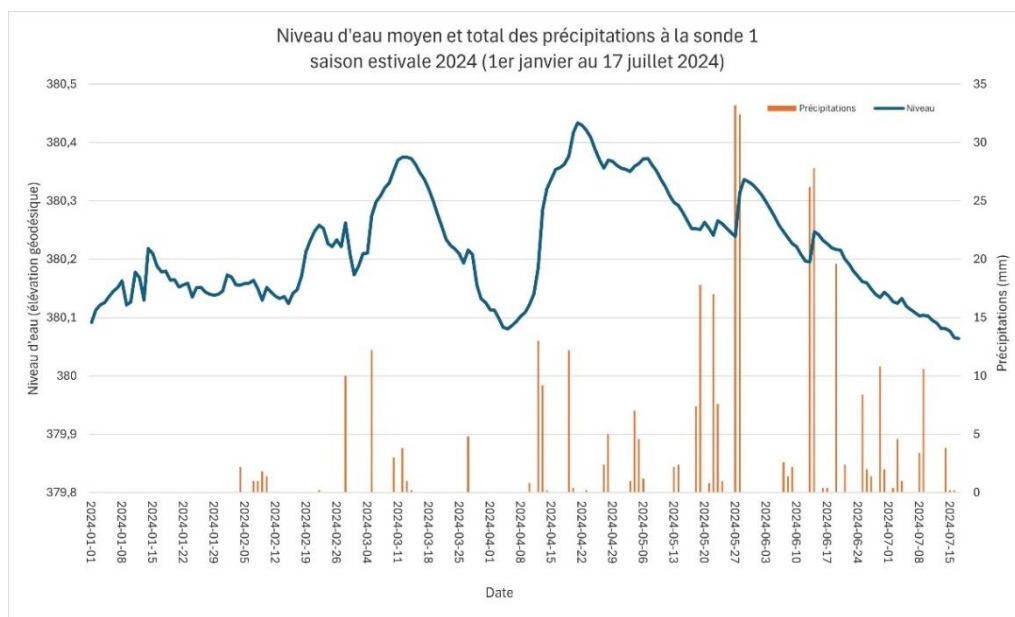


Figure 2. Niveau d'eau et précipitations à la sonde 1 entre le 1^{er} janvier et le 17 juillet 2024

Les deux événements de précipitations présentés aux figures 3 et 4 mettent en évidence des différences marquantes dans la réponse hydrologique du bassin versant, tout en soulignant la grande capacité d'infiltration du milieu.

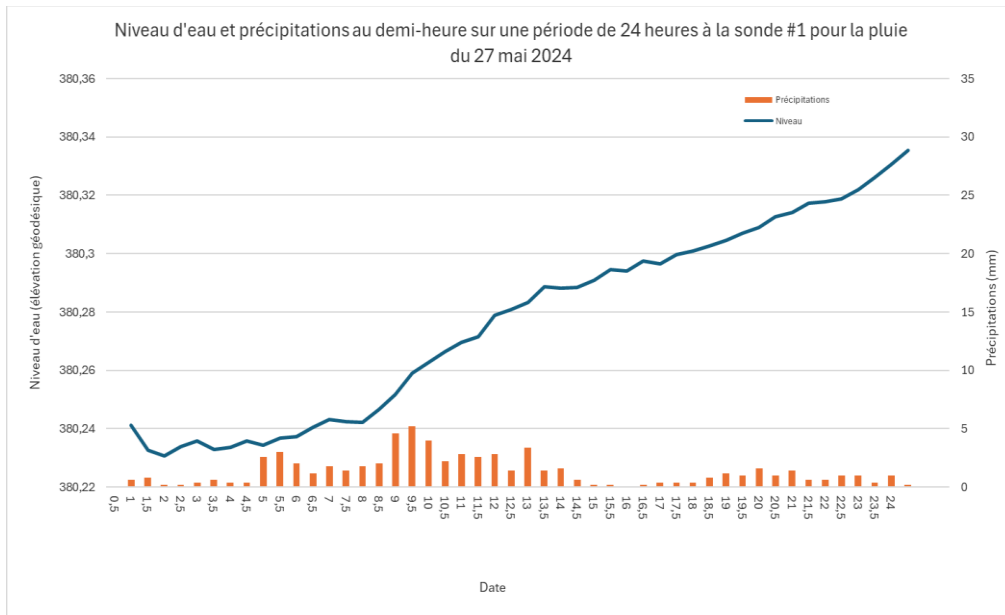


Figure 3. Niveau d'eau et précipitations sur une période de 24 heures pour la pluie du 27 mai 2024

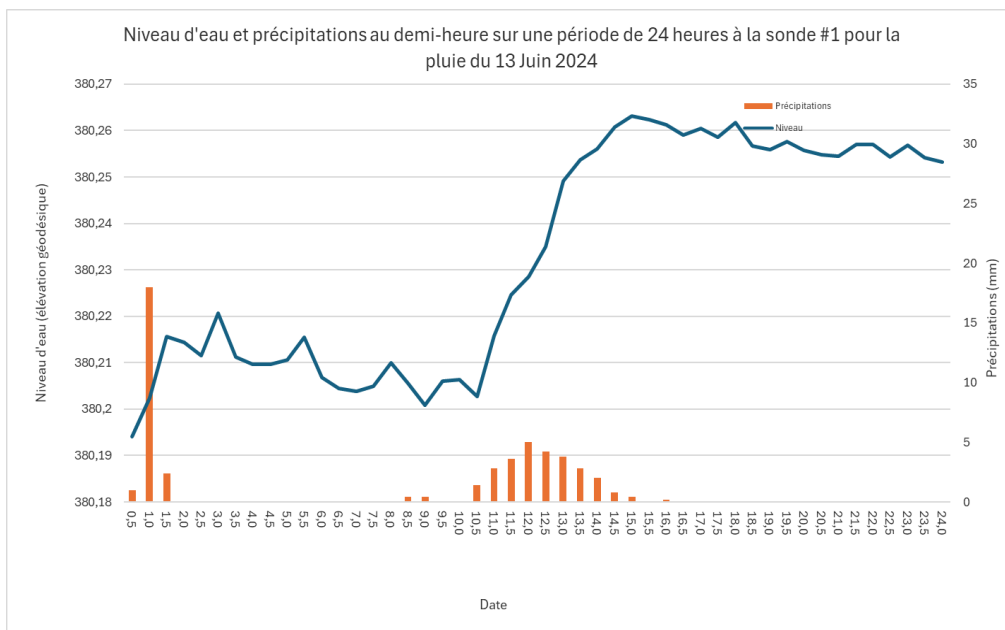


Figure 4. Niveau d'eau et précipitations sur une période de 24 heures pour la pluie du 13 juin 2024

L'épisode de pluie intense du 13 juin, durant lequel environ 18 mm sont tombés en une heure, illustre une réponse retardée du niveau d'eau de la rivière. Celui-ci est resté stable dans les heures suivant les précipitations, suggérant une infiltration rapide et efficace des pluies initiales par les sols combinés à la rétention dans les dépressions locales présentes en milieu naturel. Ce n'est que sept heures plus tard qu'une montée stable du niveau d'eau a été observée, probablement en raison d'une résurgence progressive liée à la saturation des sols ou d'un état préalable de saturation lors des précipitations subséquentes. Dans ce dernier cas, l'eau aurait ruisselé directement vers la rivière sans être retenue par les sols ou en surface. Il est probable qu'un mélange des deux mécanismes soit en jeu : une partie de l'eau infiltrée ressurgit après quelques heures, tandis que les pluies successives conduisent à la saturation des sols, favorisant un ruissellement direct accru.

