

## **ANNEXE 6A**

---

### **Rapport de modèle conceptuel hydrogéologique de Josiane (Ouéléba Nord)**



## DOCUMENT COVER SHEET



**SRK Consulting (UK) Ltd.**  
Churchill House  
17 Churchill Way  
Cardiff CF10 2HH

Rio Tinto  
Simandou  
Sitewide

This document contains the Josiane Conceptual Model Report that will be submitted to Rio Tinto

**Project Code:**

**Project Title:**

I0016

Simandou

**Contract Number:**

**Contract Title:**

CIO.16-350-SC-CON-008

Geotechnical & Hydrogeological Consulting Services (Incl. Laboratory Testing)

**Rio Tinto Document Number** I0016-1000-X-REP-00003

**Contractor Document Number** 31243-HYDRO-REP-028

**Vendor Document Number**

**Volume** Volume 1 of 1

Rev	Issue Date	Issue Reason	Prepared By:	Reviewed By:	Approved By:
1	04/06/2024	For Use	<p>Sarah Johnson</p> <p>Oleg Sachkov</p> <p>Adam Bennett</p>	<p>Mark Raynor</p> <p>Dylan John</p> <p>Tony Rex</p>	

### Document Review Status (For Rio Tinto use only)

<input type="checkbox"/>	A	Accepted
<input type="checkbox"/>	B	Accepted – Subject to Comments
<input type="checkbox"/>	C	Rejected – Please Revise and Resubmit
<input type="checkbox"/>	D	For Information Only

**Reviewed by:**

**Date:**

Review or acceptance of documentation does not relieve the originator of contractual or statutory requirements and does not verify that these requirements are met or waived.



# **RAPPORT DE MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE CONCEPTUEL DE JOSIANE PROJET SIMANDOU, GUINÉE**

Préparé pour  
**Rio Tinto Iron Ore Atlantic Pty Ltd**

Date d'émission : 4 juin 2024

Rapport préparé par



SRK Consulting (UK) Limited  
UK31243



**DROITS D'AUTEUR ET CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ**

Les droits d'auteur (et tout autre droit de propriété intellectuelle applicable) sur ce document et sur toutes les données ou les modèles qui l'accompagnent, créés par SRK Consulting (UK) Limited (« SRK »), sont réservés par SRK et sont protégés par les lois internationales sur les droits d'auteur et d'autres lois. Les droits d'auteur sur tous les éléments du présent document, tels que les images, sont détenus et réservés par le propriétaire des droits d'auteur, comme indiqué dans le présent document.

L'utilisation de ce document est strictement soumise aux conditions concédées par SRK au(x) destinataire(s) nommé(s) de ce document ou aux personnes auxquelles SRK a accepté qu'il soit transféré (les « destinataires »). Sauf accord contraire de SRK, cela ne confère aucun droit à un tiers. Ce document ne peut être utilisé ou invoqué à d'autres fins que celles pour lesquelles il est mentionné et SRK ne peut être tenue pour responsable d'aucune perte ou d'aucun dommage causé par une telle utilisation ou inversion. Si le destinataire du présent document souhaite en utiliser le contenu à des fins autres que celles qui sont expressément mentionnées ou pour lever des fonds auprès d'un tiers et que le document n'est pas utilisé dans son intégralité à cette fin, il doit, avant toute utilisation, présenter à SRK, pour examen, un projet du rapport ou du document qu'il a produit et qui peut intégrer une partie du contenu du présent document, afin que SRK puisse s'assurer que ce document est présenté d'une manière qui reflète de manière précise et raisonnable les résultats ou les conclusions produits par SRK.

Le présent document ne peut être distribué à un tiers que dans son intégralité, tel que fourni par SRK, et ne peut être reproduit ou diffusé dans le domaine public (en tout ou en partie) ou sous une forme éditée, abrégée ou modifiée de quelque manière que ce soit, sauf accord exprès de SRK. Le travail de tout autre détenteur de droits d'auteur ne peut être séparé du présent document, utilisé ou reproduit à d'autres fins qu'avec le présent document dans son intégralité, conformément à la licence accordée par SRK. Si ce document était divulgué ou distribué à un tiers, ce dernier ne serait pas autorisé à se fier aux informations, garanties ou déclarations qu'il contient et les destinataires de ce document indemniseront SRK de toutes les réclamations, pertes et coûts qu'elle pourrait encourir à l'égard de ces tiers.

<b>Entité légale de SRK :</b>	SRK Consulting (UK) Limited
<b>Adresse de SRK :</b>	5ème étage Churchill House 17 Churchill Way Cardiff, CF10 2HH Pays de Galles, Royaume-Uni
<b>Date :</b>	juin, 2024
<b>Numéro de projet :</b>	UK31243
<b>Directeur de projet de SRK :</b> Tony Rex	Consultant d'entreprise (eau)
<b>Chef de projet de SRK :</b> Dylan John	Consultant principal (ingénierie géotechnique)
<b>Entité légale du client :</b>	Rio Tinto Iron Ore Atlantic Pty Ltd
<b>Adresse du client :</b>	6 St James's Square Londres, SW1Y 4AD Royaume-Uni



## PRINCIPAUX RÉSULTATS

### RAPPORT DE MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE CONCEPTUEL DE JOSIANE, PROJET SIMANDOU, GUINÉE

Le modèle hydrogéologique conceptuel de Josiane et l'aire des eaux souterraines ont été élaborés afin d'éclairer la conception de la mine et le programme de travail sur le terrain. Les aspects clés du modèle conceptuel de Josiane sont les suivants :

- Les principales hypothèses décrivant le régime et le comportement des eaux souterraines à Ouéléba (SRK, 2023a) sont valables pour Josiane, avec une direction dominante d'écoulement des eaux souterraines NNE-SSW, alignée sur la direction de l'aquifère du corps minéralisé.
- Les données indiquent que l'écoulement dominant des eaux souterraines se fait vers le nord. Toutefois, il est probable qu'il existe localement des contraintes. Le rôle des contraintes géologiques sur la direction et le comportement localisés d'écoulement des eaux souterraines est mal connu.
- On suppose également un écoulement vers le sud de l'aquifère de Josiane vers la forêt de Boyboyba ; celui-ci semble être en partie structurellement contraint et en partie dominé par l'écoulement dans les unités de quartzite.
- L'analyse des hydrogrammes des eaux souterraines de Josiane et dans le nord d'Ouéléba a permis de mieux comprendre les processus de recharge et l'hétérogénéité de l'aquifère. Les réponses sont très variables, allant de réponses extrêmement rapides aux précipitations à des réponses saisonnières discrètes avec un décalage pouvant aller jusqu'à six mois.

Les principales incertitudes concernant l'hydrogéologie de Josiane, dans le contexte des risques liés au Projet, sont les suivantes :

- L'aire des eaux souterraines devra être affinée, en particulier au nord et à l'ouest de la zone de Josiane, où les données sur les eaux souterraines sont limitées. La confiance dans les niveaux des eaux souterraines est plus grande vers l'extrémité sud de la crête de Josiane, où l'on dispose de plus de données.
- Le mécanisme d'écoulement au nord de Josiane n'est pas bien défini. Il est considéré comme une priorité si cette zone de décharge est affectée par l'installation de stockage des roches stériles du nord (WRSF1) ; des forages et des tests hydrogéologiques supplémentaires peuvent s'avérer nécessaires.
- La mesure dans laquelle le flux méridional provenant de Josiane et de la tranchée nord de HME2 se déverse dans la forêt de Boyboyba est mal connue. Il est proposé de procéder à d'autres forages d'essai hydrogéologiques et à une surveillance supplémentaire.



- Les propriétés hydrauliques de l'aquifère du gisement et des roches encaissantes adjacentes ne sont pas quantifiées. Pour répondre à cette incertitude, il est proposé de réaliser un puits d'assèchement pilote et un programme d'essai de pompage. Des sondages piézométriques supplémentaires sont également proposés, en complément des programmes de forage des ressources et des sondages géotechniques prévus.
- La qualité des eaux souterraines du corps minéralisé (et leur aptitude au déversement direct) est inconnue. Le prélèvement d'échantillons lors des essais de pompage permettra de répondre à cette question.
- Les réponses à la recharge sont très variables et impossibles à prévoir avec certitude. Il y a de plus en plus de preuves de saturation proche de la surface et de la réaction transitoire extrême de la pression interstitielle dans la zone non saturée, et il conviendra de continuer à en tenir compte dans la conception de toutes les pentes (en particulier HME2).

Les recommandations suivantes sont formulées en vue d'une étude documentaire complémentaire :

- Intégration de l'érosion dans les modèles géologiques de Ouéléba et de Josiane pour permettre leur utilisation dans de futures études hydrogéologiques et géotechniques. L'intérêt de différencier les composantes PHY et QTZ de l'unité siliciclastique devrait également être pris en compte et étudié avant d'entamer cette mise à jour.
- Achever l'examen interprétatif complet des données recueillies lors des campagnes de terrain à Boyboyba et mettre à jour le modèle hydrogéologique conceptuel pour les déversements de Ouéléba NE dans les bassins versants de Boyboyba.
- Procéder à un nouvel examen des hydrogrammes des eaux souterraines une fois que les niveaux d'eau se seront stabilisés, afin de confirmer les caractéristiques des hydrogrammes et d'étayer le modèle hydrogéologique conceptuel. Cette étude devrait comprendre un examen approfondi des hydrogrammes de l'ensemble d'Ouéléba et de la surveillance historique du niveau de la nappe phréatique au Pic de Fon.
- Construire un modèle numérique des eaux souterraines spécifique à Josiane pour évaluer les taux d'assèchement et les impacts sur les eaux de surface de la fosse de Josiane. À entreprendre à l'issue des campagnes de forage et d'essais de pompage et des études documentaires complémentaires décrites ci-dessus.



# Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1	Contexte.....	1
1.2	Portée des travaux.....	1
1.3	Objectifs spécifiques.....	2
<b>2</b>	<b>RÉSUMÉ DES DONNÉES DISPONIBLES .....</b>	<b>3</b>
2.1	Sources de données.....	3
2.2	Géologie.....	5
2.3	Mise à jour des données géologiques structurales .....	7
2.4	Données relatives aux eaux souterraines .....	7
2.5	Débits des sources et cours d'eau.....	7
2.6	Données sur la qualité de l'eau .....	8
<b>3</b>	<b>EXAMEN INTERPRÉTATIF DES DONNÉES DISPONIBLES POUR JOSIANE .....</b>	<b>10</b>
3.1	Modèle géologique révisé.....	10
3.2	Hydrogrammes des eaux souterraines.....	11
3.2.1	Regroupement des niveaux des eaux souterraines.....	12
3.2.2	Temps de latence en fonction de la profondeur.....	23
3.3	Débits des cours d'eau et contraintes géologiques sur les gradients des eaux souterraines et les débits des sources .....	25
3.4	Qualité de l'eau .....	28
3.4.1	pH et conductivité électrique (CE).....	28
3.4.2	Étude des isotopes stables .....	32
3.4.3	Oligoéléments.....	34
3.5	Gradient et aires des eaux souterraines.....	35
<b>4</b>	<b>MODÈLE CONCEPTUEL DE JOSIANE .....</b>	<b>39</b>
4.1	Introduction .....	39
4.2	Recharge .....	40
4.3	Décharge .....	42
	Trajets hydrauliques .....	43
4.4	Niveau de la nappe phréatique du corps minéralisé de Josiane.....	43
4.5	Qualité de l'eau .....	43
<b>5</b>	<b>INCERTITUDES ET RECOMMANDATIONS POUR LA SUITE DE L'ÉTUDE..</b>	<b>44</b>
5.1	Principales incertitudes.....	44
5.2	Recommandations pour un travail supplémentaire sur le terrain .....	44
5.2.1	Mécanismes de décharge dans le Nord.....	44
5.2.2	Interaction avec la forêt de Boyboyba .....	45
5.2.3	Caractérisation de la qualité de l'eau .....	45
5.2.4	Propriétés hydrauliques du corps minier et déshydratation .....	45
5.2.5	Extension du réseau de surveillance par PFV .....	47
5.3	Recommandations pour une étude documentaire complémentaire.....	47



## 6 RÉFÉRENCES ..... I

### Liste des tableaux

Tableau 1-1 :	Objectifs et résultats de l'étude	2
Tableau 2-1 :	Données disponibles pour Josiane	3
Tableau 3-1 :	Groupes de niveaux des eaux souterraines (PFV) de Josiane – Descriptions des groupes	14
Tableau 5-1 :	Emplacement proposé pour les puits d'assèchement pilotes de Josiane	46
Tableau 5-2 :	Emplacements proposés pour les forages intercalaires de Josiane en vue de l'installation des PFV	47

### Liste des figures

Figure 2-1 :	Emplacement des points de surveillance de Josiane	4
Figure 2-2 :	Étendue des modèles géologiques OUL_JOS_MAY_2023 et JOS_HME_OCT_2023 et de la zone d'étude du modèle hydrogéologique conceptuel de la Josiane	5
Figure 2-3 :	Colonnes stratigraphiques du Simandou : (à gauche) Cope et al. (2008) et (à droite) Zelic et Diragitch (2023)	6
Figure 2-4 :	Emplacements de surveillance de la qualité de l'eau	9
Figure 3-1 :	Interprétations des failles de Josiane (en noir = failles de OUL_JOS_MAY_2023 ; en jaune = failles de JOS_HME_OCT_2023)	10
Figure 3-2 :	Projection des failles de JOS_HME_OCT_2023 à une altitude de 700 mètres au-dessus du niveau de la mer	11
Figure 3-3 :	Groupes de niveaux des eaux souterraines (PFV) de Josiane – Hydrogrammes et carte de localisation	13
Figure 3-4 :	Tendances du Groupe 3 observées dans la zone d'étude de Josiane (cercles) et dans le centre et le sud de Ouéléba (triangles)	15
Figure 3-5 :	Tendances du Groupe 6 observées dans la zone d'étude de Josiane (cercles) et dans le centre et le sud de Ouéléba (triangles)	16
Figure 3-6 :	Tendances observées dans le Groupe 2	17
Figure 3-7 :	Tendances du Groupe 8 observées dans le Nord de Ouéléba	18
Figure 3-8 :	Tendances du Groupe 1 observées dans la zone d'étude de Josiane	19
Figure 3-9 :	Tendances du Groupe 4 observées dans le Nord de Ouéléba	20
Figure 3-10 :	Tendances du Groupe 5 observées dans le nord de Ouéléba et le sud de Josiane	20
Figure 3-11 :	Tendances du Groupe 7 observées dans le nord de Ouéléba et à Josiane	20
Figure 3-12 :	Tendances du Groupe 9 observées à Josiane	21
Figure 3-13 :	Tendances du Groupe 10 observées à Josiane	21
Figure 3-14 :	Tendances du Groupe 11 observées dans le nord de Ouéléba et à Josiane	22
Figure 3-15 :	Tendances non groupées observées sur l'ensemble du site de Josiane	22
Figure 3-16 :	Évolution du temps de latence de la réponse en fonction de la profondeur pour les Groupes 2, 6 et 8	24
Figure 3-17 :	Enquête sur les débits en saison sèche dans la région de Josiane	26
Figure 3-18 :	Vue oblique vers le NNW le long de Josiane montrant la faille JOS_NE_1 (en rouge) et l'aquifère du gisement de Josiane (en bleu) par rapport à la source Miya1-7 (en blanc)	27
Figure 3-19 :	Vue oblique en direction du NNE le long de Josiane montrant les failles JOS_NE_1 (en rouge) et Jos_NE_2 (en noir) et l'aquifère du gisement de Josiane (en bleu) par rapport au débit observé en 2022 en saison sèche dans le bassin versant de FARAKO1A	27
Figure 3-20 :	Répartition spatiale du pH, de la conductivité électrique et du débit : Josiane 2022, Saison sèche	30
Figure 3-21 :	Répartition spatiale du pH et de la conductivité électrique : Boyboyba 2023, Saison sèche	31
Figure 3-22 :	Appauvrissement en oxygène 18 et conductivité électrique avec l'étude de 2022 sur l'accrétion du débit en saison sèche	33
Figure 3-23 :	Appauvrissement en oxygène 18 à partir de l'étude du débit et de la qualité de l'eau de la saison sèche à Boyboyba en janvier 2023 (en regardant vers le sud-ouest)	34



Figure 3-24 :	Répartition des concentrations en Zinc dissous ( $\mu\text{g/l}$ ) dans le bassin versant du Boyboyba (données de janvier 2023) .....	35
Figure 3-25 :	Courbes extrapolées des eaux souterraines dans la zone minière de Josiane.....	36
Figure 3-26 :	Courbes de profondeur de l'eau dans la zone minière de Josiane .....	37
Figure 3-27 :	Exemple de l'aire de la nappe phréatique de Josiane guidée par les niveaux d'eau de PFV les plus élevés observés dans LINE006 .....	37
Figure 3-28 :	Coupes transversales de la zone minière de Josiane utilisant les données hydrologiques utilisées pour générer l'aire des eaux souterraines.....	38
Figure 3-29 :	Zone de la fosse définitive de Josiane qui sera exploitée en dessous du niveau de la nappe phréatique avant exploitation .....	39
Figure 4-1 :	Modèle conceptuel de Josiane mis à jour .....	41
Figure 5-1 :	Emplacements proposés pour les puits d'assèchement pilotes (en violet) et cibles de PFV en se basant sur le programme de forage intercalaire (en jaune) .....	46

## Liste des annexes techniques

<b>A</b>	<b>COUVERTURE DES FORAGES DE JOSIANE .....</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>RÉSUMÉ DES INSTALLATIONS DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES .....</b>	<b>B-1</b>
<b>C</b>	<b>RÉSUMÉ DES PIÉZOMÈTRES À FIL VIBRANT .....</b>	<b>C-1</b>
<b>D</b>	<b>HYDROGRAMMES DU NIVEAU DES EAUX SOUTERRAINES .....</b>	<b>D-1</b>
<b>E</b>	<b>MODÈLE CONCEPTUEL DE OUELÉBA .....</b>	<b>E-1</b>



## RAPPORT DE MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE CONCEPTUEL DE JOSIANE, PROJET SIMANDOU, GUINÉE

### 1 INTRODUCTION

#### 1.1 Contexte

Rio Tinto Iron Ore Atlantic Pty Ltd (« RTIO », ci-après dénommée la « Société » ou le « Client ») a sollicité SRK Consulting (UK) Limited (« SRK ») pour développer le modèle hydrogéologique conceptuel de la zone de Josiane et générer une aire préliminaire des eaux souterraines à des fins de planification minière.

La zone de Josiane est une ligne de crête minéralisée située immédiatement au nord de Ouéléba et séparée du gisement principal de Ouéléba par une dépression topographique (ou « selle ») et la forêt de Boyboyba. Les études de référence précédentes (SRK, 2023a, 2023b) et les études de modélisation numérique des eaux souterraines (SRK 2023c) ont inclus des données provenant de la région de Josiane, mais ces études étaient principalement axées sur les zones minières de Ouéléba et du Pic de Fon au sud. Le modèle hydrogéologique conceptuel et l'aire des eaux souterraines présentés dans ce rapport s'appuient sur des données de forage et de niveau des eaux souterraines récemment acquises (2022 et 2023) dans la zone de Josiane et sur un modèle géologique actualisé et affiné.

Ce rapport résume les données disponibles, les principaux résultats de l'analyse des données, une description du modèle hydrogéologique conceptuel et met en évidence les lacunes en matière de données qui devraient être comblées lors de futures campagnes de travail sur le terrain.

#### 1.2 Portée des travaux

La portée suivante a été définie dans le cadre de cette étude :

- Examiner le modèle géologique 3D révisé pour Ouéléba et Josiane, afin de comprendre les principaux changements.
- Compiler toutes les données nouvelles et existantes sur les eaux souterraines pour la région de Josiane dans l'espace de travail existant de Leapfrog Central (pour faciliter la répartition).
- Compiler et entreprendre un examen interprétatif des données existantes sur la chimie de l'eau dans le contexte des rejets en rapport avec Josiane (peu de données disponibles).
- Compiler les relevés historiques des sources et de l'accrétion du débit dans le contexte des rejets en rapport avec Josiane.
- Générer des hydrogrammes pour l'ensemble de la surveillance du niveau des eaux souterraines de Josiane et de la pression interstitielle pour les données jusqu'en août 2023 (si disponibles sur le site).



- Rapprocher les données sur le niveau des eaux souterraines avec le modèle géologique et les études sur les sources et les écoulements, et générer une aire interprétée des eaux souterraines en 2D.
- Résumer les principaux éléments de l'équilibre hydrologique naturel de Josiane (y compris la recharge et l'évacuation des eaux souterraines, la géologie locale et les trajets hydrauliques prévus).
- Souligner les incertitudes de la conceptualisation et les domaines sur lesquels l'étude doit se concentrer, en notant que la caractérisation hydrogéologique de Josiane n'en est qu'à ses débuts et que des programmes de forage et d'essais hydrogéologiques doivent encore être entrepris dans le corps minéralisé de Josiane.

Le périmètre se limite à la zone immédiate de Josiane et aux zones adjacentes, comme indiqué sur la Figure 2-1 (ligne noire). La zone d'étude comprend l'extrémité nord de la crête de Ouéléba car :

- La forêt de Boyboyba subit l'influence des eaux souterraines et les eaux de surface des régions de Josiane et de Ouéléba. Compte tenu de la sensibilité de la forêt de Boyboyba, il a été jugé prudent d'inclure l'influence de Ouéléba afin d'améliorer l'interprétation dans cette zone.
- Les enregistrements de données sont généralement plus longs à Ouéléba que dans le gisement de Josiane. Lorsque des tendances similaires sont observées, l'incorporation des données de Ouéléba permet de mieux caractériser celles de Josiane.

### 1.3 Objectifs spécifiques

Les principaux objectifs et résultats de cette étude sont résumés par le Tableau 1-1, qui renvoie également aux sections correspondantes du rapport.

**Tableau 1-1 : Objectifs et résultats de l'étude**

Objectif	Résultat	Référence du rapport
Développer le modèle hydrogéologique conceptuel de Josiane	Élaboré en se basant sur les données disponibles	Analyse des données – Section 3 Modèle conceptuel – Section 4
Créer une aire provisoire des eaux souterraines afin d'orienter la conception de la mine et le programme de travail sur le terrain	Aire créée à partir des données existantes sur le niveau des eaux souterraines en utilisant la méthode de triangulation et ajustée manuellement pour éliminer les incohérences et s'aligner sur la compréhension du régime local des eaux souterraines.	Niveaux des eaux souterraines – Section 3.2 Aire des eaux souterraines – Section 3.5
Identifier les zones d'incertitude afin d'élaborer un programme pour la poursuite des travaux sur le terrain	Lacunes identifiées lors de l'analyse des données	Recommandations – Section 5



## 2 RÉSUMÉ DES DONNÉES DISPONIBLES

### 2.1 Sources de données

Les données disponibles pour l'étude du modèle conceptuel hydrogéologique sont brièvement résumées dans le Tableau 2-1. Ces données sont détaillées dans les sous-sections suivantes.

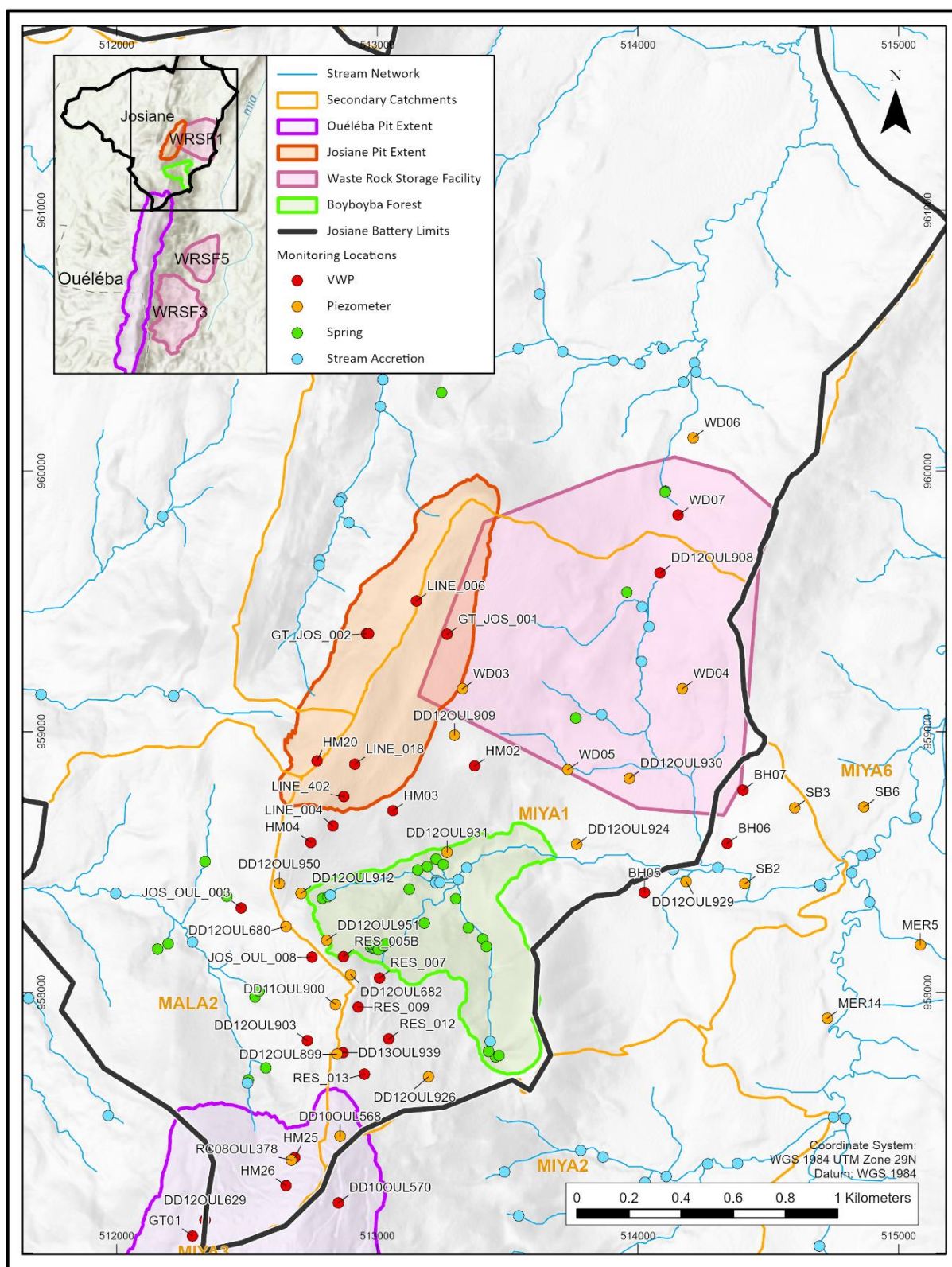
**Tableau 2-1 : Données disponibles pour Josiane**

Données	Résumé	Période (le cas échéant)	Fréquence (le cas échéant)
Modèle géologique	<ul style="list-style-type: none"> <li>OUL_JOS_MAY_2023</li> <li>JOS_HME_OCT_2023</li> </ul>	N/D	N/D
Niveaux manuels des eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> <li>12 sites</li> </ul>	Oct. 2008 à janv. 2022	Hebdomadaire à Mensuel
Niveaux automatiques des eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 sites</li> </ul>	Mai 2022 à nov. 2023	Horaire à tri-horaire
Piézomètres à fil vibrant (PFV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>29 sites, 104 capteurs</li> </ul>	Oct. 2011 à oct. 2023	Horaire
Débit des sources	<ul style="list-style-type: none"> <li>Saison sèche 2008</li> <li>Saison sèche 2023 (Boyboyba)</li> </ul>	N/D	N/D
Enquêtes sur l'accrétion du débit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Saison sèche 2012</li> <li>Saison sèche 2022</li> </ul>	N/D	N/D
Surveillance de la qualité de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>Saison sèche 2022</li> <li>Saison des pluies 2022</li> <li>Saison sèche 2023 (Boyboyba)</li> <li>Échantillonnage mensuel</li> </ul>	N/D	N/D

La Figure 2-1 présente une vue d'ensemble des points de surveillance des eaux souterraines et des eaux de surface dans la région de Josiane. La figure illustre l'emprise finale de la fosse de Josiane, la partie la plus septentrionale de la fosse de Ouéléba et l'installation de stockage des roches stériles 1 (WRSF1). Les drainages naturels et l'étendue de la forêt de Boyboyba sont également représentés. L'emprise de WRSF1 est actuellement à l'étude et sera modifiée pour éviter d'empiéter sur l'emprise de la fosse de Josiane.

Les points de surveillance du niveau des eaux souterraines et de l'écoulement des eaux de surface, y compris les installations de piézomètres classiques et de piézomètres à fil vibrant (PFV), ainsi que les sources et les cours d'eau, sont tous indiqués (Remarque : les points de surveillance de la qualité de l'eau sont indiqués séparément sur la Figure 2-4).



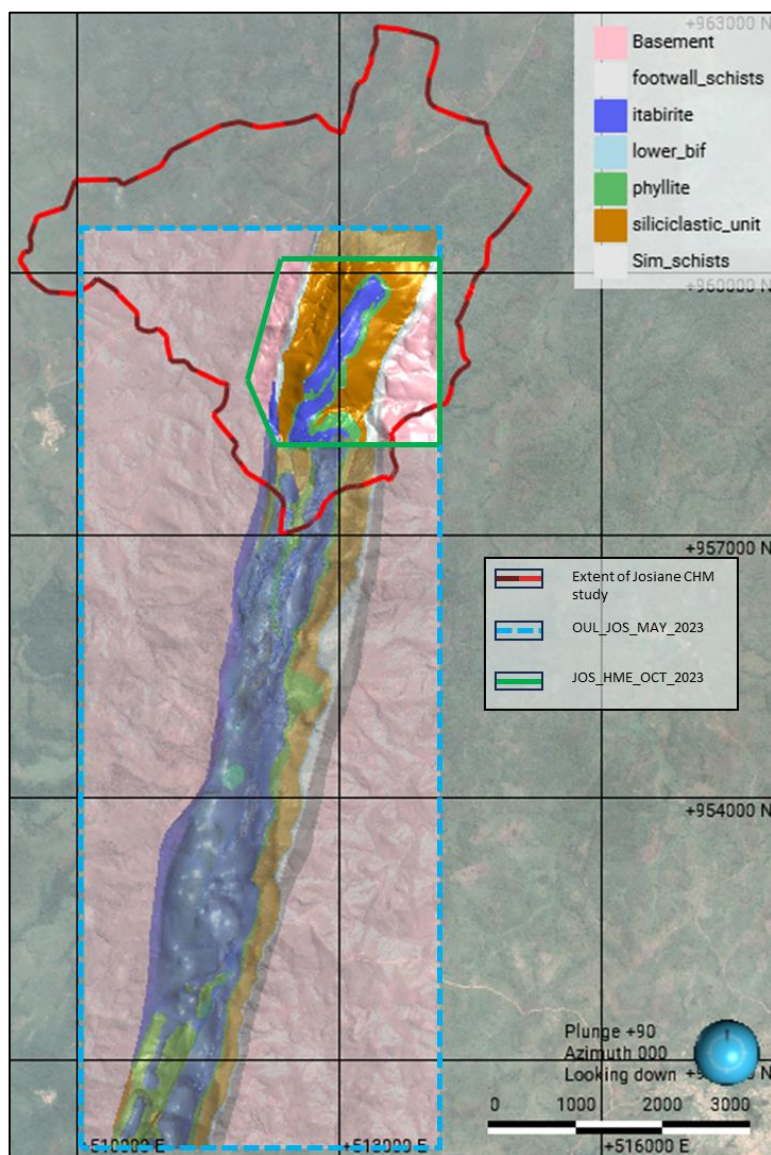


**Figure 2-1 :    Emplacement des points de surveillance de Josiane**



## 2.2 Géologie

Il existe deux modèles géologiques qui s'étendent à des degrés différents sur la zone du projet Josiane. Ils sont présentés sur la Figure 2-2, en relation avec la limite du périmètre d'étude actuel du modèle hydrogéologique conceptuel de Josiane, et résumés dans la section 2.3 ci-dessous, en relation avec l'interprétation structurale.



**Figure 2-2 : Étendue des modèles géologiques OUL\_JOS\_MAY\_2023 et JOS\_HME\_OCT\_2023 et de la zone d'étude du modèle hydrogéologique conceptuel de la Josiane**

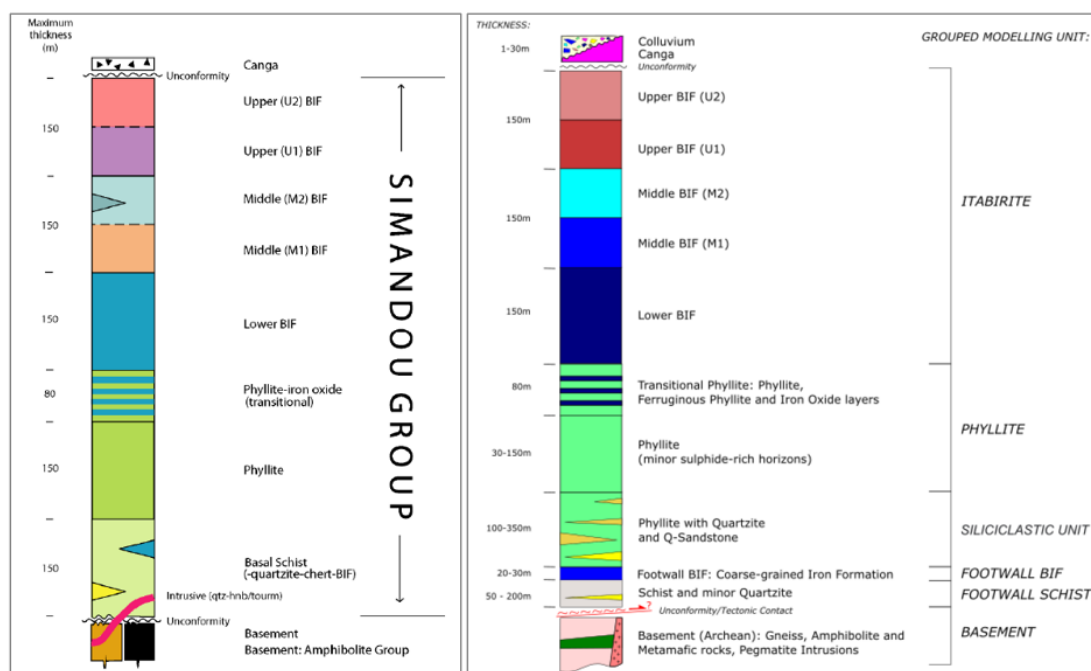
La géologie de la chaîne du Simandou est présentée dans le Rapport de référence sur les eaux souterraines du Simandou (SRK, 2023a), qui est basé sur le travail initialement publié par Cope *et al* (2008).



Les deux modèles géologiques utilisés dans la présente étude utilisent les modèles géologiques de 2023 pour Ouéléba et Josiane (Zelic et Diragitch, 2023) qui ont introduit une séquence stratigraphique révisée. Les modèles révisés continuent de différencier les groupes du socle et du Simandou, mais proposent désormais une quintuple subdivision du groupe du Simandou en unités considérées comme utilisables sur le terrain et étayées par des preuves en fond de trou et par la modélisation en 3D (c'est-à-dire schiste de l'éponte inférieure, FFR de l'éponte inférieure, unité siliciclastique, phyllite et itabirite). La séquence stratigraphique révisée est présentée sur la Figure 2-3.

Le principal changement par rapport au modèle hydrogéologique conceptuel de Josiane est l'introduction de la nouvelle unité stratigraphique siliciclastique. Cette unité comprend des phyllites, des quartzites et des grès quartzitiques, caractérisés par une granulométrie fine et une composition pélitique dominante, avec des intercalations mineures de grès pur (Zelic et Diragitch, 2023).

Sur cette base, les modèles affinés de 2023 ne tentent pas de différencier les phyllites et les quartzites comme l'ont fait les récentes mises à jour des modèles structuraux de SRK (SRK 2022a et SRK 2022b) en raison « du manque d'affleurements continus, de la complexité structurale et de la densité des données (par exemple l'espacement des forages) ».



**Figure 2-3 : Colonnes stratigraphiques du Simandou : (à gauche) Cope et al. (2008) et (à droite) Zelic et Diragitch (2023)**



## 2.3 Mise à jour des données géologiques structurales

Rio Tinto a fourni à SRK un modèle géologique Leapfrog actualisé couvrant spécifiquement la zone du projet de Josiane (JOS\_HME\_OCT\_2023 : contour vert sur Figure 2-2). Ce modèle ne couvre pas complètement l'étendue de l'étude du modèle hydrogéologique conceptuel de Josiane.

SRK a utilisé le modèle géologique combiné Ouéléba-Josiane (OUL\_JOS\_MAY\_2023 : contour bleu tireté sur la Figure 2-2) dans les zones où le modèle JOS\_HME\_OCT\_2023 ne couvrait pas l'étendue de l'étude du modèle hydrogéologique conceptuel de Josiane.

## 2.4 Données relatives aux eaux souterraines

À Josiane, 14 piézomètres à colonne et 29 piézomètres à fil vibrant (PFV) ont été utilisés pour informer l'étude du modèle hydrogéologique conceptuel. Les lieux de surveillance sont indiqués sur la Figure 2-1.

L'Annexe B résume les sites de surveillance des eaux souterraines dans la région de Josiane, y compris la fréquence de surveillance, le nombre et la durée des enregistrements, ainsi que l'étendue et la moyenne de l'élévation enregistrée des eaux souterraines. Le nombre et la durée des enregistrements varient considérablement. Historiquement, les niveaux d'eau de 12 des piézomètres à colonne étaient relevés manuellement et aucun n'est actuellement utilisé pour la surveillance (les deux piézomètres à colonne restants disposent de données de transducteurs de pression depuis 2022).

Les installations PFV comportent entre un et cinq capteurs à différentes profondeurs. La plupart des PFV ont enregistré des données entre 2022 et 2023, et seuls cinq d'entre eux ont des durées de surveillance plus longues, remontant jusqu'à 2011. L'Annexe C fournit plus de détails sur les 29 installations de PFV.

## 2.5 Débits des sources et cours d'eau

Cette étude s'est concentrée sur les relevés de la saison sèche car ils constituent le meilleur indicateur de l'écoulement des eaux souterraines. Parmi les enquêtes disponibles (résumées par le Tableau 2-1), la présente étude s'est concentrée sur les points suivants :

- L'enquête sur les sources de la saison sèche 2008 (SRK, 2023a).
- L'étude d'accrétion de la saison sèche 2022 (SRK, 2023a) – meilleure couverture de l'ensemble du site.
- L'étude des sources de la saison sèche 2023 (SRK, 2023b) – axée sur la forêt de Boyboyba<sup>1</sup>.

Les lieux de surveillance sont indiqués sur la Figure 2-1.

---

<sup>1</sup>La forêt de Boyboyba a été soumise à une phase supplémentaire de caractérisation hydrologique de référence en 2023 en raison de la présence d'un habitat critique et de la forte probabilité d'impacts sur les eaux de surface dus à l'assèchement de Ouéléba.



## 2.6 Données sur la qualité de l'eau

Les sites de contrôle de la qualité de l'eau sont indiqués sur Figure 2-4 et Tableau 2-1 résume le programme de contrôle de la qualité de l'eau à ce jour à Josiane. Cette étude s'est concentrée sur deux ensembles de données :

- Saison sèche 2022 – vaste campagne de prélèvement d'échantillons sur l'ensemble du site.
- Saison sèche 2023 – axée sur la forêt de Boyboyba avec 35 échantillons.

Comme pour les débits des sources et des cours d'eau, cette étude s'est concentrée sur les données de la saison sèche pour caractériser le régime des eaux souterraines. Les données de la campagne d'échantillonnage de la saison des pluies 2022 et du programme de surveillance mensuelle en cours ne sont pas incorporées dans l'analyse car elles ont été jugées moins concluantes en ce qui concerne le régime des eaux souterraines.

Un sous-ensemble du programme de surveillance de la qualité de l'eau de la saison sèche 2022 et du programme complet de la saison sèche 2023 à Boyboyba a été en ciblant les isotopes stables de l'oxygène et de l'hydrogène. L'objectif de la surveillance des isotopes stables était de déterminer si les signatures des isotopes stables pouvaient différencier le débit de base de l'aquifère du corps minéralisé des eaux souterraines provenant d'autres sources.

Il convient de noter qu'aucun échantillon visant la qualité de l'eau souterraine n'a été prélevé dans le gisement de Josiane.







