

Mémorandum –
Service Géosciences



Lieu : Site de Goro

Date : 14/02/2025

Référence : GEOS_RM_2025_Janvier

Objet : KO2 : Suivi de l'auscultation - Rapport Mensuel - Janvier 2025

Auteur :

Validation :

Diffusion : PRNC

DIMENC:



SOMMAIRE

1 INTRODUCTION	5
2 EVENEMENTS PARTICULIERS ET INCIDENTS	6
3 SUIVI DES OPERATIONS DU PARC KO2.....	7
3.1. Suivi de la déposition des résidus	7
3.1.1.Bilan quantitatif des résidus	7
3.1.2.Levé topographique et bathymétrique des plages des résidus	8
3.2. Bilan hydrique du parc à résidus KO2.....	9
3.3. Capacité de stockage du parc à résidus KO2 et durée de vie	11
3.3.1.Hypothèses	11
3.3.2.Durée de vie du parc à résidus KO2 sans considérer le projet Lucy	11
3.3.3.Durée de vie du parc à résidus KO2 en considérant le projet Lucy	12
4 SUIVI DU RESEAU D'AUSCULTATION	13
4.1. Réseau d'auscultation et paramètres de suivi	13
4.1.1.Suivi piézométrique.....	16
4.1.2.Suivi des déplacements horizontaux et verticaux	20
4.1.3.Qualité des eaux.....	24
4.2. Seuils d'alerte fixés	24
5 RESULTATS D'AUSCULTATION	26
5.1. Niveaux piézométriques	26
5.1.1.Capteurs au sein de la fondation du barrage.....	26
5.1.2.Capteurs installés au sein du remblai du barrage	29
5.1.3.Bilan global vis-à-vis du TARP	33
5.1.4.Piézomètres en aval du barrage	34
5.2. Déplacements horizontaux.....	34
5.3. Tassements.....	36
5.3.1.Tassements totaux.....	36
5.3.2.Tassements au sein de la fondation	37
5.3.3.Tassement de la conduite	38
5.4. Débits et qualité des eaux du système de drainage sous la géomembrane	38
5.4.1.Résultats et interprétation.....	39
5.4.2.Résultats des vidéos inspections	39
5.5. Débits et qualité des eaux des drains de pied	40
5.5.1.Résultats et interprétation.....	40
5.5.2.Investigations complémentaires	41
5.6. Qualité des eaux souterraines.....	45
5.6.1.Sources WK17 et WK20	45
5.6.2.Piézomètres en aval du barrage KO2.....	46
6 PERFORMANCE DU PARC A RESIDUS KO2	47
7 CONCLUSION	48

FIGURES

Figure 1 : Plan de déposition des résidus entre le janvier et avril 2024 - Carte d'iso-épaisseur de résidus déposés pendant cette période.....	8
Figure 2 : Plan de déposition des résidus entre le 4 avril et le 13 mai 2024 - Carte d'iso-épaisseur de résidus déposé pendant cette période.....	9
Figure 3 : Plage de déposition selon le levé bathymétrique du 23 décembre 2024.....	9
Figure 4 : Variation du volume d'eau par rapport aux valeurs seuils du TARP.....	10
Figure 5 : Graphique - capacité résiduelle dans KO2 hors projet Lucy.....	11
Figure 6 : Graphique - capacité résiduelle dans KO2 avec projet Lucy.....	12
Figure 7 : Isoligne de pression interstitielle en kPa - Chainage 500 en date du 31/01/2025	31
Figure 8 : Isoligne de pression interstitielle en kPa - Chainage 700 en date du 31/01/2025	31
Figure 9 : Déversement de la fluorescéine.....	42
Figure 10 : Préleveur automatique installé sur le drain 4R8	42
Figure 11 : Traceur observé au niveau du drain 4R8	43
Figure 12 : Profils de conductivité électrique du surnageant réalisés le 18/12/2024	44
Figure 13 : Drain 4R8 : Conductivité électrique (EC) simulée et observée. Evolution du débit de fuite théorique	45