L'événement de pluie du 27 mai renforce cette hypothèse d'une infiltration significative suivie d'une résurgence progressive. Malgré des précipitations réparties sur 24 heures, le niveau d'eau n'a augmenté que progressivement, après qu'une quantité notable de pluie ait été absorbée par les sols. Cette réponse hydrologique suggère que le milieu dispose d'une capacité d'infiltration initiale élevée, capable d'absorber une part importante des précipitations avant qu'elles contribuent au débit des cours d'eau.

Ainsi, ce comportement hydrologique observé lors de l'événement de mai illustre bien le rôle tampon du sol et des micro-dépressions de surface dans ce bassin, où l'infiltration et la micro-rétention limite la réponse immédiate du niveau d'eau, avec un effet de résurgence qui intervient par la suite.

L'hydrogramme de la sonde 4 est présenté à la figure 5. Cette station est située dans une ramification de la plaine de débordement du cours d'eau principal dont le lit s'écoule dans un ponceau situé en amont.

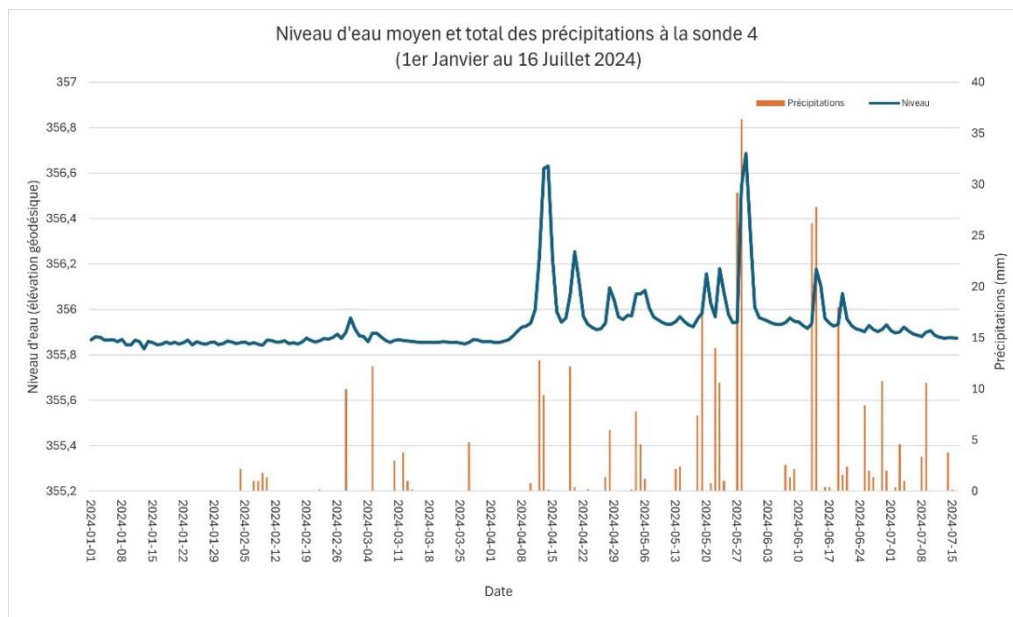


Figure 5. Niveau d'eau et précipitations à la sonde 4 entre le 1^{er} janvier et le 16 juillet 2024

La sonde 4 présente une réactivité plus marquée aux précipitations par rapport aux autres sites, validant l'hypothèse de l'année précédente. Cette hypothèse suggérait une stagnation des niveaux d'eau à un certain seuil, due au fait que le ponceau obstrué à plus de 90 % limite l'écoulement. Cette restriction crée un effet de retenue, transformant la plaine de débordement située en amont en un milieu constamment inondé.

Lors de précipitations significatives, comme celles du 27 mai 2024, le niveau d'eau à la sonde 4 a augmenté d'environ 75 cm, comparativement à une hausse de seulement 10 cm à la sonde 1. Cette différence confirme que le ponceau obstrué accentue également la montée des niveaux d'eau en période de fortes précipitations.



Photo 1. Ponceau bouché en quasi-totalité



Photo 2. Sonde 4 et chemin d'accès

Le tableau 1 démontre que la sonde 4 présente les plus faibles débits enregistrés à chacune des campagnes de terrain ainsi que la plus faible variation d'intercampagne. Lorsque l'écoulement normal du cours d'eau est freiné par la restriction du ponceau, le débit du cours d'eau vient se dissiper dans la plaine de débordement et ces ramifications. Cette condition se traduit par de plus faibles débits et la formation d'un milieu qui ressemble davantage à un milieu humide qu'à un cours d'eau. Une analyse plus approfondie serait nécessaire avant toute intervention au niveau du ponceau, afin d'évaluer l'effet des travaux sur l'écosystème aquatique établie en amont du ponceau ainsi qu'au niveau de l'écosystème en aval à la suite d'une augmentation des forces érosives sur ses berges.

Les stations hydrométriques en lac n'ont pas pu être jaugées lors de la campagne printanière en raison des conditions de gel. En revanche, les observations estivales montrent que, durant l'étiage, les débits et hauteurs d'eau de 2023 et 2024 sont souvent très similaires. Cela suggère qu'en dehors des épisodes de pluies, il est raisonnable de s'attendre à des données interannuelles relativement constantes. Toutefois, les données printanières présentent des variations importantes entre les deux années. Cette différence s'explique simplement par le fait que les jaugeages n'ont pas été réalisés au même stade de la crue printanière d'une année à l'autre, influençant ainsi les débits mesurés et les hauteurs associées.

Tableau 1. Données de jaugeage des cours d'eau et lacs en 2024

Cours d'eau	Campagne	2023				2024			
		Débit (m ³ /s)	EDJ GPS (m)	EDJ Sonde (m)	Date	Débit (m ³ /s)	EDJ GPS (m)	EDJ Sonde (m)	Date
Sonde lac Amont	Printemps	0,27	380,52	380,49	2023-05-30	-	-	-	-
	Été	0,09	380,40	380,40	2023-08-05	0,06	380,35	380,40	2024-07-17
	Automne	0,17	380,52	380,52	2023-10-17	-	-	-	-
Sonde 1	Printemps	0,09	380,17	380,17	2023-05-30	0,75	380,38	380,34	2024-04-30
	Été	0,04	380,10	380,10	2023-08-03	0,05	380,06	380,06	2024-07-17
	Automne	0,03	380,15	380,15	2023-10-18	-	-	-	-
Sonde 2a	Printemps	0,40	368,12	368,12	2023-05-30	1,40	368,39	368,39	2024-04-30
	Été	0,10	368,02	368,01	2023-08-03	0,22	367,98	367,96	2024-07-17
	Automne	0,08	368,08	368,06	2023-10-16	-	-	-	-
Sonde 3 - lac A Exutoire 1	Printemps	-	352,56	352,58	2023-05-29	-	-	-	-
	Été	0,14	352,45	352,50	2023-08-04	0,17	352,51	-	2024-07-16
	Automne	0,00	352,47	352,52	2023-10-18	-	-	-	-
Sonde 3 - lac A Exutoire 2	Printemps	1,09	352,54	352,58	2023-05-29	-	-	-	-
	Été	0,34	352,48	352,50	2023-08-04	0,53	352,51	-	2024-07-16
	Automne	0,39	352,47	352,52	2023-10-18	-	-	-	-
Sonde 4	Printemps	0,01	355,91	355,91	2023-05-30	0,02	356,03	355,98	2024-04-30
	Été	0,003	355,86	355,91	2023-08-03	0,02	355,98	355,88	2024-07-16
	Automne	0,002	355,88	355,91	2023-10-16	-	-	-	-

4.2 Suivi hydrologique des niveaux d'eau et débit du lac A (sonde 3)

Le lac A est le seul plan d'eau muni d'une sonde à niveau d'eau (sonde 3) (figure 6). L'analyse des données présentées à la figure 5 fait ressortir quelques tendances. Il est possible d'observer que la crue printanière a eu lieu de la mi-avril à la mi-mai, atteignant son amplitude maximale en mi-avril (17-18 avril).