### 3 EXAMEN INTERPRÉTATIF DES DONNÉES DISPONIBLES POUR JOSIANE

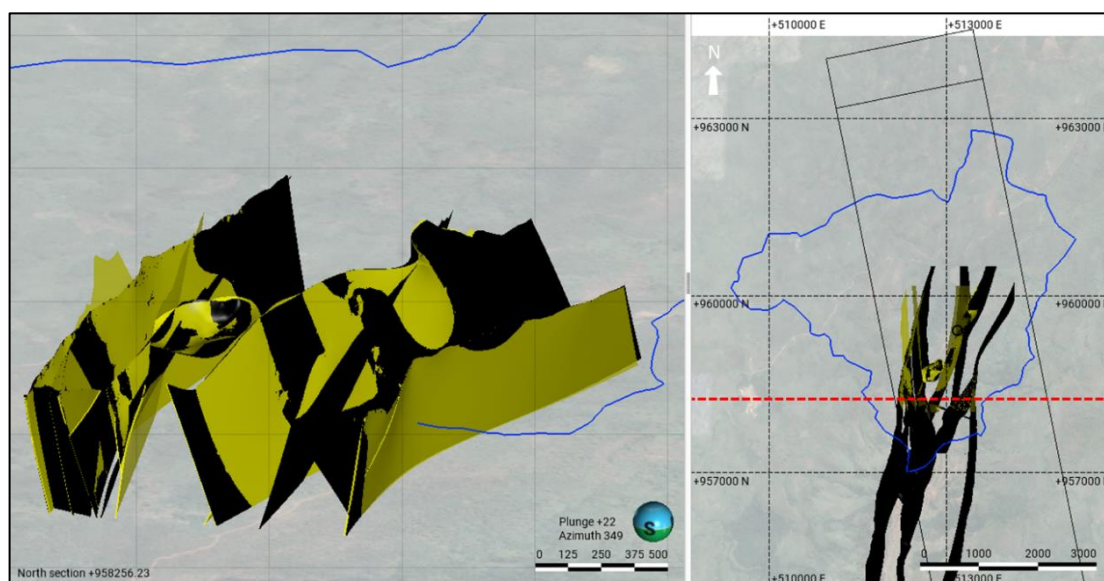
#### 3.1 Modèle géologique révisé

Malgré quelques différences d'interprétation, les deux modèles géologiques de 2023, tels qu'ils ont été présentés dans la section 2.3 ci-dessus, sont globalement cohérents l'un avec l'autre. En cas de chevauchement de l'étendue des modèles, la préférence a été donnée au modèle de Josiane plus récent (JOS\_HME\_OCT\_2023) qui comprend des interprétations affinées des failles dans la zone minière de Josiane.

La couverture de forages qui sous-tend le modèle JOS\_HME\_OCT\_2023 est incluse dans l'Annexe A.

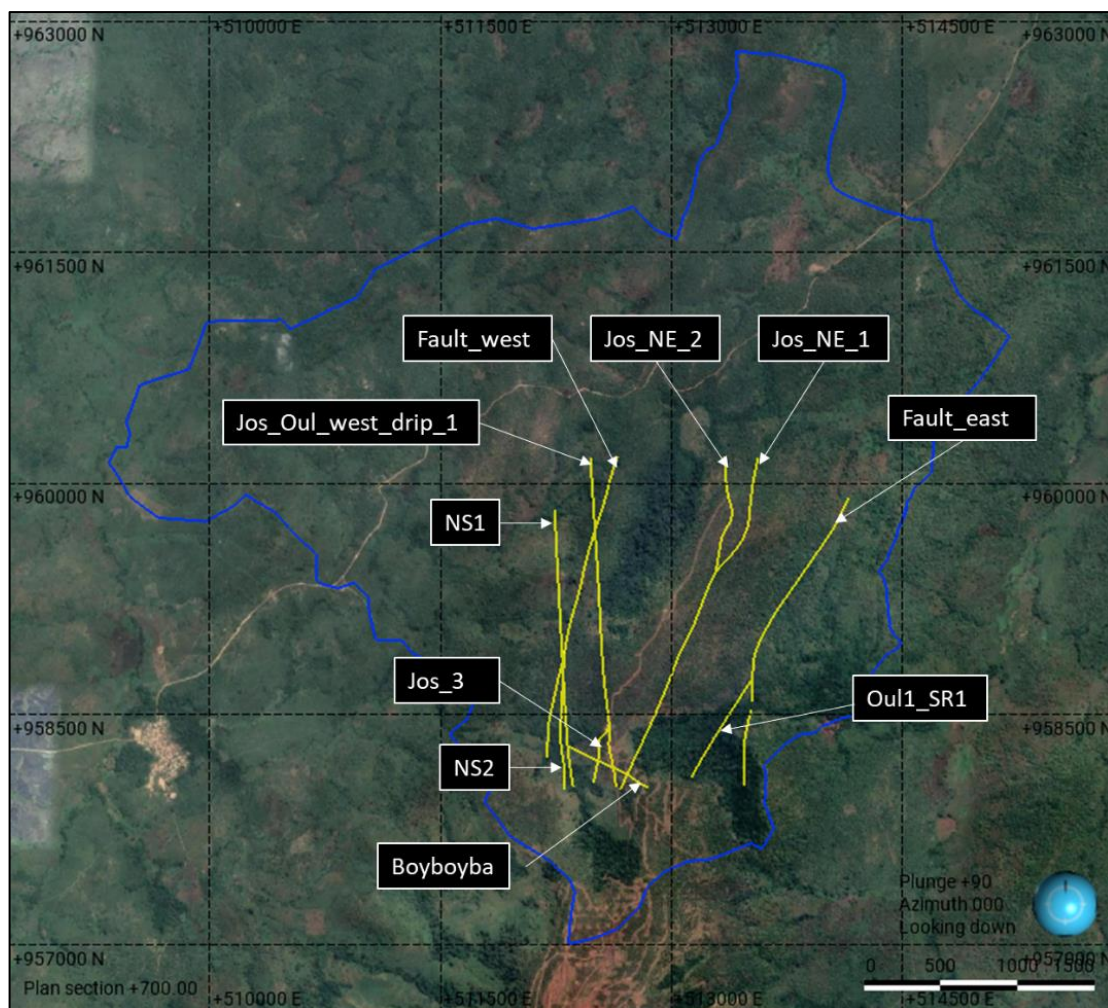
La Figure 3-1 montre les différences entre les interprétations actualisées des failles (en jaune) du modèle d'octobre 2023 et les interprétations antérieures du modèle de mai 2023 (en noir). Les différences sont relativement mineures dans la plupart des cas, la direction des failles étant généralement orientée nord-sud à NNE-SSO, c'est-à-dire globalement parallèlement à l'orientation de la crête. Il est à noter que toutes les failles contenues dans les modèles de mai et d'octobre sont représentées.

La Figure 3-2 montre les tracés d'interprétation des failles mis à jour à la tranche d'altitude de 700 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les failles individuelles sont indiquées.



**Figure 3-1 : Interprétations des failles de Josiane (en noir = failles de OUL\_JOS\_MAY\_2023 ; en jaune = failles de JOS\_HME\_OCT\_2023)**





**Figure 3-2 : Projection des failles de JOS\_HME\_OCT\_2023 à une altitude de 700 mètres au-dessus du niveau de la mer**

### 3.2 Hydrogrammes des eaux souterraines

Des hydrogrammes du niveau des eaux souterraines ont été produits avec le tracé de l'élévation des eaux souterraines et des précipitations quotidiennes pour tous les capteurs (Annexe D).

Une analyse plus approfondie a été menée sur l'étendue du modèle hydrogéologique conceptuel de Josiane, comme suit :

- Regroupement des niveaux des eaux souterraines basé sur les niveaux normalisés<sup>2</sup>.
- Le calcul du décalage est basé sur la corrélation décalée dans le temps des niveaux normalisés des eaux souterraines par rapport au départ cumulé des précipitations<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Les niveaux normalisés des eaux souterraines sont calculés comme le niveau des eaux souterraines à l'instant (t) moins le niveau moyen des eaux souterraines pour le capteur.

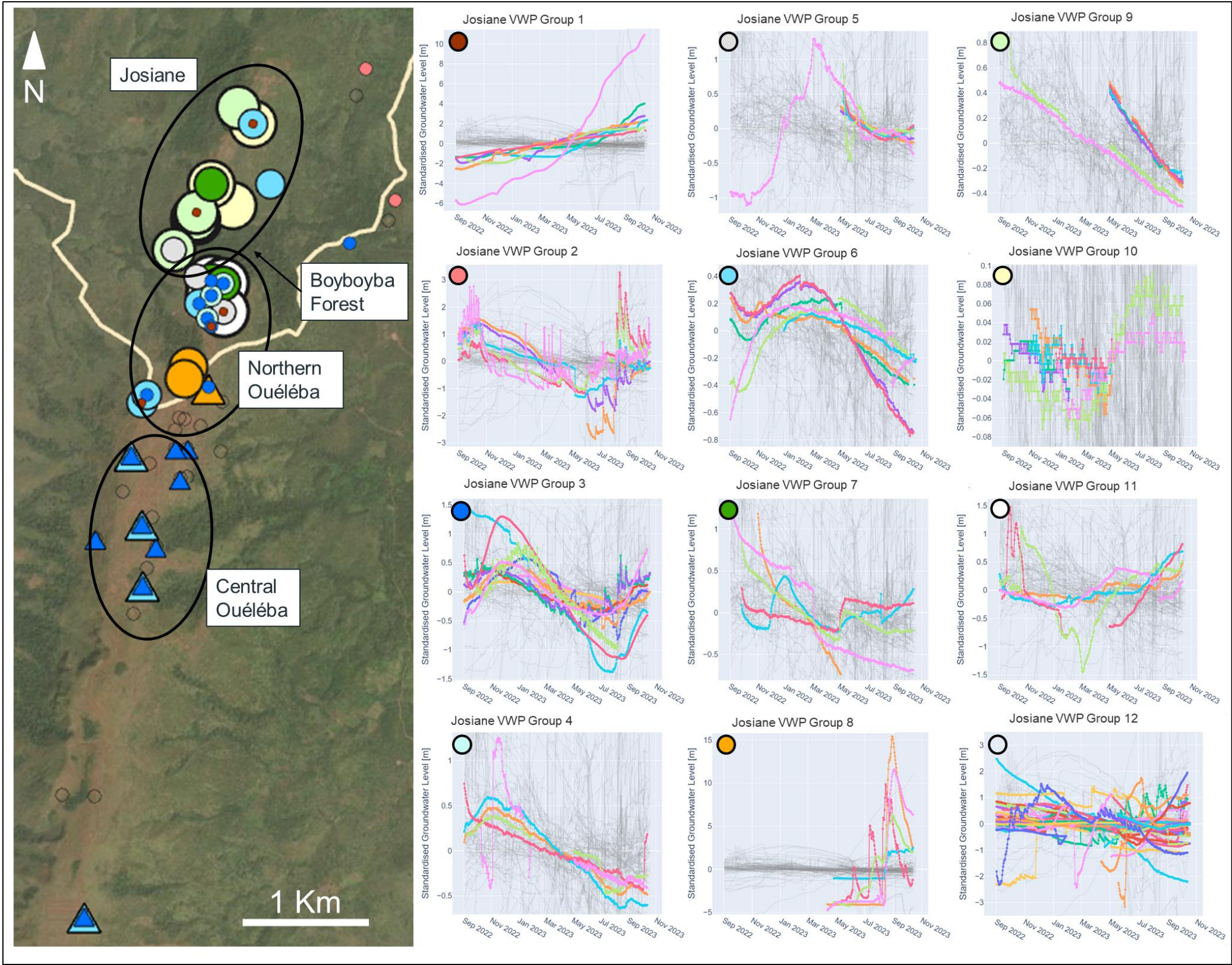
<sup>3</sup> Le départ des précipitations cumulées est calculé comme la somme cumulée des précipitations au moment (t) moins les précipitations moyennes.



### **3.2.1 Regroupement des niveaux des eaux souterraines**

Les hydrogrammes groupés sont présentés sur la Figure 3-3 et la description des tendances groupées est présentée dans le Tableau 3-1. Les temps de latence ne sont présentés que lorsque la confiance dans le temps de latence calculé est élevée, sur la base d'une forte corrélation ( $>0,8$ ) et de données sur le niveau des eaux souterraines disponibles pour une saison sèche et une saison humide. Le regroupement des niveaux des eaux souterraines a été appliqué à l'ensemble des données de Ouéléba afin de réduire la probabilité d'une mauvaise interprétation des tendances basées sur les ensembles de données relativement courts de Josiane, d'où l'inclusion de points de surveillance en dehors de la limite du périmètre d'étude du modèle hydrogéologique conceptuel de Josiane sur la carte de la Figure 3-3.





La taille des symboles varie uniquement pour des raisons visuelles, afin de tenir compte des symboles qui se chevauchent. La taille n'est liée à aucune propriété physique.  
Les paramètres des PFV, y compris la profondeur du capteur, l'élévation, la lithologie et les données sommaires sur le niveau de la nappe phréatique, sont présentés à l'Annexe C.  
Les triangles représentent des points dont les tendances reflètent un groupe de PFV de Josiane (selon le schéma de couleurs), mais qui ne sont pas inclus dans l'ensemble de données de la zone d'étude de Josiane. La limite du périmètre de l'étude du modèle hydrogéologique conceptuel de Josiane est représentée par la ligne beige.

**Figure 3-3 : Groupes de niveaux des eaux souterraines (PFV) de Josiane – Hydrogrammes et carte de localisation**



**Tableau 3-1 : Groupes de niveaux des eaux souterraines (PFV) de Josiane – Descriptions des groupes**

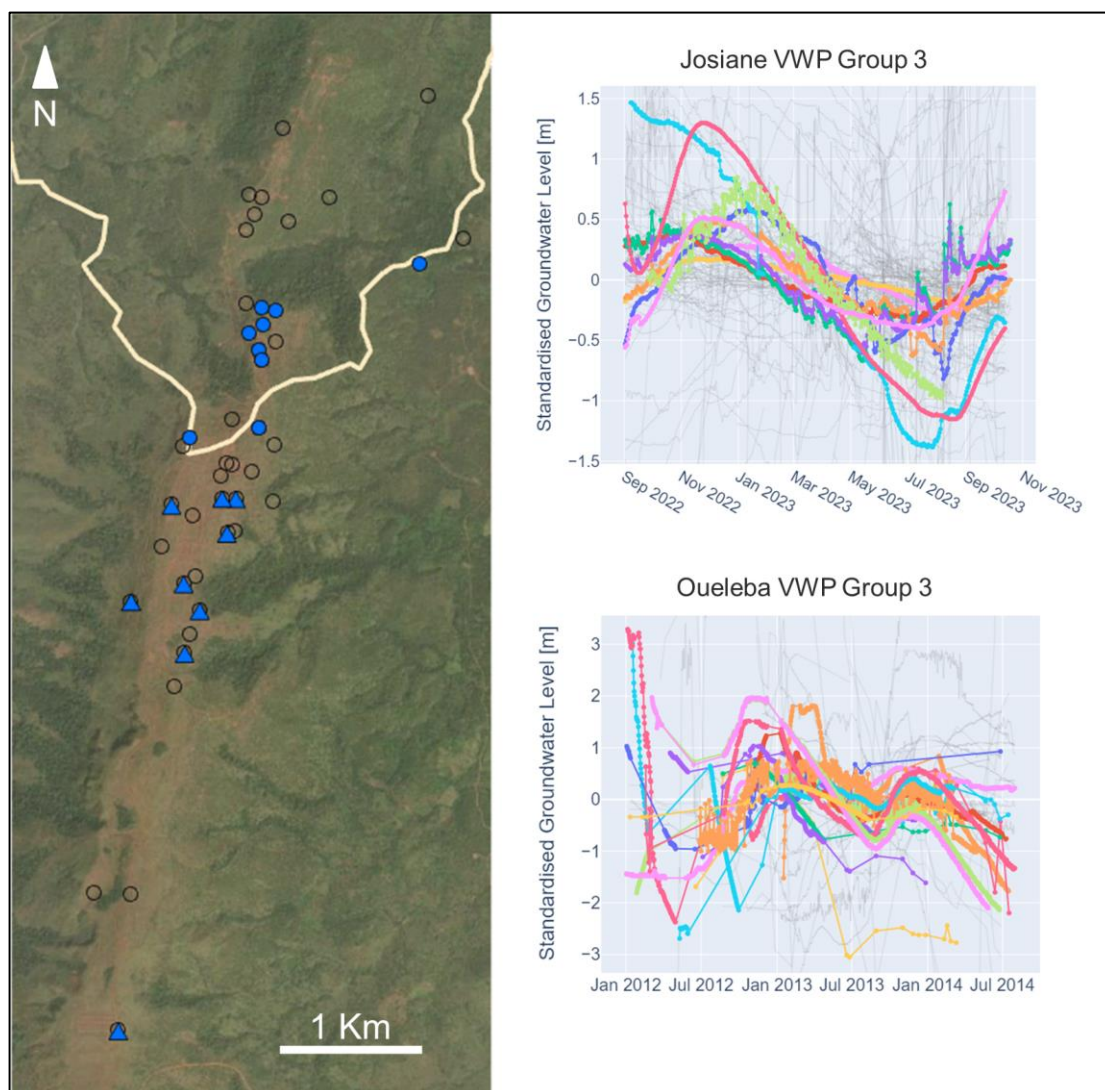
Numéro du groupe	Description du groupe	Temps de latence	Fluctuation saisonnière	Interprétation
1	<b>Pas encore stabilisé</b> : La tendance est à l'augmentation de septembre 2022 à novembre 2023, à un rythme d'environ 5 m par an.	N/D	N/D	Les capteurs qui n'ont pas encore été stabilisés après le forage et l'injection de coulis. Cela suggère la présence d'unités de faible conductivité hydraulique à proximité du capteur.
2	<b>Réponses éclair</b> : Des tendances saisonnières présentant des réponses éclair aux précipitations observées à des intervalles inférieurs à la semaine. Pic en septembre 2022 et réponse à la saison des pluies à partir d'août 2023.	<1 semaine à 7 semaines	Environ 3 m	Capteurs peu profonds (<30 m de profondeur) montrant des conditions saturées pendant la saison humide où la réponse de la pression interstitielle est synchrone avec les précipitations.
3	<b>Réponse saisonnière</b> : Des tendances saisonnières avec un pic en décembre 2022 et une réponse à la saison des pluies en août 2023. Les réponses éclair sont moins évidentes que dans le Groupe 2.	1 semaine à 13 semaines	1 à 3 m	Réponse saisonnière typique observée dans les matériaux siliciclastiques et les itabirites compacts dans le nord d'Ouéléba. Observé dans toute la région de Ouéléba.
4	<b>Baisse des niveaux d'eau</b> : Des tendances à la baisse à partir de novembre 2022, avec une tendance saisonnière également observée. Quelques réponses atténuées à la saison des pluies en septembre 2023.	N/D	N/D	Une tendance générale à la baisse peut suggérer que l'écoulement draine des matériaux sur une période prolongée ou une variation interannuelle de la recharge. Difficile à déterminer à partir d'un ensemble de données limité. Observé en profondeur sous les capteurs montrant une réponse du Groupe 3 en plusieurs endroits.
5	<b>Baisse des niveaux d'eau</b> : Des tendances à la baisse à partir de mai 2023, avec une faible réponse à la saison des pluies en 2023.	N/D	N/D	Difficile de déterminer le comportement sur la base d'un ensemble de données limité. La période qui chevauche la période à plus long terme RES_012_VW4 présente une bonne adéquation mais les informations disponibles sont insuffisantes pour déduire le comportement à plus long terme de ce groupe.
6	<b>Réponse saisonnière avec un temps de latence élevé</b> : Des tendances saisonnières avec un pic en février 2023 et aucune réponse à la saison des pluies observée pour 2023.	15 à 25 semaines	<1 m	Recharge retardée et fluctuations minimales. Les réponses ont été considérées historiquement comme caractéristiques des réponses des corps minéralisés mais elles sont observées dans la zone non saturée de Josiane où elles sont interprétées comme un front d'humidification saisonnier se déplaçant lentement au sein d'épaisses zones non saturées. Observé également en profondeur dans les PHY et QTZ sur le flanc ouest de Ouéléba et le flanc est de Josiane.
7	<b>Baisse des niveaux d'eau</b> : Une tendance à la baisse à partir de septembre 2022, sans saisonnalité claire.	N/D	N/D	La tendance à la baisse peut suggérer que les matériaux drainés par les rejets le sont sur une période prolongée. Cependant, cela peut également refléter la stabilisation des pressions interstitielles après l'installation du capteur.
8	<b>Réponses éclair</b> : Des capteurs initialement secs avec d'importantes fluctuations à la saison des pluies.	<1 semaine	5 à 15 m	Réponse éclair à la saturation des capteurs avec des fluctuations importantes suggérant des trajets de recharge préférentielles à travers la zone non saturée et un faible coefficient d'emménagement de la masse rocheuse. Des réponses sont observées dans les phyllites, ce qui suggère la présence d'une porosité secondaire conductrice dans ces unités.
9	<b>Baisse des niveaux d'eau</b> : Une tendance à la baisse à partir de septembre 2022, sans saisonnalité claire.	N/D	N/D	Une tendance à la baisse peut suggérer que l'écoulement draine des matériaux sur une période prolongée ou une variation interannuelle de la recharge. Cela peut également refléter la stabilisation des pressions interstitielles après l'installation du capteur.
10	<b>Capteurs secs</b> : Une tendance stable avec une fluctuation de moins de 20 cm observée depuis septembre 2022.	N/D	<0,2 m	Fluctuations minimales avec peu de preuves de saisonnalité. Associées à des capteurs secs, de sorte que toute saisonnalité est probablement le reflet d'un front d'humidification saisonnier (comme indiqué dans le Groupe 6)
11	<b>Moteurs peu clairs</b> : Une tendance à la hausse à partir de mars 2023.	N/D	N/D	Certains capteurs montrent une baisse éclair entre octobre 2022 et mars 2023. Les moteurs de ces tendances ne sont pas clairs.
12	<b>Non groupés</b> : Les capteurs qui ne correspondent à aucun des groupes ci-dessus.	N/D	N/D	Les réponses locales variées ont fait l'objet d'un examen individuel afin d'identifier les tendances à l'intérieur des chaînes de capteurs individuelles et d'interpréter la présence de contraintes structurelles.



Le regroupement a permis d'identifier onze groupes, plus sept capteurs « non regroupés ». Les mécanismes sont raisonnablement bien contrôlés :

#### *Réponse saisonnière : Groupe 3*

Observé sur l'ensemble du territoire de Ouéléba, comme le montre la répartition des symboles bleu foncé sur la carte de la Figure 3-4. Il est à noter que bien que les capteurs du « Groupe Josiane 3 » soient situés dans la zone d'étude de Josiane (limite du périmètre indiquée en beige), ils sont en pratique positionnés à l'extrémité nord du corps minéralisé de Ouéléba. La réponse saisonnière n'est observée dans aucun des capteurs situés dans le gisement de Josiane. Les délais de latence varient de 1 à 13 semaines, avec des fluctuations saisonnières de 1 à 3 mois.



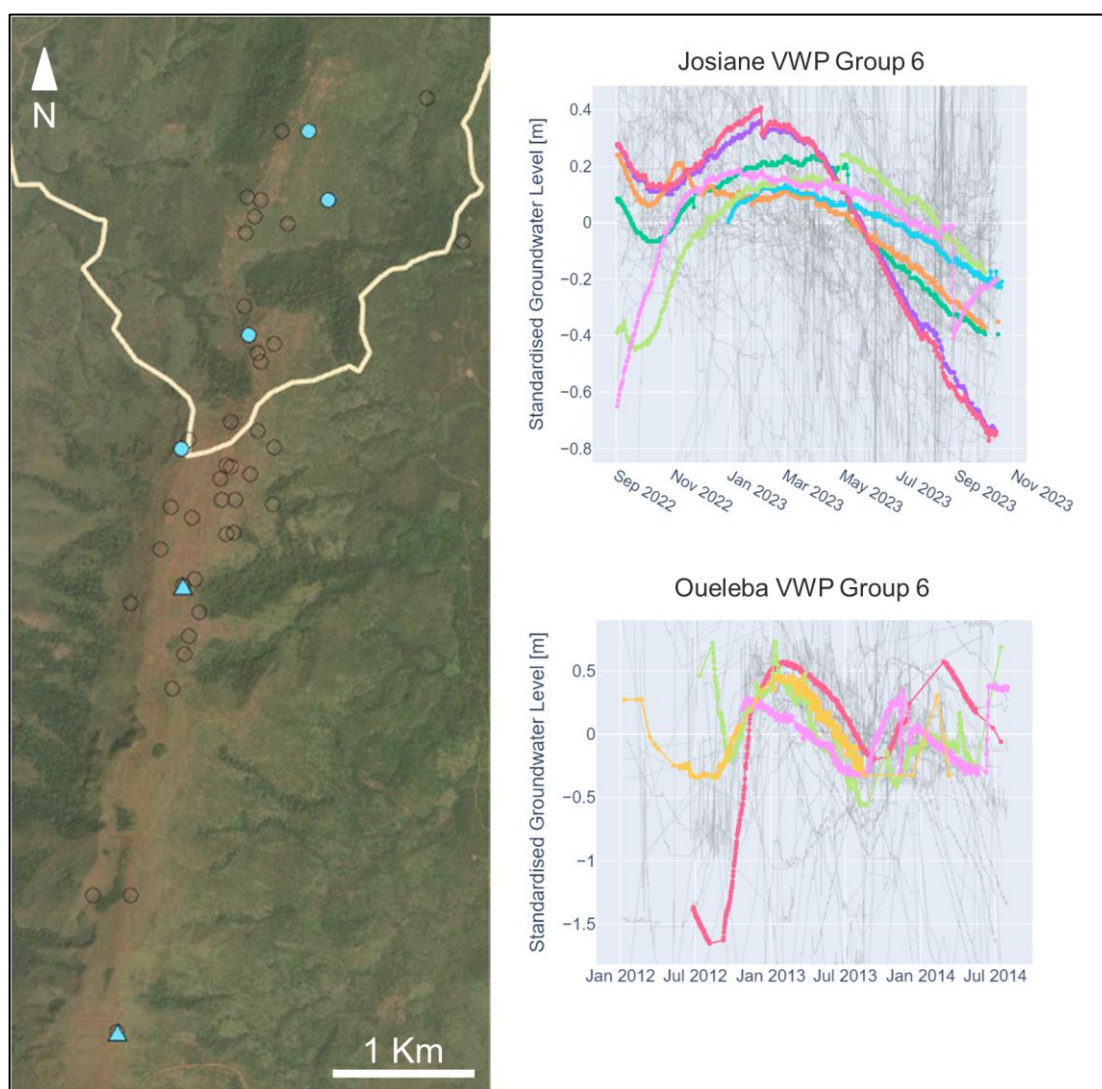
**Figure 3-4 : Tendances du Groupe 3 observées dans la zone d'étude de Josiane (cercles) et dans le centre et le sud de Ouéléba (triangles)**



### Réponse saisonnière avec un temps de latence élevé : Groupe 6

Également observé dans l'ensemble de Ouéléba (symboles cyan sur la carte de Figure 3-5) mais avec un délai plus long (15 à 25 semaines) que le Groupe 3, ce qui indique une diffusivité plus faible ou un trajet de recharge plus alambiqué. Les réponses ont été considérées historiquement comme caractéristiques des réponses des corps minéralisés mais elles sont observées dans la zone non saturée de Josiane où elles sont interprétées comme un front d'humidification saisonnier se déplaçant lentement au sein d'épaisses zones non saturées. Les réponses sont également observées dans la zone saturée en profondeur dans les PHY et QTZ sur le flanc ouest de Ouéléba et le flanc est de Josiane.

Des temps de latence plus longs reflètent typiquement des zones non saturées plus épaisses (jusqu'à 100 m le long de la crête de Josiane), ou des zones situées sous une nappe phréatique perchée. Des temps de latence plus courts reflètent des zones non saturées plus fines ou la présence de trajets de recharge préférentiels, dus par exemple à diverses structures.



**Figure 3-5 : Tendances du Groupe 6 observées dans la zone d'étude de Josiane (cercles) et dans le centre et le sud de Ouéléba (triangles)**



### Réponses éclair : Groupes 2 et 8

Les capteurs du Groupe 2 sont généralement peu profonds (<30 m de profondeur) et capturent la réponse du canga et du socle dans l'est de la zone d'étude (Figure 3-6). Ils montrent des réponses éclair et subquotidiennes aux précipitations.

La Figure 3-6 montre la variabilité de la réponse des eaux souterraines avec l'augmentation de la profondeur à BH07. Le trou de forage est situé à l'extrémité sud-est de la zone proposée pour WRSF1 (Figure 2-1). Le capteur supérieur (VW1@5m) montre que les niveaux d'eau atteignent la surface du sol avant de refluer rapidement, tandis que la réponse des capteurs inférieurs (VW2@10m et VW3@15m) est retardée et nettement plus discrète. La réponse du capteur peu profond indique que le rejet de la recharge dans les matériaux du canga et du socle est probablement dû à des matériaux superficiels entièrement saturés. Ces conditions de saturation à faible profondeur entraîneront également un écoulement latéral transitoire proche de la surface, ou écoulement intercalaire.

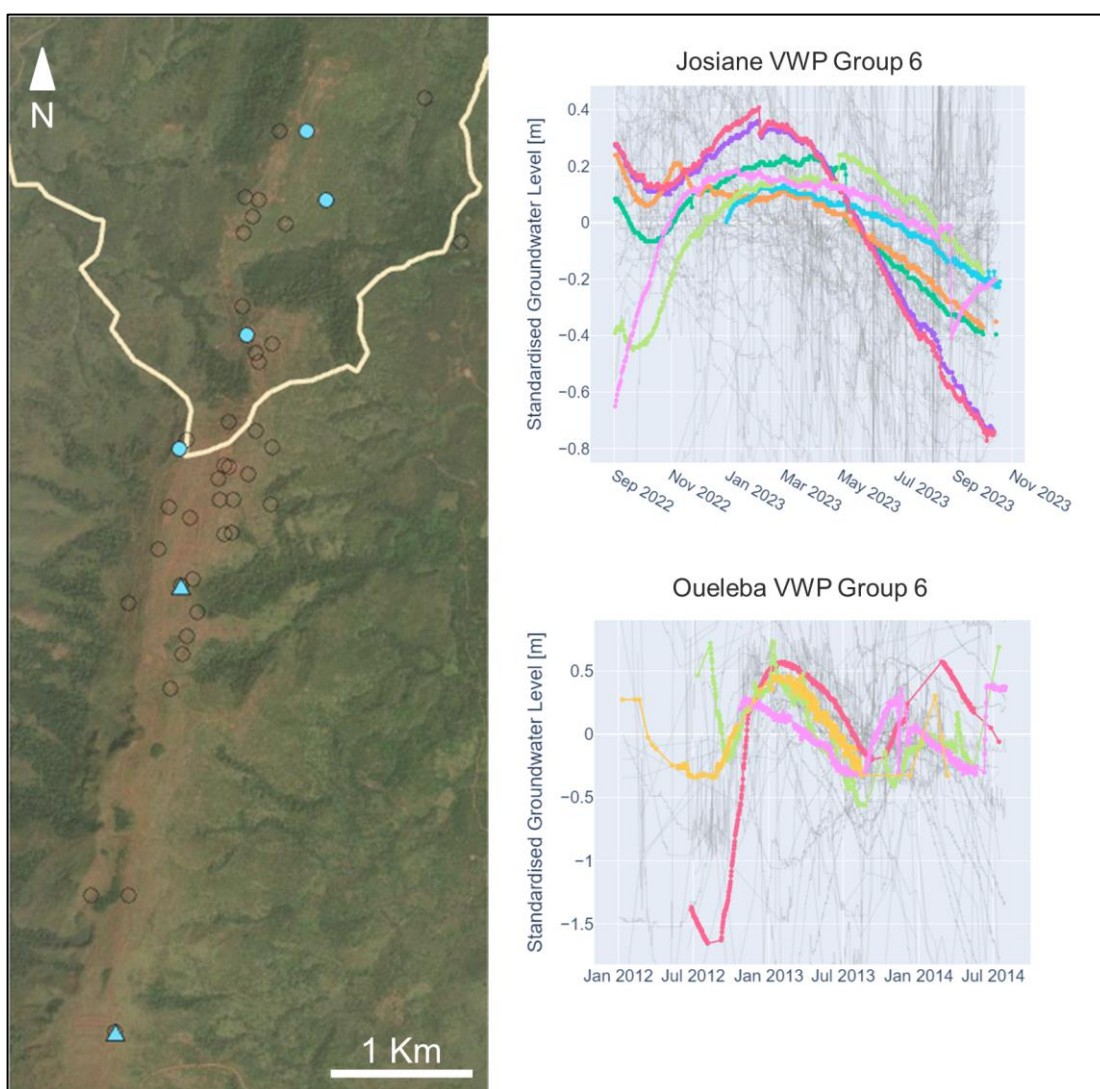
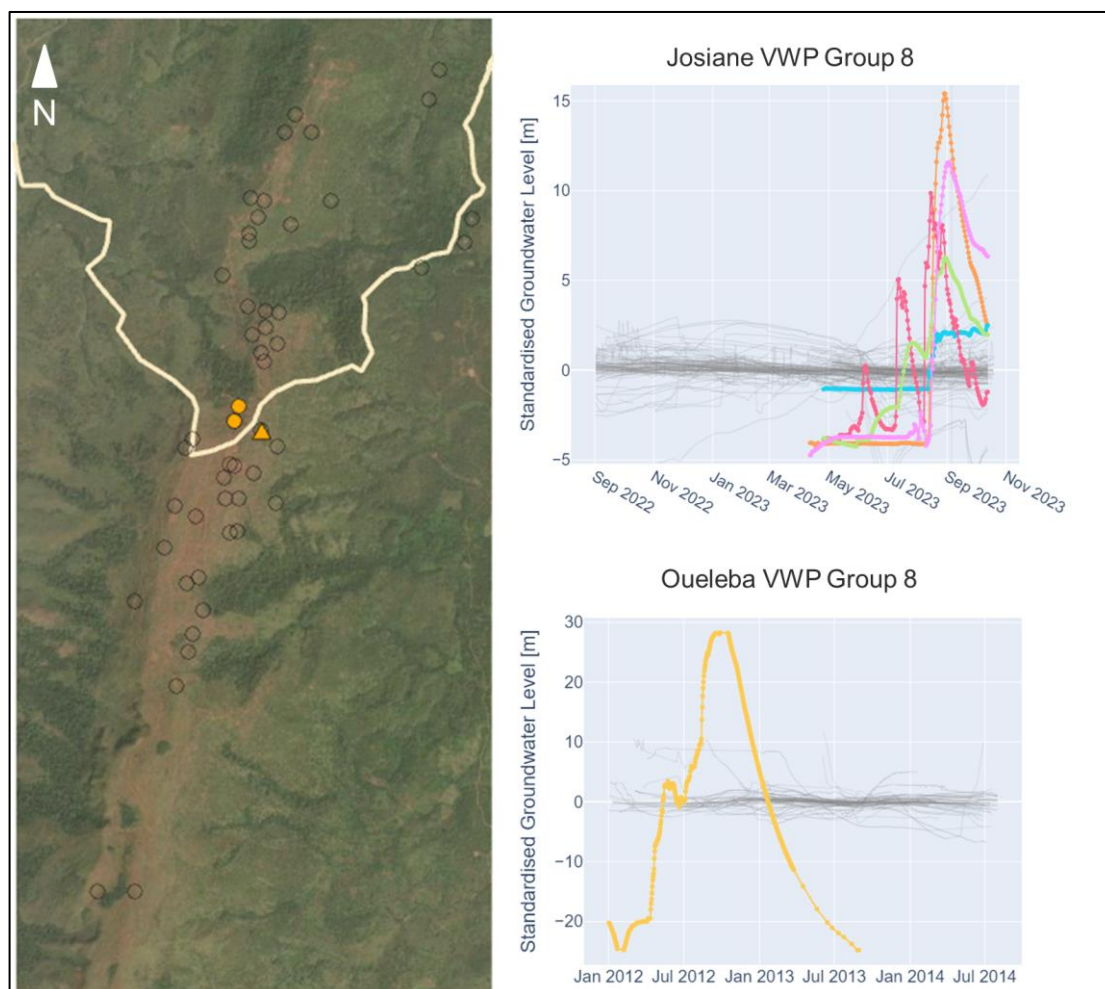


Figure 3-6 : Tendances observées dans le Groupe 2



Les capteurs du Groupe 8 sont plus profonds (de 30 à 90 m de profondeur). Ils sont tous situés à l'extrémité nord du gisement de Ouéléba. Bien qu'elles ne soient pas directement liées au modèle hydrogéologique conceptuel de Josiane, les données fournissent des informations utiles pour la route de transport HME2. Les capteurs sont initialement secs, mais présentent des réponses éclair en profondeur une fois qu'ils sont saturés (Figure 3-7). Les fluctuations importantes (jusqu'à 15 m) suggèrent des trajets de recharge préférentiels à travers la zone non saturée et une masse rocheuse à faible coefficient d'emménagement. Des réponses sont observées dans les phyllites, ce qui suggère la présence d'une porosité secondaire conductrice dans ces unités. Les réponses récentes sont observées dans les zones HM25 et HM26 à proximité de la route de transport HME2 proposée. Des réponses similaires ont été observées historiquement dans cette zone à DD10OUL570 (également illustré sur la Figure 3-7) et soulignent les risques associés à la pression interstitielle transitoire autour des tranchées de la route HME2.

Des réponses éclair peuvent indiquer une mauvaise étanchéité du trou de forage. Cette hypothèse a été écartée ici, car les capteurs individuels d'une même chaîne présentent une réponse différente aux précipitations, ce qui indique qu'ils sont isolés les uns des autres.



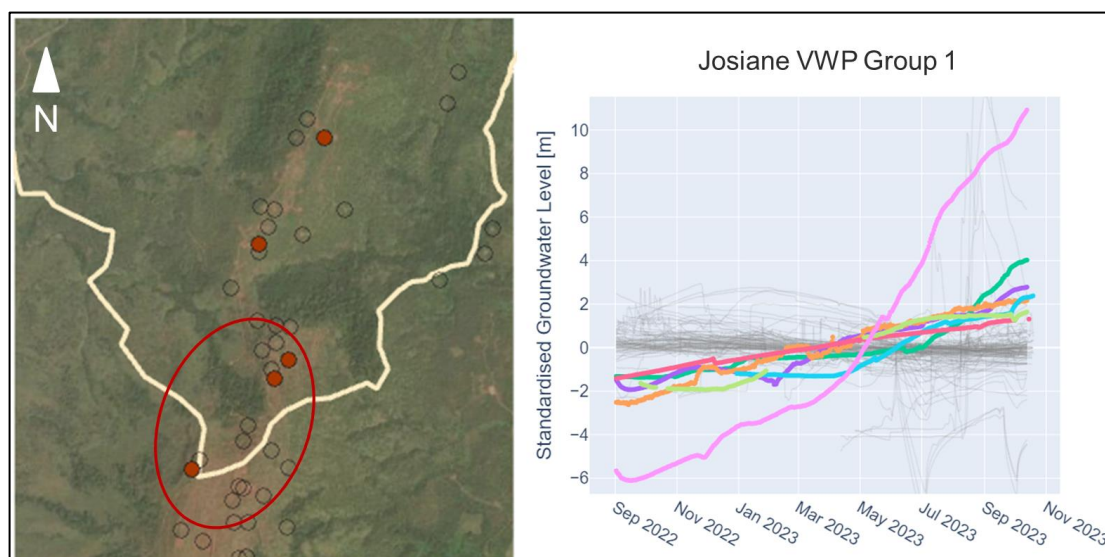
**Figure 3-7 : Tendances du Groupe 8 observées dans le Nord de Ouéléba**



Les preuves anecdotiques fournies par le personnel de terrain de SRK et les estimations de recharge issues de la modélisation numérique des eaux souterraines (SRK, 2023c) ont indiqué un ruissellement très faible et des taux de recharge des eaux souterraines élevés sur la ligne de crête de Ouéléba. Les observations des Groupes 2 et 8 indiquent un potentiel de saturation des matériaux proches de la surface en réponse aux orages et une infiltration rapide par des trajets d'écoulement préférentiels dans la zone non saturée.

#### *Pas encore stabilisés : Groupe 1*

Ce groupe montre une tendance significative à la hausse des niveaux d'eau au fur et à mesure que les capteurs se stabilisent après le forage et l'injection de coulis (Figure 3-8). Le temps de récupération prolongé suggère la présence d'unités de faible conductivité hydraulique à proximité du capteur. Les capteurs sont situés dans une variété de lithologies (phyllite, siliciclastique et itabirite). Ces capteurs ont été exclus de l'analyse des niveaux et des surfaces des eaux souterraines.