TABLEAUX

Tableau 1 : Evènements particuliers et incidents	6
Tableau 2 : Déposition des résidus - Données d'opération suivies-Janvier 2025	7
Tableau 3 : Gestion des eaux - Données d'opération suivies-Janvier 2025.....	10
Tableau 4 : Plan de Production - Budget 2025-2028	11
Tableau 5 : Présentation du réseau d'auscultation.....	14
Tableau 6 : Etat des piézomètres à corde vibrante au 31/01/2025.....	16
Tableau 7 : Liste de l'auscultation pour les mouvements en profondeur.....	20
Tableau 8 : Liste des SAAV.....	21
Tableau 9 : Liste des repères de tassements.....	22
Tableau 10: Valeurs de seuils pour les CPI et niveaux piézométriques observés dans la fondation au cours du mois de janvier 2025.26	26
Tableau 11: Valeurs de seuils pour les CPI et niveaux piézométriques observés dans les remblais.....	29
Tableau 12 : Tableau récapitulatif de l'analyse statistiques des CPI vis-à-vis du TARP.....	33
Tableau 13 : Résultats des déplacements constatés au niveau des inclinomètres - Janvier 2025.....	34
Tableau 14 : Tassement total au droit des extensomètres - Janvier 2025.....	36
Tableau 15 : Tassement de la fondation au droit des extensomètres - Janvier 2025	37
Tableau 16 : Tassement des conduites - Janvier 2025.....	38
Tableau 17 : Système de drainage sous la géomembrane- Seuils et valeurs durant le mois de janvier.....	38
Tableau 18 : Drains de pied- Seuils et valeurs durant le mois de Janvier.....	40
Tableau 19 : Sources- Seuils et valeurs durant le mois de janvier.....	45

ANNEXES

Annexe A : Localisation des instruments	
Annexe B-1 : TARP KO2	
Annexe B-2 : TARP KO2	
Annexe C : Graphiques issues des piézomètres VWP	
Annexe D : Graphiques issues des piézomètres aval	

Annexe E : Graphiques issues des inclinomètres

Annexe F : Graphiques issues des inclinomètres automatisés (SAA)

Annexe G : Graphiques issues des repères topographiques

Annexe H : Graphiques issues des extensomètres

Annexe I : Graphiques issues des tiges de tassement

Annexe J : Graphiques des débits et des conductivités des drains de pied et du réseau de drainage sous la géomembrane

Annexe K : Fiche de performance du barrage KO2

1 Introduction

PRNC exploite la mine de nickel et de cobalt de Goro, située en province Sud de la Nouvelle-Calédonie. Le procédé hydro-métallurgique de l'usine permet d'extraire le nickel et le cobalt contenus dans les minerais de latérites. Les résidus sont actuellement pompés sous forme de pulpe vers le parc à résidus KO2 pour y être stockés.

La conception du barrage ainsi que les exigences techniques pour sa construction ont fait l'objet d'un Dossier Définitif de Consultation du Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH) soumis en juillet 2005 puis d'un Dossier Complémentaire au Dossier Définitif soumis en juillet 2008. Ces dossiers ont respectivement reçu un avis favorable du CTPBOH en date du 25 octobre 2005, puis en date du 21 octobre 2008.

Les travaux de construction du barrage KO2 se sont achevés fin décembre 2016. L'évacuateur de crues est opérationnel depuis avril 2023.

Le barrage KO2 est classé en fonction de ses caractéristiques dimensionnelles en barrage de classe A, suivant le classement des barrages défini par le décret n°2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques, modifiant le décret 2007-1735 du 11 décembre 2007.

Toute modification substantielle apportée sur le barrage KO2 est donc soumise à l'avis du Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH), conformément à l'article R214-120-1 du code de l'environnement.

La construction de la verve Lucy 2.0 contre le talus aval du barrage KO2 a fait donc l'objet d'un Dossier de Consultation du Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH) en juillet 2022.

Ce dossier a reçu un avis favorable du CTPBOH en date du 13 mai 2024.