On observe également une diminution progressive du niveau d'eau au fil de la saison estivale, caractéristique de la période d'étiage. La différence entre le niveau maximal observé et le niveau d'eau moyen qui suit la décroissance est importante, ce qui pourrait indiquer une réaction rapide du lac aux apports de ses tributaires et aux épisodes de pluie intenses. Cependant, en l'absence de données pour l'ensemble de la saison estivale, il reste difficile d'estimer avec précision la tendance de l'étiage et la variation totale que le lac pourrait atteindre dans des conditions d'étiage avancées. La configuration topographique du lac et la présence d'une plaine inondable pourraient

aussi favoriser une évacuation rapide des surplus d'eau, expliquant cette variabilité et la rapidité des fluctuations observées après chaque épisode pluvieux.

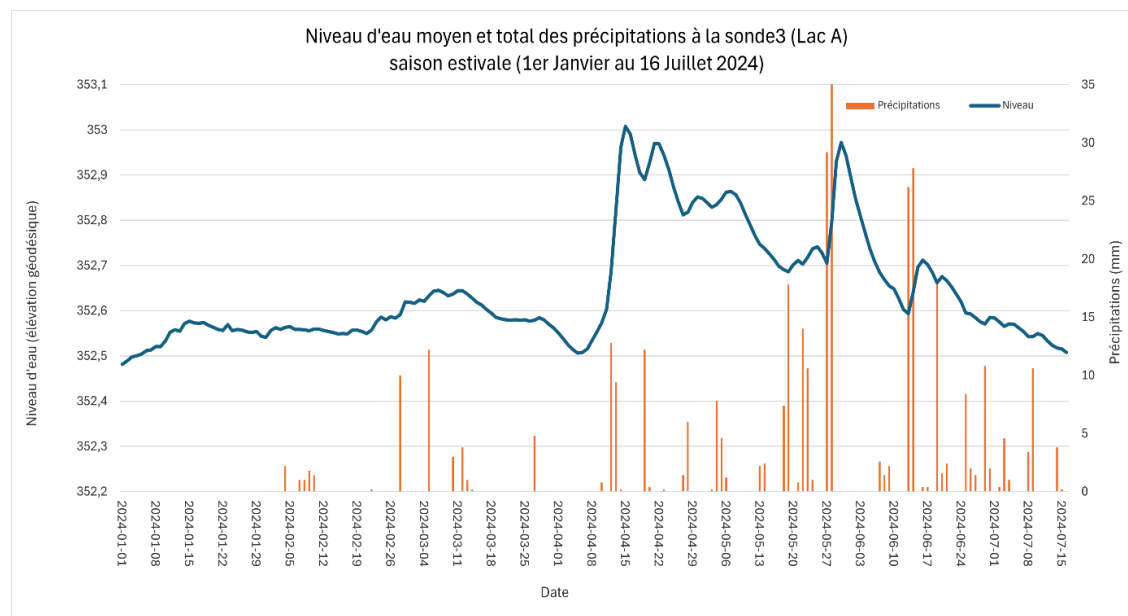


Figure 6. Niveau d'eau et précipitations à la sonde 3 (lac A) entre le 1^{er} janvier et le 16 juillet 2024

La figure 6 démontre d'ailleurs que les précipitations jouent un rôle important sur la fluctuation des niveaux d'eau du lac A et que le retour à la normale se fait progressivement par la suite.

La station hydrométrique du lac A est équipée de deux points de jaugeage distincts : l'un à l'exutoire situé au nord-est et l'autre au niveau du tributaire 1, situé au sud-est du lac. En raison du gel du lac A durant la campagne printanière de 2024, une seule campagne de jaugeage a pu être effectuée au cours de l'année. Le tableau 1 montre que l'exutoire du lac A a enregistré un débit relativement élevé de 0,532 m³/s lors de la campagne estivale. D'après la courbe de tendance illustrée à la figure 8, on pourrait anticiper un débit supérieur à 2 m³/s pour une hauteur d'eau de 1,7 m lors de la crue printanière. Cependant, une estimation précise de ce débit n'est pas possible actuellement, car la hauteur d'eau relevée dépasse les limites de la courbe de tendance établie à partir des données de jaugeage disponibles.

Il est difficile de réaliser une analyse complète des débits du tributaire 1, situé au sud-est du lac A, car le suivi à ce jour ne comprend que deux jaugeages ponctuels, et aucun dispositif de mesure en continu (sonde) n'a été installé. Il demeure toutefois pertinent d'y continuer le suivi afin d'étudier l'apport en eau de ce tributaire et son influence sur la variation des niveaux d'eau du lac A et possiblement procéder à la calibration d'un modèle liant la hauteur d'eau sur le lac au débit de cet affluent. La méthode de transposition des débits utilisant les données d'un cours d'eau muni d'une sonde pourrait également permettre de modéliser ce tributaire. L'utilisation des mesures

ponctuelles combinées au suivi du lac A permettrait de bien calibrer le modèle le cas échéant. Cette analyse ne fait toutefois pas partie du présent mandat.

4.3 Suivi hydrologique des jauges à maxima

Lors des campagnes de 2023 et 2024, l'ensemble des jauges ont été arpentées afin de représenter le plus fidèlement la section d'écoulement au droit de la jauge, ce qui inclut notamment le haut et le bas de talus, l'eau du jour, quelques points bathymétriques (10), limite du littoral, etc.