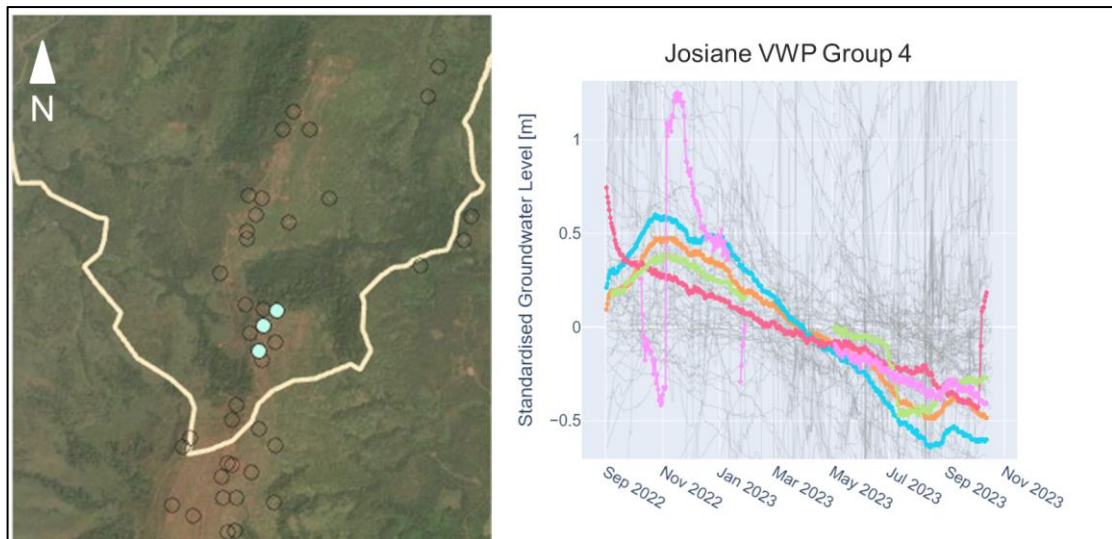
**Figure 3-8 : Tendances du Groupe 1 observées dans la zone d'étude de Josiane**

Les mécanismes sont moins bien compris pour les autres groupes :

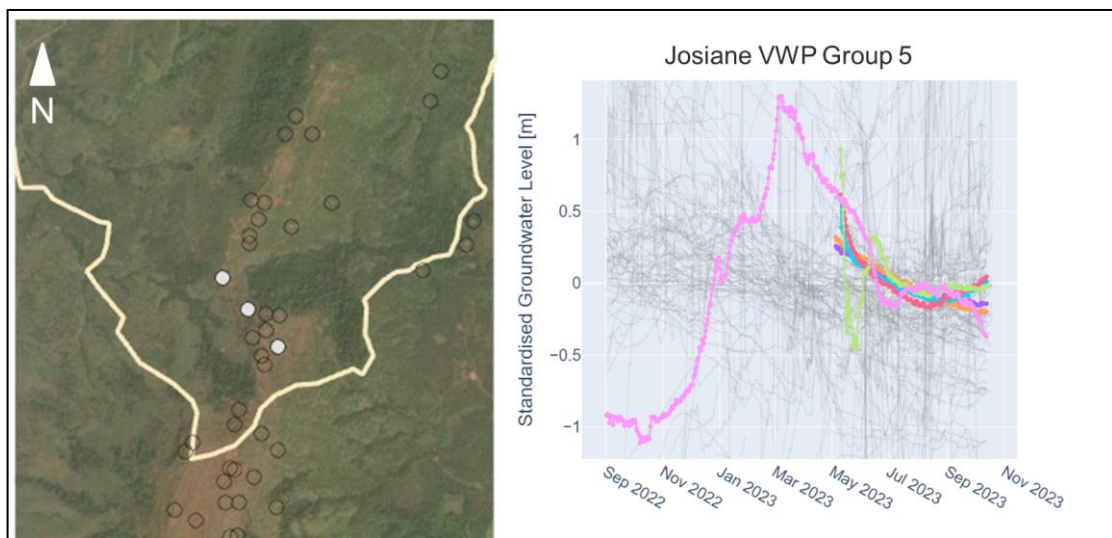
#### *Baisse des niveaux d'eau : Groupes 4, 5, 7 et 9*

Le Groupe 4 (Figure 3-9) et le Groupe 5 (Figure 3-10) présentent une certaine saisonnalité. Aucune fluctuation saisonnière n'est observée dans le Groupe 7 (Figure 3-11) ou le Groupe 9 (Figure 3-12). La baisse des niveaux de l'eau peut être le signe d'une vidange des matériaux sur une période prolongée. Cependant, elle pourrait également être due à la stabilisation des pressions interstitielles après l'installation du capteur, c'est-à-dire à la récupération du trou de forage dans les unités à faible perméabilité.

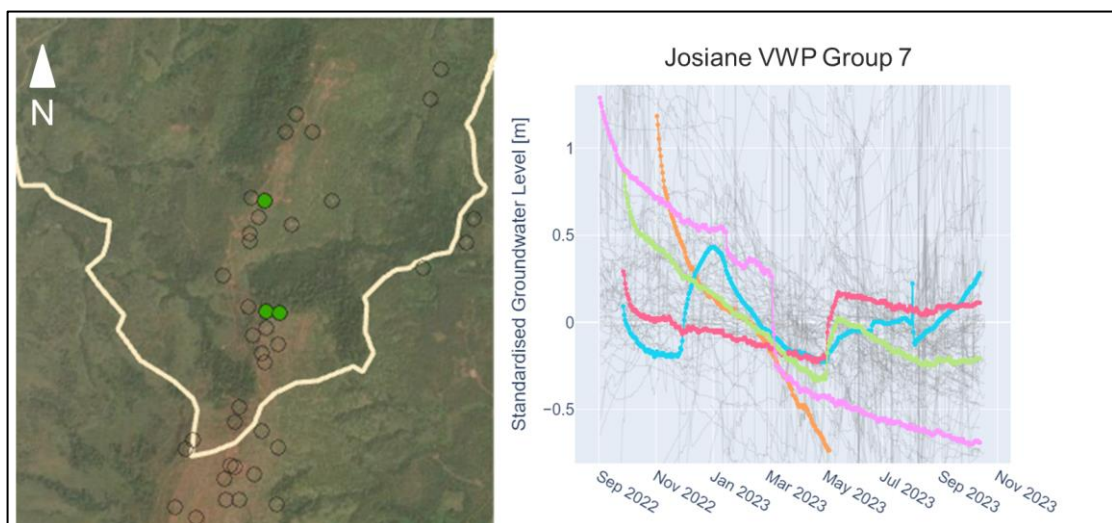




**Figure 3-9 : Tendances du Groupe 4 observées dans le Nord de Ouéléba**

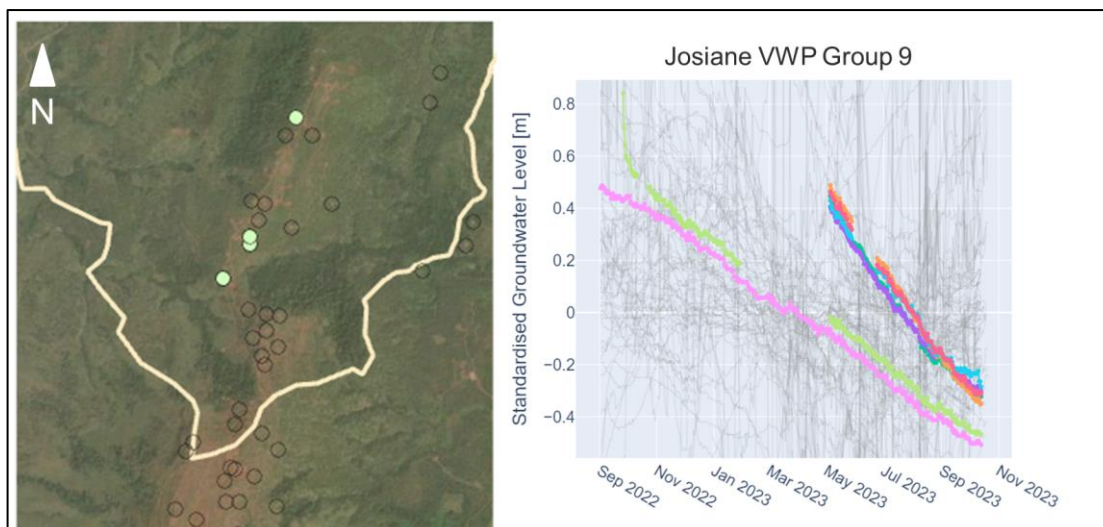


**Figure 3-10 : Tendances du Groupe 5 observées dans le nord de Ouéléba et le sud de Josiane**



**Figure 3-11 : Tendances du Groupe 7 observées dans le nord de Ouéléba et à Josiane**

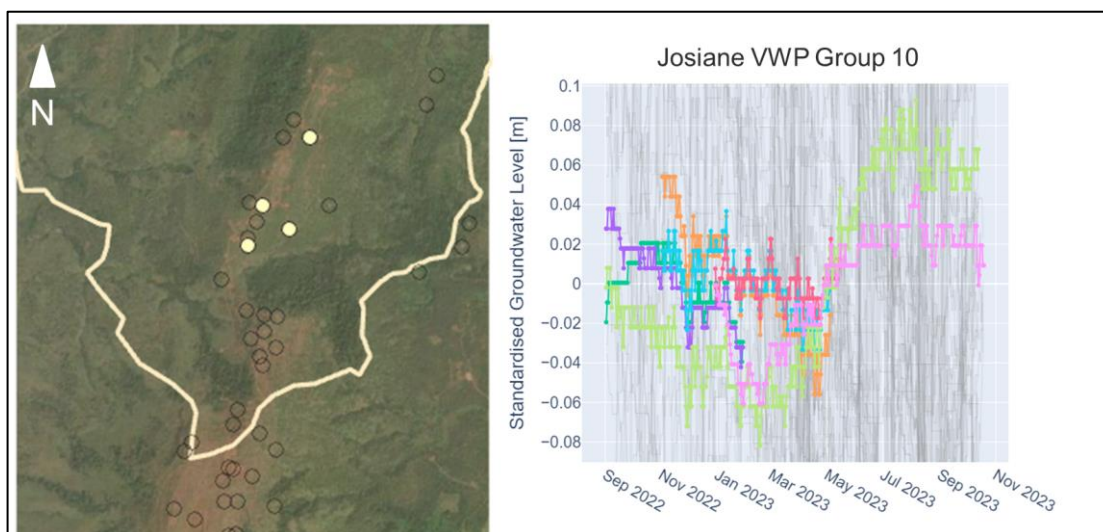




**Figure 3-12 : Tendances du Groupe 9 observées à Josiane**

*Capteurs secs : Groupe 10*

Fluctuations minimales avec peu de preuves de saisonnalité (Figure 3-13). Associées à des capteurs secs, de sorte que toute saisonnalité est probablement le reflet d'un front d'humidification saisonnier (comme indiqué dans le Groupe 6).

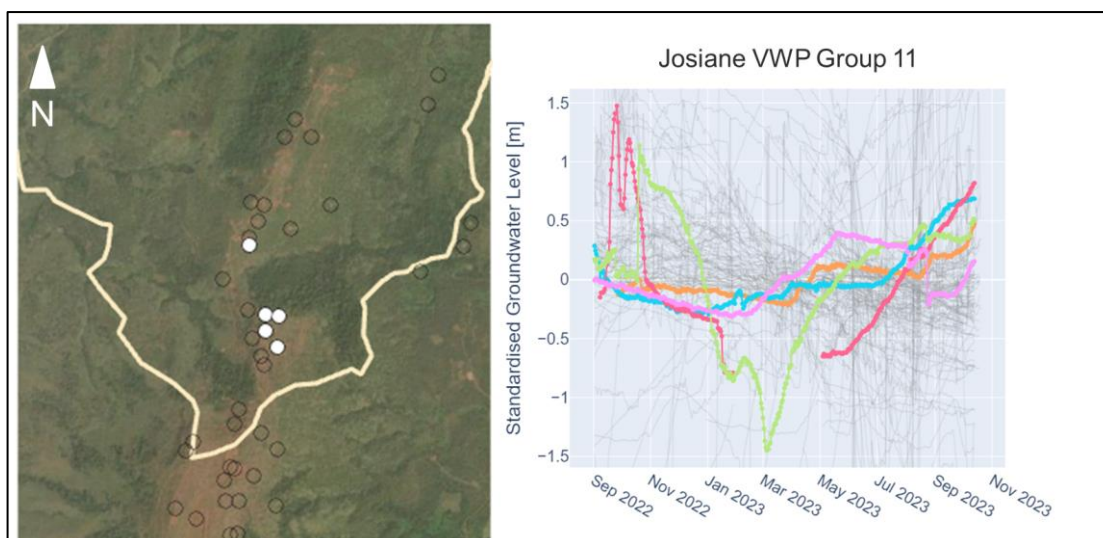


**Figure 3-13 : Tendances du Groupe 10 observées à Josiane**

*Moteurs peu clairs : Groupe 11*

Les capteurs montrent une forte baisse d'octobre 2022 à mars 2023, suivie d'une tendance à la hausse à partir de mars 2023 (Figure 3-13). Les moteurs de ces tendances ne sont pas clairs.



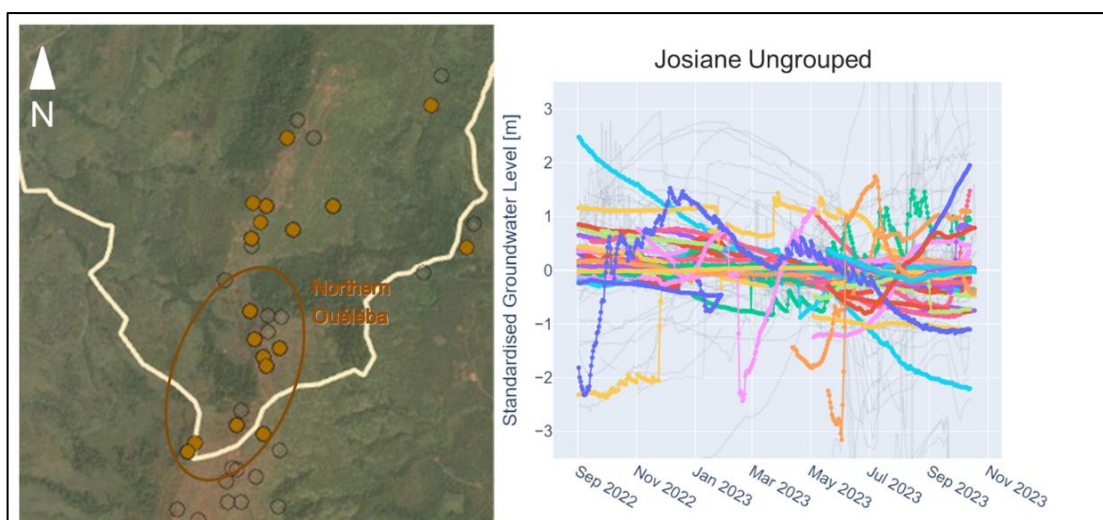


**Figure 3-14 : Tendances du Groupe 11 observées dans le nord de Ouéléba et à Josiane**

#### *Non groupés*

Les capteurs qui n'entrent pas dans un groupe particulier n'ont pas été regroupés (Figure 3-15). Les capteurs non regroupés présentent des tendances variables qui ne sont pas clairement comprises.

Dans ces cas, un enregistrement plus long des données devrait aider à comprendre les mécanismes sous-jacents qui influencent les réponses du niveau des eaux souterraines.



**Figure 3-15 : Tendances non groupées observées sur l'ensemble du site de Josiane**

L'analyse des hydrogrammes présentée ci-dessus indique un système complexe avec une gamme variée de réponses au niveau des eaux souterraines. L'analyse s'est concentrée sur les ensembles de données de la zone d'étude de Josiane et plusieurs enregistrements doivent encore se stabiliser complètement après l'installation. Il est recommandé d'actualiser l'analyse une fois que les niveaux d'eau se seront stabilisés afin de confirmer les caractéristiques de l'hydrogramme et d'informer le modèle hydrogéologique conceptuel. Cette étude devrait comprendre un examen approfondi des hydrogrammes de l'ensemble d'Ouéléba et de la surveillance historique du niveau de la nappe phréatique au Pic de Fon.



### 3.2.2 Temps de latence en fonction de la profondeur

Les temps de latence ont été tracés en fonction de la profondeur du capteur pour chaque groupe afin d'étudier les mécanismes de recharge. La Figure 3-16 montre les résultats pour le Groupe 3 (réponse saisonnière), le Groupe 6 (réponse saisonnière avec un temps de latence élevé), le Groupe 2 (réponse superficielle éclair) et le Groupe 8 (capteurs initialement secs avec d'importantes fluctuations de la saison humide). Il est à noter que bon nombre de ces points de données sont situés dans le nord de Ouéléba (comme indiqué sur la Figure 3-16). On considère comme raisonnable d'inclure ces données dans l'analyse du temps de latence par rapport à la profondeur parce qu'il est probable que les mécanismes de recharge à Josiane seront similaires à ceux du nord de Ouéléba et qu'il n'existe pas suffisamment de données disponibles à Josiane pour identifier des tendances. La similitude entre les mécanismes de recharge de Josiane et de Ouéléba sera confirmée lorsque davantage de données seront disponibles pour le gisement de Josiane.

La relation entre le temps de latence et la profondeur au sein des groupes individuels montre une augmentation générale du temps de latence avec la profondeur, reflétant la percolation de la recharge de surface à travers la zone non saturée. La relation entre le temps de latence et la profondeur varie selon les groupes, les réponses du Groupe 8 montrant des temps de latence courts (<2 semaines) à des profondeurs considérables allant jusqu'à 100 m. Les Groupes 3 et 6 présentent des temps de latence plus longs au-delà de 50 m de profondeur, à l'exception de DD13OUL939 (Groupe 3) qui présente un temps de latence beaucoup plus court d'environ 3 semaines jusqu'à une profondeur d'environ 280 m de profondeur. Les temps de latence du Groupe 6 semblent relativement peu sensibles à la profondeur.

Cela pourrait être dû aux trajets préférentiels créés par des structures de faille, qui entraînent une recharge rapide en profondeur. La présence de trajets préférentiels et la variabilité du matériau non saturé sus-jacent sont susceptibles d'expliquer la relation variable entre le temps de latence et la profondeur observée dans les piézomètres du Groupe 3.



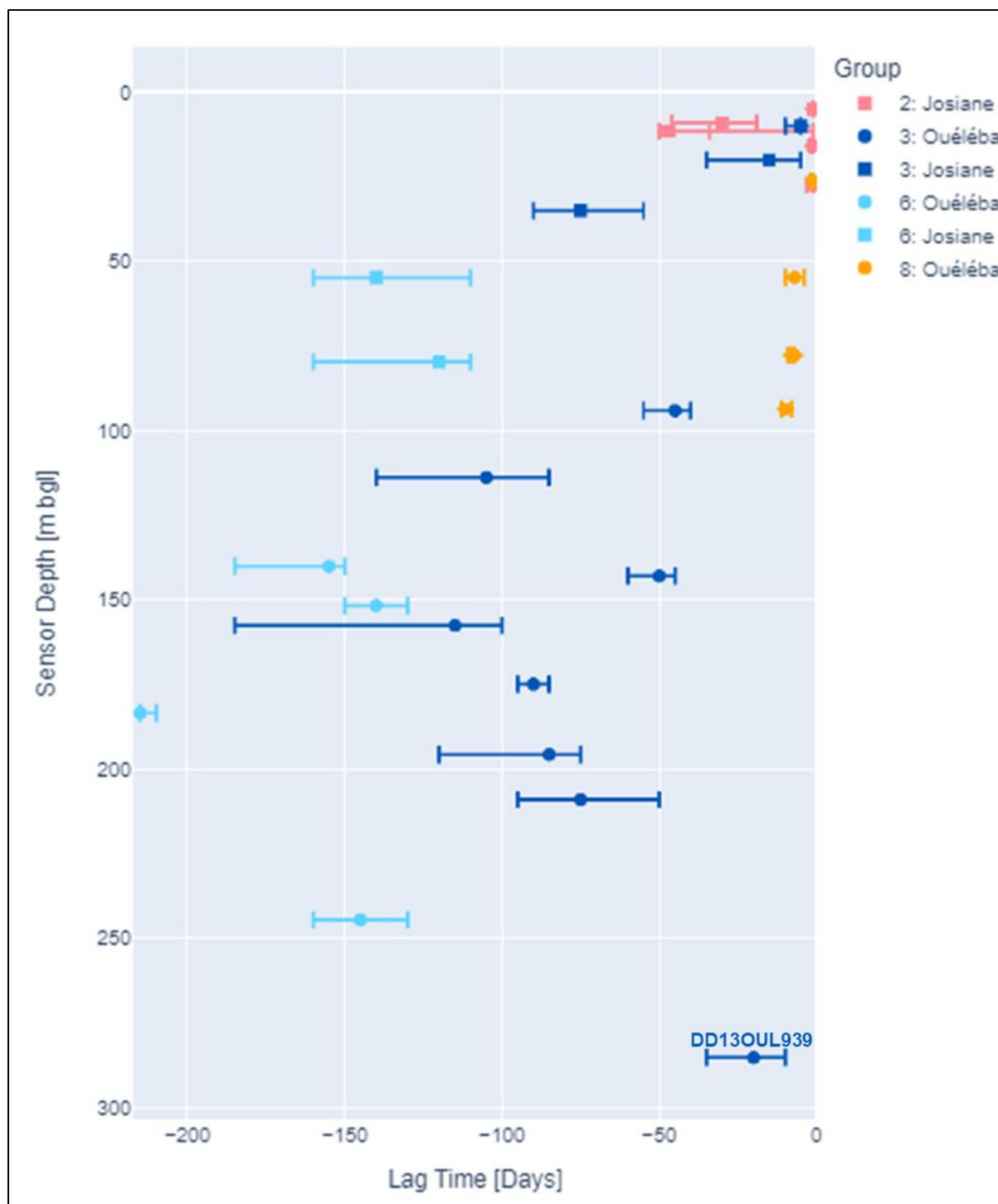


Figure 3-16 : Évolution du temps de latence de la réponse en fonction de la profondeur pour les Groupes 2, 6 et 8



### 3.3 Débits des cours d'eau et contraintes géologiques sur les gradients des eaux souterraines et les débits des sources

La Figure 3-17 montre les résultats de l'étude d'accrétion de la saison sèche entreprise en janvier-février 2022. L'étude d'accrétion indique d'importants rejets d'eaux souterraines dans :

- Le ruisseau Farako au nord (FARAK01A) : attribué à une décharge d'eau souterraine s'écoulant vers le nord depuis l'aquifère du gisement de Josiane (voir plus loin).
- La zone du Boyboyba à l'est (MIYA1B) : la majorité des rejets d'eaux souterraines dans le Boyboyba proviendrait du lobe nord-est de l'aquifère du gisement de Ouéléba, comme indiqué dans SRK, 2023a.
- Kinyeko vers l'ouest (MALA2A) : attribué à l'écoulement des eaux souterraines du lobe nord-ouest du gisement de Ouéléba, selon SRK, 2023a.

L'étude d'accrétion ne montre aucun signe d'écoulement majeur des eaux souterraines dans les parties supérieures de FARAK01A, qui est parallèle à la ligne de crête de Josiane à l'ouest, ou dans les bassins versants de FARAK01B et MIYA1-A à l'est de Josiane (qui sont à la base de la WRSF1 proposée).

L'augmentation du débit du ruisseau Farako illustrée par la Figure 3-17 peut être associée à deux failles NNE (Jos\_NE\_1 et Jos\_NE\_2) ; Figure 3-2). Aucune preuve directe ne démontre que ces failles sont perméables et des augmentations de débit sont observées à la fois en amont de la faille Jos\_NE\_2 à l'ouest, et en aval de la faille Jos\_NE\_2 à l'est comme indiqué par Figure 3-19, ce qui suggère que des structures actuellement non cartographiées ou des trajets lithologiques alternatifs peuvent également contraindre la décharge vers le nord de l'aquifère du corps minéralisé de Josiane. Les augmentations du débit des cours d'eau peuvent également s'observer lorsque les eaux souterraines s'écoulent à partir des sédiments alluviaux au niveau d'une rupture de pente, c'est-à-dire que les traces de failles conductrices ne coïncident pas nécessairement avec l'emplacement de l'augmentation du débit des cours d'eau en raison du masquage par les matériaux de couverture.

Les modèles lithologiques et structuraux mis à jour continuent d'indiquer que la principale décharge d'eau souterraine dans la Boyboyba provient de Ouéléba et est associée au contact itabirite-phyllite dans les parties supérieures du bassin versant Miya 1-8, comme l'indique l'étude hydrogéologique de référence (SRK, 2023a). Jos\_NE\_1 (qui peut être un conduit pour les décharges vers le nord comme décrit ci-dessus) s'étend le long du flanc est de la crête de Josiane et coïncide avec la source MIYA1-7 dans le Boyboyba (Figure 3-18). On en déduit donc qu'un trajet d'écoulement contraint par la structure depuis l'aquifère du gisement de Josiane peut se manifester au niveau de la source MIYA1-7.

Au sud de la selle, à la tête du bassin versant Miya 1B (Boyboyba), et immédiatement en amont des sources MIYA1-8, les données suggèrent une interaction particulièrement complexe entre le niveau des eaux souterraines, la géologie structurale et les phyllites et itabirites intercalées, les niveaux d'eau dans certains capteurs de PFV étant plus bas que les sources MIYA1-8 à haut rendement dans la forêt de Boyboyba, par exemple. Bien que les données se situent dans la limite du périmètre de cette étude Josiane, les débits dans cette zone proviennent du gisement de Ouéléba qui n'est pas l'objet de cette étude. Une évaluation plus poussée des trajets d'écoulement des eaux souterraines dans le nord de Ouéléba et des mécanismes de décharge dans la forêt de Boyboyba est recommandée, mais n'est pas approfondie dans le présent rapport.



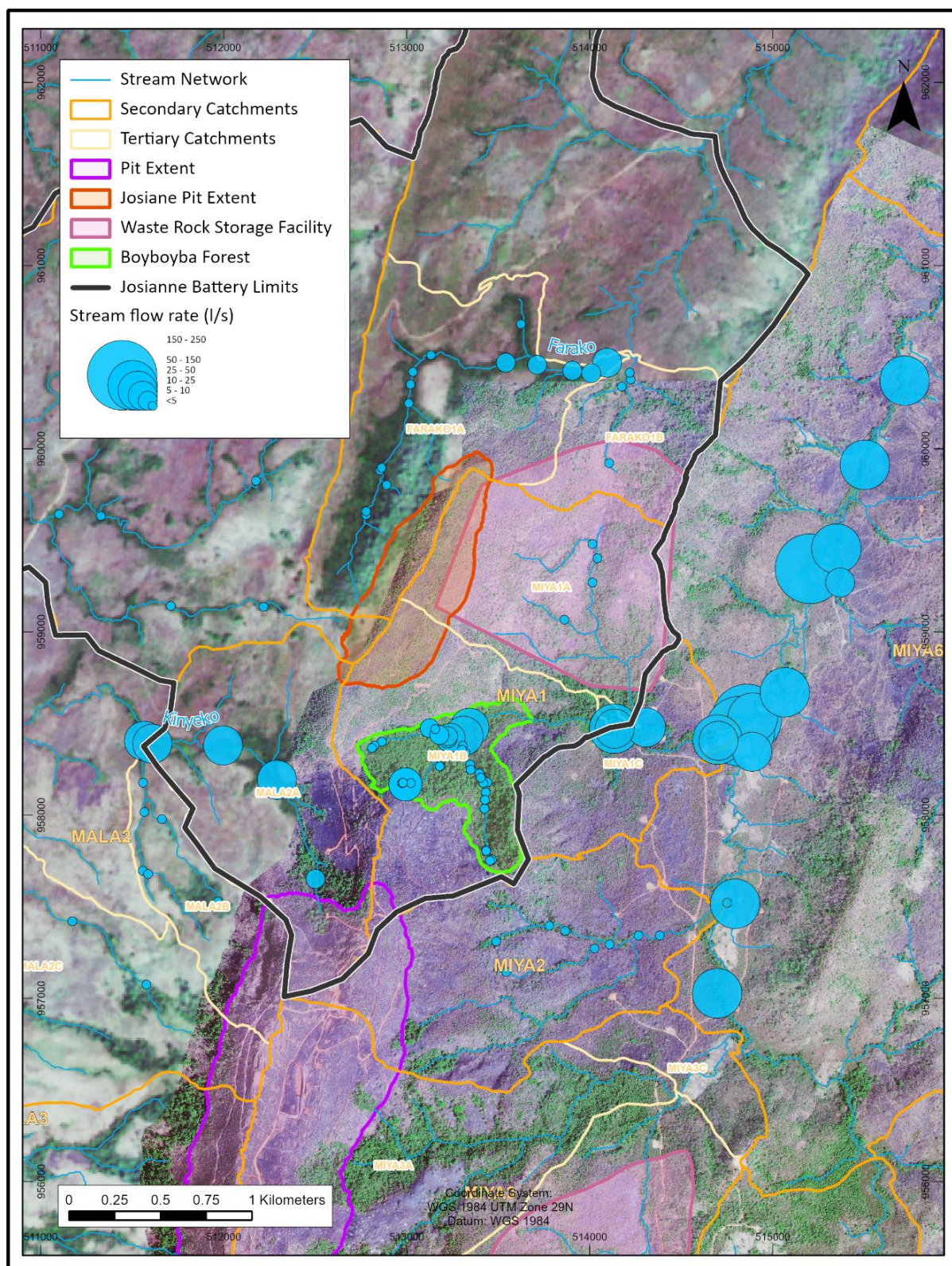
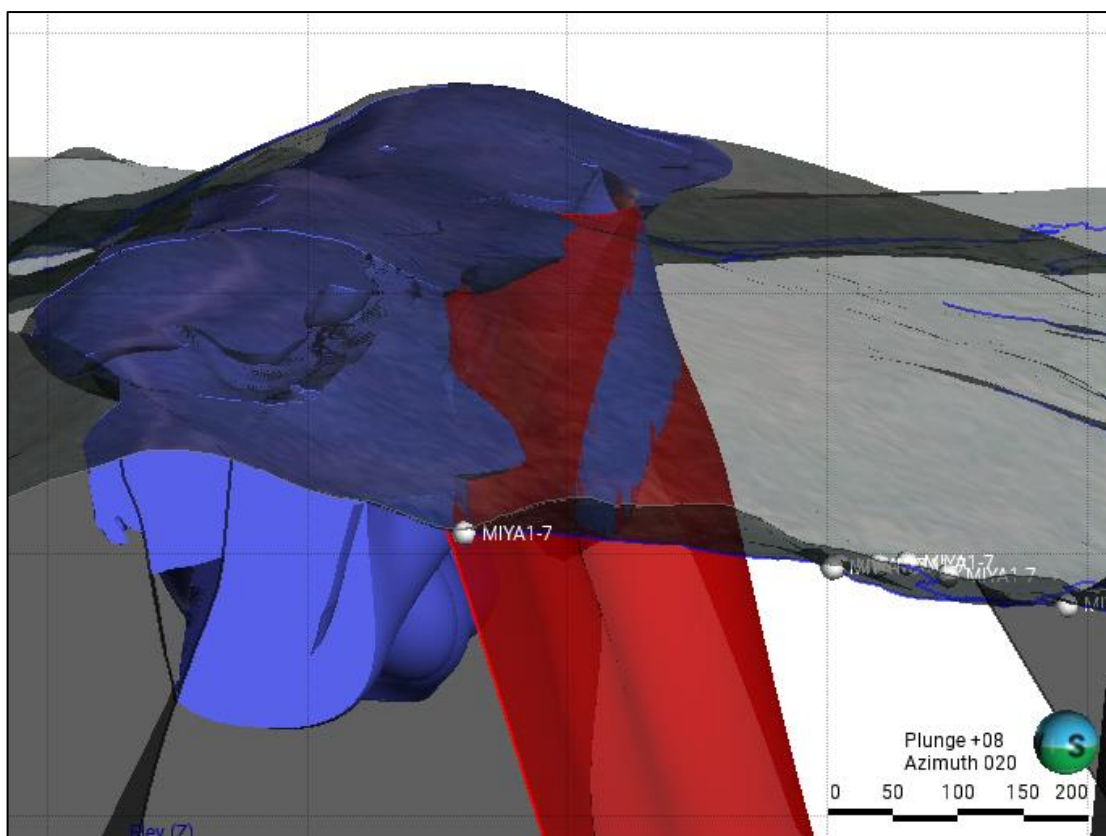
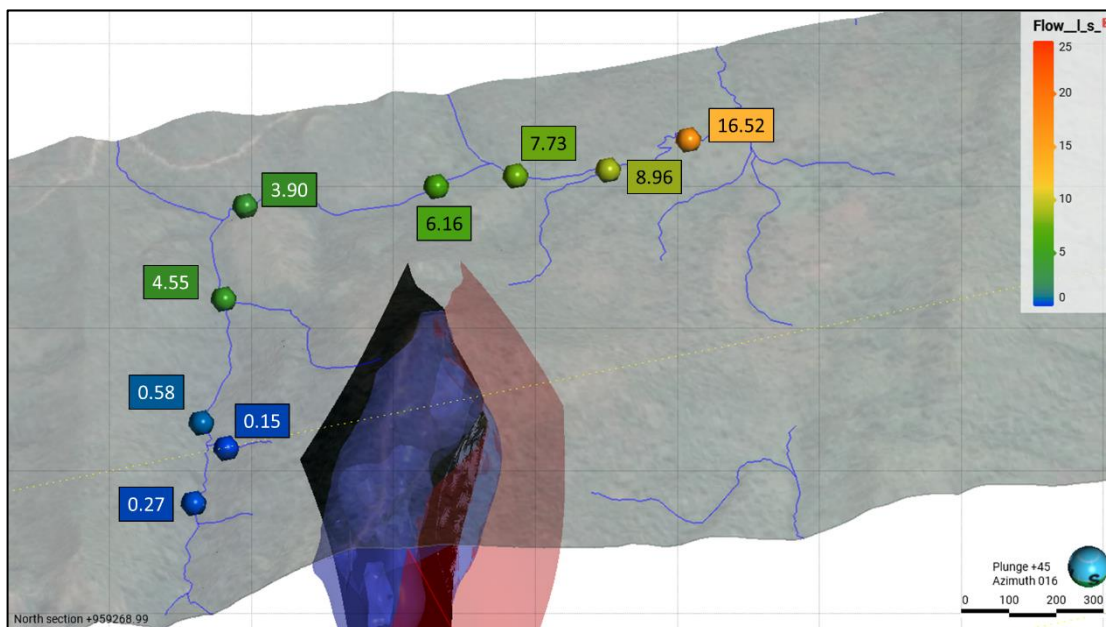


Figure 3-17 : Enquête sur les débits en saison sèche dans la région de Josiane





**Figure 3-18 :** Vue oblique vers le NNW le long de Josiane montrant la faille JOS\_NE\_1 (en rouge) et l'aquifère du gisement de Josiane (en bleu) par rapport à la source Miya1-7 (en blanc)



**Figure 3-19 :** Vue oblique en direction du NNE le long de Josiane montrant les failles JOS\_NE\_1 (en rouge) et Jos\_NE\_2 (en noir) et l'aquifère du gisement de Josiane (en bleu) par rapport au débit observé en 2022 en saison sèche dans le bassin versant de FARAQ01A



### 3.4 Qualité de l'eau

#### 3.4.1 pH et conductivité électrique (CE)

La Figure 3-20 montre la répartition du pH, de la conductivité électrique (CE) et du débit enregistrés au cours de l'étude d'accrétion de la saison sèche 2022. Les données du Boyboyba enregistrées dans l'étude de 2023 sur le débit et la qualité de l'eau pendant la saison sèche (SRK, 2023b) sont présentées sur la Figure 3-21.

Les travaux historiques à Simandou (SRK, 2023a) ont indiqué que :

- La CE des sources et des eaux de surface près des lignes de crête est extrêmement faible et reflète la nature fortement lessivée des lithologies du corps minéralisé.
- En général, on observe une augmentation de la CE en s'éloignant de la ligne de crête. La modification de la CE et de l'alcalinité est attribuée au débit de référence des eaux souterraines plus minéralisées associées aux quartzites et aux aquifères du socle, et peut-être aussi à l'interaction géochimique avec les dépôts alluviaux. La source de l'alcalinité reste incertaine, mais les processus d'altération dans la zone du sol sont considérés comme la source la plus plausible étant donné la présence limitée de carbonates dans la géologie locale.
- Comme pour la CE, le pH a tendance à augmenter avec la distance par rapport à la ligne de crête. Les changements rapides du pH au point de décharge empêchent de s'y fier en tant qu'indicateur de la source d'eau souterraine, bien que l'on observe une corrélation entre les eaux de surface à pH relativement bas et les décharges de sources provenant du gisement de minerai.

L'examen des données entrepris à l'appui de cette étude a révélé les éléments suivants :

- Les débits dans le bassin versant de FARAKO1A à l'ouest et au nord sont caractérisés par des débits à CE très faible comparables à ceux que l'on observe plus au sud sur Ouéléba (Figure 3-20).
- Les valeurs élevées de CE dans les bassins versants FARAK01B et MIYA1-A à l'est de Josiane (qui sous-tendent le projet WRSF1), également indiquées sur Figure 3-20, sont toutes associées à des débits très faibles ( $<0,1$  l/s). Ces échantillons sont probablement affectés par l'évapoconcentration et ne sont pas considérés comme des indicateurs fiables de l'écoulement des eaux souterraines.
- Les données de l'étude de la saison sèche 2023 de Boyboyba (Figure 3-21) ont indiqué une zone de CE élevée dans le secteur inférieur du bassin versant MIYA1-7 qui n'était pas évidente dans les études précédentes. Ces eaux souterraines à la CE plus élevée semblent être associées à l'écoulement depuis des quartzites qui sont exposées au-dessus du chenal du cours d'eau sur le côté nord du bassin versant MIYA1-7 et sont évidentes dans les lits du cours d'eau sous la forme de graviers de quartzite<sup>4</sup>.

<sup>4</sup>La zone des eaux de surface à forte CE devrait être prise en compte dans les études de débit environnemental en cours, compte tenu des incertitudes entourant la dépendance de la vie aquatique à l'égard des eaux de surface à très faible teneur en matières dissoutes.



- Le cours supérieur du MIYA1-7 semble caractéristique d'une décharge de gisement de minéral avec des valeurs de pH et de CE faibles, tout comme le bassin versant du MIYA1-8 situé immédiatement au sud.