L'objectif de ce rapport est de présenter les données d'opération du parc à résidus KO2, les résultats détaillés de l'auscultation ainsi que la fiche de synthèse de performance de KO2 en mettant en relief les mesures du mois en cours.

A noter qu'une tierce expertise de l'auscultation est réalisé par le bureau d'études GEOS4D sous forme de rapport semestriel.

2 Evènements particuliers et incidents

Le Tableau 1 présente les évènements particuliers et les incidents marquants survenus au cours de l'année 2024-2025.

Tableau 1 : Evènements particuliers et incidents

Date	Evènements particuliers et incidents marquants
13 mai 2024	Emeutes en Nouvelle-Calédonie : <ul style="list-style-type: none"> - Arrêt de production usine et Mine - Pas d'accès routier au site - Plus d'approvisionnement en eau brute depuis le début des blocages/émeutes. - Plus d'électricité sur site, coupure de la ligne à haute tension 150 kVa
Depuis le 21 mai 2024	Fonctionnement en 4x4 des techniciens Géosciences
03 juin 2024	Mise en place du chômage partiel avec un personnel réduit sur site en fonction des besoins en termes de sécurité et de mise en sommeil des installations. A noter que pour le KO2, l'équipe de suivi a été maintenue avec un technicien présent sur site 7/7.
Depuis le 21 juin 2024	Une solution alternative par groupe électrogène a permis de retrouver de l'énergie (non suffisante pour produire ni alimenter tous les secteurs du site)
13 novembre 2024	Séisme ressenti à Nouméa
18 novembre 2024	Reprise de l'activité sur site (usine toujours à l'arrêt)
17 décembre 2024	Séisme ressenti à Nouméa
23 décembre 2024	Redémarrage de l'usine
23 décembre 2024	Reprise d'un fonctionnement en 5/2 des techniciens Géosciences

3 Suivi des opérations du parc KO2

3.1. Suivi de la déposition des résidus

3.1.1. Bilan quantitatif des résidus

Le bilan quantitatif consiste principalement à évaluer :

- La quantité de résidus déposés dans le parc à résidus KO2 ;
- La capacité de stockage restante dans le parc à résidus KO2 et par conséquent sa durée de vie.

La réalisation de ce bilan repose sur 3 activités principales :

- Le traitement des données d'opération via un fichier de suivi automatisé ;
- La réalisation de levés topographiques et bathymétriques ;
- L'estimation de la capacité restante et de la durée de vie du parc à résidus KO2.

Un fichier Excel complet a été élaboré par les départements Géosciences et Process tech afin de faciliter et consolider la collecte et le traitement des données d'opération.

Ce fichier permet d'obtenir, de manière quasi-automatique, les données d'opération par jour, par semaine et par mois.

Nous présentons dans le tableau suivant, les données d'opération du mois de janvier 2025 relatives à la déposition des résidus.

Tableau 2 : Déposition des résidus - Données d'opération suivies-Janvier 2025

Donnée	Valeur
Flux de pulpe arrivant dans le parc à résidus KO2 (m ³ /mois)	1 173 711
Pourcentage solide de la pulpe arrivant dans le parc à résidus KO2 (%)	22
Densité de la pulpe	1,18
Tonnage de la pulpe (t/mois)	1 384 510
Tonnage solide de la pulpe (t/mois)	306 617
Tonnage liquide de la pulpe (t/mois)	1 077 893
Volume cumulé de résidus stockés (m ³)	32 669 852
% de remplissage du parc à résidus	82%

Il est à noter que le point de rejet opérationnel depuis le 21 février 2024 est le Spigot Sud qui a été mis en place pour accélérer la couverture de la digue sud.

3.1.2. Levé topographique et bathymétrique des plages des résidus

Des levés topographiques et bathymétriques sont réalisés toutes les 6 à 8 semaines selon le niveau de TARP associé au volume de surnageant et selon le rythme de remplissage du KO2.

La plage de résidus subaérienne fait l'objet d'un levé topographique tandis que la plage de résidus subaquatique fait l'objet d'un levé bathymétrique.