Tableau 2. Données annuelles et saisonnières des jauges à maxima

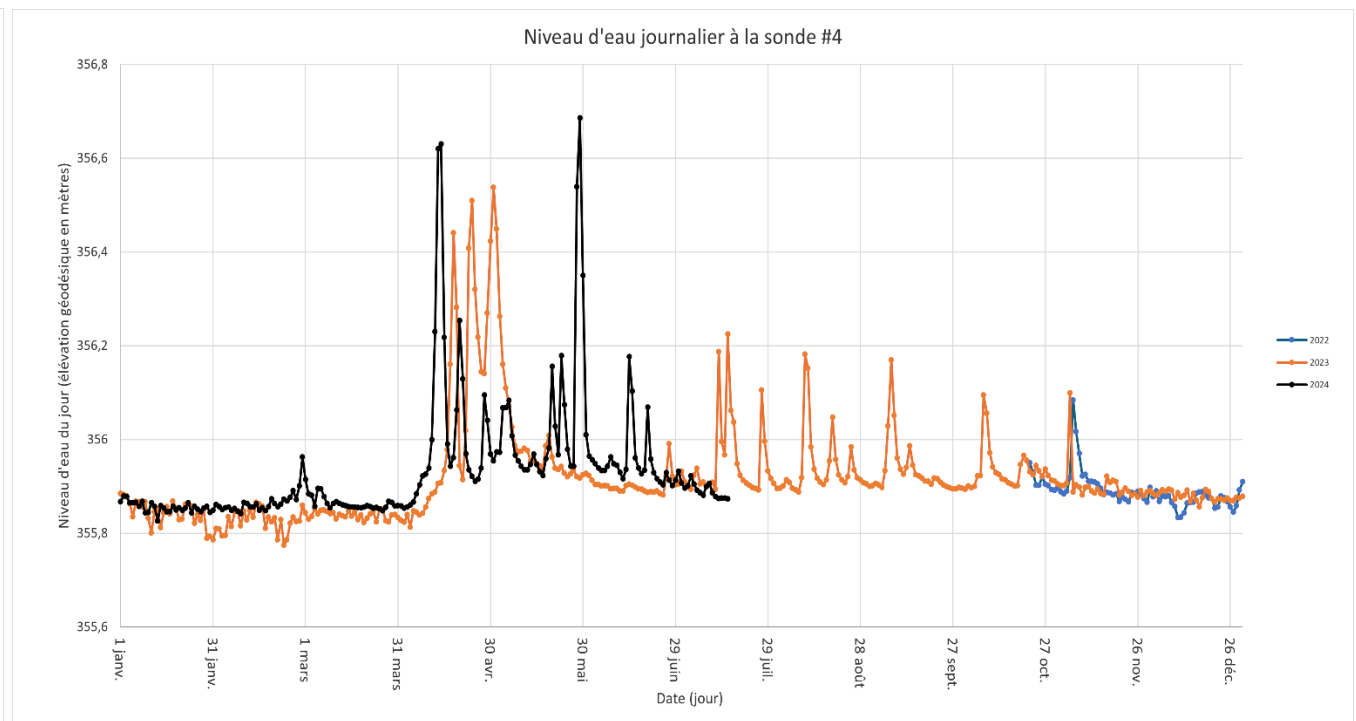
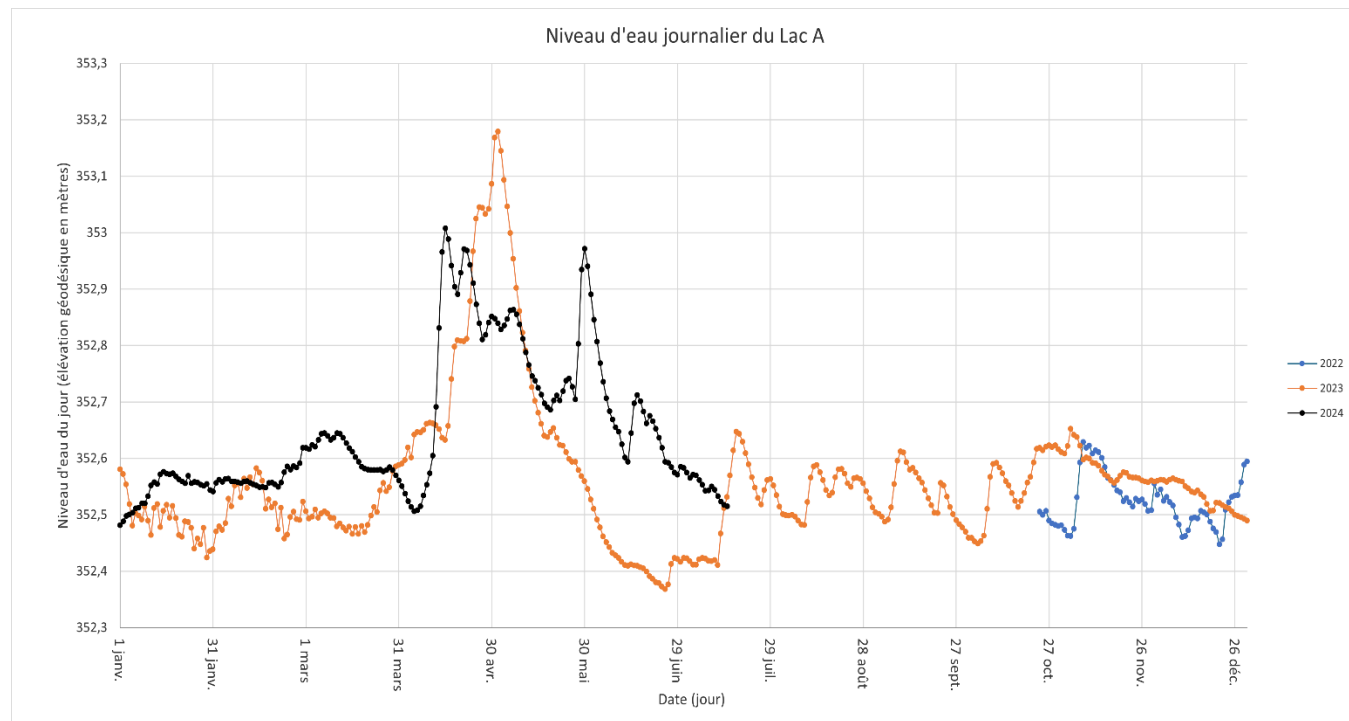
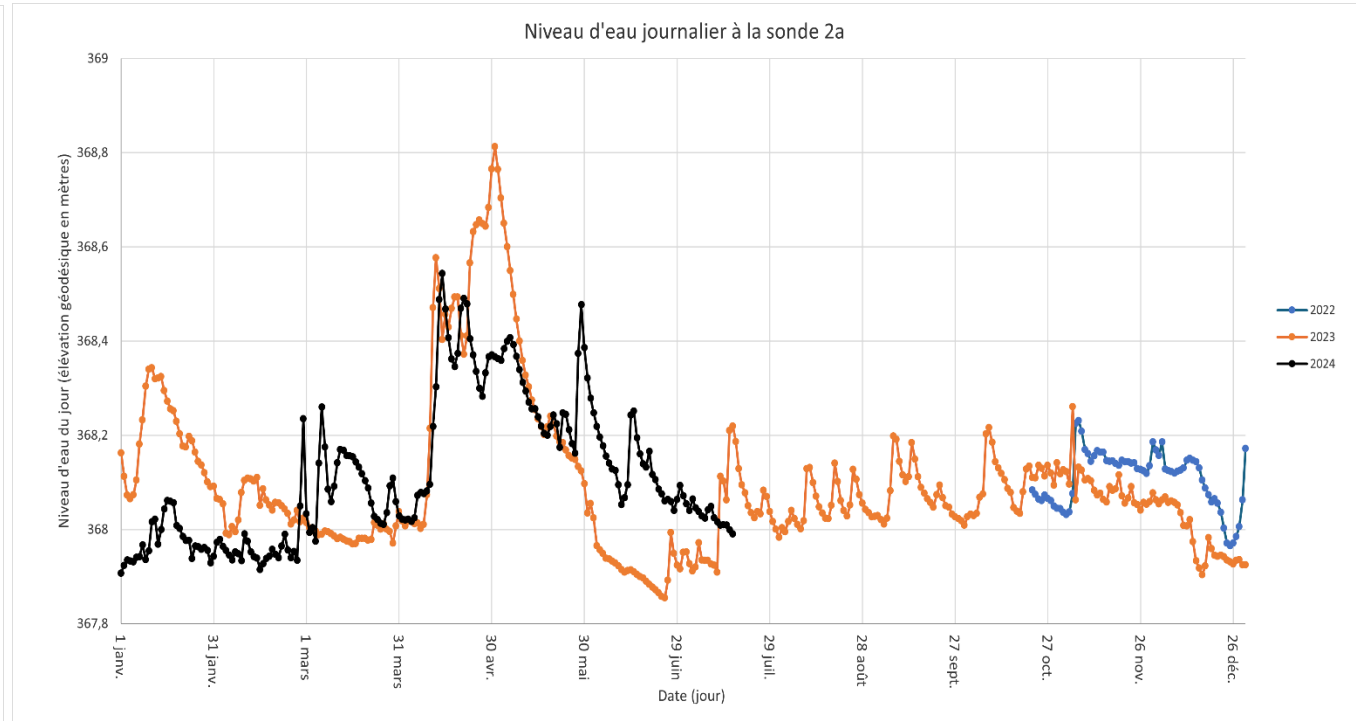
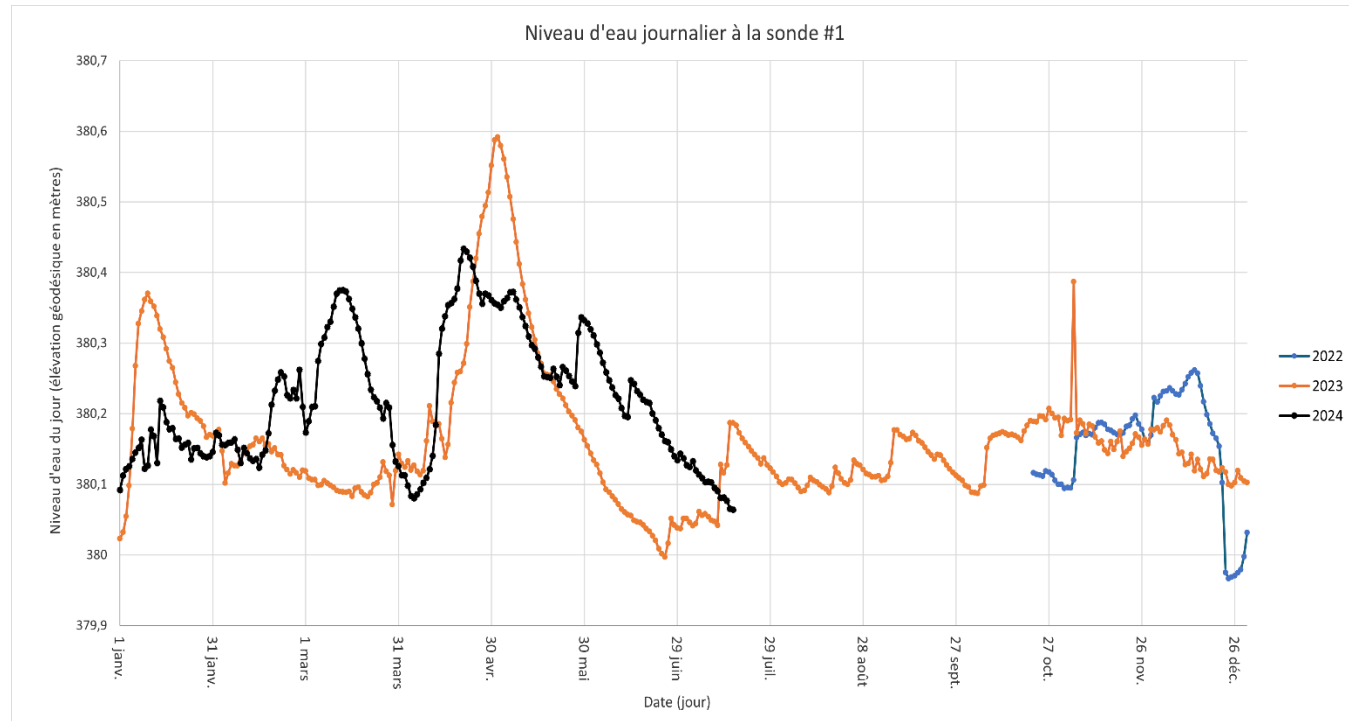
Nom	Données saisonnières (campagne terrain) 2023		Données saisonnières (campagne terrain) 2024	
	Élévation maximale (m)	Date de l'observation	Élévation maximale (m)	Date de l'observation
Jauge max 1	371,19	2023-10-17	371,45	2024-05-01
Jauge max 2	374,58	2023-04-30	374,94	2024-07-17
Jauge max 3	-	-	371,56	2024-05-01
Jauge max 4	367,58	2023-05-28	366,99	-
Jauge max 5	367,22	2023-05-28	366,10	2024-04-30
Jauge max 6	-	-	-	-
Jauge max 7	-	-	-	-
Jauge max 8	377,57	2023-05-30	377,44	2024-04-30
Jauge max 9	385,82	2023-05-28	385,97	2024-04-30
Jauge max 10	370,87	2023-05-30	370,86	2024-04-30