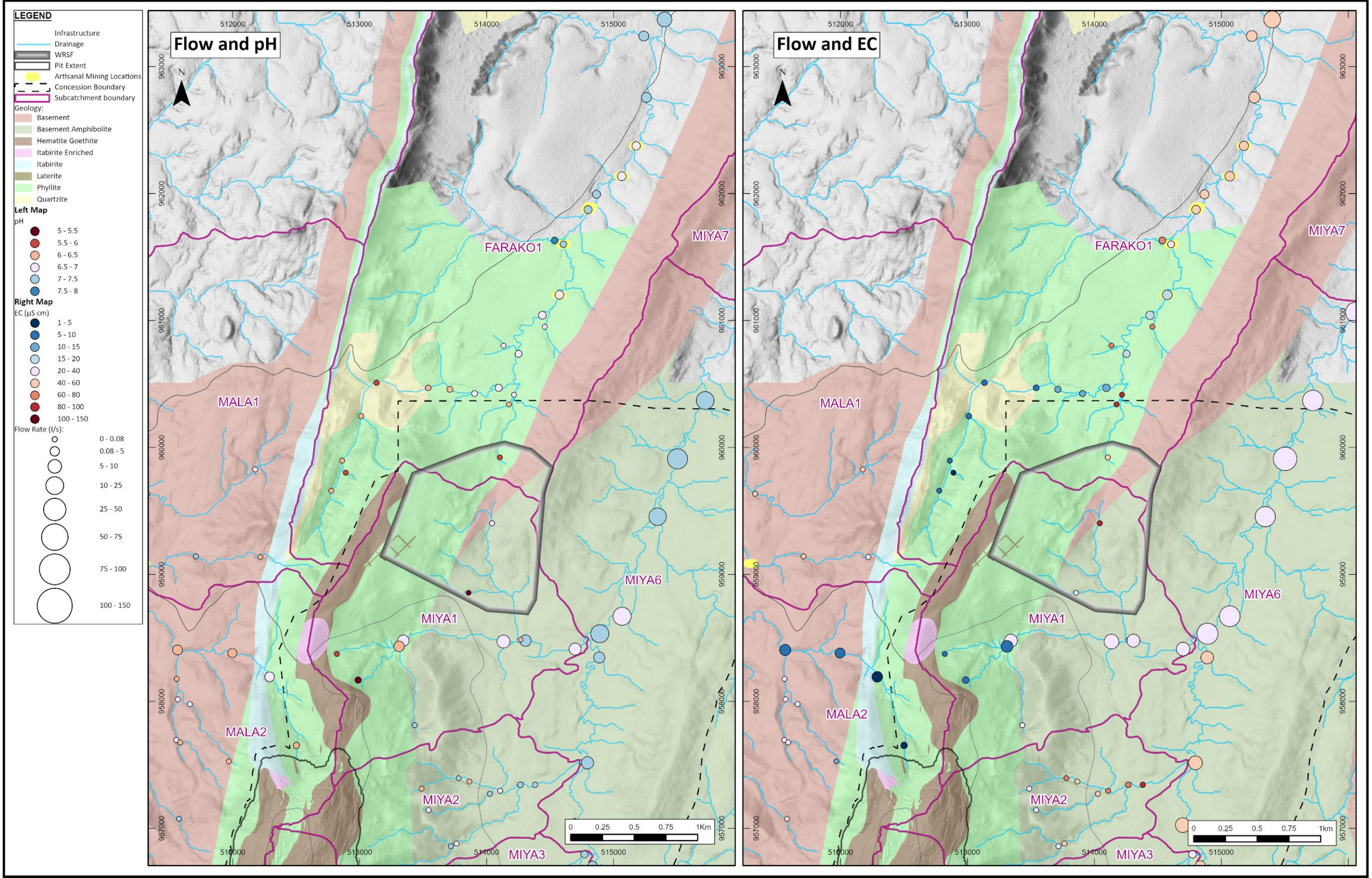


Figure 3-20 : Répartition spatiale du pH, de la conductivité électrique et du débit : Josiane 2022, Saison sèche



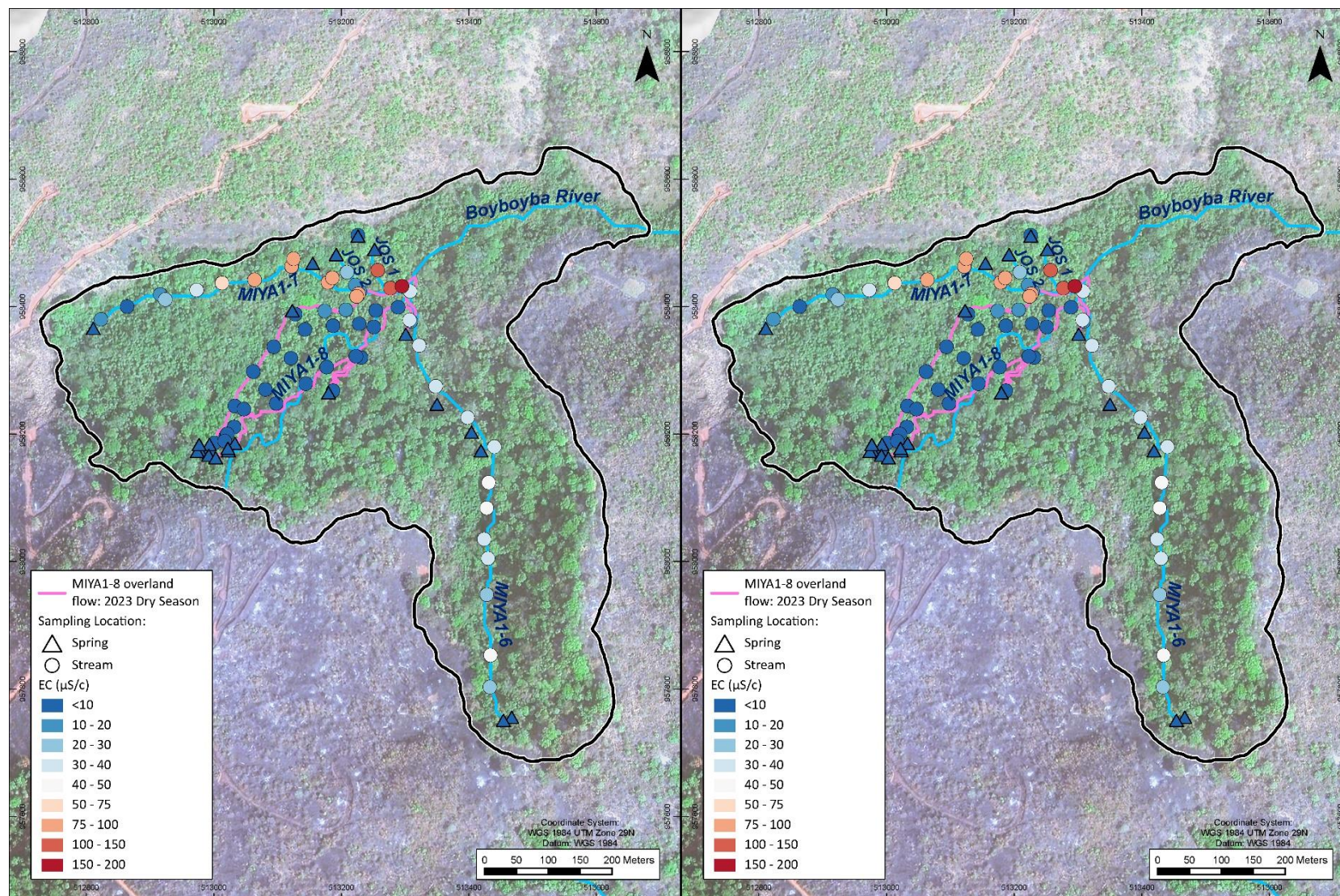


Figure 3-21 : Répartition spatiale du pH et de la conductivité électrique : Boyboyba 2023, Saison sèche



### 3.4.2 Étude des isotopes stables

L'étude isotopique à l'échelle du site est détaillée dans le rapport de référence de 2023 sur les eaux souterraines (SRK, 2023a). En résumé, l'appauvrissement en  $\delta^{18}\text{O}$  (et  $\delta^2\text{H}$ ) reflète l'altitude à laquelle la recharge des eaux souterraines a eu lieu, et le fait que l'aquifère du corps minéralisé de Ouéléba soit rechargé à des altitudes plus élevées le long de la ligne de crête signifie qu'un appauvrissement plus important est prévu par rapport aux eaux souterraines rechargées sur les flancs de la montagne ou dans les plaines de basse altitude.

La Figure 3-22 montre l'appauvrissement en oxygène en fonction de la CE et des débits de la saison sèche 2022. L'appauvrissement isotopique à KANI1-04 et KANI2-01 est similaire à celui qu'on observe à la source Miya1-7 dans le Boyboyba, ce qui peut indiquer une source aquifère commune (c'est-à-dire l'aquifère du gisement de Josiane). Ces relevés sont nettement moins appauvris que les sources MIYA1-8 et OUL1\_GS qui sont alimentées par le gisement de Ouéléba au sud, comme on pourrait s'y attendre compte tenu de l'altitude plus élevée de la ligne de crête de Ouéléba<sup>5</sup>.

La Figure 3-23 montre les données d'appauvrissement en  $\delta^{18}\text{O}$  de l'étude de janvier 2023 sur le débit et la qualité de l'eau pendant la saison sèche (SRK, 2023b) sous la forme d'une vue oblique orientée vers le sud-ouest de la Boyboyba :

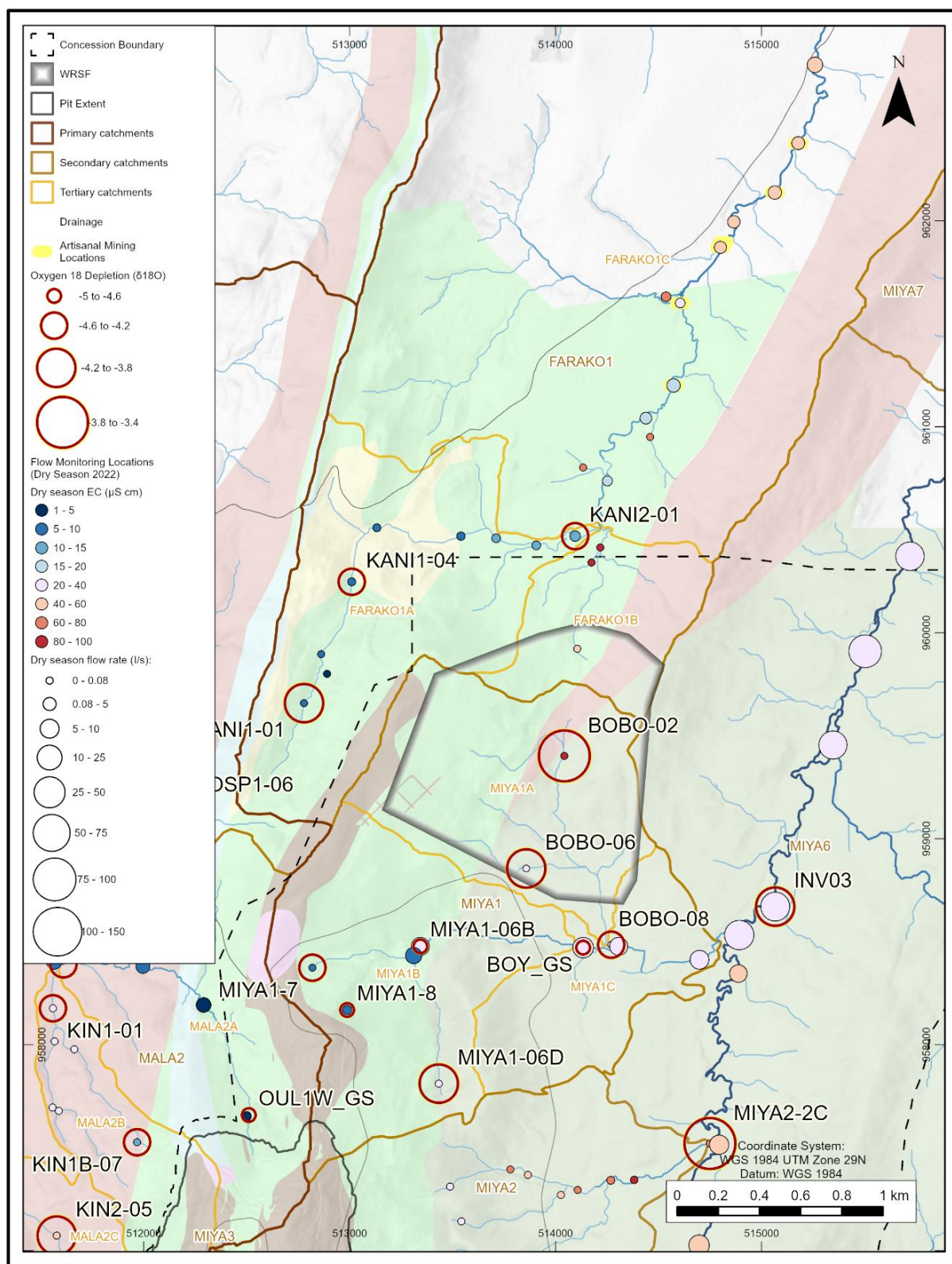
- La zone d'écoulement terrestre de MIYA1-8 (centre de l'image) est dominée par un  $\delta^{18}\text{O}$  fortement appauvri, comme prévu sur la base du modèle hydrogéologique conceptuel d'Ouéléba présenté dans SRK, 2023a.
- Le drainage MIYA1-6 présente les niveaux les plus bas d'appauvrissement en  $\delta^{18}\text{O}$  (3 points rouges à gauche de l'image), ce qui est également cohérent avec le modèle hydrogéologique conceptuel présenté dans SRK, 2023a.
- Le drainage MIYA1-7 à la droite de l'image montre des concentrations de  $\delta^{18}\text{O}$  modérément appauvries à la source (comme observé dans l'étude de 2022 et décrit ci-dessus). Les concentrations en  $\delta^{18}\text{O}$  s'appauvrissent ensuite en allant vers l'aval et sont comparables à celles que l'on observe dans la zone d'écoulement de surface MIYA1-8 au sud.

Les concentrations de  $\delta^{18}\text{O}$  fortement appauvries dans les tronçons inférieurs du drainage MIYA1-7 n'étaient pas prévues et suggèrent que la majorité de l'écoulement des eaux souterraines dans les tronçons inférieurs du drainage MIYA-7 peut provenir de l'aquifère du gisement de Ouéléba au sud, avec une contribution relativement faible provenant de Josiane. Il conviendra d'approfondir cette évaluation une fois que l'on disposera d'un ensemble plus important de données sur les isotopes stables provenant des puits pilotes d'assèchement et de surveillance.

---

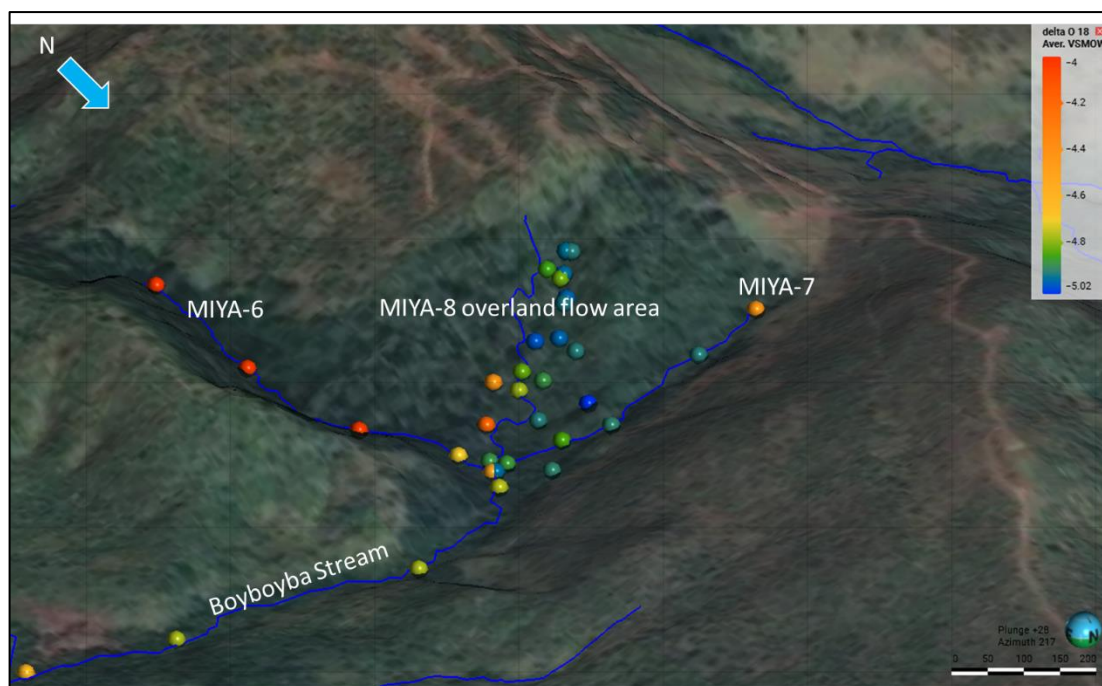
<sup>5</sup>La majeure partie de l'affleurement de l'aquifère du gisement de Ouéléba (et donc de la zone de recharge) se situe entre 1100 et 1330 m au-dessus du niveau de référence (mRL). L'aquifère du gisement de Josiane affleure entre 900 et 960 mRL.





**Figure 3-22 : Appauvrissement en oxygène 18 et conductivité électrique avec l'étude de 2022 sur l'accrétion du débit en saison sèche**





**Figure 3-23 : Appauvrissement en oxygène 18 à partir de l'étude du débit et de la qualité de l'eau de la saison sèche à Boyboyba en janvier 2023 (en regardant vers le sud-ouest)**

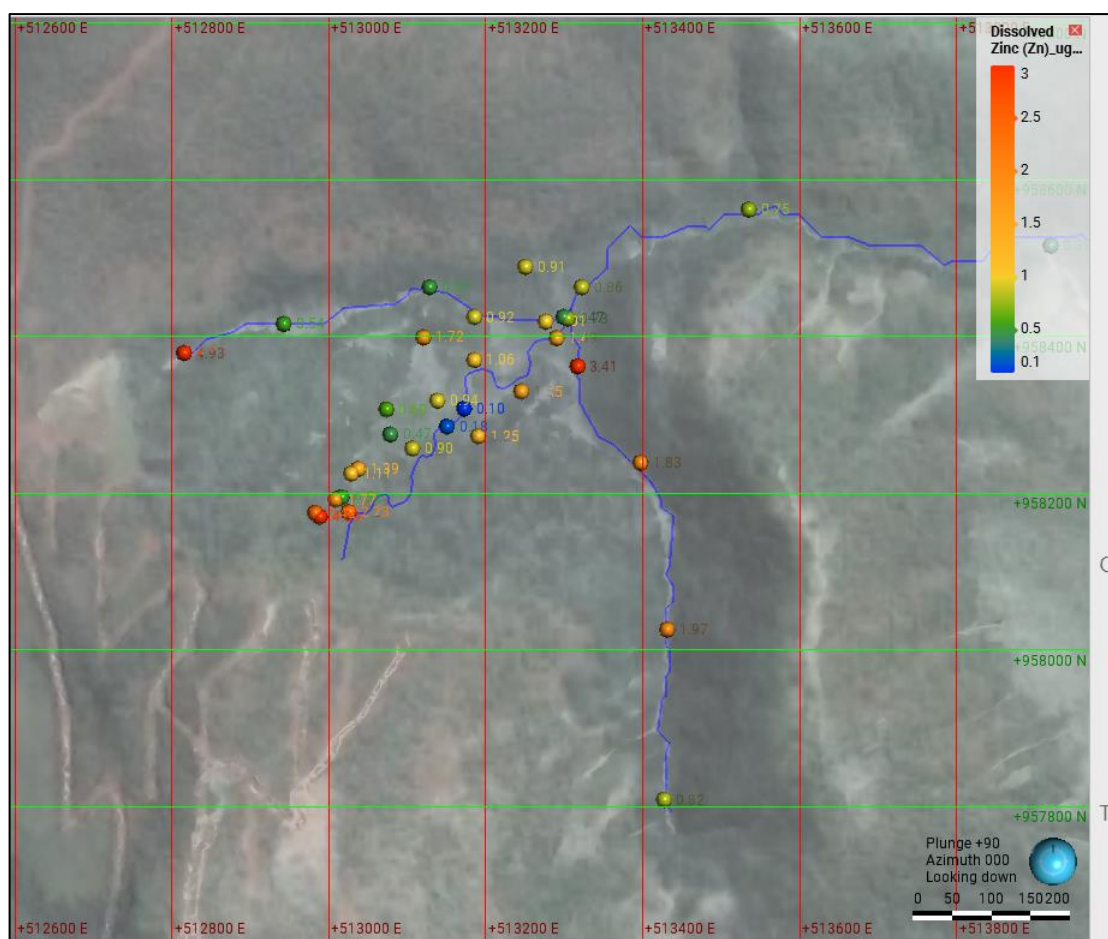
### 3.4.3 Oligoéléments

SRK, 2023a a fait les observations suivantes concernant les schémas spatiaux pour les oligoéléments dans les sources et les eaux de surface :

- Les concentrations de cuivre, de fer et de manganèse dissous sont généralement plus faibles dans les bassins versants de montagne que dans les bassins versants de plaine correspondants, bien qu'il y ait une variabilité entre les différents bassins versants.
- Les concentrations de zinc dissous sont généralement plus élevées dans les bassins versants des hautes terres que dans les bassins versants des basses terres correspondants et semblent être associées aux rejets primaires de l'aquifère du gisement.

Les données sur les métaux de la campagne de 2022 sur la qualité de l'eau de la saison sèche (comme indiqué dans SRK 2023d) et les études de la saison sèche 2023 dans le Boyboyba (SRK, 2023b) indiquent des concentrations élevées de zinc dans les sources à la tête des bassins versants Miya1-7 et Miya1-8 dans le Boyboyba, puis une tendance générale à la réduction en allant vers l'aval (Figure 3-24). Des concentrations modérément élevées de zinc sont également observées dans les tronçons inférieurs du bassin versant MIYA1-6, qui s'écoule vers le nord, sur le côté est du Boyboyba, ce que l'on peut associer aux décharges d'eaux souterraines provenant des schistes de la paroi inférieure et des lithologies FFR inférieures. On ne considère pas que les concentrations élevées dans Miya1-6 et Miya1-8 soient associées au gisement de Josiane car elles sont plutôt associées aux rejets d'eaux souterraines de Ouéléba ; Miya1-7 peut cependant être associé à un écoulement vers le sud du gisement de Josiane. Aucune concentration élevée de zinc n'est observée dans le bassin versant de FARAKO1A, qui reçoit les eaux souterraines de Josiane s'écoulant vers le nord.





**Figure 3-24 : Répartition des concentrations en Zinc dissous ( $\mu\text{g/l}$ ) dans le bassin versant du Boyboyba (données de janvier 2023)**

La zone où la CE des eaux souterraines est plus élevée dans les tronçons inférieurs du bassin versant de Miya1-7 ne présente aucune indication de taux élevés d'oligoéléments, et la CE plus élevée est attribuée à des taux plus élevés de calcium, de magnésium et d'alcalinité.

Les données des enquêtes des saisons sèches de 2022 et 2023 relatives au cuivre, au fer et au manganèse ont également été examinées et aucune tendance spatiale claire n'est évidente. Des concentrations élevées de cuivre dissous ont été identifiées dans le bassin versant Miya1-8 dans le Boyboyba. Toutefois, les concentrations totales de cuivre à ces endroits sont nettement plus faibles ; ces échantillons n'ont donc pas satisfait aux critères d'ACQ et sont considérés comme présentant un niveau de confiance très faible.

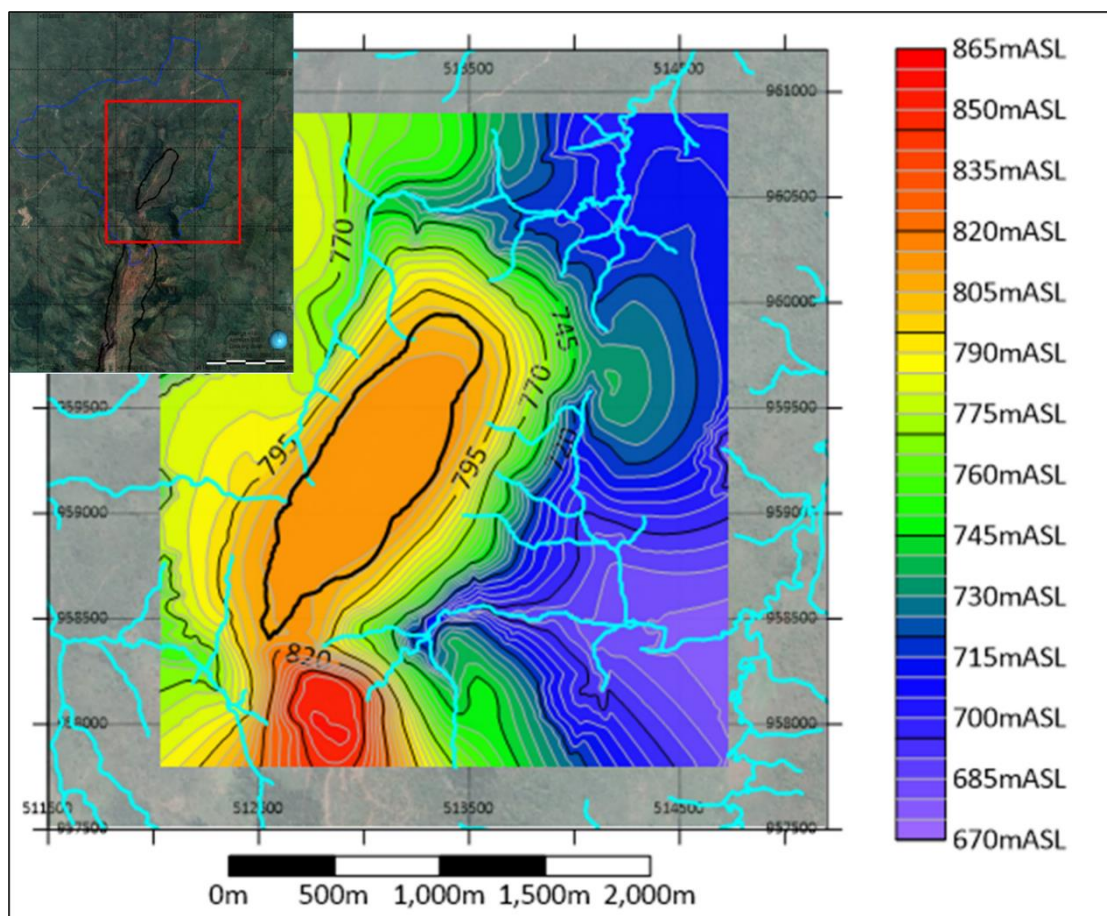
### 3.5 Gradient et aires des eaux souterraines

Figure 3-25 montre l'aire des eaux souterraines interpolée à partir d'une combinaison de données sur le niveau des eaux souterraines, de résultats d'un modèle numérique (SRK, 2023c) et de la compréhension conceptuelle de l'aquifère du corps minéralisé de Josiane. On remarque que :

- Les capteurs présentant une stabilisation continue après l'installation du PFV sont exclus.
- L'aire des eaux souterraines a été subdivisée en fonction de la zone présentant la plus grande densité de données (et donc la plus grande certitude).



- Lorsque les données du PFV indiquent des gradients hydrauliques verticaux dans l'aquifère du corps minéralisé, le niveau d'eau le plus élevé a été utilisé pour générer l'aire des eaux souterraines (par exemple LINE006 vers le nord de Josiane comme indiqué sur la Figure 3-27).



**Figure 3-25 : Courbes extrapolées des eaux souterraines dans la zone minière de Josiane**

La Figure 3-26 montre la profondeur de l'eau dans la zone minière de Josiane. Elle a été calculée en soustrayant l'aire prévue des eaux souterraines de la topographie. Elle permet la vérification ACQ mais peut également être comparée à la profondeur de la mine pour la planification de l'exploitation.

Les coupes transversales de la zone minière de Josiane avec les données hydrogéologiques utilisées pour générer l'aire des eaux souterraines sont présentées sur Figure 3-28. Figure 3-29 met en évidence la zone de la fosse qui sera exploitée en dessous de la surface de la nappe phréatique prévue avant l'exploitation.



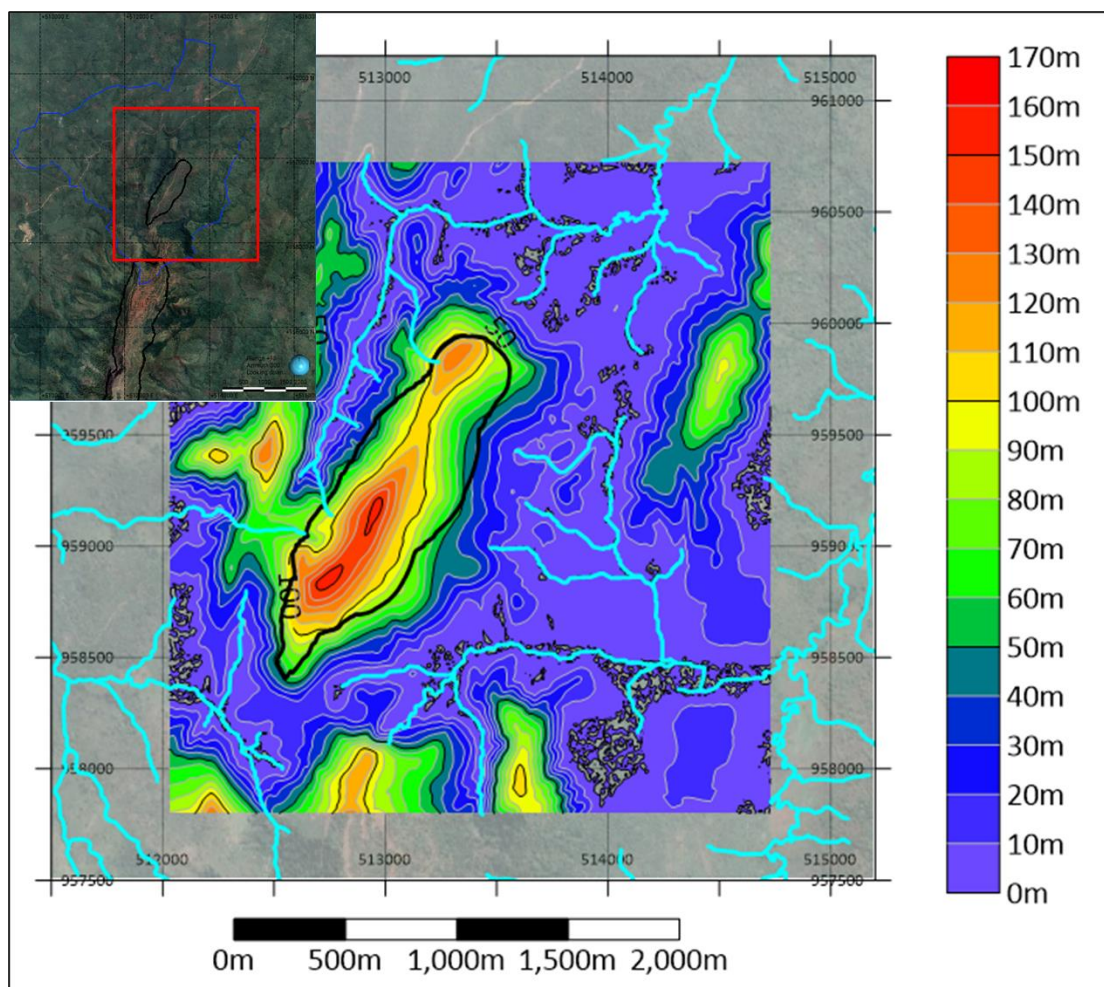


Figure 3-26 : Courbes de profondeur de l'eau dans la zone minière de Josiane

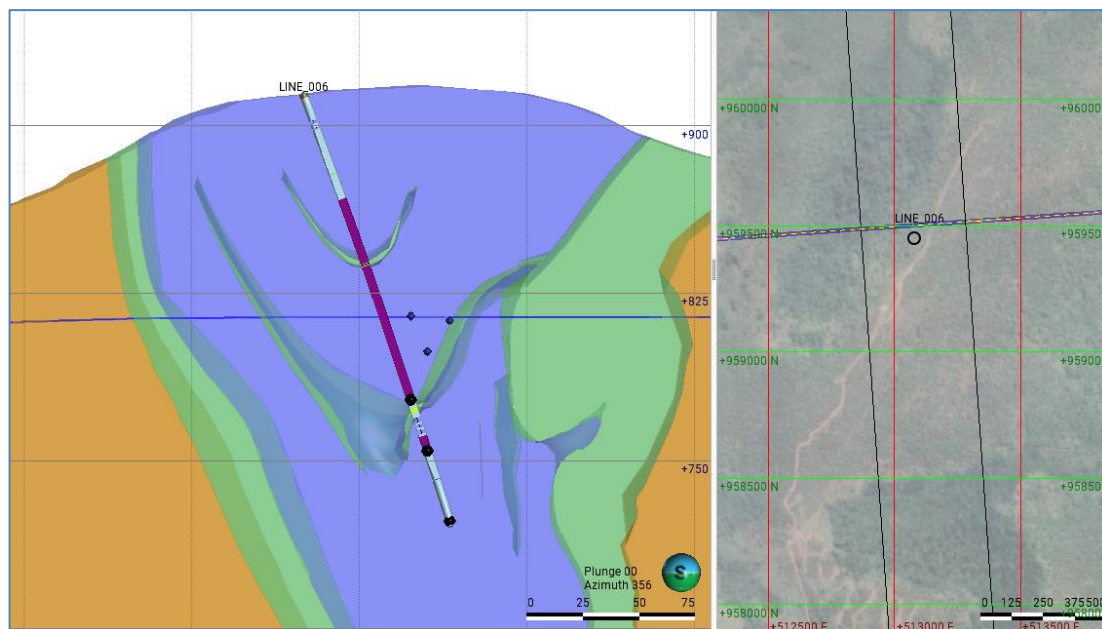
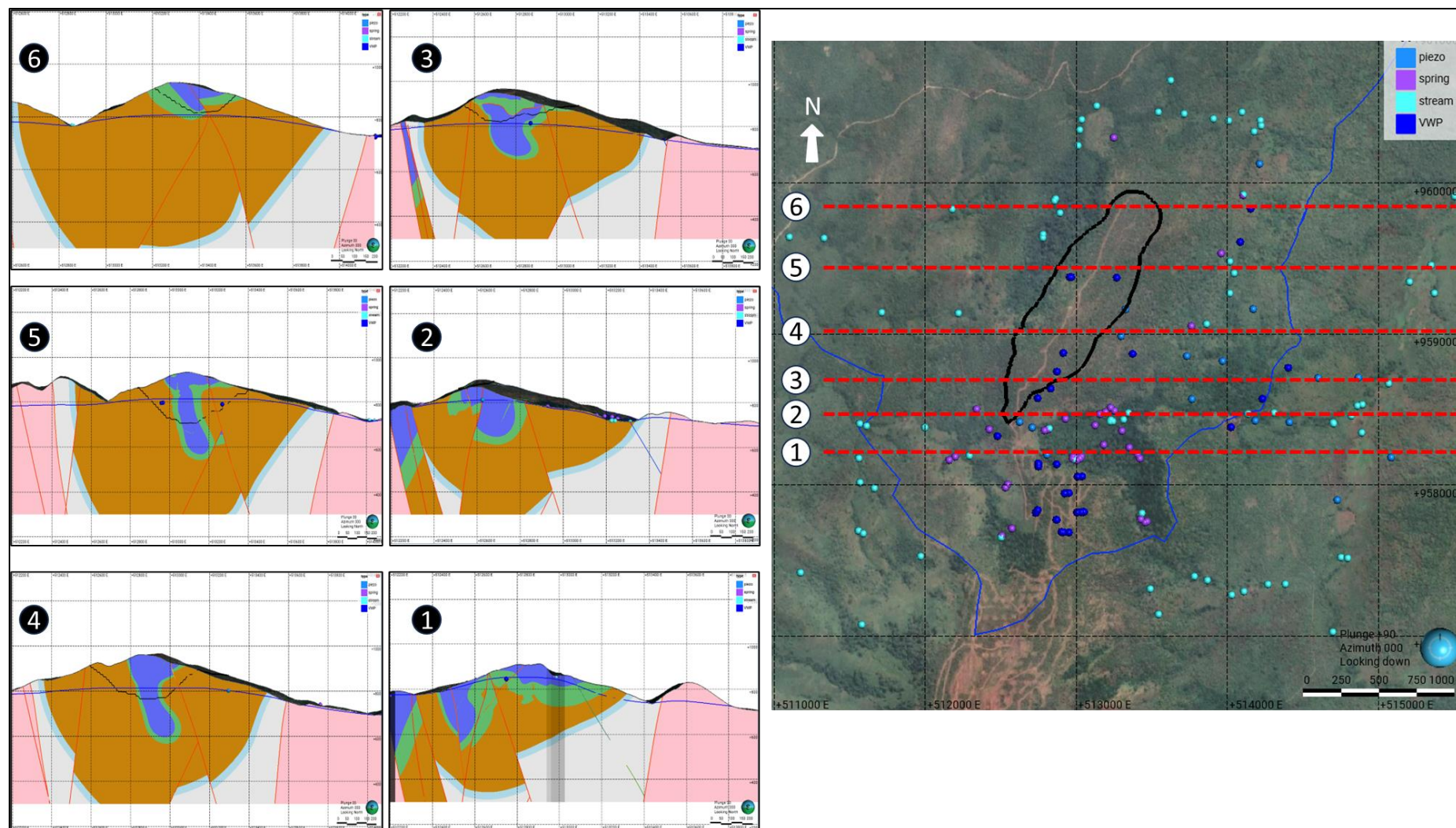
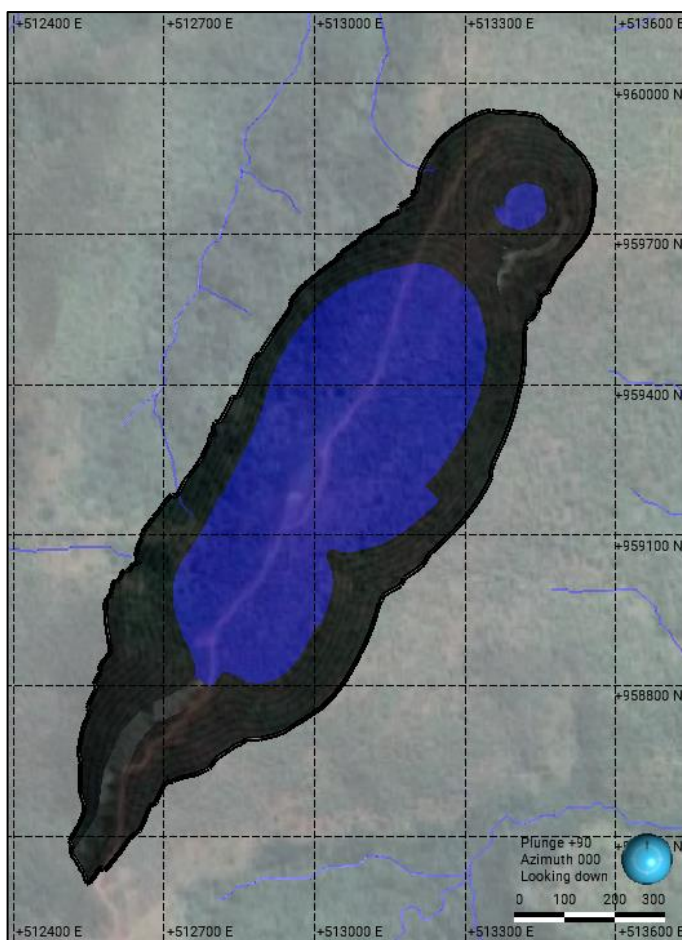


Figure 3-27 : Exemple de l'aire de la nappe phréatique de Josiane guidée par les niveaux d'eau de PFV les plus élevés observés dans LINE006









**Figure 3-29 : Zone de la fosse définitive de Josiane qui sera exploitée en dessous du niveau de la nappe phréatique avant exploitation**

## 4 MODÈLE CONCEPTUEL DE JOSIANE

### 4.1 Introduction

Un modèle hydrogéologique conceptuel peut être décrit comme une image idéalisée d'un système hydrogéologique, développée à partir de l'interprétation de toutes les données disponibles sur les eaux souterraines. Il exige généralement une simplification du réseau d'eau souterraine réel afin de se concentrer sur :

- Les principaux processus d'écoulement des eaux souterraines, et
- Les zones d'incertitude dans notre compréhension du système.

Les modèles conceptuels sont généralement développés en tant que précurseurs de la modélisation numérique de l'écoulement. Le modèle conceptuel est utilisé pour fournir un résumé de l'interprétation actuelle des systèmes d'écoulement des eaux souterraines dans la région.

Le modèle hydrogéologique conceptuel pour les crêtes de Ouéléba et du Pic de Fon de la chaîne du Simandou est présenté dans SRK, 2023a. La Figure 4-1 résume le modèle hydrogéologique conceptuel de l'état de référence pour Josiane.



De plus amples détails sur la recharge, l'écoulement et les trajets hydrauliques sont fournis dans les sections suivantes. Le cas échéant, le texte fait référence au modèle Ouéléba/Pic de Fon tel que décrit dans SRK 2023a avec la représentation visuelle sommaire en 3D incluse dans ce rapport à l'Annexe E.

## 4.2 Recharge

La recharge a déjà été caractérisée à Ouéléba (SRK, 2023a) et on considère comme très probable que les mêmes mécanismes s'appliquent à Josiane étant donné la similitude du climat, de l'utilisation des terres, de la géologie et de la topographie de la ligne de crête. Pour plus de détails, le lecteur est invité à se reporter au rapport de référence sur les eaux souterraines (SRK, 2023a) et au modèle numérique en 3D des eaux de surface et des eaux souterraines, ainsi qu'au rapport sur le bilan hydrologique et le bilan de charge à l'échelle du site (SRK, 2023c), en particulier à la discussion sur la modélisation SWAc. Les principales conclusions sont résumées dans la figure du modèle conceptuel de Ouéléba, qui figure à l'Annexe E. En bref :

- Les précipitations directes et le ruissellement de surface localisé constituent la seule source d'alimentation de l'aquifère du corps minéralisé.
- La recharge directe du gisement est importante et les taux de ruissellement des eaux de surface sont relativement faibles.
- Des écoulements latéraux peu profonds « perchés » dans la phyllite (PHY) et le CAP, finissent par alimenter l'aquifère plus profond du corps minéralisé.
- Les pluies directes sur les flancs de PHY avec peu de preuves de trajets de recharge préférentiels dans les phyllites et les quartzites (QTZ) / siliciclastiques. On notera que le QTZ dans la région de Josiane est considéré comme plus fréquent et plus grossier que celui de Ouéléba, ce qui peut améliorer les trajets de recharge potentielles dans le QTZ.