Ces levés permettent de vérifier le profil de la plage de résidus, le volume d'eau libre au moment du levé et le volume des résidus déposés.

Depuis sa mise en opération le 21 février 2024, le rejet par le spigot sud a permis de rehausser la plage de déposition d'environ 6 m. Cf. Figures 1 & 2.

Il est à noter que les émeutes ont entraîné un arrêt de production de l'usine et donc aucun apport de résidus depuis le 15 mai et ce, jusqu'au 23 décembre 2024.

Le dernier levé bathymétrique a été réalisé le 23 décembre 2024. Ce levé montre que le plan d'eau contre la digue sud varie de 0 à 3 m. La zone « dog leg » est complètement hors d'eau. Cf. Figure 3.

Le prochain levé est planifié en mars 2024.

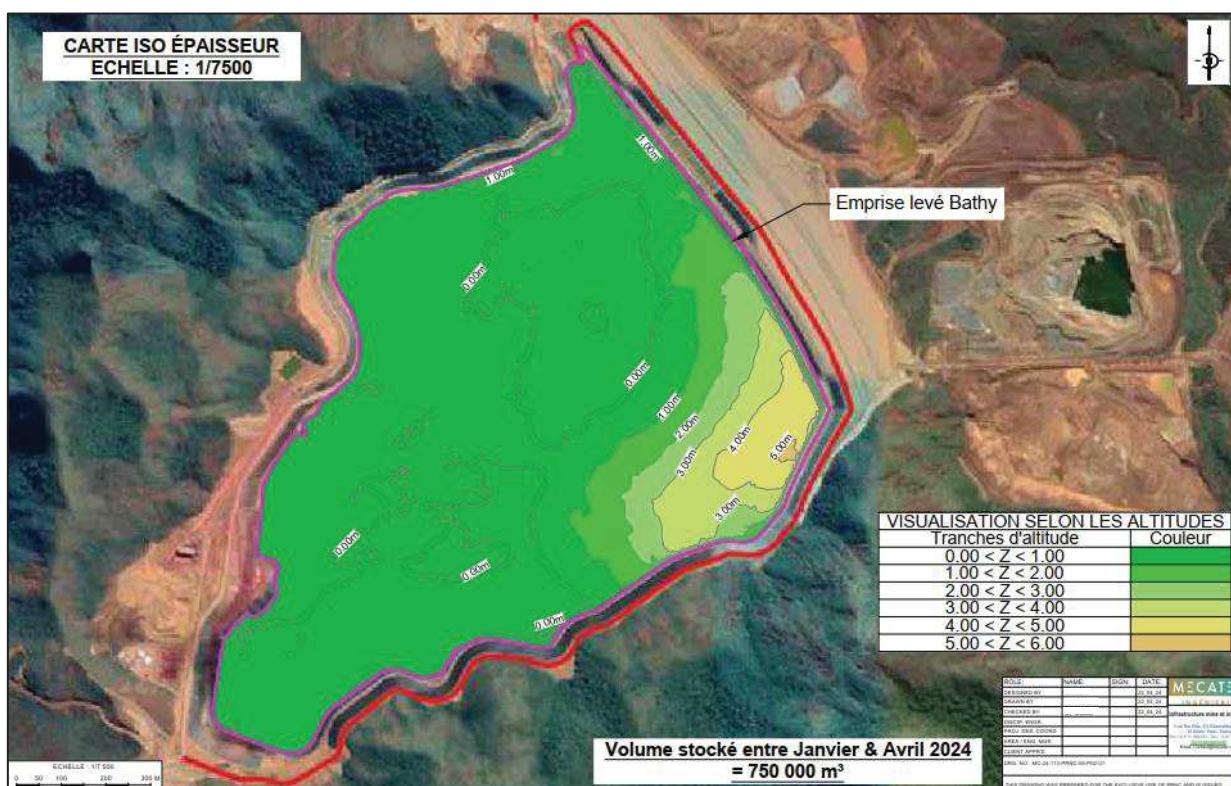


Figure 1 : Plan de déposition des résidus entre le janvier et avril 2024 – Carte d'iso-épaisseur de résidus déposés pendant cette période