La plupart des hauteurs d'eau maximales observées en 2023 sont supérieures à celles de 2024, à l'exception des jauges max 1, 2 et 9. En analysant les données de niveaux d'eau recueillies par les sondes (figure 5), il est tout à fait logique que les maximums absolus aient été atteints lors de la crue printanière de 2023. Cependant, pour les trois jauges qui ne suivent pas cette tendance, des hypothèses peuvent être émises:

- Un problème d'appareil a compromis la prise de données lors de la crue printanière de 2023 pour la jauge maximale 1. Il est raisonnable de supposer que le maximum aurait été atteint durant cette période si l'observation avait été réalisée correctement;

- La jauge maximale 2 a enregistré sa hauteur la plus élevée en 2024 durant la campagne estivale. Cet événement est probablement lié aux fortes précipitations du 27 mai ou du 13 juin. Cela suggère que le cours d'eau réagit rapidement aux événements de pluie intense, alors qu'un apport plus progressif, comme celui de la fonte printanière, n'engendre pas le même effet;
- Les valeurs maximales de la jauge 9 enregistrées en 2023 (385,22 m) et en 2024 (385,97 m) présentent une différence négligeable. Cette faible variation indique une relative stabilité des niveaux atteints pour cette jauge entre les deux années.

Il est important de prendre note que les valeurs de hauteur d'eau maximales n'ont pu être observées pour les jauges max 6 et 7 : La jauge max 6 est située dans un fossé en bordure du chemin qui était complètement exondé à toutes les campagnes, et la jauge max 7 est située trop haut dans le littoral du lac C2. Il est donc recommandé de déplacer ces jauges afin qu'elles puissent fournir des données viables pour les prochaines campagnes de suivi.



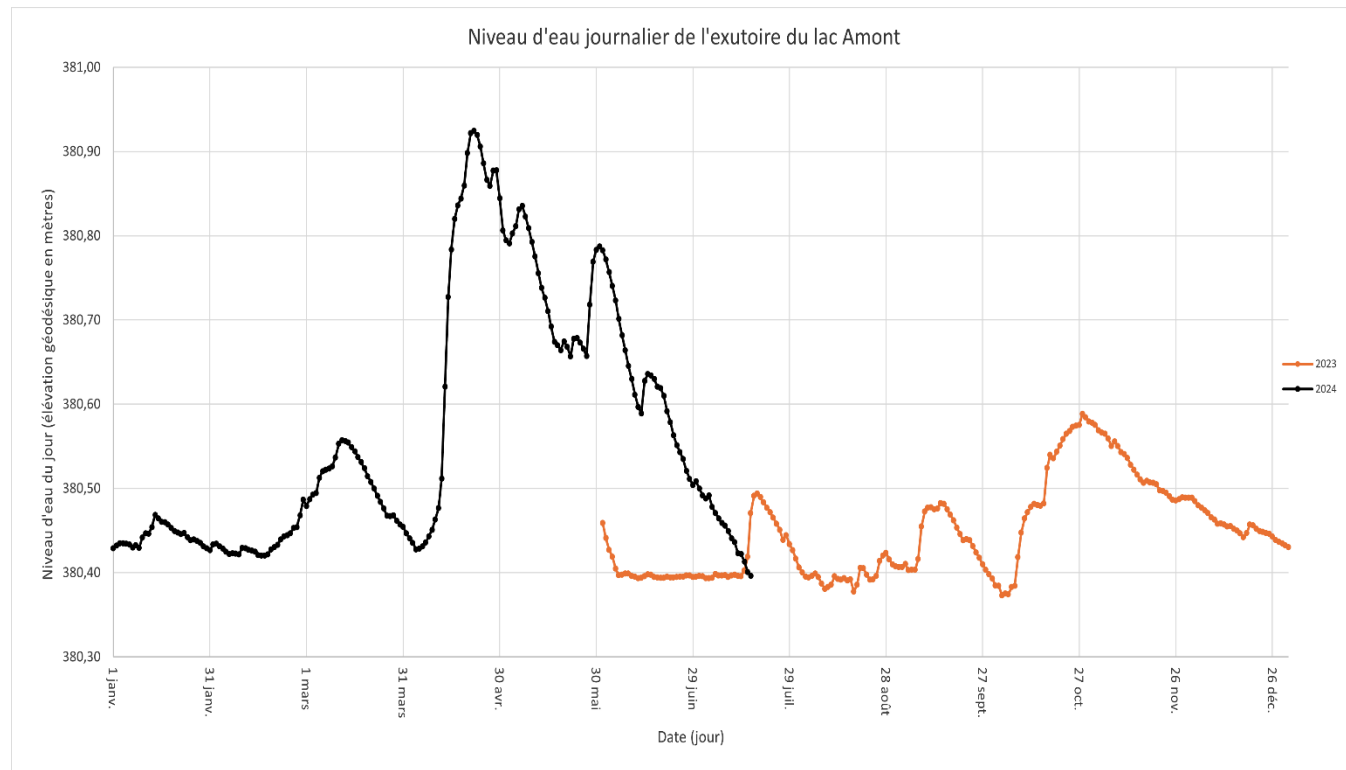


Figure 7. Variations journalières du niveau d'eau dans les cours d'eau à l'étude entre 2022 et 2024