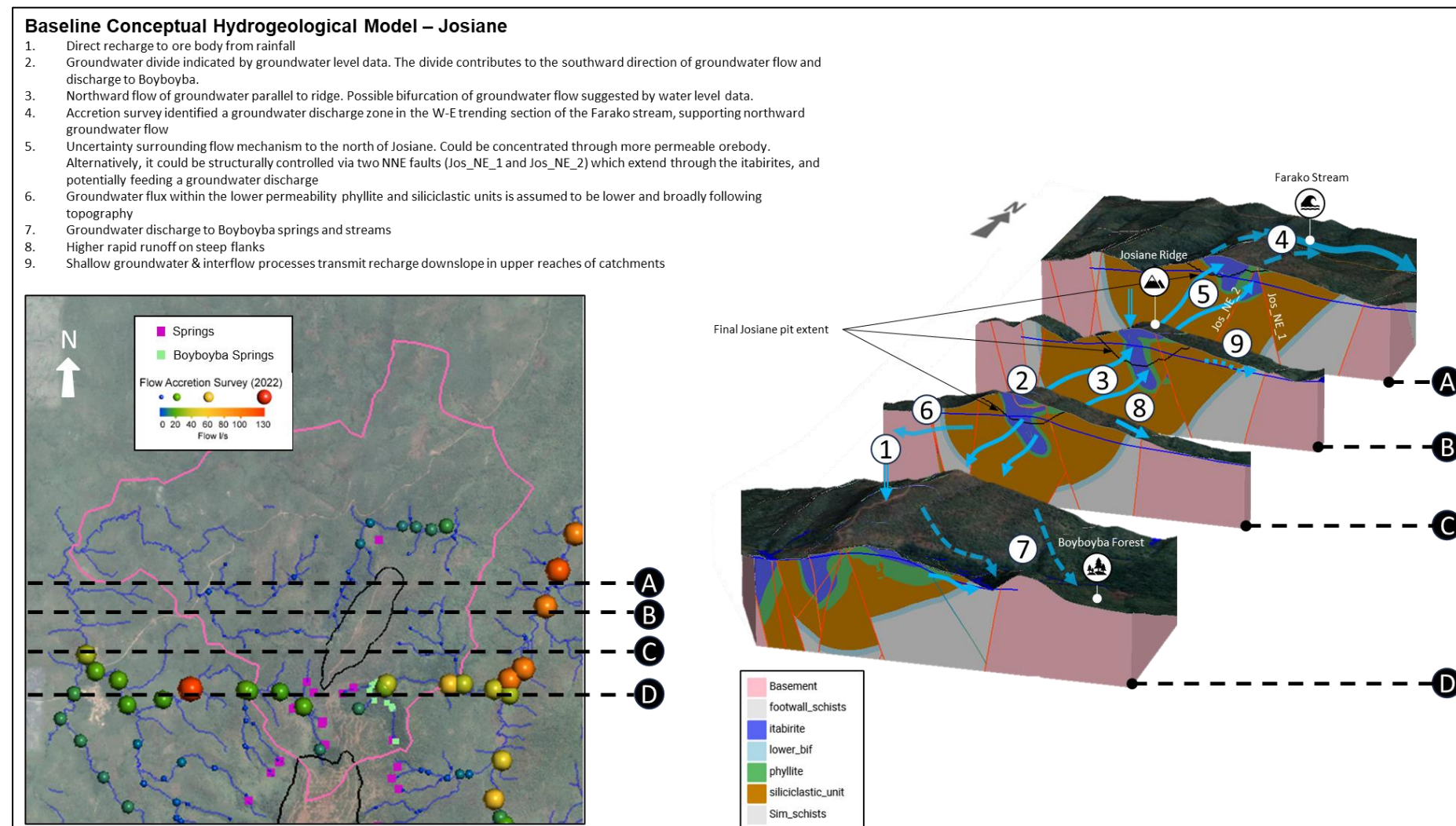


Figure 4-1 : Modèle conceptuel de Josiane mis à jour



L'analyse des eaux souterraines entreprise dans le cadre de cette étude a révélé les éléments suivants en ce qui concerne la compréhension conceptuelle de la recharge :

- Plusieurs capteurs peu profonds dans les matériaux de canga et de socle montrent des réponses éclair aux événements pluvieux ; la saturation totale des 5 m supérieurs est observée à un endroit. Le rejet de la recharge est probablement dû à la saturation totale des matériaux proches de la surface (appelée « écoulement de surface dunnien »). La composante d'« écoulement intercalaire » du bilan hydrologique du bassin versant augmentera également en cas de saturation totale de la surface proche.
- Bien que ces processus ne soient actuellement observés que dans les zones basses, on s'attend à ce que des processus similaires se produisent sur les flancs du gisement ainsi que sur les lignes de crête de Josiane et de Ouéléba, où les précipitations sont plus importantes et où des nappes phréatiques perchées peu profondes sont localement présentes.
- Des réponses de recharge éclair sont observées en profondeur dans le gisement de Ouéléba, ce qui suggère des trajets de recharge préférentiels à travers la zone non saturée et un faible coefficient d'emmagasinement de la masse rocheuse. Des réponses sont observées dans les phyllites, ce qui suggère la présence d'une porosité secondaire conductrice dans ces unités. Bien que ces tendances n'aient pas été observées dans les données de Josiane, on suppose actuellement que des mécanismes de recharge similaires s'appliquent aux deux corps minéralisés.

### 4.3 Décharge

On considère que l'écoulement principal de la crête de Josiane se fait vers le nord, en direction du ruisseau de Farako. Cependant, les niveaux des eaux souterraines indiquent une ligne de partage des eaux souterraines est-ouest à l'extrémité sud de la crête, avec des écoulements vers le sud de la ligne de partage. Les données indiquent un écoulement limité des eaux souterraines sur les flancs est et ouest.

Les données de l'étude d'accrétion suggèrent que les flux nord et sud s'écoulent respectivement dans les bassins versants de Farako et de Boyboyba. Une décharge contrainte par la structure est implicite entre l'aquifère du gisement de Josiane et la source MIYA1-7, mais le mécanisme de décharge à travers les unités silicoclastiques vers les tronçons inférieurs du drainage MIYA1-7 dans la Boyboyba est incertain et les données d'isotopes stables indiquent que la majorité de la décharge de ces unités pourrait provenir de la ligne de crête de Ouéléba au sud. Les trajets hydrauliques potentiels sont examinés ci-dessous à la section 0.

Comme indiqué précédemment dans la section 3.3, des augmentations du débit des cours d'eau peuvent se produire lorsque les eaux souterraines s'écoulent à partir des sédiments alluviaux au niveau d'une rupture de pente, ce qui signifie que les trajets d'écoulement (structurels ou lithologiques) ne doivent pas nécessairement se croiser exactement avec les augmentations observées du débit des cours d'eau (par exemple, le drainage de FARAKO1A au nord de Josiane).



## Trajets hydrauliques

En l'absence d'essais hydrauliques à Josiane, on suppose que les propriétés hydrauliques du gisement sont similaires à qu'on observe à Ouéléba, avec un écoulement intergranulaire dominant dans les unités friables, mais complété par des trajets préférentiels et des vides.

Inversement, dans les roches moins altérées, la porosité secondaire, contrainte par des structures perméables, domine l'écoulement des eaux souterraines (plutôt que l'écoulement intergranulaire).

Les itabirites au nord de Josiane ne sont pas saturées et il n'existe pas de trajet lithologique clair vers le ruisseau Farako. Il est possible que les failles orientées vers le nord-ouest (Jos\_NE\_1 et Jos\_NE\_2) exercent une contrainte structurelle sur le trajet d'écoulement vers le nord, bien que des structures non cartographiées et/ou un écoulement primaire à travers les unités siliciclastiques soient également plausibles d'après les données disponibles. Certaines incertitudes majeures subsistent en ce qui concerne la décharge par le nord :

- Il n'existe pas de données de forage et d'hydrogéologie entre l'extrémité nord de la crête de Josiane et le bassin versant de Farako.
- Rien ne permet d'affirmer que les failles orientées NNE sont perméables.

On en déduit un lien structurel entre le gisement de Josiane et la source MIYA1-7 dans le bassin versant de Boyboyba à l'appui du trajet d'écoulement sud. La nature des trajets hydrauliques dans les unités de quartzite / siliciclaste en aval de la source MIYA1-7 est incertaine, comme indiqué ci-dessus, et il est plus probable qu'elle provienne du gisement de Ouéléba.

### 4.4 Niveau de la nappe phréatique du corps minéralisé de Josiane

Une aire d'eau souterraine a été interpolée pour le gisement de Josiane et la zone environnante, décrite précédemment dans la section 3.5. Le niveau de la nappe phréatique est de 814 m au-dessus du niveau de la mer sur l'ensemble du gisement de Josiane.

### 4.5 Qualité de l'eau

On ne dispose pas d'échantillons d'eau souterraine provenant du gisement de Josiane, il n'est donc pas possible de déterminer directement la qualité de l'eau. La meilleure estimation est que la qualité de l'eau à Josiane sera similaire à celle de la zone de Ouéléba :

- Les eaux à faible CE reflètent la nature fortement lessivée des lithologies du corps minéralisé.
- Le pH des eaux de surface est de l'ordre de 6 à 7, certaines sources ou rejets de gisements présentant des valeurs de pH plus faibles, de l'ordre de 5.
- On constate une augmentation de la CE, du pH et de l'alcalinité en s'éloignant de la ligne de crête.
- Des concentrations plus faibles de cuivre, de fer et de manganèse dissous dans les bassins versants des hautes terres par rapport aux bassins versants correspondants des basses terres, avec une variabilité entre les différents bassins versants.
- Les concentrations de zinc dissous sont généralement plus élevées dans les bassins versants des hautes terres que dans les bassins versants des basses terres correspondants semblent être associées aux rejets primaires de l'aquifère du gisement.



## 5 INCERTITUDES ET RECOMMANDATIONS POUR LA SUITE DE L'ÉTUDE

### 5.1 Principales incertitudes

Les principales incertitudes concernant l'hydrogéologie de Josiane, dans le contexte des risques liés au Projet, sont les suivantes :

- **Le mécanisme d'écoulement au nord de Josiane est mal défini.** On considère qu'il s'agit d'une priorité si la zone de décharge dans cette région est affectée par l'installation de stockage des roches stériles du nord (WRSF1). Un programme combiné de forage hydrogéologique et géotechnique entre la limite nord de la fosse Josiane proposée et la zone de décharge dans le bassin versant de Farako pourrait s'avérer nécessaire pour améliorer la compréhension des contraintes géologiques dans cette zone.
- **La mesure dans laquelle le flux méridional provenant de Josiane et de la tranchée nord de HME2 se déverse dans la forêt de Boyboyba est mal connue.** Les gradients hydrauliques suggèrent une direction d'écoulement des eaux souterraines vers le sud-est en direction du drainage Miya1-7 dans la Boyboyba, mais les signatures isotopiques suggèrent que la majorité du débit de référence et du débit des sources de Miya1-7 peut provenir d'une source à plus haute altitude au sud<sup>6</sup>.
- **Les propriétés hydrauliques de l'aquifère du gisement et des roches encaissantes adjacentes ne sont pas quantifiées.** Pour répondre à cette incertitude, il est proposé de réaliser un puits d'assèchement pilote et un programme d'essai de pompage.
- **La qualité des eaux souterraines du corps minéralisé (et leur aptitude au déversement direct) est inconnue.** Le prélèvement d'échantillons lors des essais de pompage permettra de répondre à cette question.
- **Les réponses à la recharge sont très variables et impossibles à prévoir avec certitude.** Il y a de plus en plus de preuves de saturation proche de la surface et de la réaction transitoire extrême de la pression interstitielle dans la zone non saturée, et il conviendra de continuer à en tenir compte dans la conception de toutes les pentes (en particulier HME2).

### 5.2 Recommandations pour un travail supplémentaire sur le terrain

#### 5.2.1 Mécanismes de décharge dans le Nord

La caractérisation du mécanisme de décharge nord n'est considérée comme une priorité que si cette zone de décharge est affectée par l'installation de stockage de roches stériles du nord (WRSF1). SRK comprend que WRSF1 a été positionnée de manière à éviter la zone primaire de décharge des eaux souterraines. Il est recommandé de procéder à un examen approfondi de la dernière conception de WRSF1 (à réaliser par SRK) afin de permettre l'élaboration d'un programme de terrain (si nécessaire).

---

<sup>6</sup>Ce rapport n'a pas tenu compte de la composante de ruissellement et d'écoulement intercalaire de la décharge de la zone de tranchée nord de Josiane / HME2 vers le Boyboyba, ce qui nécessitera une évaluation plus poussée.



### 5.2.2 Interaction avec la forêt de Boyboyba

Compte tenu de la sensibilité du bassin versant de la Boyboyba, un programme de forage et d'essais hydrogéologiques devrait être entrepris pour évaluer la sensibilité hydrologique de la forêt de Boyboyba à l'assèchement des gisements de Ouéléba et de Josiane.

Ce programme d'essais devra être intégré aux dernières conceptions de la route de transport HME2 et devrait comprendre des puits de surveillance hydrogéologique dédiés à l'aquifère du gisement et aux unités silicoclastiques du NE de Ouéléba. Ces puits de surveillance pourront ensuite être utilisés pour donner une alerte rapide sur les impacts de l'assèchement sur la forêt de Boyboyba.

Une surveillance supplémentaire de l'humidité du sol entre la forêt de Boyboyba et la tranchée nord de HME2 est également recommandée pour améliorer la compréhension des conditions de base de l'humidité du sol. Les stations de surveillance de l'humidité du sol devraient être associées à des installations de PFV à faible profondeur afin d'améliorer la compréhension des risques de pression interstitielle transitoire d'un point de vue géotechnique et la contribution de l'écoulement intercalaire au bilan hydrologique de la forêt de Boyboyba.

### 5.2.3 Caractérisation de la qualité de l'eau

L'échantillonnage de la qualité de l'eau doit être effectué conformément à ce qui a été mis en œuvre lors de l'essai de pompage HYD008 pour les deux essais de pompage proposés. Les taux de deutérium et d'oxygène 18 devraient être inclus dans l'analyse de laboratoire afin d'améliorer la compréhension des trajets des eaux souterraines entre l'aquifère du corps minéralisé de Josiane et la Boyboyba.

### 5.2.4 Propriétés hydrauliques du corps minier et déshydratation

Deux puits d'assèchement pilotes sont recommandés pour caractériser l'aquifère du gisement de Josiane. Les puits seront utilisés pour confirmer les rendements des puits d'assèchement, obtenir des données sur les propriétés hydrauliques qui permettront de prédire les taux d'assèchement à long terme, et vérifier les hypothèses qui ont été formulées au cours de l'élaboration du MHC. SRK a identifié un emplacement pour le forage pilote d'assèchement vers l'extrémité nord du corps minéralisé de Josiane (JOS\_HYD002) et deux emplacements potentiels vers l'extrémité sud du même corps minéralisé (JOS\_HYD001 ou JOS\_HYD001A)<sup>7</sup> :

- La position recommandée de JOS\_HYD002 est basée sur la proximité d'installations PFV existantes et est considérée comme fixe.
- La position définitive du puits d'assèchement sud (c'est-à-dire le choix entre JOS\_HYD001 et JOS\_HYD001A) devrait être déterminée lorsque la conception actualisée de la fosse de Josiane et les conceptions finales de HME2 auront été confirmées et intégrées.

---

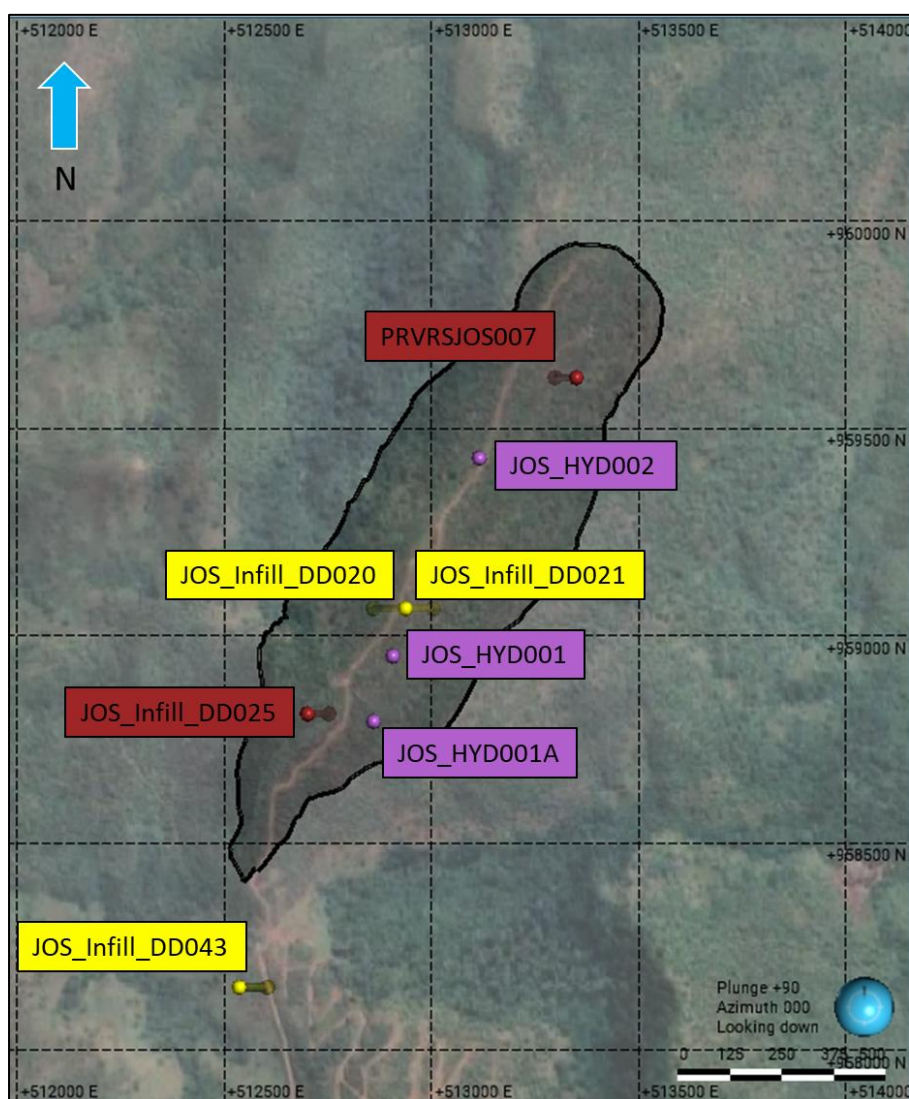
<sup>7</sup> Les emplacements des puits d'assèchement pilotes ont été choisis en fonction de l'épaisseur saturée de l'aquifère du corps minéralisé, de la proximité des sites de surveillance par PFV existants et de la proximité de la piste d'accès existante.



Les coordonnées et les profondeurs des trous d'assèchement pilotes proposés sont indiquées dans le Tableau 5-1 et les emplacements sont indiqués sur la Figure 5-1. SRK n'a pas encore proposé de trous d'observation dédiés à ces essais de pompage et recommande d'entreprendre en premier lieu un exercice de compromis entre un puits d'observation conventionnel foré à l'aide de l'appareil de forage de puits d'eau et une colonne verticale de PFV forée à l'aide de l'appareil de forage au diamant.

**Tableau 5-1 : Emplacement proposé pour les puits d'assèchement pilotes de Josiane**

ID du trou	Vers l'est	Vers le nord	Élévation, en m au-dessus du niveau de la mer	Pendage	Profondeur, m
JOS_HYD001	512906	958950	952,95	90	275
JOS_HYD001A	512860	958793	925,81	90	250
JOS_HYD002	513115	959428	933,93	90	240



**Figure 5-1 : Emplacements proposés pour les puits d'assèchement pilotes (en violet) et cibles de PFV en se basant sur le programme de forage intercalaire (en jaune)**



### 5.2.5 Extension du réseau de surveillance par PFV

Le programme de forage intercalaire de Josiane a été revu afin d'identifier les trous qui peuvent être utilisés pour étendre le réseau de PFV actuel. Cinq sites ont été sélectionnés pour l'installation de capteurs PFV après examen du programme de forage intercalaire. Cela permettra de combler les lacunes en matière de surveillance des eaux souterraines dans la région de Josiane et ces capteurs constitueront des points de surveillance importants pour les essais de pompage de Josiane, ce qui permettra d'observer des réponses plus complètes aux essais entre les différentes lithologies.

**Tableau 5-2 : Emplacements proposés pour les forages intercalaires de Josiane en vue de l'installation des PFV**

ID du trou	Vers l'est	Vers le nord	Élévation, en m au-dessus du niveau de la mer	Pendage	Azimut	Profondeur, m
PRVRSJOS007	513350	959622	882	75	270	200
JOS_Infill_DD020	512937	959065	964,57	75	270	300
JOS_Infill_DD021 <sup>1</sup>	512937	959065	964,57	70	90	200
JOS_Infill_DD025 <sup>2</sup>	512701	958811	965	75	90	200
JOS_Infill_DD043	512536	958151	824,85	70	90	200

1. Installation conditionnelle – si la lithologie du trou est PHY à la profondeur cible, le PFV est installé

2. Installation conditionnelle – si l'azimut factuel du trou est de 90 degrés après le forage, le PFV est installé

### 5.3 Recommandations pour une étude documentaire complémentaire

Les recommandations suivantes sont formulées en vue d'une étude documentaire complémentaire :

- Intégration de l'érosion dans les modèles géologiques de Ouéléba et de Josiane pour permettre leur utilisation dans de futures études hydrogéologiques et géotechniques. L'intérêt de différencier les composantes PHY et QTZ de l'unité siliciclastique devrait également être pris en compte et étudié avant d'entamer cette mise à jour.
- Acheter l'examen interprétatif complet des données recueillies au cours des campagnes de terrain de Boyboyba afin d'améliorer la compréhension des rejets dans les bassins versants de Boyboyba en provenance de Josiane et du NE de Ouéléba.
- Procéder à un nouvel examen des hydrogrammes des eaux souterraines une fois que les niveaux d'eau se seront stabilisés, afin de confirmer les caractéristiques des hydrogrammes et d'étayer le modèle hydrogéologique conceptuel. Cette étude devrait comprendre un examen approfondi des hydrogrammes de l'ensemble d'Ouéléba et de la surveillance historique du niveau de la nappe phréatique au Pic de Fon.
- Construire un modèle numérique des eaux souterraines spécifique à Josiane pour évaluer les taux d'assèchement et les impacts sur les eaux de surface de la fosse de Josiane. Cela devrait inclure une modélisation de la fermeture qui envisage d'autres options de remblayage. SRK recommande que cette démarche soit entreprise à l'issue des campagnes d'essais de forage et de pompage décrites aux sections 5.2.4 et 5.2.5 et des études documentaires supplémentaires décrites ci-dessus.



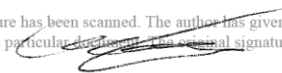
**Pour et au nom de SRK Consulting (UK) Limited**

This signature has been scanned. The author has given permission to its use for this particular document. The original signature is held on file.



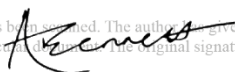
Sarah Johnson,  
Consultant principal, Hydrogéologie,  
**Auteur**  
SRK Consulting (UK) Limited

This signature has been scanned. The author has given permission to its use for this particular document. The original signature is held on file.



Oleg Sachkov,  
Consultant, Hydrogéologie,  
**Auteur**  
SRK Consulting (UK) Limited

This signature has been scanned. The author has given permission to its use for this particular document. The original signature is held on file.



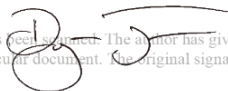
Adam Bennett,  
Consultant, Hydrogéologie,  
**Auteur**  
SRK Consulting (UK) Limited

This signature has been scanned. The author has given permission to its use for this particular document. The original signature is held on file.



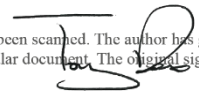
Mark Raynor,  
Consultant en entreprise, Hydrogéologie,  
**Réviseur**  
SRK Consulting (UK) Limited

This signature has been scanned. The author has given permission to its use for this particular document. The original signature is held on file.



Dylan John,  
Consultant senior, Gestion de projet,  
**Directeur de projet**  
SRK Consulting (UK) Limited

This signature has been scanned. The author has given permission to its use for this particular document. The original signature is held on file.



Tony Rex,  
Consultant en entreprise, Hydrogéologie,  
**Directeur de projet**  
SRK Consulting (UK) Limited

**Date d'émission : 4 juin 2024**



## 6 RÉFÉRENCES

Cope, I.L., Wilkinson, J.J., Boyce, A.J., Chapman, J.B., Herrington, R.J. et Harris, C.J. (2008). Genesis of the Pic de Fon iron oxide deposit, Simandou Range, Republic of Guinea, West Africa. (Genèse du gisement d'oxyde de fer du Pic de Fon, chaîne du Simandou, République de Guinée, Afrique de l'Ouest.) Dans : Banded iron formation-related high-grade iron ore. Série : Revues en géologie économique (15). Société de géologie économique : Littleton, pp. 339-360

SRK Consulting (UK) Ltd (2022a) « I0016-0300-B-REP-00003\_0 BFS ADDENDUM REPORT\_OUÉLÉBA OPEN PIT SLOPE DESIGN ASSESSMENT »

SRK, 2022b. Mise à jour du modèle lithostructurel de Ouéléba, septembre 2022

SRK, 2023a. Rapport de référence sur les eaux souterraines du Simandou Rapport à Rio Tinto Atlantic Ltd. Document n° I0016.0450-X-REP-00001\_A, SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, Royaume-Uni.

SRK, 2023b. *Rapport de terrain sur Boyboyba*. Rapport à Rio Tinto Atlantic Ltd. Document n° I0016-1821-X-REP-00004, SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, Royaume-Uni.

SRK, 2023c. *Modèle numérique 3D des eaux de surface et des eaux souterraines et bilan hydrique et de charge à l'échelle du site*. Rapport à Rio Tinto Atlantic Ltd. Document n° I-SM-0410-X-MOD-00001, SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, Royaume-Uni

SRK, 2023d. *Chimie de l'eau de référence pour le projet Simandou, Guinée. Rapport à Rio Tinto Atlantic Ltd*. Document n° I0016-0400-X-REP-00005, SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, Royaume-Uni

Zelic, M et Diragitch, A, mai 2023 Cartographie de surface et étude structurale des gisements de Ouéléba et de Josiane. Rapport interne de Rio Tinto.



## **ANNEXE**

### **A COUVERTURE DES FORAGES DE JOSIANE**



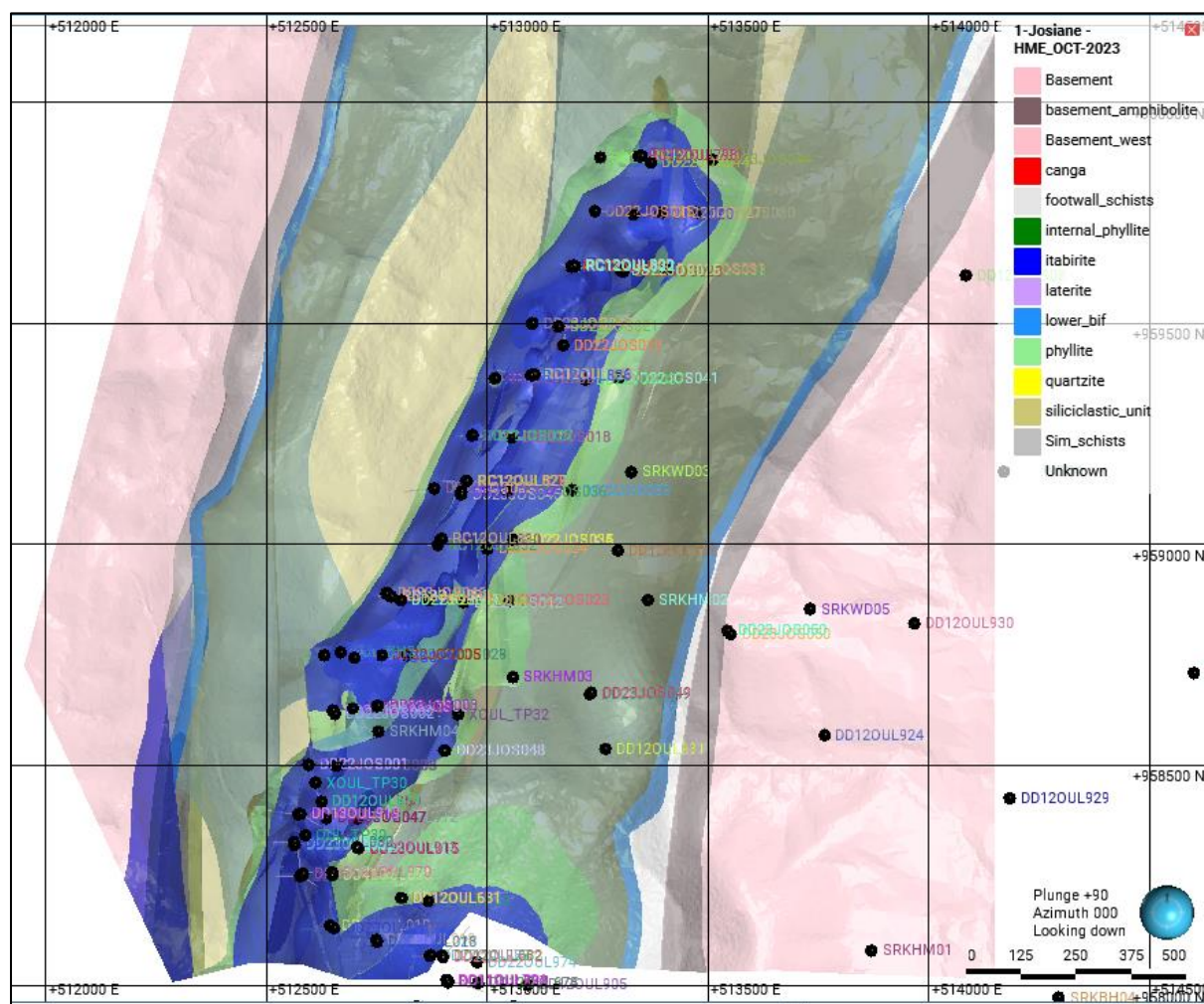


Figure A 1 : Couverture des forages géologiques de Josiane



## **ANNEXE**

### **B    RÉSUMÉ DES INSTALLATIONS DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES**



**Tableau B 1 : Résumé des installations de surveillance des eaux souterraines**

Emplacement	Fréquence de surveillance <sup>1</sup>	Méthode <sup>2</sup>	Début	Fin	Nombre d'enregistrements	Niveau de la nappe phréatique (en m au-dessus du niveau de la mer) <sup>3</sup>		
						Minimum	Maximum	Moyenne
WD04	Horaire	Transducteur de pression	07/05/2022	15/11/2023	13 370	697,6	726,8	726
WD05	3 heures	Transducteur de pression	24/12/2022	15/11/2023	5 617	716,2	716,6	716,4
DD10OUL568	1S	Manuel	10/11/2010	22/04/2016	74	937,1	985,8	964,3
DD11OUL900	1 M	Manuel	21/01/2012	22/04/2016	30	858,7	863,2	860,4
DD12OUL680	1 M	Manuel	09/04/2012	15/10/2012	6	818,7	821,2	820,5
DD12OUL682	1S	Manuel	07/06/2012	15/06/2012	2	855,1	921,2	888,2
DD12OUL899	1 M	Manuel	08/03/2013	22/04/2016	28	861,2	864	863,3
DD12OUL909	1 M	Manuel	19/06/2012	04/09/2012	2	801,4	832,4	816,9
DD12OUL912	1 M	Manuel	07/01/2013	22/04/2016	18	805,8	807,9	807
DD12OUL926	-	Manuel	24/03/2012	24/03/2012	1	856,1	856,1	856,1
DD12OUL931	-	Manuel	21/08/2012	21/08/2012	1	722,2	722,2	722,2
DD12OUL950	1 M	Manuel	22/03/2012	08/08/2012	4	806,5	841,4	820
DD12OUL951	1 M	Manuel	02/07/2012	04/01/2022	39	836	864,9	838,7
RC08OUL378	1S	Manuel	08/10/2008	17/10/2008	2	1040,9	1062,7	1051,8
BH05	Horaire	PFV, 3 capteurs	11/03/2022	19/10/2023	21 144	Voir l'Annexe C		
BH06	Horaire	PFV, 4 capteurs	09/03/2022	19/10/2023	5 016	Voir l'Annexe C		
BH07	Horaire	PFV, 3 capteurs	14/03/2022	19/10/2023	20 644	Voir l'Annexe C		
DD10OUL570	Horaire	PFV, 2 capteurs	13/10/2011	13/10/2023	de 3 202 à 15 000	Voir l'Annexe C		
DD12OUL629	Horaire	PFV, 3 capteurs	26/06/2012	21/04/2016	de 3 584 à 3 872			
DD12OUL903	Horaire	PFV, 3 capteurs	27/02/2012	13/10/2023	de 23 421 à 27 308	Voir l'Annexe C		
DD12OUL908	Horaire	PFV, 1 enregistreur	28/07/2012	01/08/2012	11 901	Voir l'Annexe C		
DD13OUL939	Horaire	PFV, 4 capteurs	03/06/2013	13/10/2023	de 3 807 à 23 205	Voir l'Annexe C		
GT_JOS_001	Horaire	PFV, 4 capteurs	30/12/2022	19/10/2023	de 3 241 à 7 027	Voir l'Annexe C		
GT_JOS_002	Horaire	PFV, 4 capteurs	23/01/2023	05/05/2023	de 0 à 1 611	Voir l'Annexe C		
GT01	Horaire	PFV, 5 capteurs	21/04/2022	15/10/2023	de 28 956 à 30 420	Voir l'Annexe C		
HM02	Horaire	PFV, 3 capteurs	26/02/2022	13/10/2023	de 23 519 à 24 150	Voir l'Annexe C		
HM03	Horaire	PFV, 3 capteurs	17/02/2022	29/01/2023	16 896	Voir l'Annexe C		
HM04	Horaire	PFV, 3 capteurs	10/02/2022	13/10/2023	de 25 229 à 25 545	Voir l'Annexe C		
HM20	Horaire	PFV, 3 capteurs	22/09/2023	13/10/2023	1 008	Voir l'Annexe C		
HM25	Horaire	PFV, 3 capteurs	26/04/2023	13/10/2023	15 649	Voir l'Annexe C		
HM26	Horaire	PFV, 3 capteurs	22/03/2023	13/10/2023	44 840	Voir l'Annexe C		
JOS_OUL_003	Horaire	PFV, 4 capteurs	05/05/2023	13/10/2023	7 730	Voir l'Annexe C		
JOS_OUL_008	Horaire	PFV, 4 capteurs	10/05/2023	13/10/2023	de 602 à 3 739	Voir l'Annexe C		
LINE_004	Horaire	PFV, 3 capteurs	26/09/2022	13/10/2023	de 9 112 à 9 222	Voir l'Annexe C		



Emplacement	Fréquence de surveillance <sup>1</sup>	Méthode <sup>2</sup>	Début	Fin	Nombre d'enregistrements	Niveau de la nappe phréatique (en m au-dessus du niveau de la mer) <sup>3</sup>		
						Minimum	Maximum	Moyenne
LINE_006	Horaire	PFV, 3 capteurs	05/05/2023	13/10/2023	3 185	Voir l'Annexe C		
LINE_018	Horaire	PFV, 4 capteurs	02/11/2022	05/05/2023	8 820	Voir l'Annexe C		
LINE_402	Horaire	PFV, 4 capteurs	07/02/2023	13/10/2023	de 0 à 2 812	Voir l'Annexe C		
RES_005B	Horaire	PFV, 5 capteurs	27/09/2022	13/10/2023	de 8 407 à 18 275	Voir l'Annexe C		
RES_007	Horaire	PFV, 5 capteurs	29/08/2022	13/10/2023	de 0 à 19 669	Voir l'Annexe C		
RES_009	Horaire	PFV, 5 capteurs	27/08/2022	13/10/2023	de 0 à 25 613	Voir l'Annexe C		
RES_012	Horaire	PFV, 5 capteurs	18/06/2022	13/10/2023	de 16 004 à 21 077	Voir l'Annexe C		
RES_013	Horaire	PFV, 5 capteurs	26/08/2022	13/10/2023	de 22 104 à 25 931	Voir l'Annexe C		
WD07	Horaire	PFV, 3 capteurs	12/05/2022	20/10/2023	21 362	Voir l'Annexe C		

Remarques

1 S = Semaine, M = Mois

2 « Transducteur de pression » et « Manuel » se réfèrent au type d'installation de piézomètres à colonne ; « PFV » désigne le type d'installation d'un piézomètre à fil vibrant

3 Les données sommaires sur le niveau des eaux souterraines (minimum, maximum, moyenne) sont basées sur les données jusqu'en avril 2023, conformément à la mise à jour du modèle conceptuel de Ouéléba. Les données plus récentes sont exclues parce qu'aucun budget n'a été alloué à la gestion continue des données des transducteurs



## **ANNEXE**

### **C RÉSUMÉ DES PIÉZOMÈTRES À FIL VIBRANT**



**Tableau C 1 : Résumé des emplacements des piézomètres à fil vibrant (PFV)**

Emplacement	Enregistreur	Code du capteur	Profondeur du capteur (m de profondeur)	Élévation du capteur (en m au-dessus du niveau de la mer)	Lithologie <sub>1</sub>	Début	Fin	Nombre d'enregistrements	Niveau de la nappe phréatique (en m au-dessus du niveau de la mer)		
									Minimum	Maximum	Moyenne
BH05	VW1	BH05_VW1	10,0	677,72	GNE	11/03/2022	19/10/2023	21 144	685,4	686,8	686,1
	VW2	BH05_VW2	20,0	667,72	BAS	11/03/2022	19/10/2023	21 144	686,9	688,4	687,8
	VW3	BH05_VW3	35,0	652,72	BAS	11/03/2022	19/10/2023	21 144	687,9	689,7	689,0
BH06	VW1	BH06_VW1	4,5	678,85	BAS	09/03/2022	19/10/2023	5 016	680,5	683,2	682,6
	VW2	BH06_VW2	9,5	673,85	BAS	09/03/2022	19/10/2023	5 016	675,7	681,3	678,5
	VW3	BH06_VW3	19,0	664,35	BAS	09/03/2022	19/10/2023	5 016	680,0	695,6	693,8
	VW4	BH06_VW4	28,0	655,35	BAS	09/03/2022	19/10/2023	5 016	666,6	681,3	668,6
BH07	VW1	BH07_VW1	5,0	689,92	GNE	14/03/2022	19/10/2023	20 644	Sec	695,4	690,6
	VW2	BH07_VW2	9,0	685,92	PHS	14/03/2022	19/10/2023	20 647	Sec	690,1	688,7
	VW3	BH07_VW3	11,5	683,42	BAS	14/03/2022	19/10/2023	20 647	686,9	690,2	688,9
DD10OUL570	VW1	315430	128,5	954,35	PHW	13/10/2011	22/04/2016	3 202	955,0	1013,8	983,2
	VW2	314237	168,8	919,81	PHW	13/10/2011	13/10/2023	15 000	Sec	936,7	Sec
DD12OUL629	VW1	310653	200,0	960,27	PHW	26/06/2012	21/04/2016	3 872	976,4	979,6	977,6
	VW2	315543	230,0	934,07	PHW	27/06/2012	21/04/2016	3 622	977,2	982,6	980,5
	VW3	310582	249,0	917,49	QTC	26/06/2012	21/04/2016	3 584	977,7	980,6	979,4
DD12OUL903	VW1	315415	130,0	830,48	IPC	27/02/2012	13/10/2023	23 481	869,6	882,8	880,2
	VW2	315412	160,0	804,25	IPC	23/10/2012	13/10/2023	27 308	862,0	873,8	872,7
	VW3	313167	180,0	786,75	PHW	27/02/2012	13/10/2023	23 421	865,4	870,3	867,7
DD12OUL908	VW1	1144198	16,0	708,62	BAS	28/07/2012	01/08/2012	11 901	730,3	730,5	730,4
DD13OUL939	VW1	315562	285,0	693,85	IRF	13/06/2013	13/10/2023	19 558	865,6	931,5	930,5
	VW2	315538	320,0	658,85	IPF	13/06/2013	13/10/2023	19 093	855,3	874,1	872,1
	VW3	315570	350,0	628,85	IPF	03/06/2013	13/10/2023	23 205	831,6	855,7	836,4
	VW4	315551	385,0	593,85	IPF	03/06/2013	31/08/2022	3 807	749,8	877,6	838,2
GT_JOS_001	VW1	GT_JOS_001_VW1	85,0	823,32	QTW	30/12/2022	19/10/2023	3 241	Sec	Sec	Sec
	VW2	GT_JOS_001_VW2	107,0	802,64	PHS	30/12/2022	19/10/2023	7 027	Sec	Sec	Sec
	VW3	GT_JOS_001_VW3	121,0	789,49	QTW	30/12/2022	19/10/2023	7 023	Sec	Sec	Sec