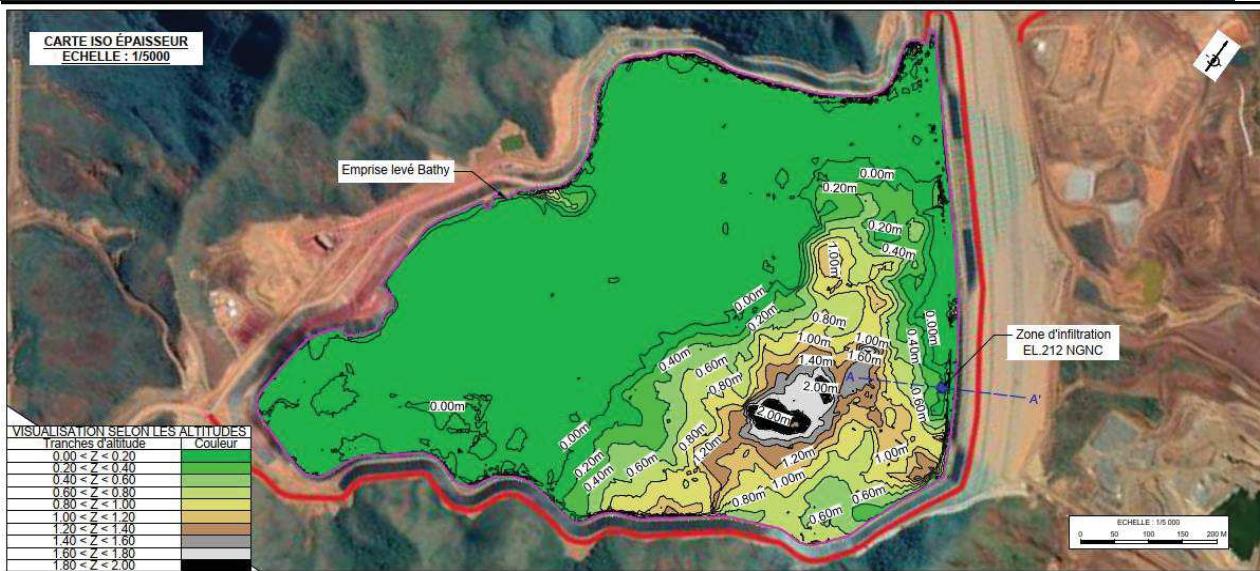


Figure 2 : Plan de déposition des résidus entre le 4 avril et le 13 mai 2024 – Carte d'iso-épaisseur de résidus déposé pendant cette période