Au regard des niveaux d'eau moyens journaliers, les cinq (5) stations indiquent que le pic de la crue s'est produit entre le 10 et le 15 avril 2024, soit une quinzaine (15) de jours avant les travaux terrain.

4.4 Relation niveau débit

La relation entre le niveau et le débit a été étudiée pour tous les cours d'eau lors de cinq campagnes de collectes de données. Le débit et la hauteur d'eau ont été mesurés à différentes périodes dans le but de générer une courbe de tarage, permettant de convertir directement les hauteurs d'eau enregistrées par les sondes en débit.

En analysant les graphiques de la figure 8 une bonne corrélation entre le niveau d'eau et le débit est observée pour toutes les stations, à l'exception de celle du lac Amont. Cette station dispose de seulement trois séries de données valides pour établir la courbe, en raison de l'exondation de la sonde lorsque le niveau du lac est bas. Un effort de terrain a été déployé pour repositionner la sonde et remédier à ce problème. Cependant, il semble que l'exutoire du lac soit asséché lors des périodes d'étiage intense, limitant ainsi la disponibilité des données. En outre, les données actuellement disponibles permettent déjà d'estimer le débit de ces cours d'eau à partir des valeurs de niveau tout en ayant un niveau de confiance respectable.

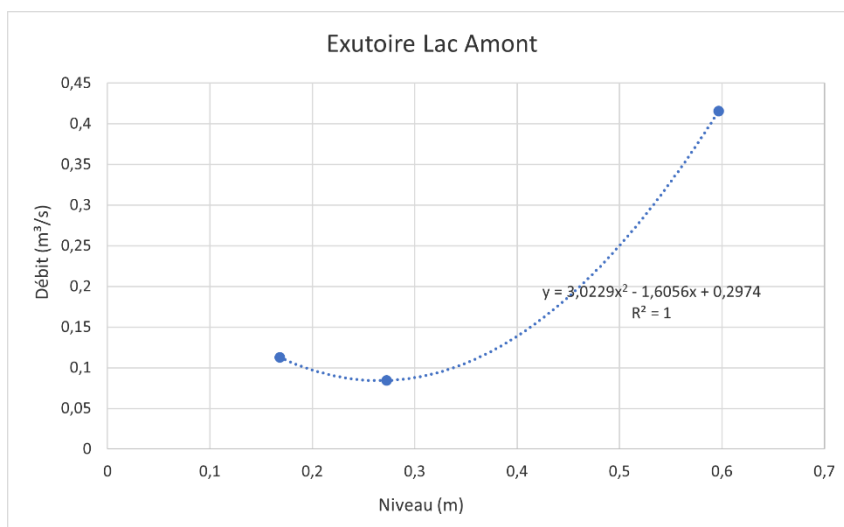
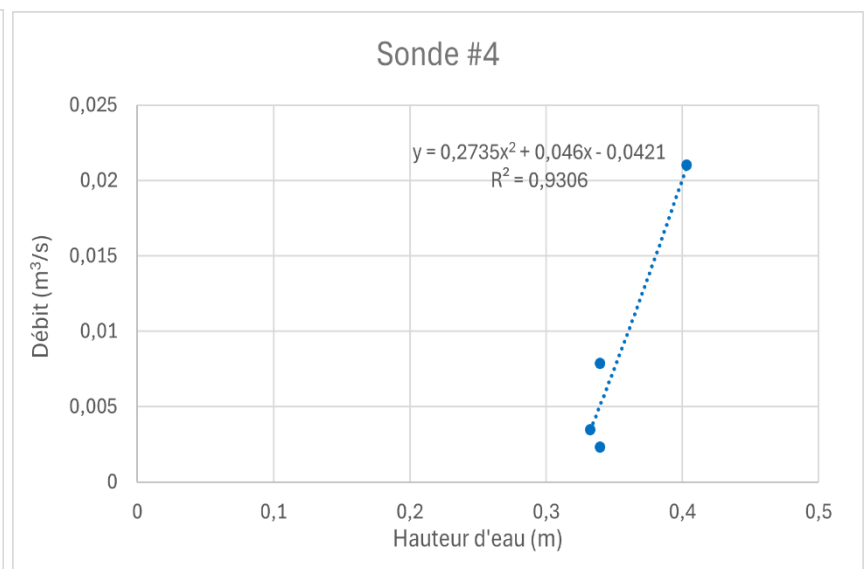
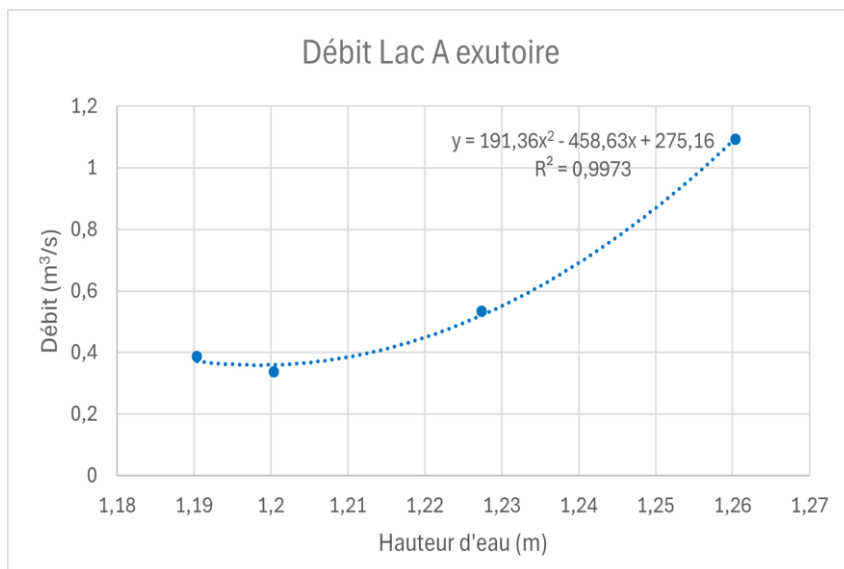
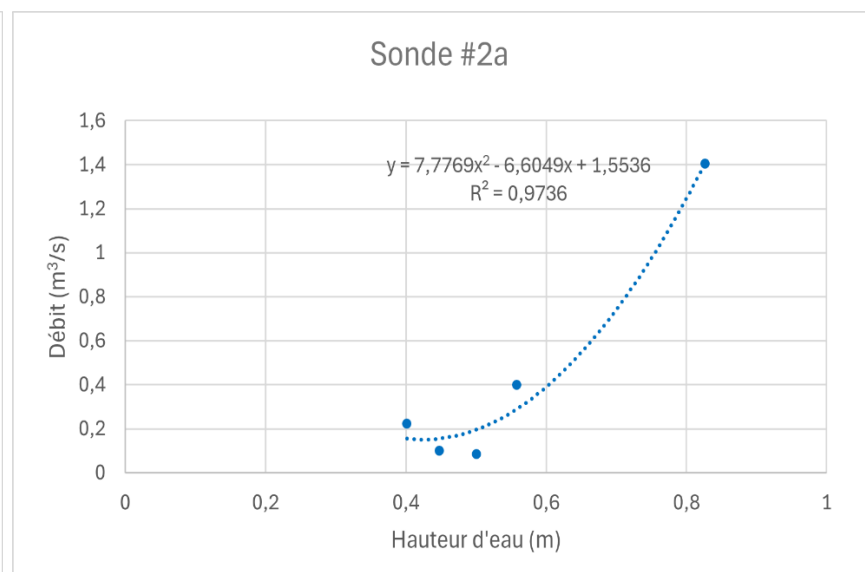
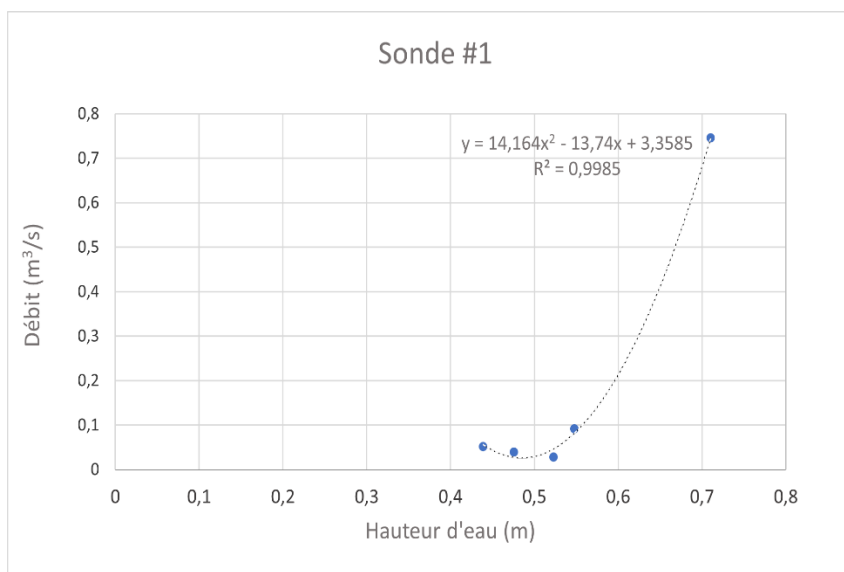