Emplacement	Enregistreur	Code du capteur	Profondeur du capteur (m de profondeur)	Élévation du capteur (en m au-dessus du niveau de la mer)	Lithologie <sub>1</sub>	Début	Fin	Nombre d'enregistrements	Niveau de la nappe phréatique (en m au-dessus du niveau de la mer)		
									Minimum	Maximum	Moyenne
	VW4	GT_JOS_001_VW4	138,0	773,51	QTW	30/12/2022	19/10/2023	7 026	789,7	793,4	791,0
GT_JOS_002	VW1	GT_JOS_002_VW1	85,0	839,74	QTW	23/01/2023	05/05/2023	1 611	Sec	842,3	840,2
	VW2	GT_JOS_002_VW2	125,0	802,64	PHW	23/01/2023	05/05/2023	0	N/D	N/D	N/D
	VW3	GT_JOS_002_VW3	145,0	783,36	PHW	23/01/2023	04/05/2023	179	796,5	798,1	796,8
	VW4	GT_JOS_002_VW4	170,0	759,87	QTC	23/01/2023	04/05/2023	76	793,4	795,9	795,2
GT01	VW1	GT01_VW1	137,7	1014,37	PHS	09/05/2022	15/10/2023	29 500	Sec	Sec	Sec
	VW2	GT01_VW2	172,2	983,65	PHV	21/04/2022	15/10/2023	30 413	Sec	987,2	984,3
	VW3	GT01_VW3	207,7	951,91	QTC	21/04/2022	15/10/2023	30 420	977,9	978,9	978,4
	VW4	GT01_VW4	247,7	916,25	PHC	21/04/2022	15/10/2023	30 243	956,7	990,9	990,4
	VW5	GT01_VW5	276,2	890,91	QTC	21/04/2022	15/10/2023	28 956	977,9	981,0	978,9
HM02	VW1	HM02_VW1	30,0	798,47	PHS	26/02/2022	13/10/2023	23 519	Sec	798,8	Sec
	VW2	HM02_VW2	55,0	773,57	PHV	26/02/2022	13/10/2023	24 150	781,8	801,4	783,1
	VW3	HM02_VW3	80,0	748,67	PHC	26/02/2022	13/10/2023	24 065	780,8	800,3	782,1
HM03	VW1	HM03_VW1	40,0	819,88	PHS	17/02/2022	29/01/2023	16 896	Sec	Sec	Sec
	VW2	HM03_VW2	65,0	794,98	PHV	17/02/2022	29/01/2023	16 896	795,1	795,5	795,4
	VW3	HM03_VW3	80,0	780,04	QTW	17/02/2022	29/01/2023	16 896	Sec	780,0	Sec
HM04	VW1	HM04_VW1	60,0	824,15	IPC	10/02/2022	13/10/2023	25 545	Sec	824,2	Sec
	VW2	HM04_VW2	85,0	799,24	IPC	10/02/2022	13/10/2023	25 540	802,9	804,6	803,8
	VW3	HM04_VW3	102,0	782,30	IPC	10/02/2022	13/10/2023	25 229	803,3	804,6	803,9
HM20	VW1	HM20_VW1	21,0	944,90	IPF	22/09/2023	13/10/2023	1 008	Sec	Sec	Sec
	VW2	HM20_VW2	41,0	924,90	IRF	22/09/2023	13/10/2023	1 008	Sec	Sec	Sec
	VW3	HM20_VW3	58,0	907,90	HEF	22/09/2023	13/10/2023	1 008	Sec	Sec	Sec
HM25	VW1	HM25_VW1	26,5	1041,15	CAP	26/04/2023	13/10/2023	15 649	Sec	1054,4	1044,7
	VW2	HM25_VW2	55,0	1012,65	PHS	26/04/2023	13/10/2023	15 649	Sec	1022,5	1016,3
	VW3	HM25_VW3	78,0	989,65	PHV	26/04/2023	13/10/2023	15 649	989,8	993,4	991,0
HM26	VW1	HM26_VW1	26,5	1068,79	CAP	22/03/2023	13/10/2023	44 842	Sec	1069,0	1068,9
	VW2	HM26_VW2	78,0	1017,30	CAP	22/03/2023	13/10/2023	44 842	1017,3	1037,0	1018,4



Emplacement	Enregistreur	Code du capteur	Profondeur du capteur (m de profondeur)	Élévation du capteur (en m au-dessus du niveau de la mer)	Lithologie <sub>1</sub>	Début	Fin	Nombre d'enregistrements	Niveau de la nappe phréatique (en m au-dessus du niveau de la mer)		
									Minimum	Maximum	Moyenne
	VW3	HM26_VW3	94,0	1001,30	PHV	22/03/2023	13/10/2023	44 839	Sec	1016,8	1001,8
JOS_OUL_003	VW1	JOS_OUL_003_VW1	75,0	776,79	HEF	05/05/2023	13/10/2023	7 735	804,2	804,6	804,3
	VW2	JOS_OUL_003_VW2	102,0	753,41	PHV	05/05/2023	13/10/2023	7 735	803,9	804,5	804,1
	VW3	JOS_OUL_003_VW3	158,0	704,91	PHV	05/05/2023	13/10/2023	7 734	805,7	806,5	806,0
	VW4	JOS_OUL_003_VW4	172,0	692,79	QTC	05/05/2023	13/10/2023	7 729	805,8	806,6	806,1
JOS_OUL_008	VW1	JOS_OUL_008_VW1	40,0	868,38	PHS	10/05/2023	04/06/2023	602	Sec	868,4	Sec
	VW2	JOS_OUL_008_VW2	65,0	846,73	PHV	10/05/2023	13/10/2023	3 739	849,0	849,8	849,2
	VW3	JOS_OUL_008_VW3	105,0	812,09	PHW	10/05/2023	13/10/2023	3 739	845,2	846,0	845,4
	VW4	JOS_OUL_008_VW4	130,5	790,00	PHW	10/05/2023	13/10/2023	3 728	845,0	846,4	845,5
LINE_004	VW1	LINE_004_VW1	140,0	785,04	HGF	26/09/2022	13/10/2023	9 222	802,4	803,9	802,9
	VW2	LINE_004_VW2	180,0	748,79	IPF	26/09/2022	13/10/2023	9 112	803,8	805,3	804,7
	VW3	LINE_004_VW3	190,0	739,72	PHV	26/09/2022	13/10/2023	9 203	807,6	811,2	809,1
LINE_006	VW1	LINE_006_VW1	145,0	777,88	HGF	05/05/2023	13/10/2023	3 188	814,4	815,3	814,8
	VW2	LINE_006_VW2	169,0	755,33	IRF	05/05/2023	13/10/2023	3 188	798,7	799,4	799,0
	VW3	LINE_006_VW3	202,0	724,32	IPF	05/05/2023	13/10/2023	3 182	812,5	813,5	813,0
LINE_018	VW1	LINE_018_VW1	64,0	888,39	HGF	02/11/2022	05/05/2023	8 833	888,5	888,6	888,6
	VW2	LINE_018_VW2	73,0	879,93	HGF	02/11/2022	05/05/2023	8 832	Sec	Sec	Sec
	VW3	LINE_018_VW3	125,0	831,06	PHV	02/11/2022	05/05/2023	8 833	839,6	843,2	842,0
	VW4	LINE_018_VW4	150,0	807,57	PHV	02/11/2022	05/05/2023	8 812	825,7	827,9	826,7
LINE_402	VW1	LINE_402_VW1	54,0	882,76	PHC	07/02/2023	13/10/2023	2 812	Sec	Sec	Sec
	VW2	LINE_402_VW2	95,0	844,24	HGF	07/02/2023	13/10/2023	2 811	Sec	Sec	Sec
	VW3	LINE_402_VW3	114,0	826,38	IPF	08/02/2023	13/10/2023	0	N/D	N/D	N/D



Emplacement	Enregistreur	Code du capteur	Profondeur du capteur (m de profondeur)	Élévation du capteur (en m au-dessus du niveau de la mer)	Lithologie <sub>1</sub>	Début	Fin	Nombre d'enregistrements	Niveau de la nappe phréatique (en m au-dessus du niveau de la mer)		
									Minimum	Maximum	Moyenne
	VW4	LINE_402_VW4	164,5	778,93	PHV	07/02/2023	13/10/2023	2 806	814,2	815,0	814,6
RES_005B	VW1	RES_005B_VW1	106,0	851,60	HGF	27/09/2022	13/10/2023	18 274	854,3	855,1	854,5
	VW2	RES_005B_VW2	118,5	839,86	PHW	27/09/2022	13/10/2023	18 275	847,9	848,6	848,1
	VW3	RES_005B_VW3	136,8	822,66	QTC	27/09/2022	13/10/2023	18 255	834,4	835,2	834,8
	VW4	RES_005B_VW4	160,0	800,86	QTC	27/09/2022	13/10/2023	18 258	838,3	839,6	838,7
	VW5	RES_005B_VW5	208,1	755,66	PHS	27/09/2022	13/10/2023	8 407	840,5	847,8	843,9
RES_007	VW1	RES_007_VW1	95,0	852,73	IPC	29/08/2022	13/10/2023	19 669	856,0	857,0	856,3
	VW2	RES_007_VW2	160,0	791,65	PHS	29/08/2022	07/10/2023	0	N/D	N/D	N/D
	VW3	RES_007_VW3	186,0	767,22	QTW	29/08/2022	13/10/2023	19 658	851,5	853,0	852,4
	VW4	RES_007_VW4	206,0	748,42	PHV	29/08/2022	13/10/2023	19 120	839,3	843,3	842,3
	VW5	RES_007_VW5	242,5	714,12	QTW	29/08/2022	13/10/2023	19 227	799,6	802,6	801,1
RES_009	VW1	RES_009_VW1	120,2	856,02	HGF	27/08/2022	13/10/2023	25 613	857,8	860,4	858,8
	VW2	RES_009_VW2	133,7	843,33	IRF	27/08/2022	13/10/2023	25 563	856,3	857,3	856,9
	VW3	RES_009_VW3	166,2	812,79	IPF	27/08/2022	05/11/2022	0	N/D	N/D	N/D
	VW4	RES_009_VW4	222,2	760,17	NCR	27/08/2022	13/10/2023	24 144	856,7	867,6	859,0
	VW5	RES_009_VW5	271,7	713,66	IPC	27/08/2022	13/10/2023	9 084	807,2	866,2	863,3
RES_012	VW1	RES_012_VW1	107,7	833,20	QTW	18/06/2022	13/10/2023	21 077	837,8	837,9	837,9
	VW2	RES_012_VW2	139,7	802,70	QTC	18/06/2022	13/10/2023	21 077	853,3	858,7	854,5
	VW3	RES_012_VW3	199,7	745,52	PHV	18/06/2022	13/10/2023	21 059	838,4	841,2	840,0
	VW4	RES_012_VW4	234,7	712,15	QTC	18/06/2022	13/10/2023	20 061	828,2	833,7	831,4
	VW5	RES_012_VW5	259,7	688,32	QTC	18/06/2022	13/10/2023	16 004	831,0	907,3	838,5
RES_013	VW1	RES_013_VW1	100,0	883,03	PHS	26/08/2022	13/10/2023	25 923	Sec	886,5	884,0
	VW2	RES_013_VW2	133,0	852,02	QTC	26/08/2022	13/10/2023	25 931	882,0	886,8	883,8
	VW3	RES_013_VW3	152,0	834,17	PHW	26/08/2022	13/10/2023	25 931	877,5	879,3	878,0
	VW4	RES_013_VW4	170,5	816,78	PHS	26/08/2022	13/10/2023	25 755	872,1	889,2	877,2
	VW5	RES_013_VW5	246,3	745,60	PHC	26/08/2022	13/10/2023	22 104	876,7	883,6	880,4
WD07	VW1	WD07_VW1	11,5	718,70	PHS	12/05/2022	20/10/2023	21 362	722,5	725,6	724,0



Emplacement	Enregistreur	Code du capteur	Profondeur du capteur (m de profondeur)	Élévation du capteur (en m au-dessus du niveau de la mer)	Lithologie <sup>1</sup>	Début	Fin	Nombre d'enregistrements	Niveau de la nappe phréatique (en m au-dessus du niveau de la mer)		
									Minimum	Maximum	Moyenne
	VW2	WD07_VW2	15,7	714,50	BAS	12/05/2022	20/10/2023	21 363	722,9	727,4	724,0
	VW3	WD07_VW3	27,3	702,90	BAS	12/05/2022	20/10/2023	21 362	724,3	727,6	725,4

Remarques

<sup>1</sup> BAS = Sous-sol, CAP = Carapace érodée, GNE = Gneiss, HEF = Hématite friable, HGF = Hématite-Goethite friable, IPC = Itabirite compacte et pauvre, IRF = Itabirite friable enrichie, NCR = Absence de récupération, PHC= Phyllite compacte, PHS = Phyllite résistante au sol, PHV = Phyllite très faible, PHW = Phyllite faible, QTC = Quartzite compacte, QTW = Quartzite faible.