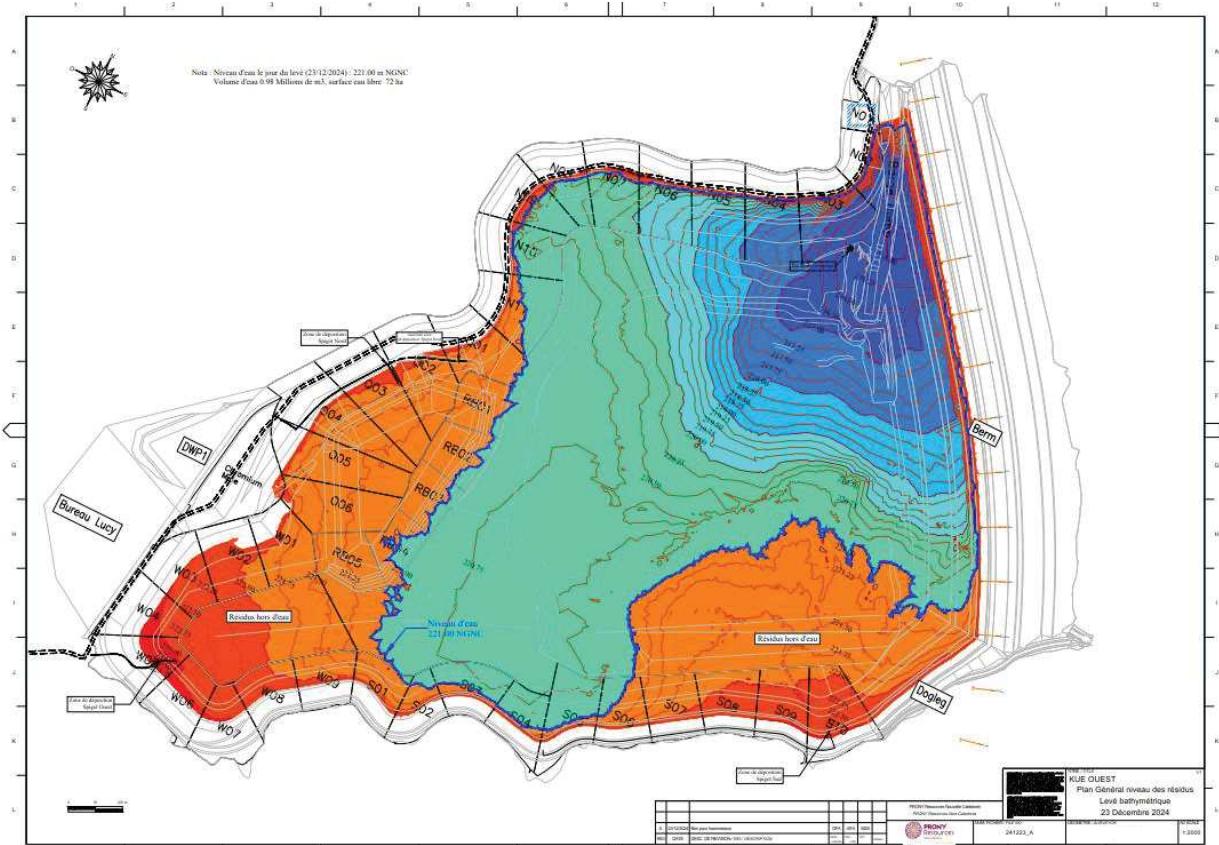


Figure 3 : Plage de déposition selon le levé bathymétrique du 23 décembre 2024

3.2. Bilan hydrique du parc à résidus KO2

La collecte et le traitement des données en lien avec la gestion des eaux du parc à résidus sont également réalisés à l'aide d'un fichier Excel.

Ce fichier permet d'obtenir, de manière quasi-automatique les données d'opération par jour, par semaine et par mois.

Il permet également de faire des estimations de l'évolution du volume de surnageant stocké dans le parc à résidus selon le plan de production attendu.

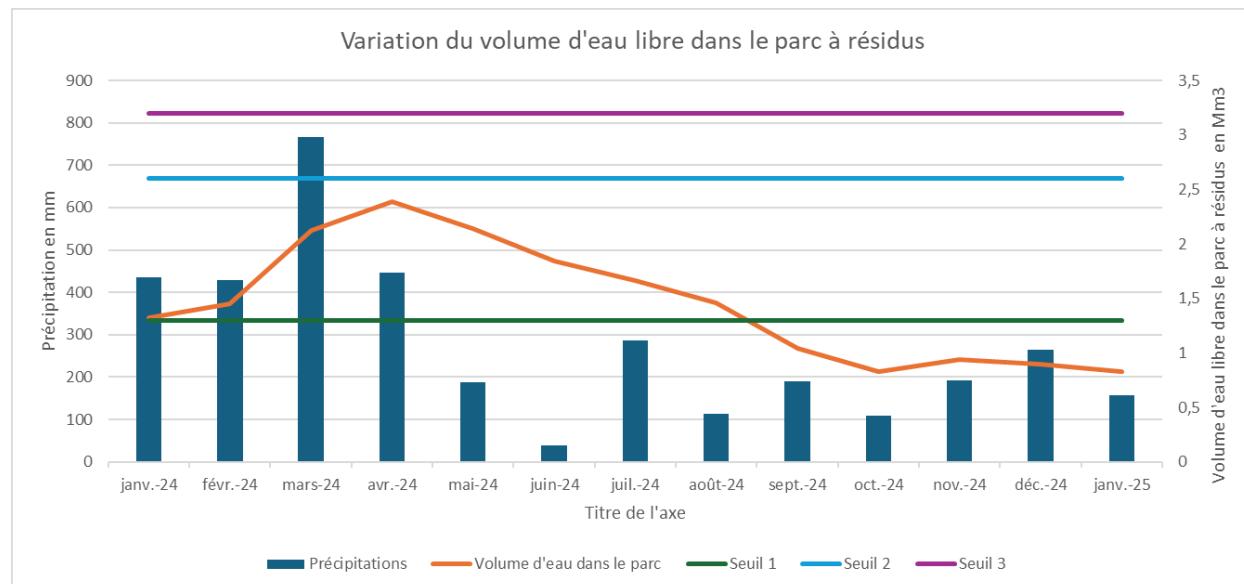
Nous présentons dans le tableau suivant, les données d'opération mensuelles relatives à la gestion des eaux.