Figure 8. Relation entre le niveau d'eau (m) et le débit (m³/s) pour les cours d'eau à l'étude

4.4.1 Limites de la relation niveau-débit

Malgré les efforts déployés pour effectuer des mesures durant des périodes hydrologiques critiques, telles que la crue printanière et l'étiage, la capture précise de ces moments s'est avérée difficile. En conséquence, l'utilisation des courbes de tarage doit être restreinte aux plages de hauteurs d'eau déterminées dans la section suivante.

Pour établir des limites d'application fiables, des profils transversaux ont été construits à partir des relevés d'arpentage réalisés parallèlement aux jaugeages. Ces profils permettent d'analyser la configuration du lit du cours d'eau et de déterminer les hauteurs maximales (Hmax) pour lesquelles les courbes de tendances restent valides. Par exemple, dans des zones où le cours d'eau déborde dans la plaine inondable, la relation entre la hauteur d'eau et le débit change significativement. Dans ces situations, la courbe de tendance reste fiable jusqu'à ce que le niveau d'eau atteigne la transition vers la plaine inondable, où une augmentation marginale de la hauteur peut ne plus correspondre à une augmentation proportionnelle du débit. Elles permettent également de vérifier si un changement majeur au niveau de la coupe transversale entre les années est survenu, ce qui rendrait les données des années antérieures obsolètes.

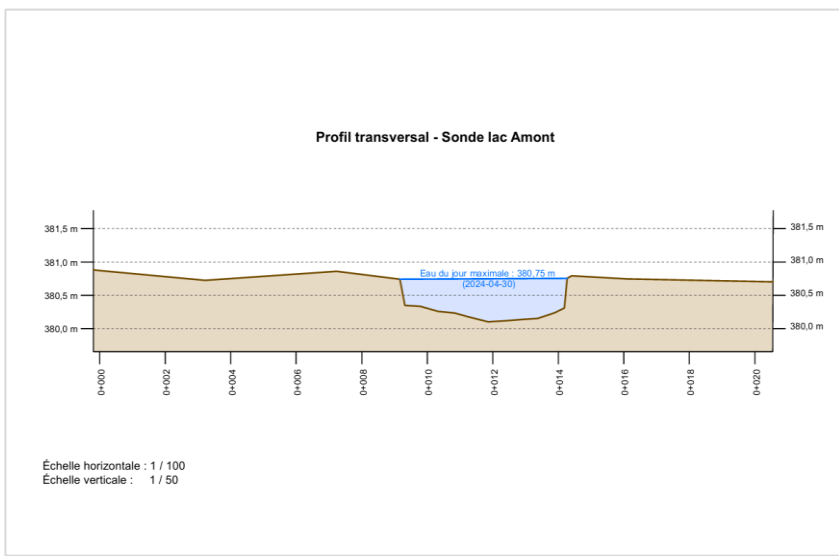
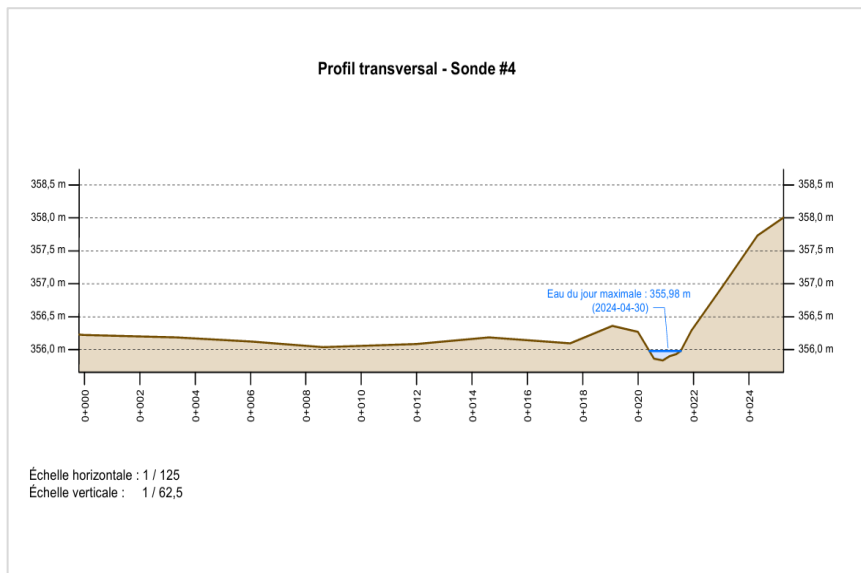
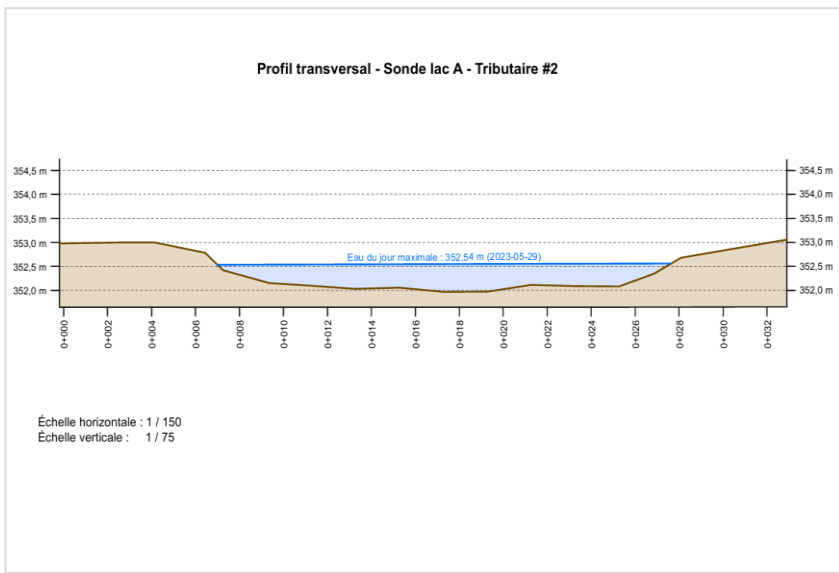
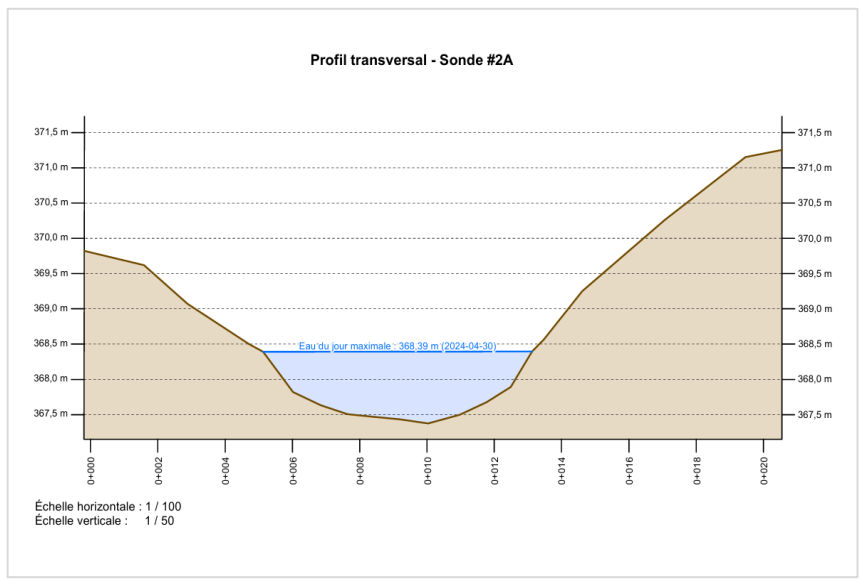
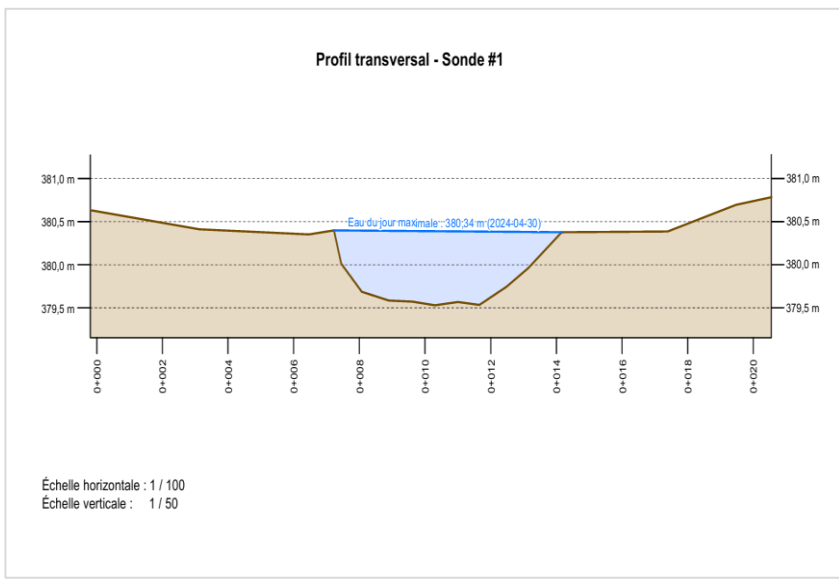