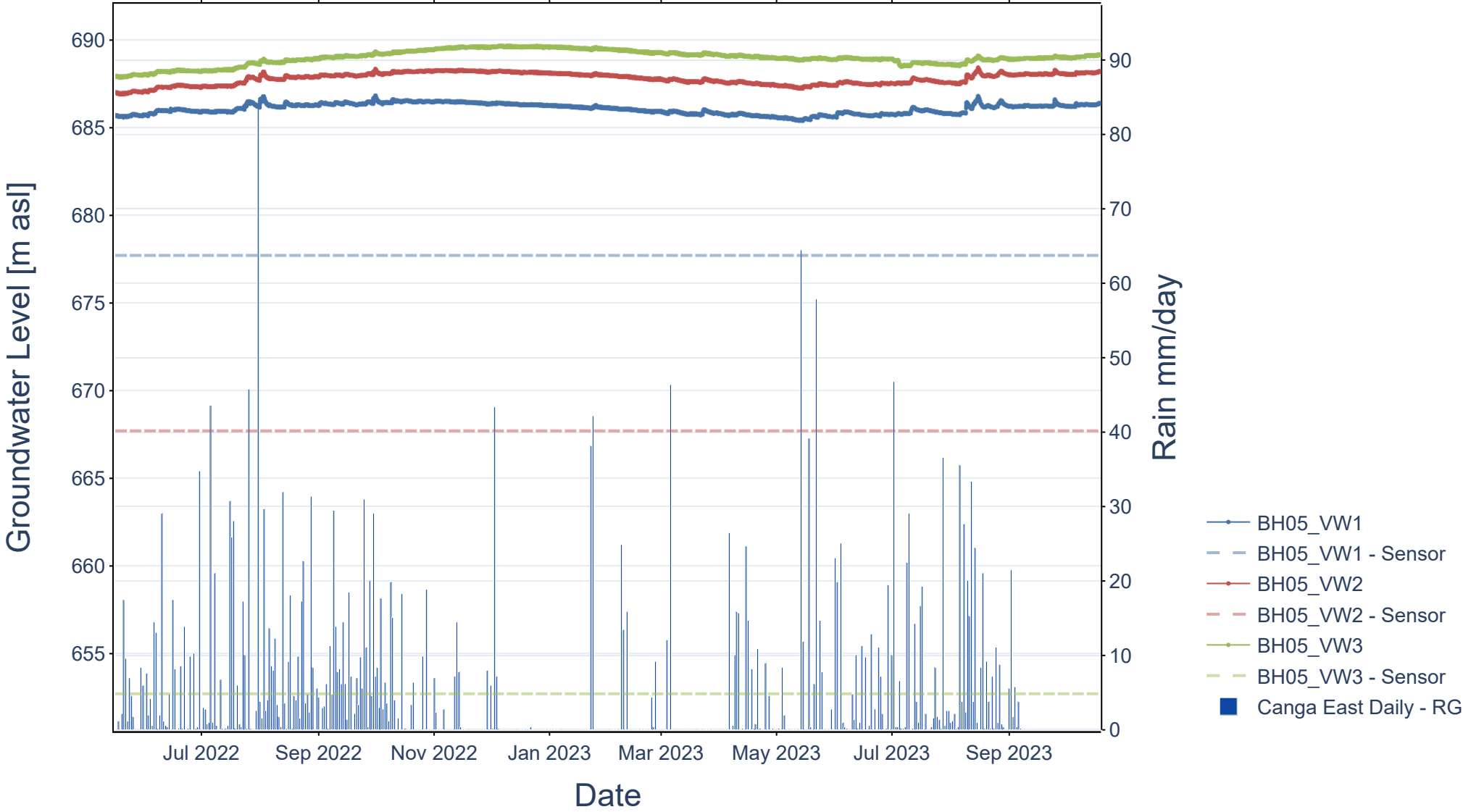


## **ANNEXE**

### **D HYDROGRAMMES DU NIVEAU DES EAUX SOUTERRAINES**

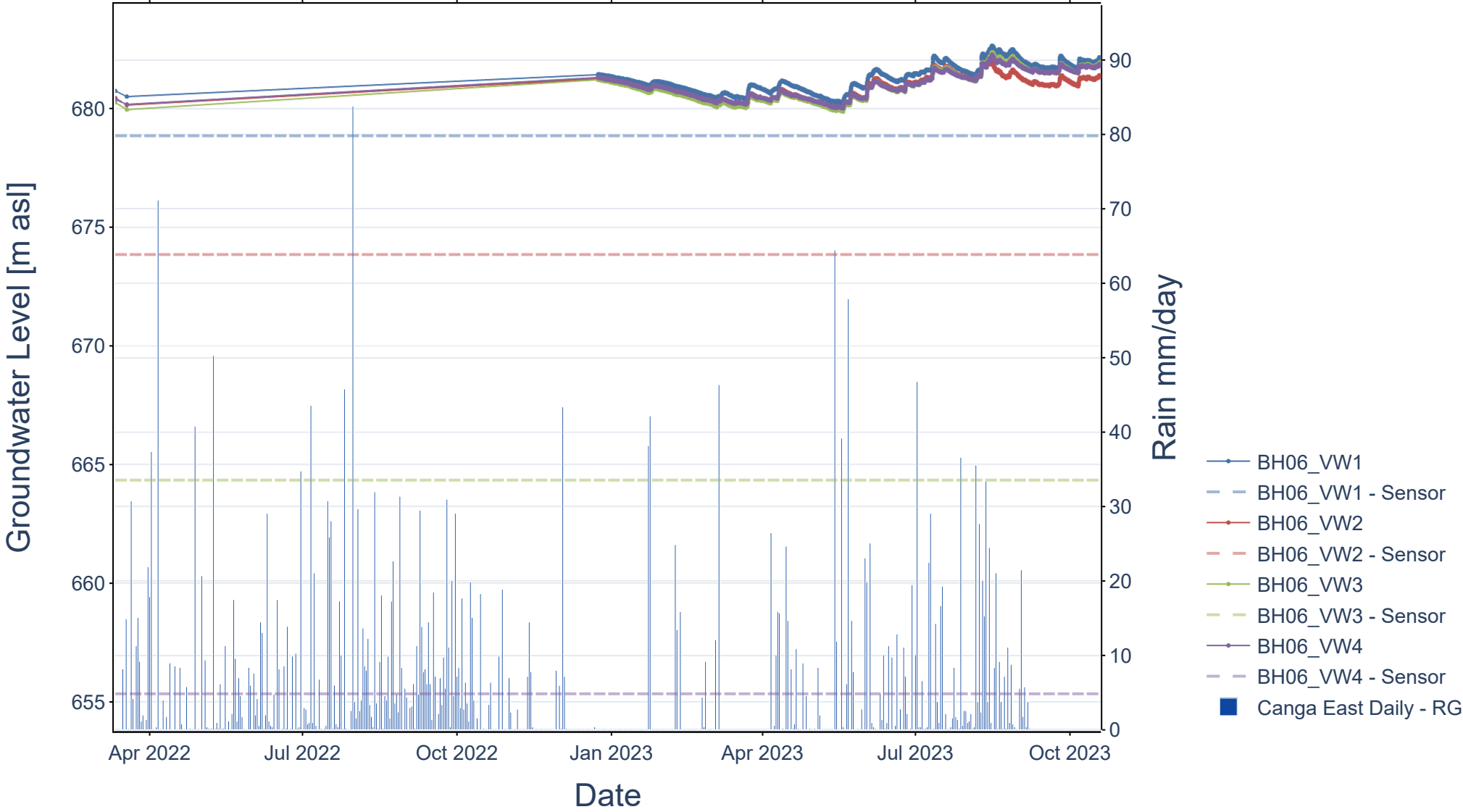


BH05



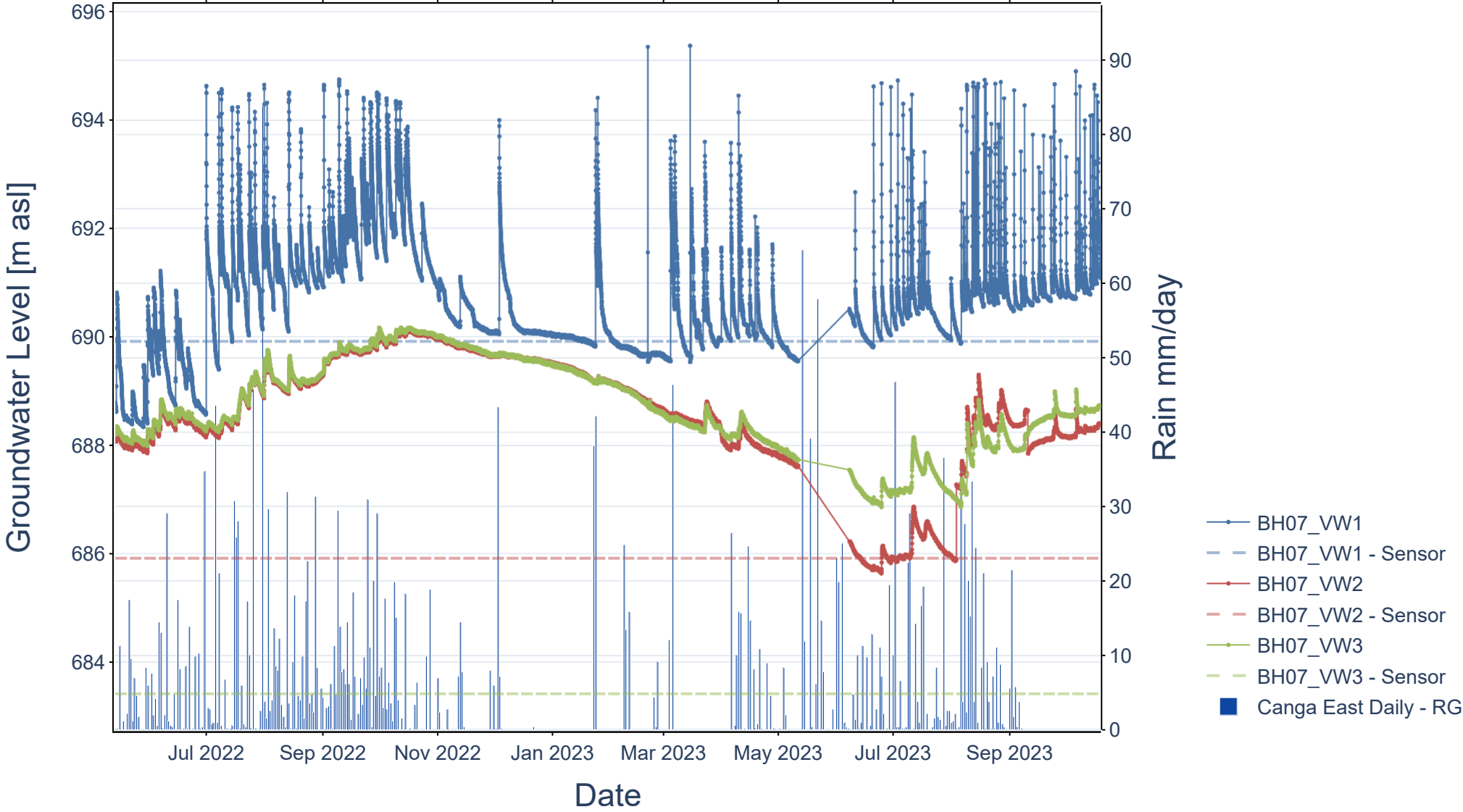


BH06



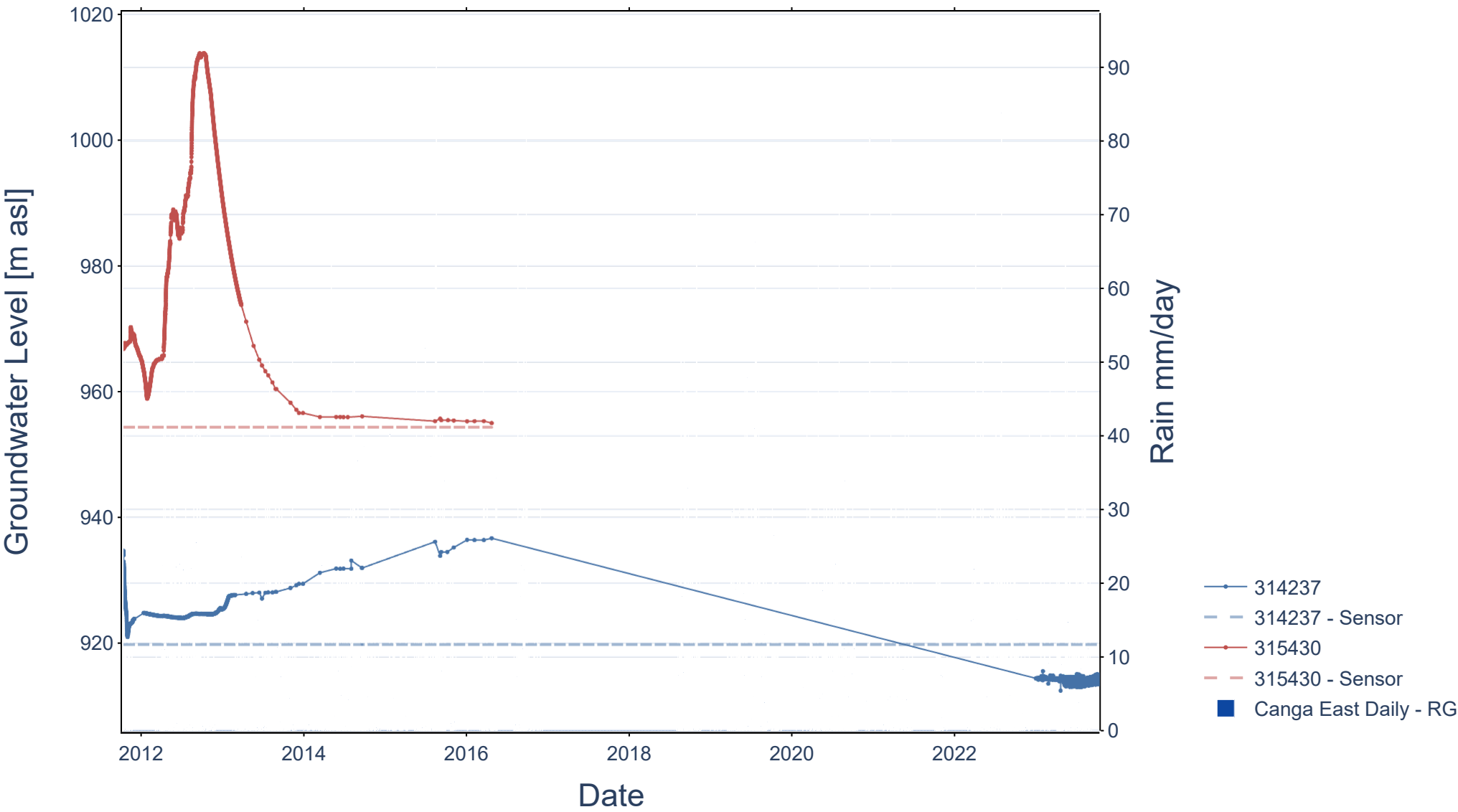


BH07



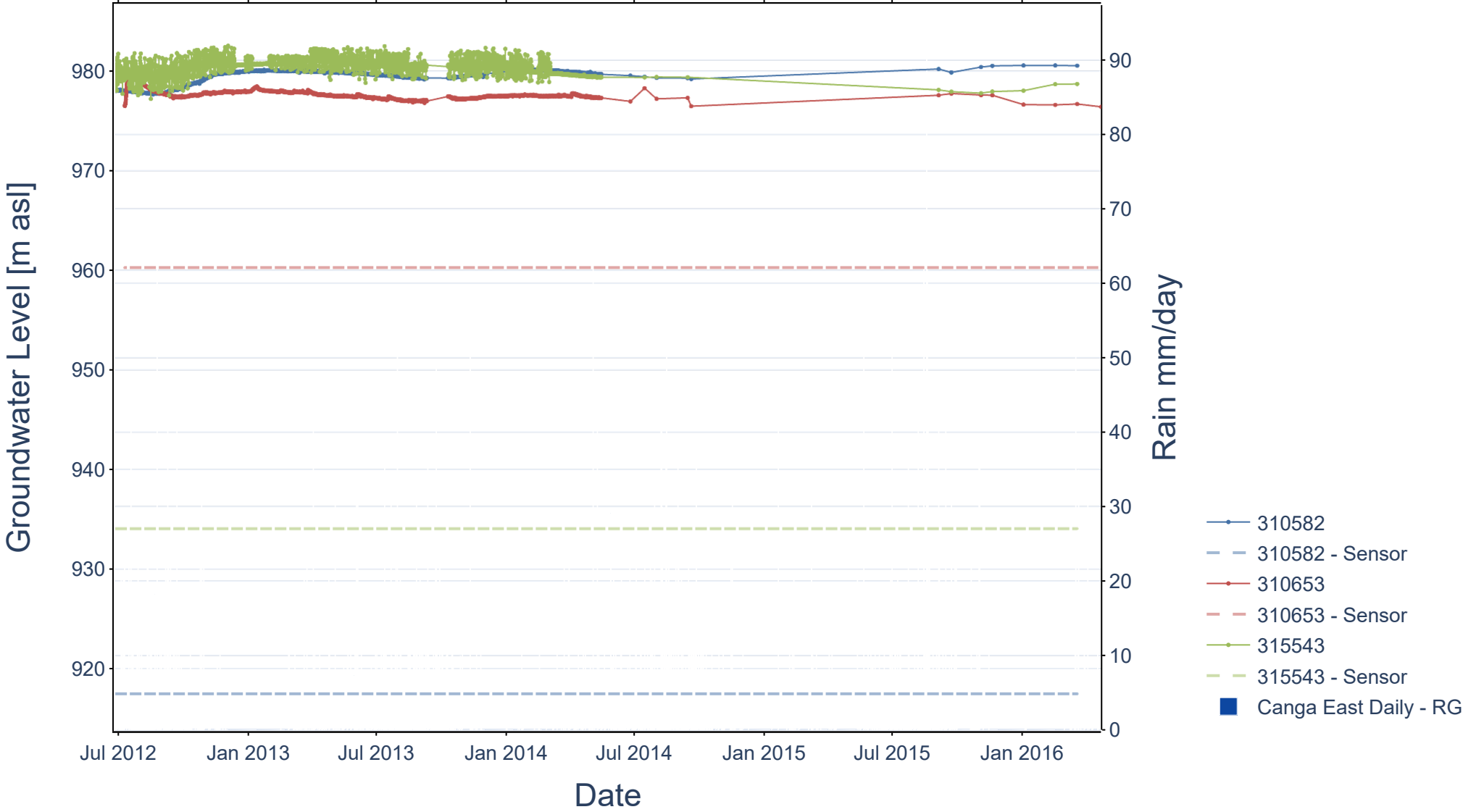


# DD10OUL570



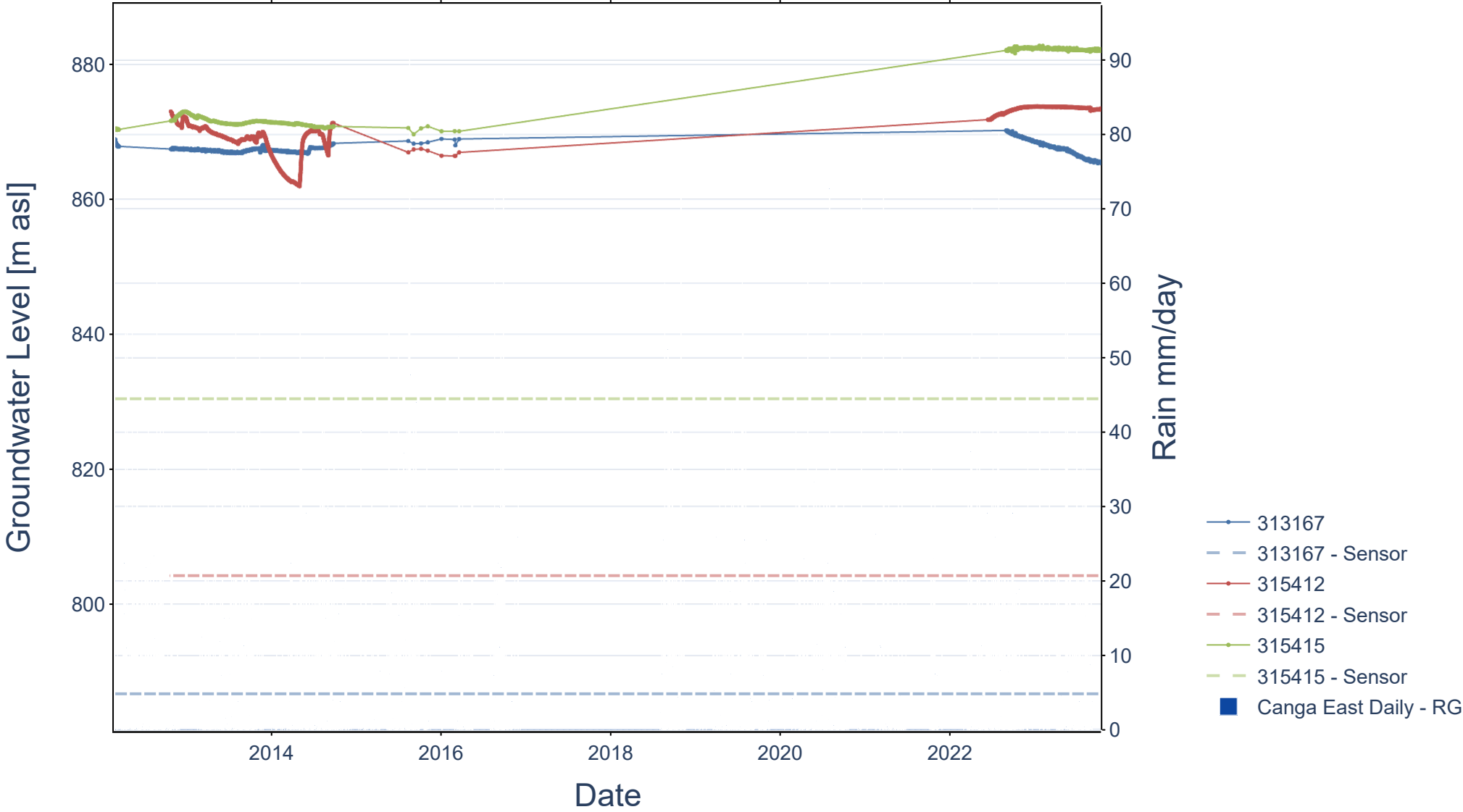


# DD12OUL629



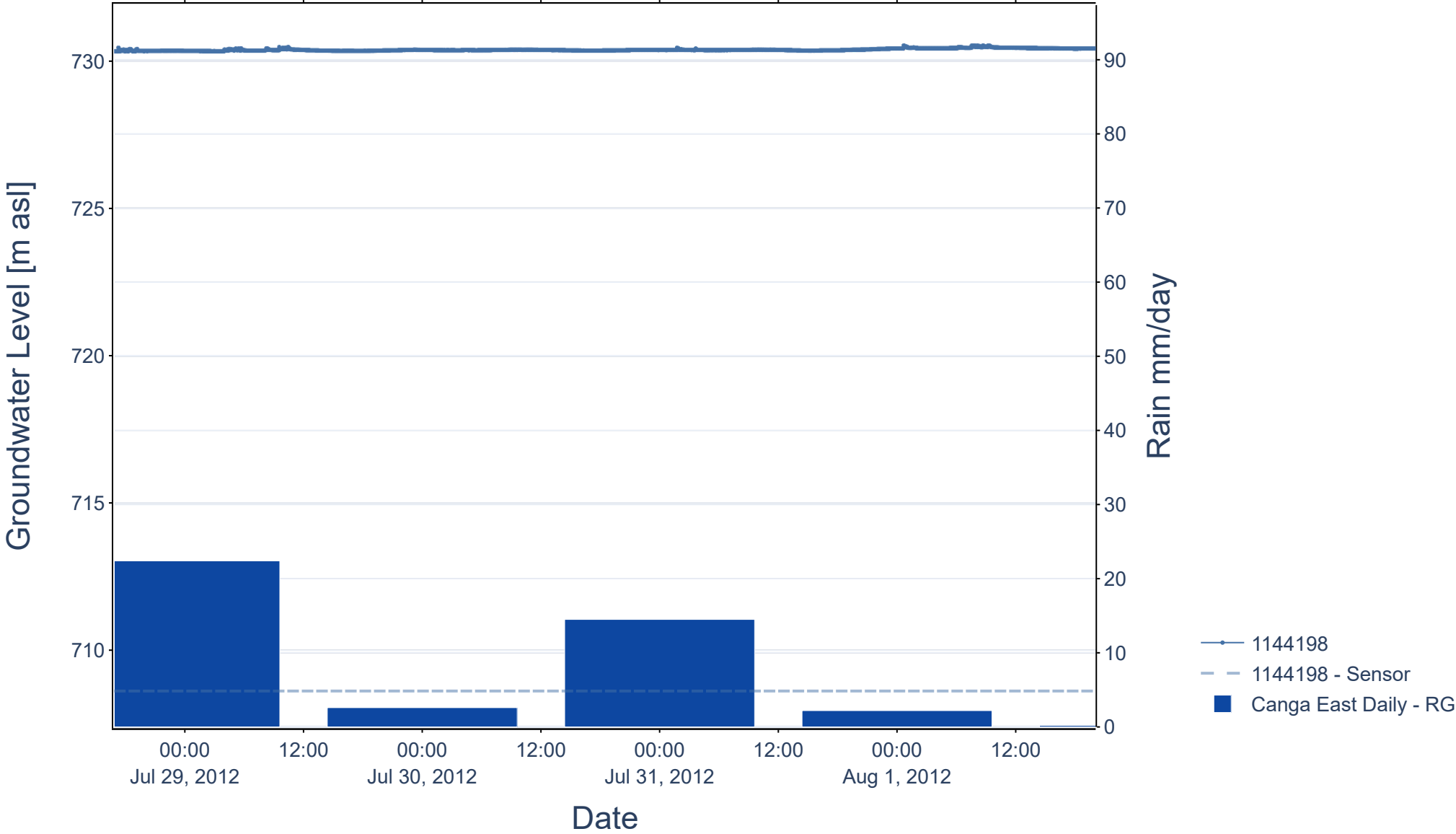


# DD12OUL903



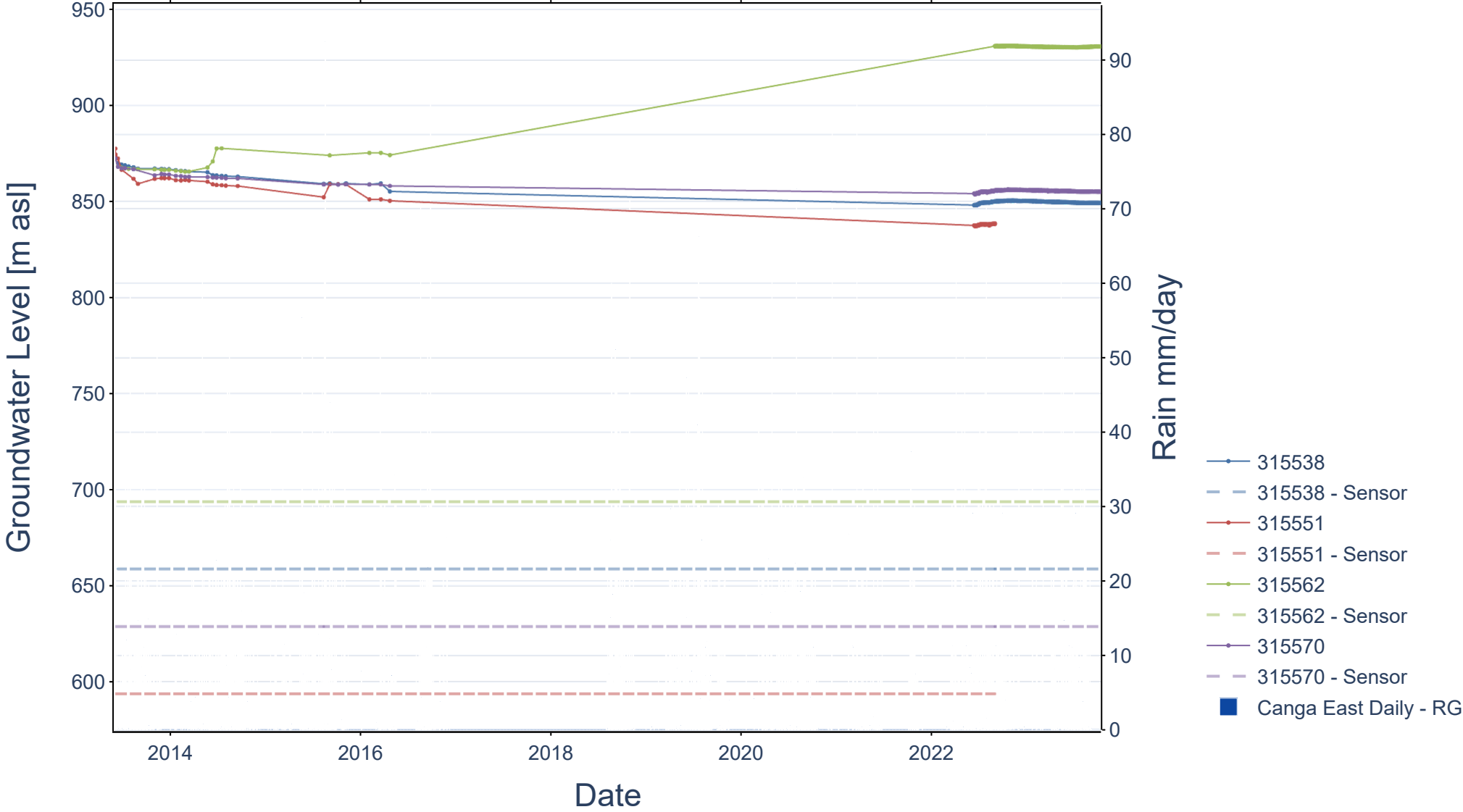


DD12OUL908



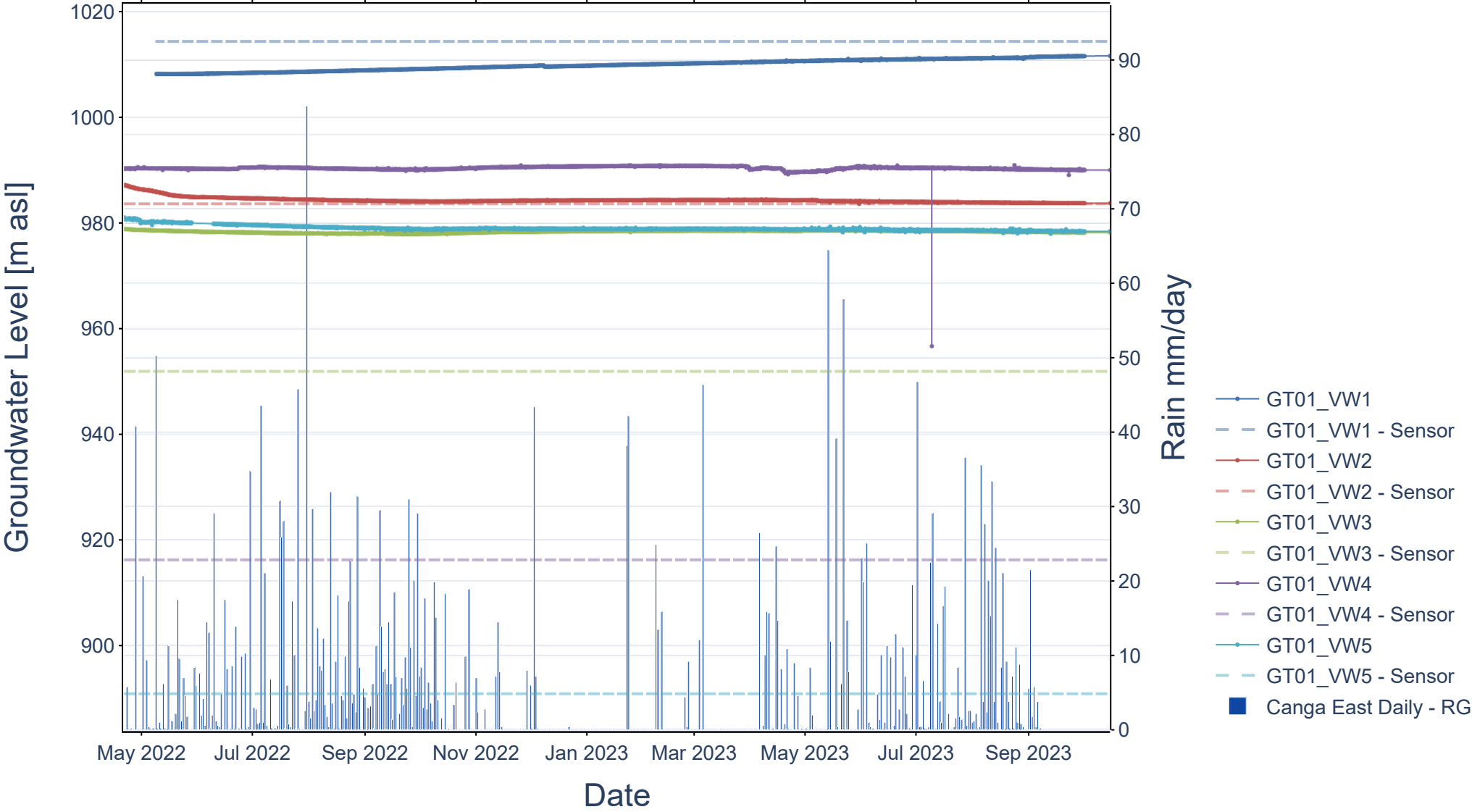


# DD13OUL939



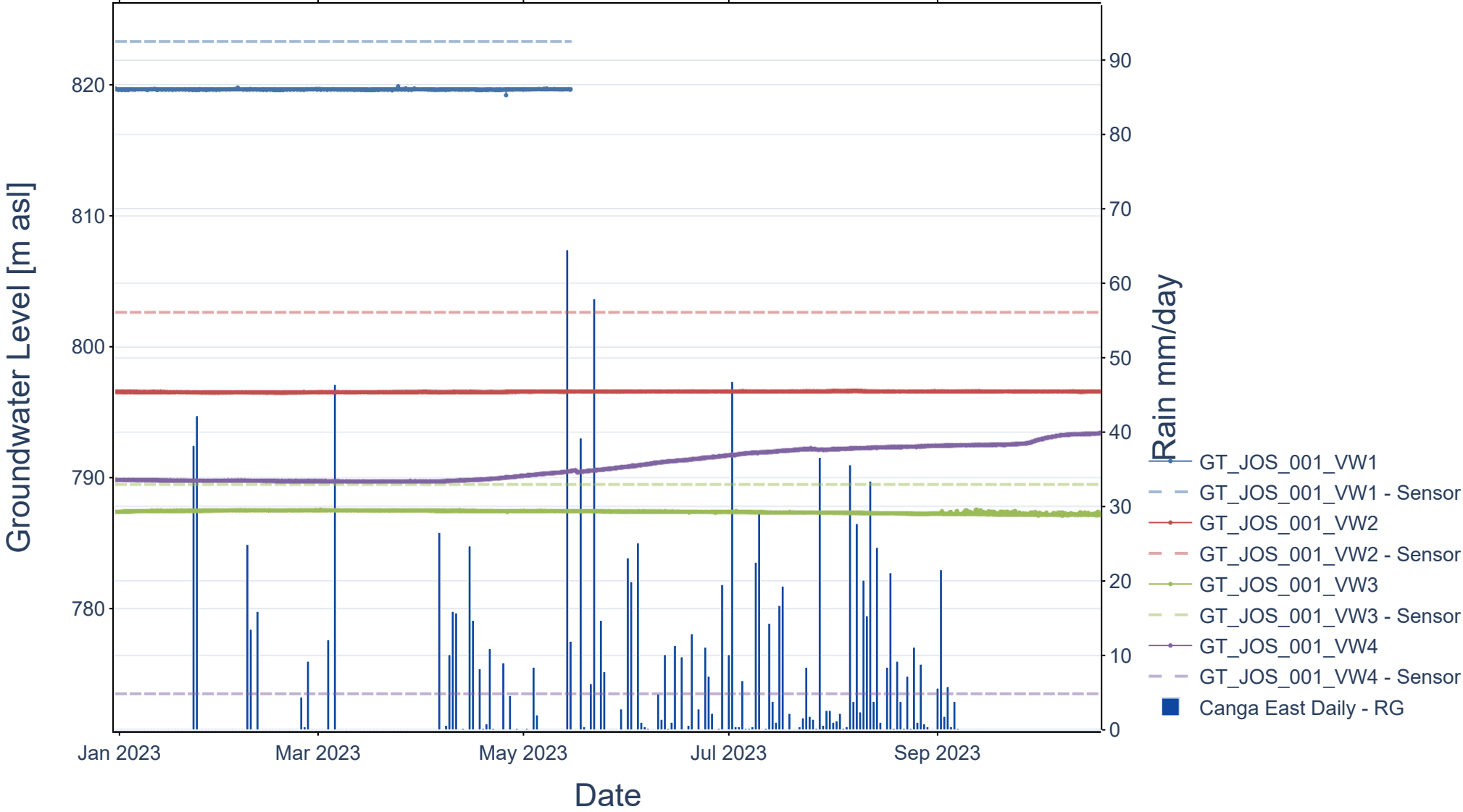


# GT01



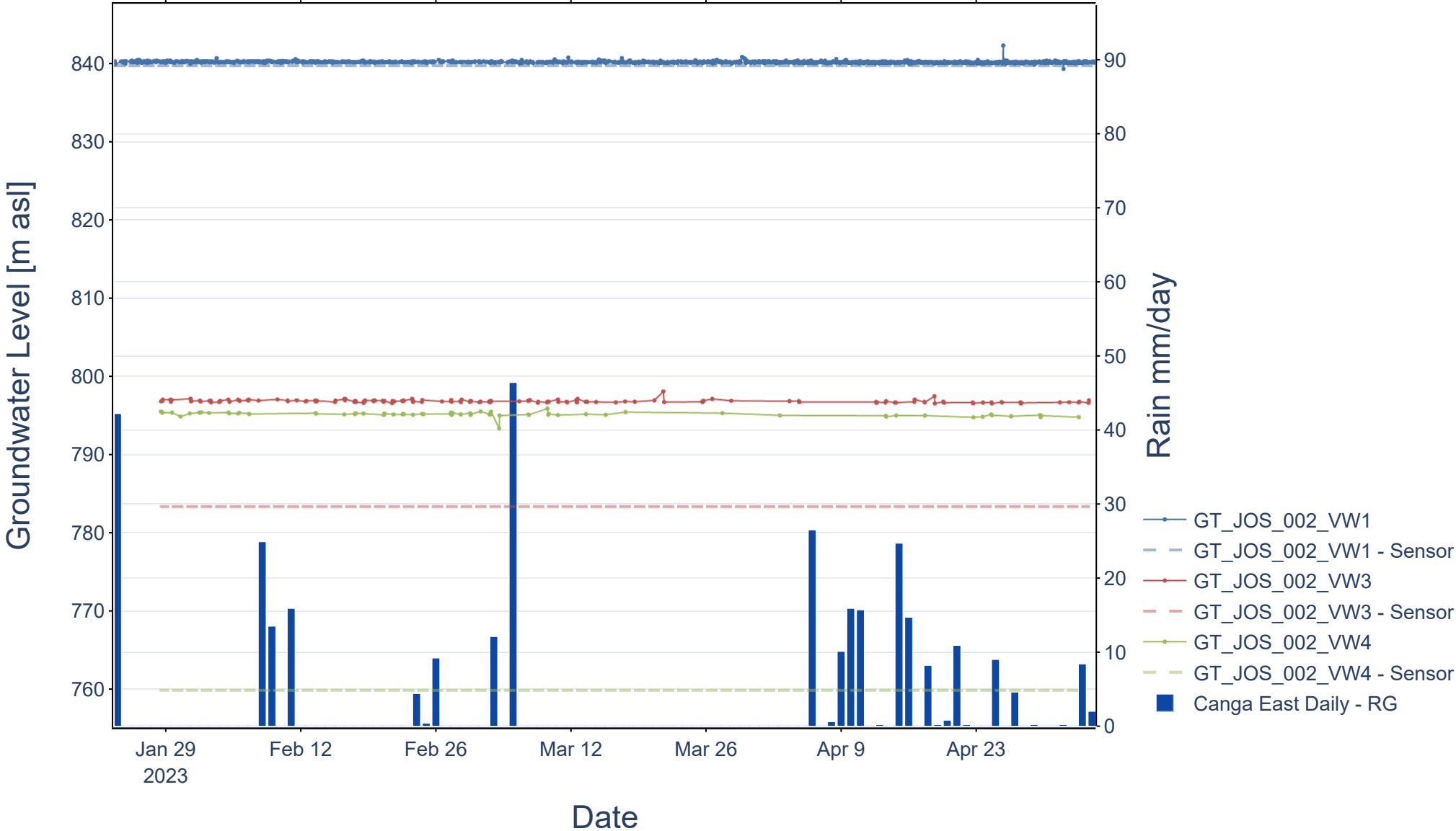


# GT\_JOS\_001





# GT\_JOS\_002



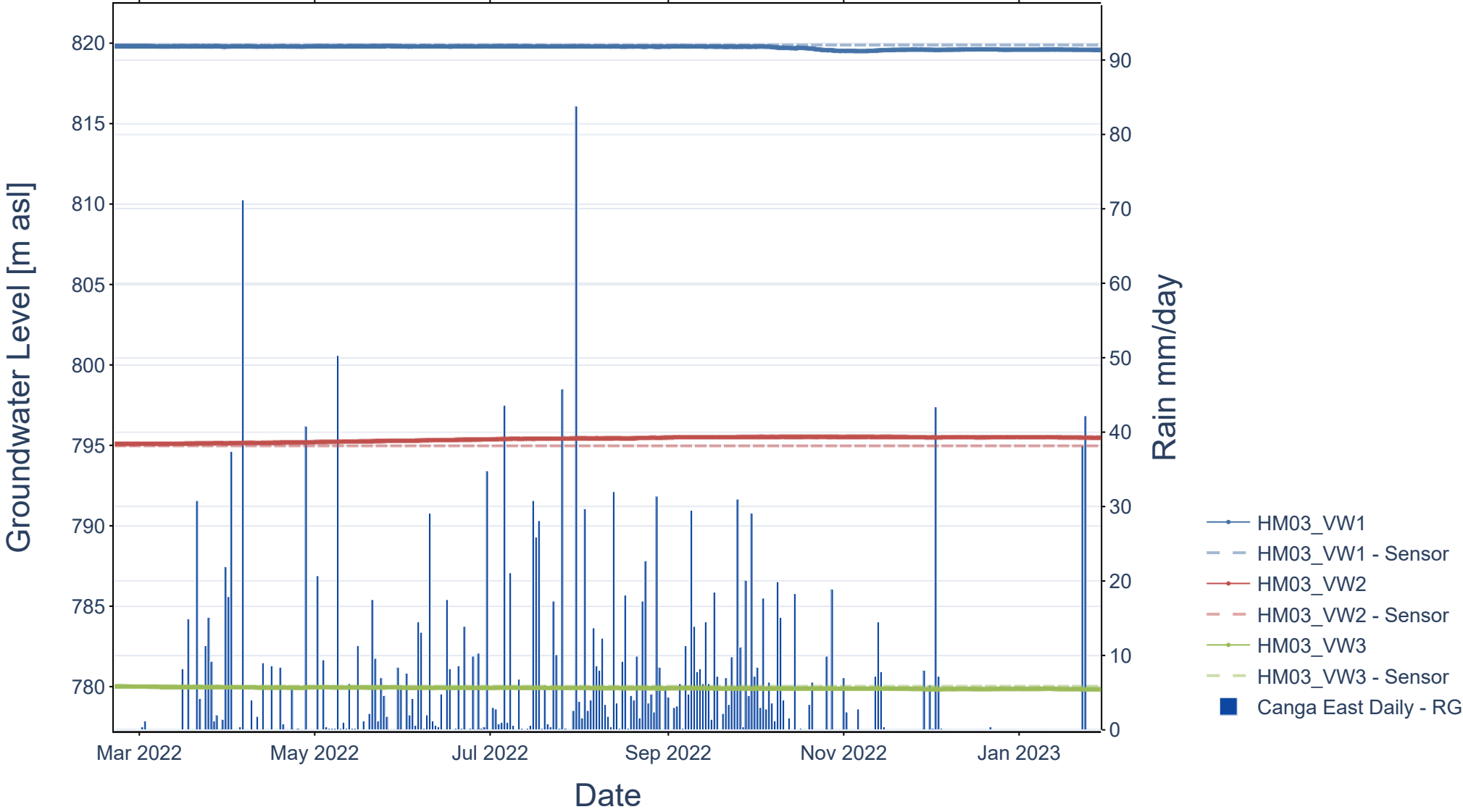


# HM02



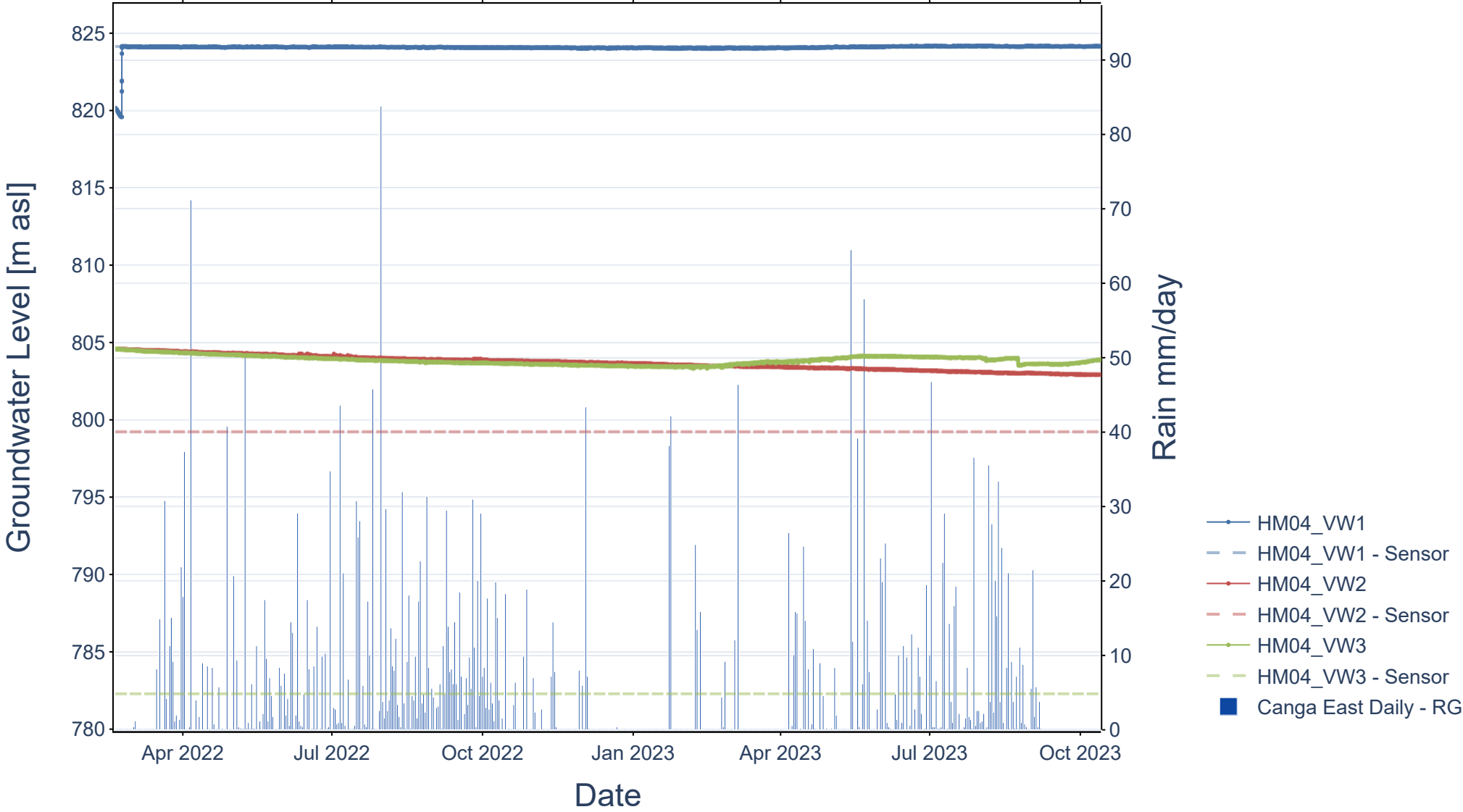


# HM03



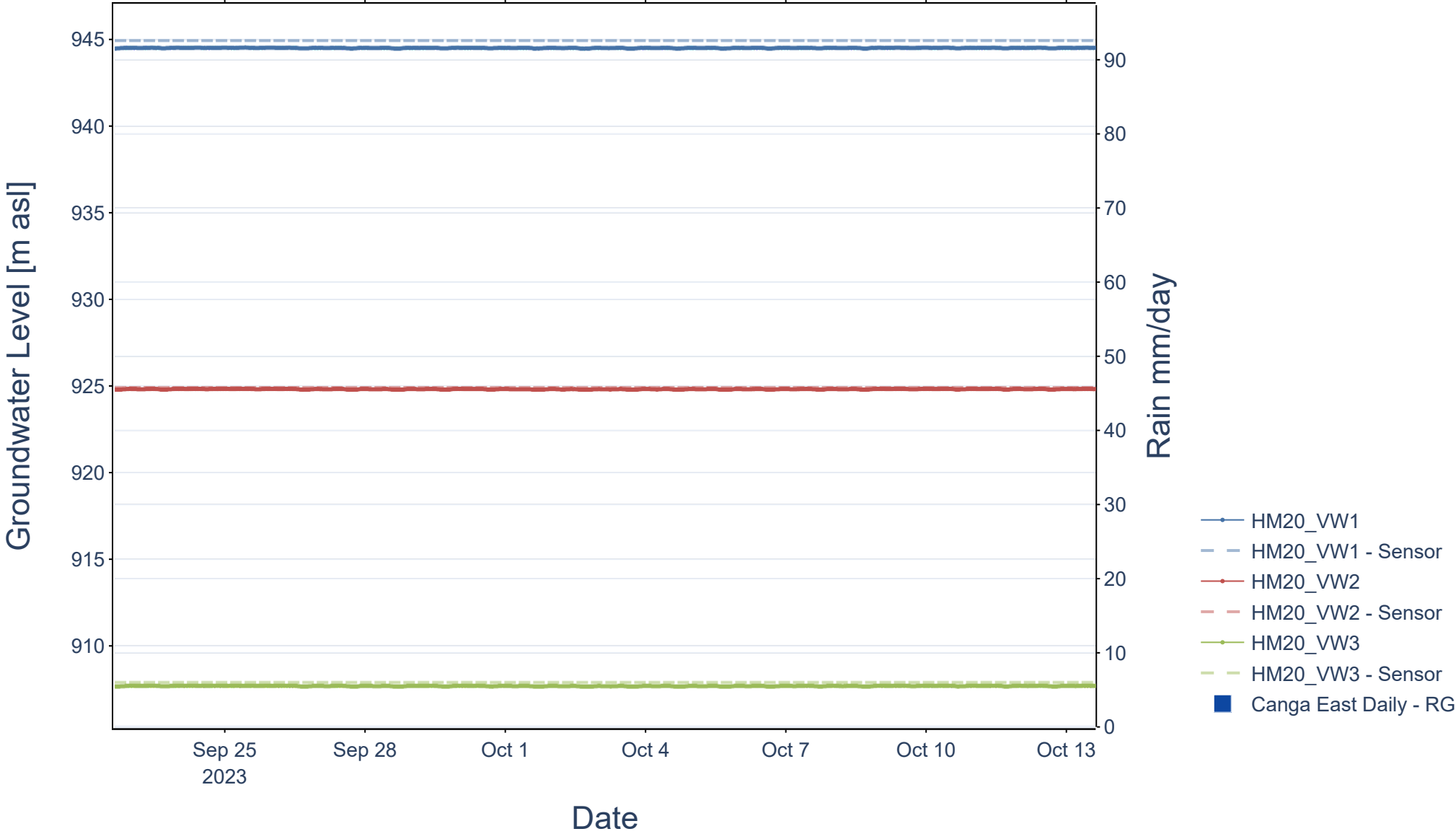


# HM04



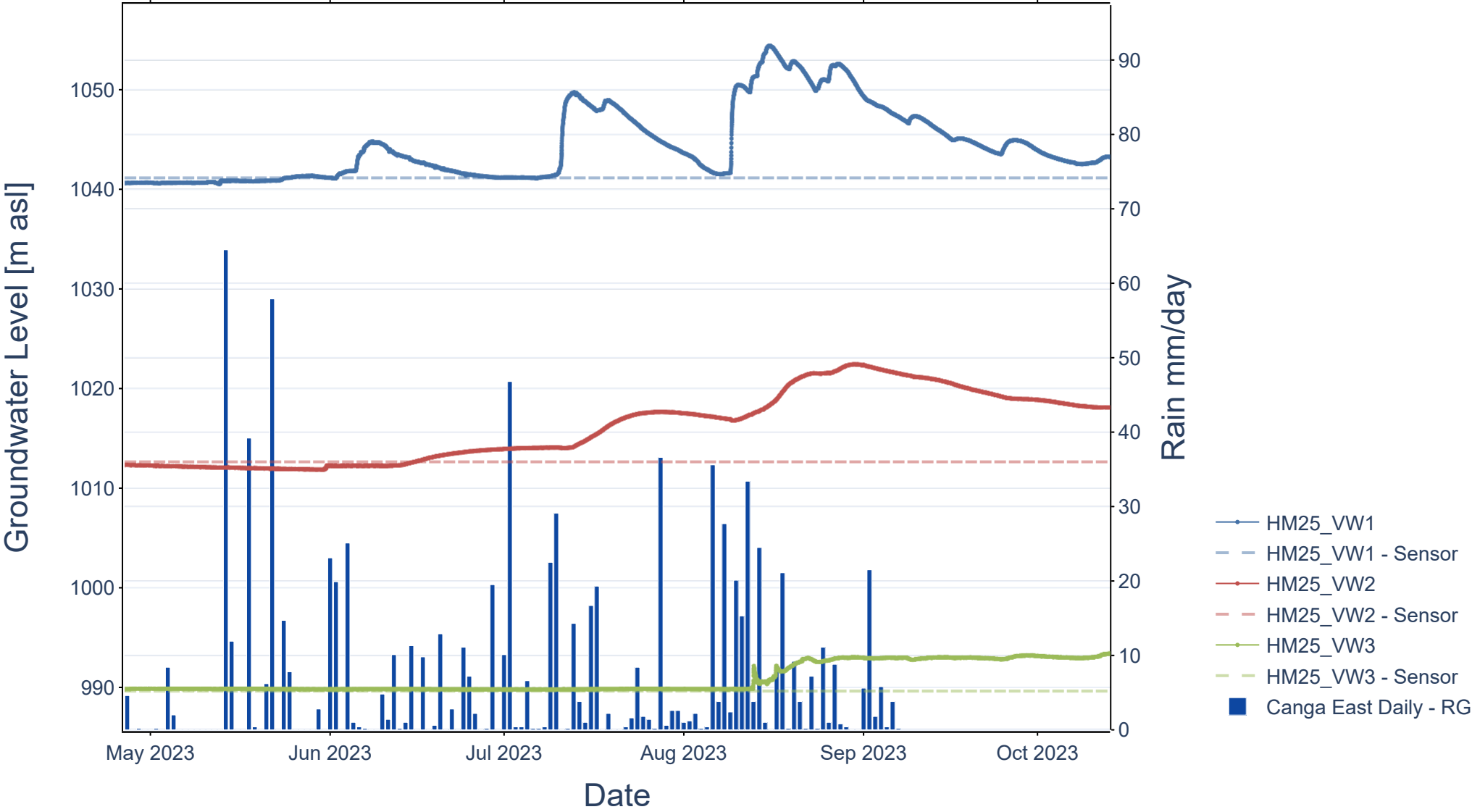