Figure 9. Profil des stations de jaugeage

Une analyse visuelle de la figure 9 permet de mieux cerner les limitations des courbes de tendances et d'éviter des interprétations erronées des données de débit dans des conditions hydrologiques plus sévères. Le tableau 3 présente les hauteurs maximales pour l'utilisation des courbes de tendance débit-hauteur.

Tableau 3. Hauteur et élévation limite pour l'utilisation des courbes de tarage

Station	Hauteur maximale (m)	Élévation maximale (m)
Sonde 1	0,71	380,34
Sonde 2a	2,19	369,75
Lac A exutoire	1,74	353,02
Sonde 4	0,78	356,35
Lac Amont	0,31	380,80

Pour les hauteurs d'eau situées en dehors de ces intervalles, nous recommandons l'utilisation des données relevées par GPS pour modéliser l'écoulement à l'aide de l'équation de Manning-Strickler. Cette approche permet d'ajuster le coefficient de rugosité, en fonction de la végétation et du substrat du lit de la rivière, afin de calibrer le modèle aux observations terrain. Cette méthode garantit une estimation fiable des débits même au-delà des plages mesurées puisque le modèle pourra en partie être calibré à l'aide des données de terrain.

5 Conclusion et recommandations

Le suivi hydrologique réalisé en 2024 a permis de renforcer la compréhension des dynamiques hydrologiques des cours d'eau et des lacs situés dans le secteur du projet minier Troilus. Les résultats obtenus révèlent une certaine stabilité des conditions en période d'étiage entre les années 2023 et 2024. Ces résultats suggèrent que les données hydrologiques en dehors des événements pluvieux présentent peu de variations interannuelles.

L'analyse des réponses hydrologiques aux précipitations a mis en évidence des comportements contrastés, notamment lors des épisodes pluvieux des 27 mai et 13 juin 2024. Une infiltration/rétention en surface initiale importante suivie d'une résurgence progressive pourrait expliquer les différences observées pour ces hydrogrammes de crue. Ces mécanismes démontrent l'importance des capacités d'infiltration des sols ainsi que l'influence de la saturation des micro-dépressions locales sur les débits de ruissellement.

Certains sites, comme celui de la sonde 4, se distinguent par des particularités locales. Le ponceau obstrué à plus de 90 % à proximité de cette station entraîne une retenue d'eau qui modifie les niveaux d'eau et les débits mesurés, créant des conditions proches de celles d'un milieu humide dans la plaine de débordement en amont. Ce contexte spécifique influe sur les mesures et souligne l'importance de prendre en compte les infrastructures locales dans l'interprétation des résultats.

Les courbes de tarage développées pour les cours d'eau ont démontré une bonne corrélation entre les niveaux d'eau et les débits dans les plages mesurées, mais leur extrapolation au-delà des hauteurs maximales enregistrées reste limitée. Pour pallier cette limite, une modélisation basée sur l'équation de Manning-Strickler, intégrant des relevés précis de rugosité et des profils transversaux, pourrait être envisagée.

Finalement, les données collectées lors des campagnes 2023 et 2024 constituent une base solide pour évaluer la dynamique hydrologique du site et orienter la gestion des ressources en eau. En l'absence de campagnes supplémentaires, les efforts devraient se concentrer sur l'exploitation des données existantes, leur intégration dans des outils de modélisation et la communication des résultats aux parties prenantes afin de soutenir une gestion environnementale durable et adaptée aux particularités locales.

6 Références

- Ouranos, 2023. Développement du modèle d'incertitude associé à la mesure traditionnelle des débits : Méthodologies et outils. Aussi disponible en ligne : <https://www.ouranos.ca/fr/projets-publications/developpement-du-modele-dincertitude-associe-la-mesure-traditionnelle-des>
- Turnipseed, D.P., and Sauer, V.B., 2010. Discharge Measurements at Gaging Stations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods book 3, chap. A8, 87 pages. Aussi disponible en ligne : <https://pubs.usgs.gov/tm/tm3-a8/>