# HM20



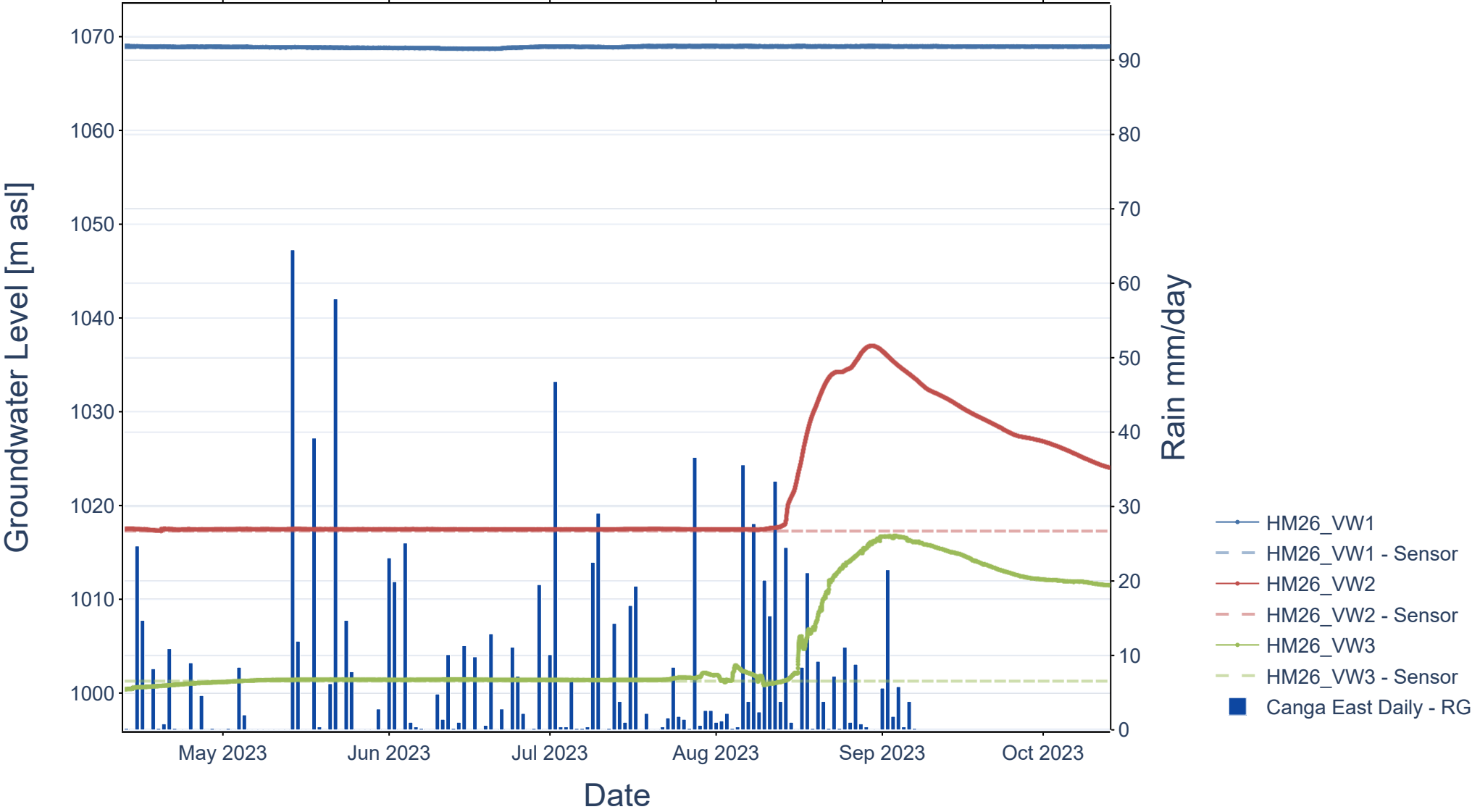


# HM25

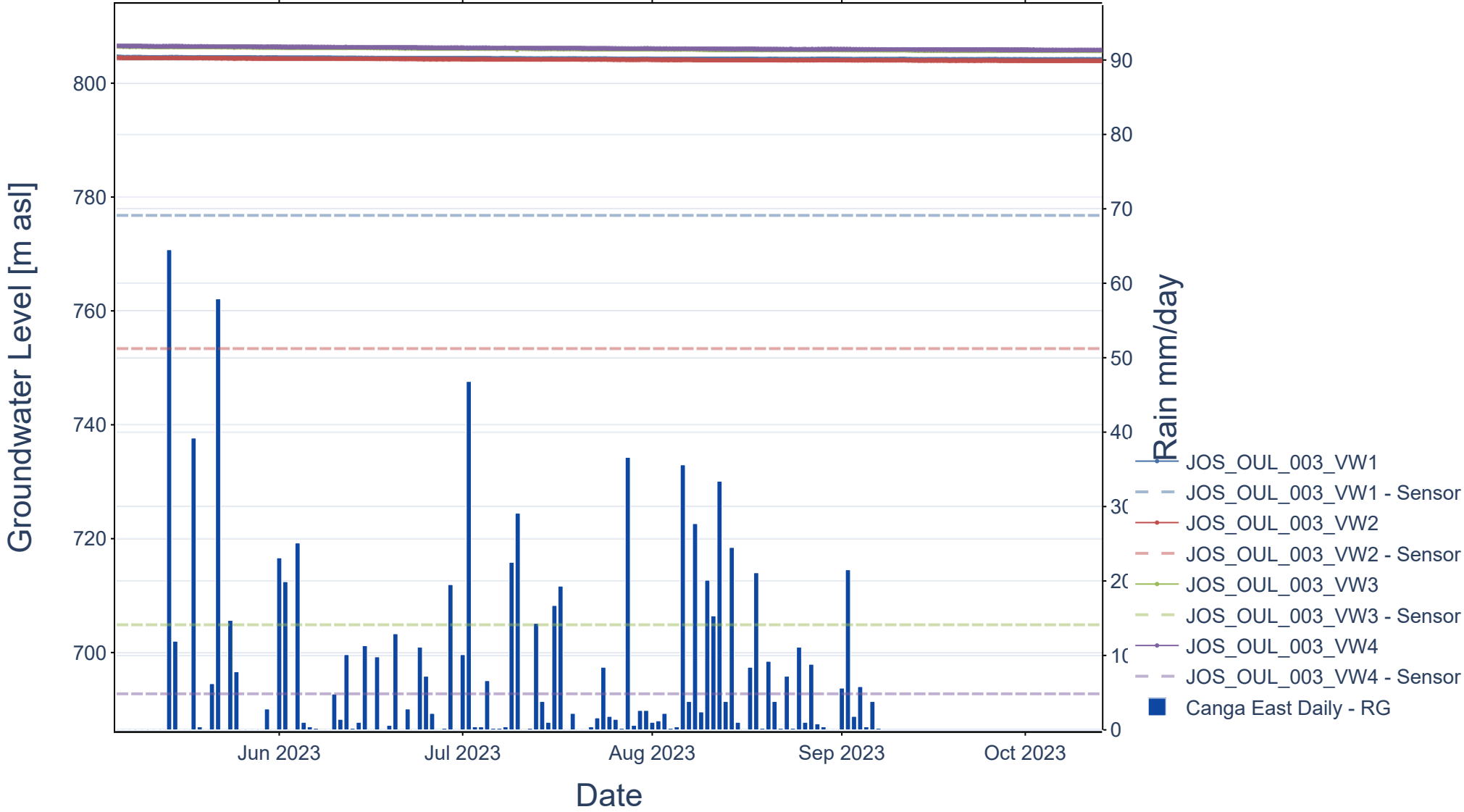




# HM26

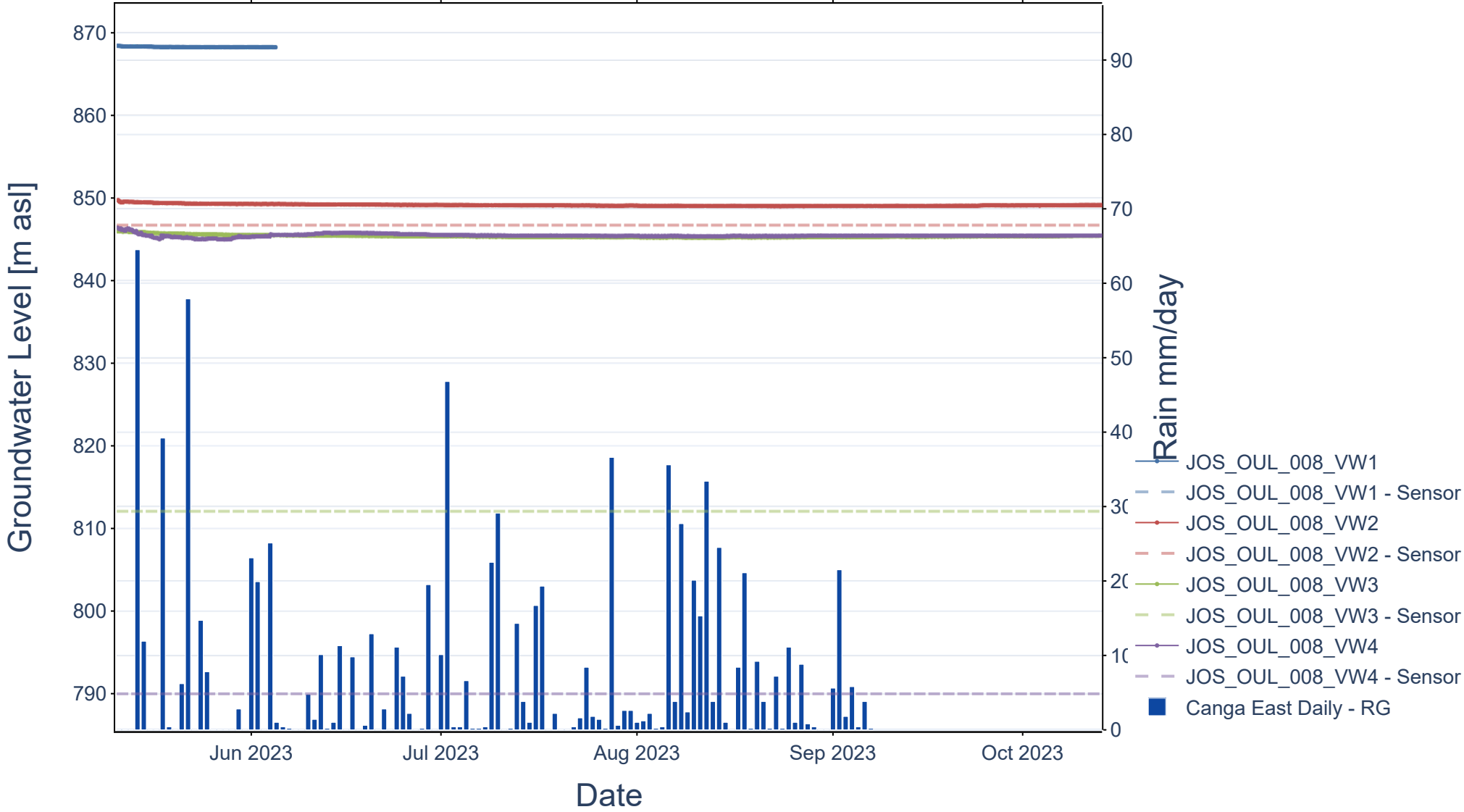






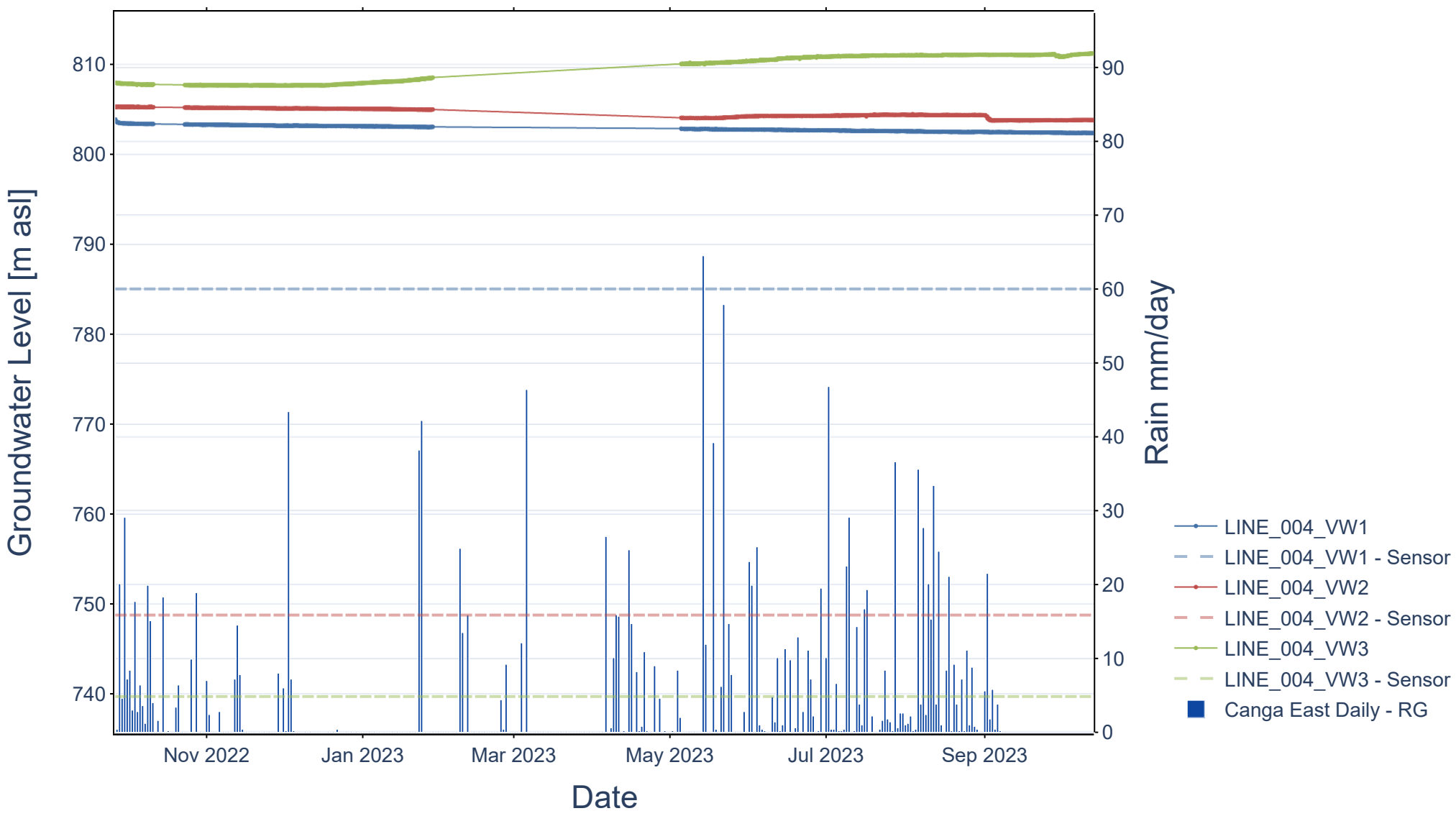


# JOS\_OUL\_008



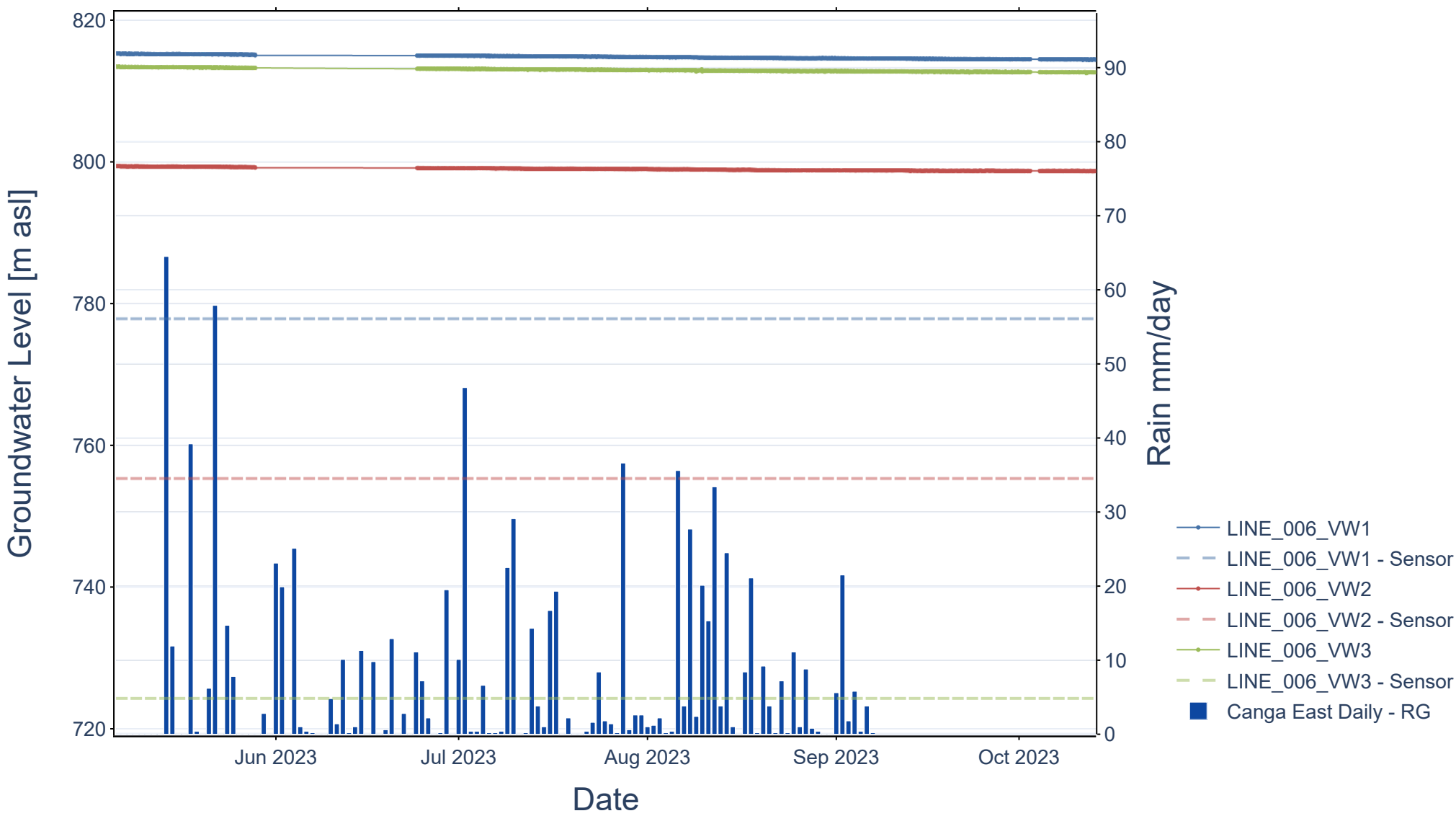


# LINE\_004



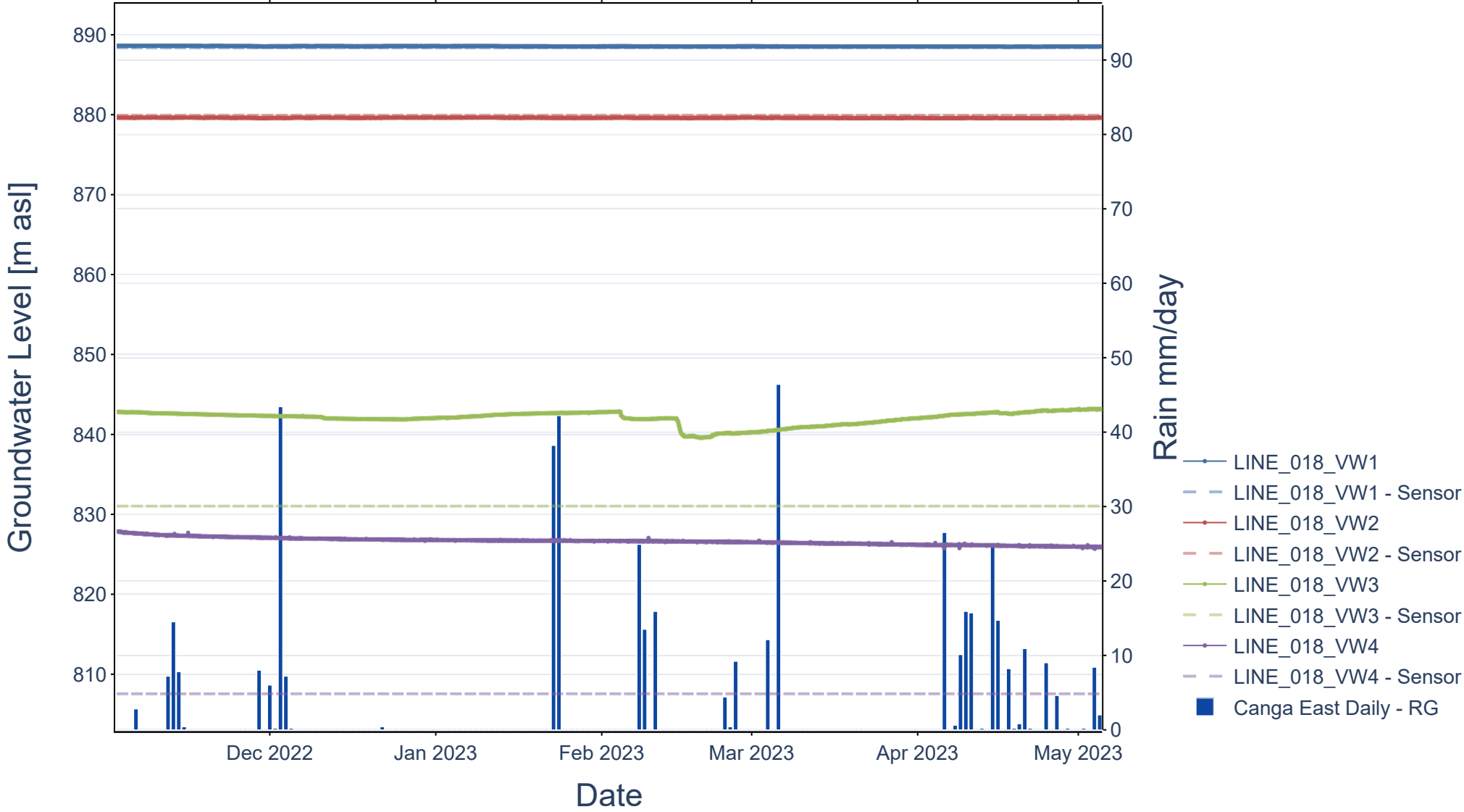


# LINE\_006



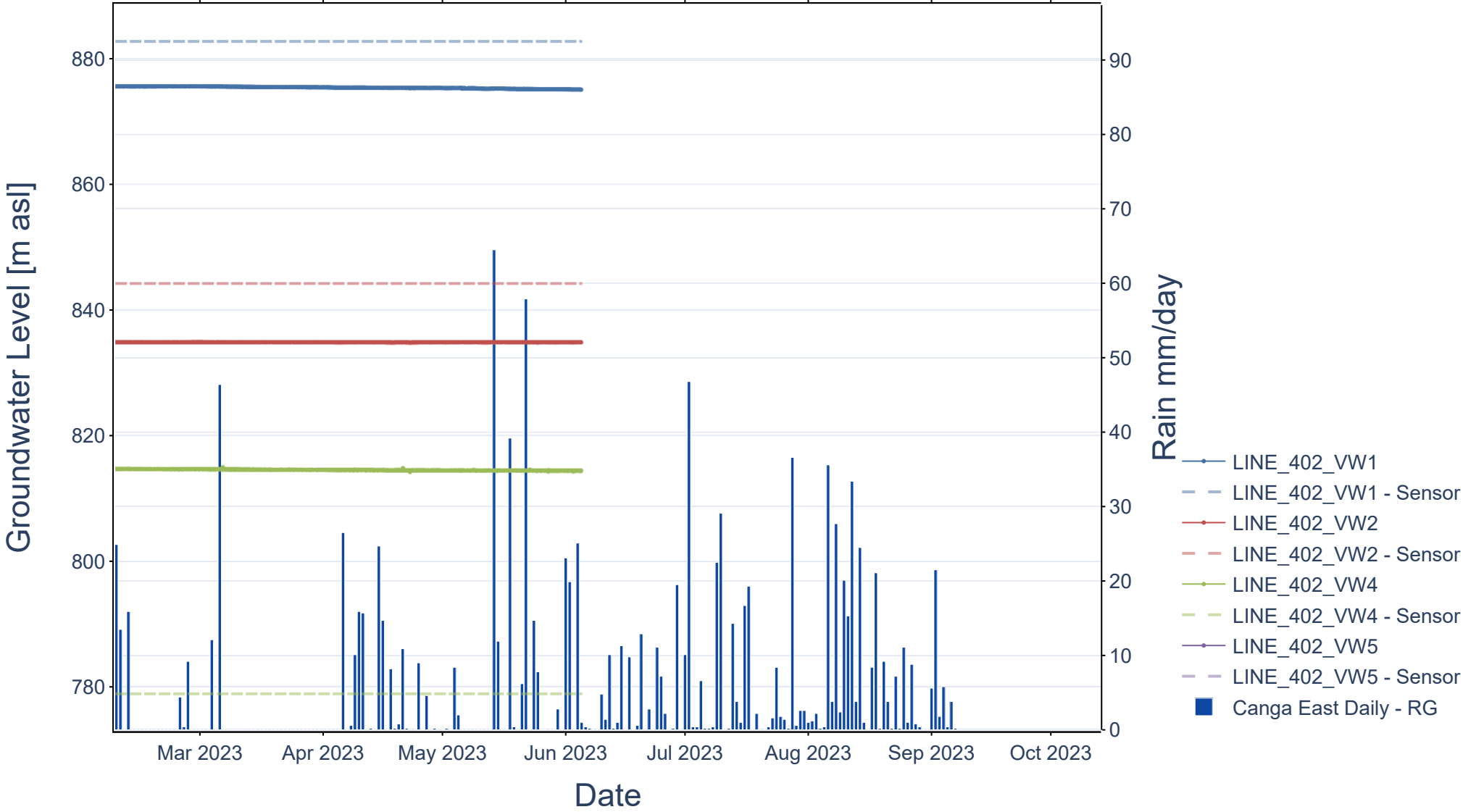


# LINE\_018



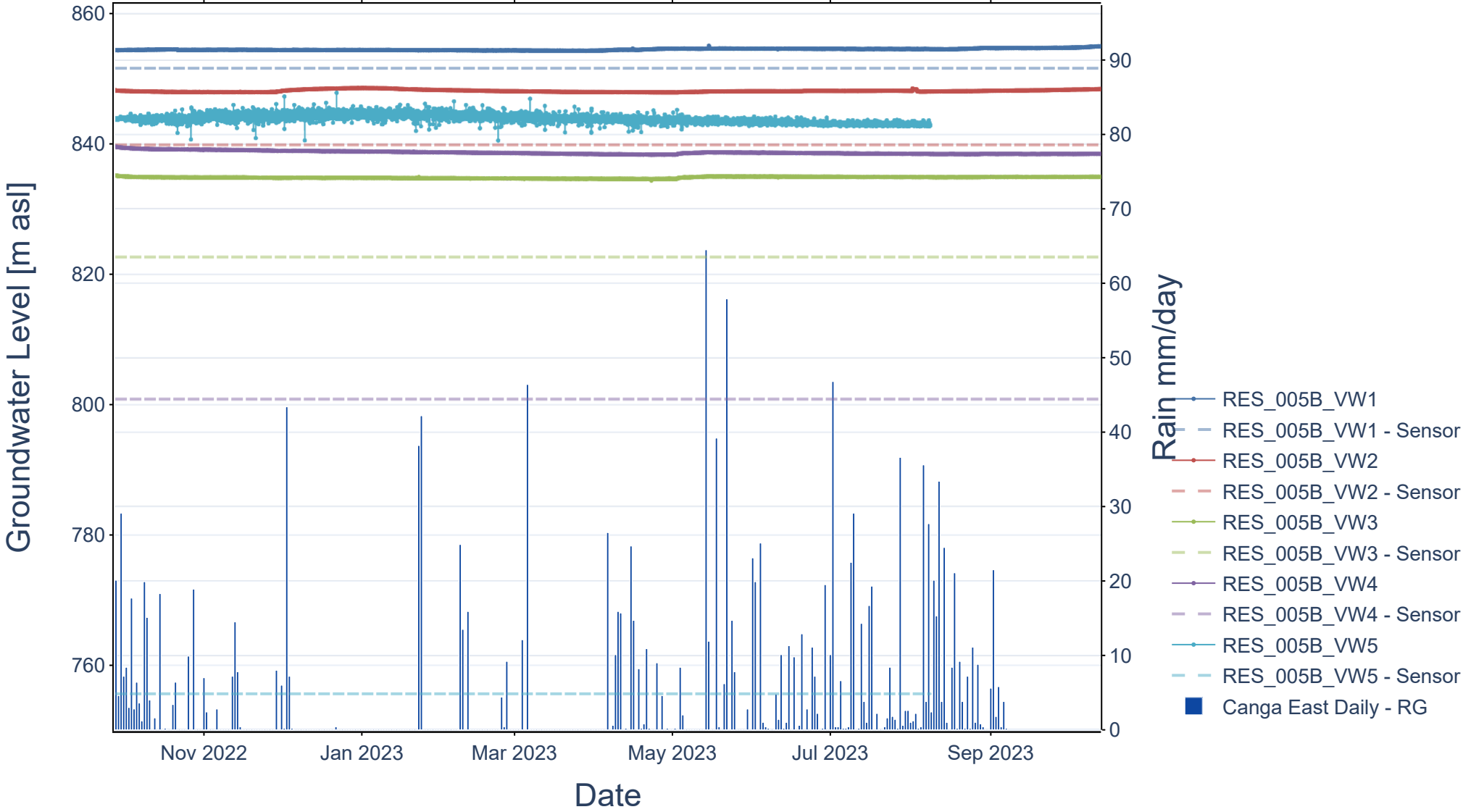


# LINE\_402

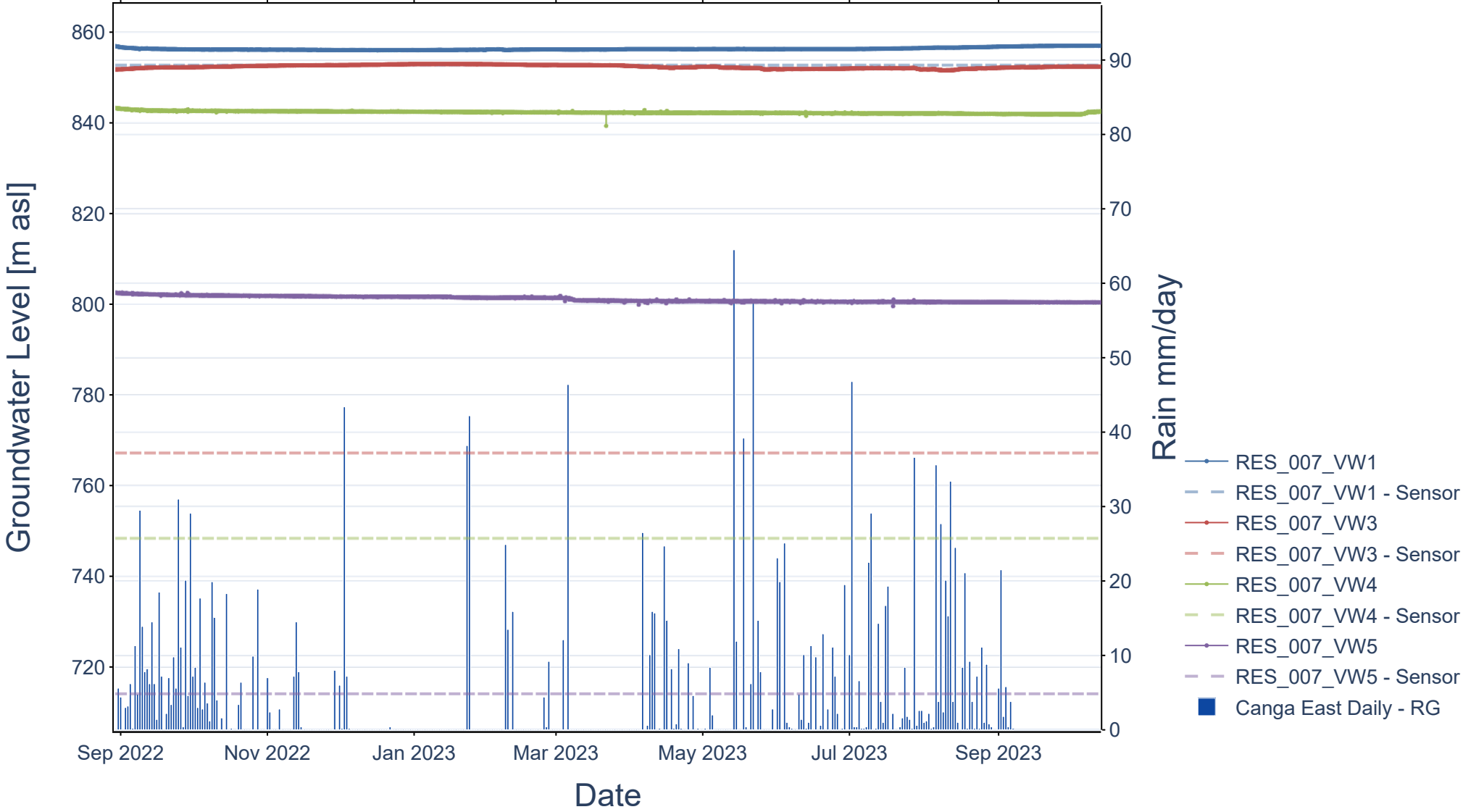




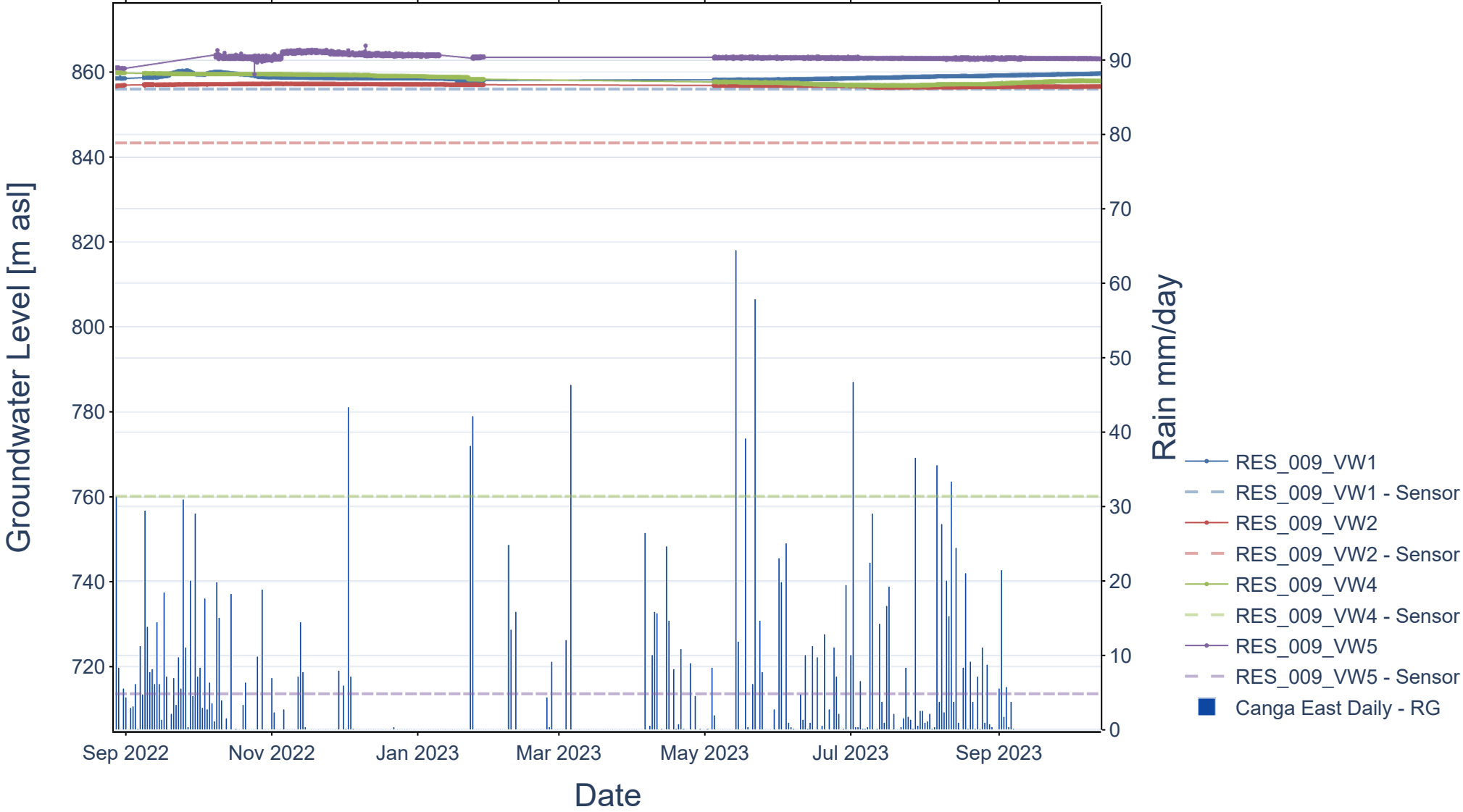
RES\_005B



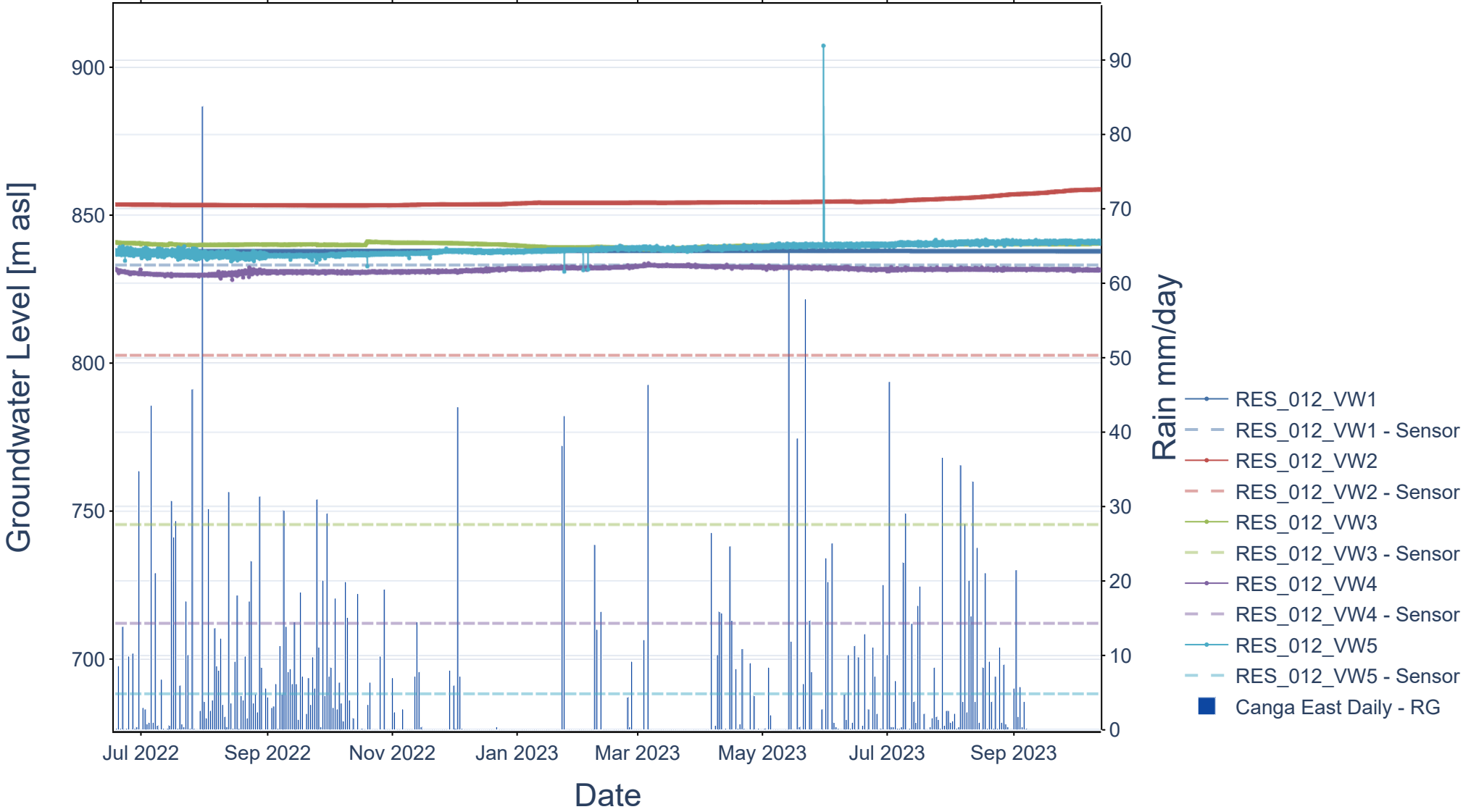




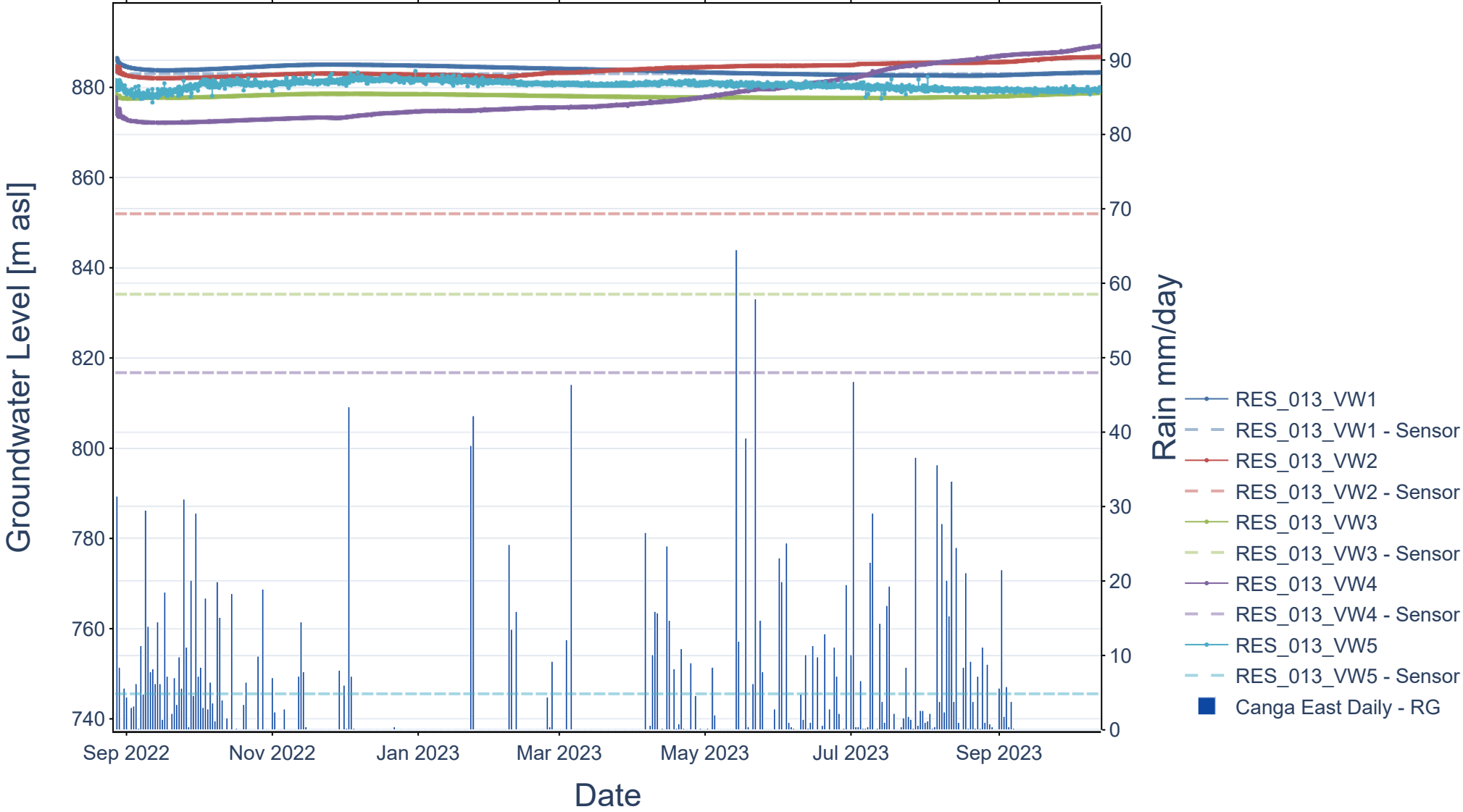






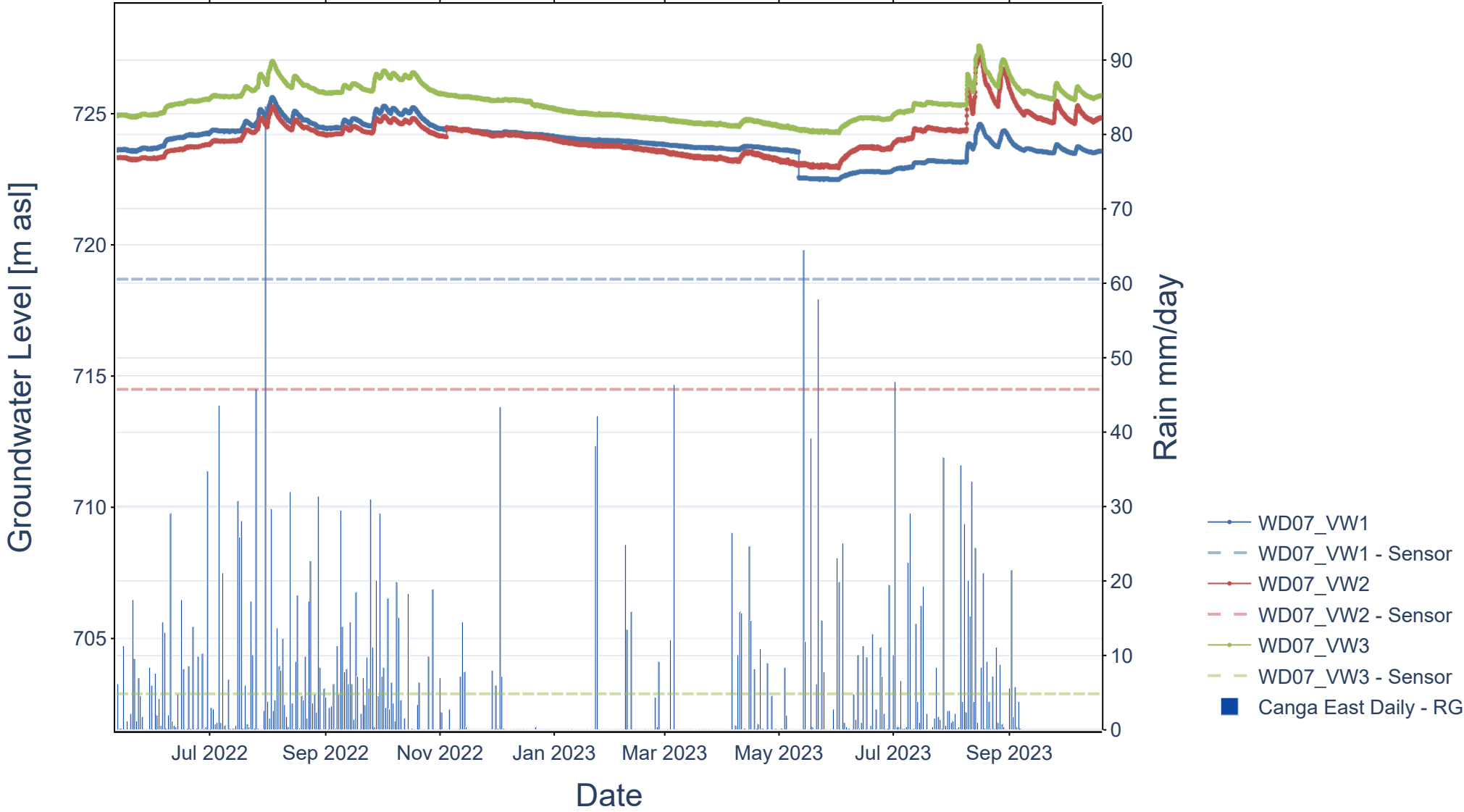








WD07





# **ANNEXE**

## **E    MODÈLE CONCEPTUEL DE OUÉLÉBA**



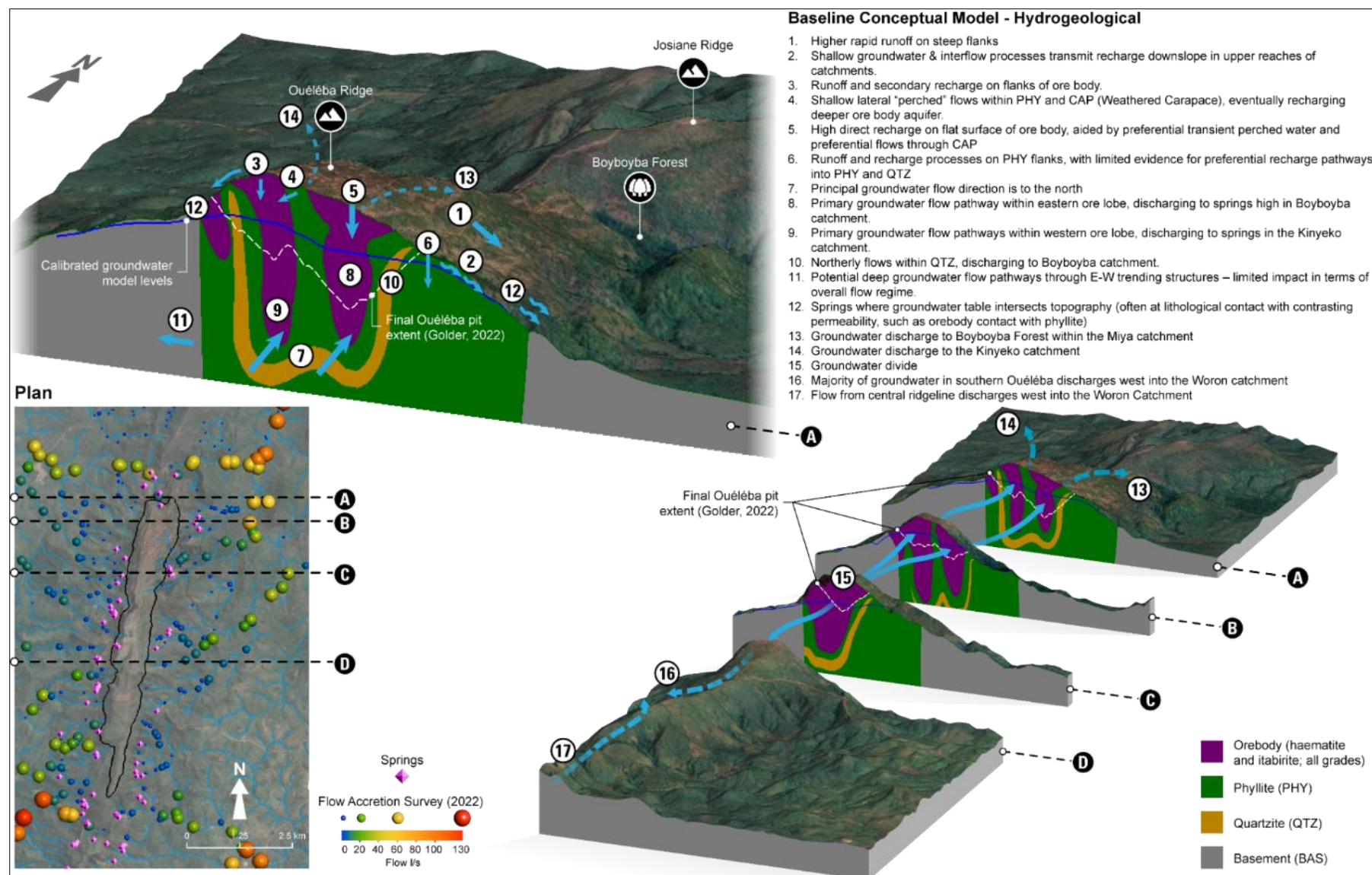


Figure E 1 : Modèle hydrogéologique conceptuel pour le nord d'Ouéleba – Schéma en 3D