Tableau 3 : Gestion des eaux - Données d'opération suivies-Janvier 2025

Donnée	Valeur
Volume de surnageant en fin du mois de décembre (m³)	893 611
Précipitation (m ³)	203 406
Evaporation (m ³)	108 064
Delta pluie-évaporation (m ³)	95 342
Volume eau libre dans la pulpe (m ³)	866 788
Volume d'eau pompé à partir de la barge de pompage (m ³)	1 057 508,58
Volume d'eau envoyée depuis le puits de pompage aval vers le parc à résidus KO2 (m ³)	28 959
Delta volume eau libre (m ³)	-66 420
Volume de surnageant en fin du mois de janvier (m³)	827 191
Niveau d'eau du bassin de décantation en fin du mois de Janvier	221
Comparaison du volume de surnageant aux seuils du TARP	< 1,3 Mm ³ (seuil 1)

La comparaison du volume de surnageant aux seuils du TARP se fait hebdomadairement et mensuellement.

La figure suivante permet de comparer le volume d'eau dans le parc à résidus KO2 avec les valeurs seuils du TARP.



⇒ Le volume de surnageant évalué en janvier 2025 est en dessous du seuil 1 fixé à 1.3 Mm³.

3.3. Capacité de stockage du parc à résidus KO2 et durée de vie

3.3.1. Hypothèses

L'estimation de la capacité résiduelle du parc à résidus KO2 a été réalisée en considérant les hypothèses suivantes :

- Un volume de surnageant dans le parc à résidus de 2,3 Mm³,
- Une revanche de 1,6 Mm³ pour écrêter la crue centennale d'une durée de 10 jours, soit un volume de 1,6 Mm³ ;
- Un volume de résidus stockés actuellement d'environ 32,3 Mm³ ;
- Une capacité de stockage totale de 45 Mm³ ;
- Une capacité résiduelle estimée à 8,8 Mm³ ;
- Un plan de production comme détaillé dans le tableau ci-dessous ;
- Démarrage de Lucy en janvier 2026 ;
- Bypass à partir de janvier 2026 : 10%.

Tableau 4 : Plan de Production - Budget 2025-2028

Année	Minéral alimenté (en tonnes sèches)	Ratio	Résidus Neutralisés (en tonnes sèches)
2 025	3 489 192	1,3	4 535 949
2 026	3 542 842	1,3	4 605 695
2 027	3 444 202	1,3	4 477 462
2 028	3 564 410	1,3	4 633 733

3.3.2. Durée de vie du parc à résidus KO2 sans considérer le projet Lucy

En prenant en considération les hypothèses ci-dessous ainsi que la capacité résiduelle actuelle du KO2, la durée de vie de KO2 est estimée à **2 ans**. Cf. Figure 5. La durée de vie du parc à résidus KO2 peut être modifiée en fonction des hypothèses considérées.

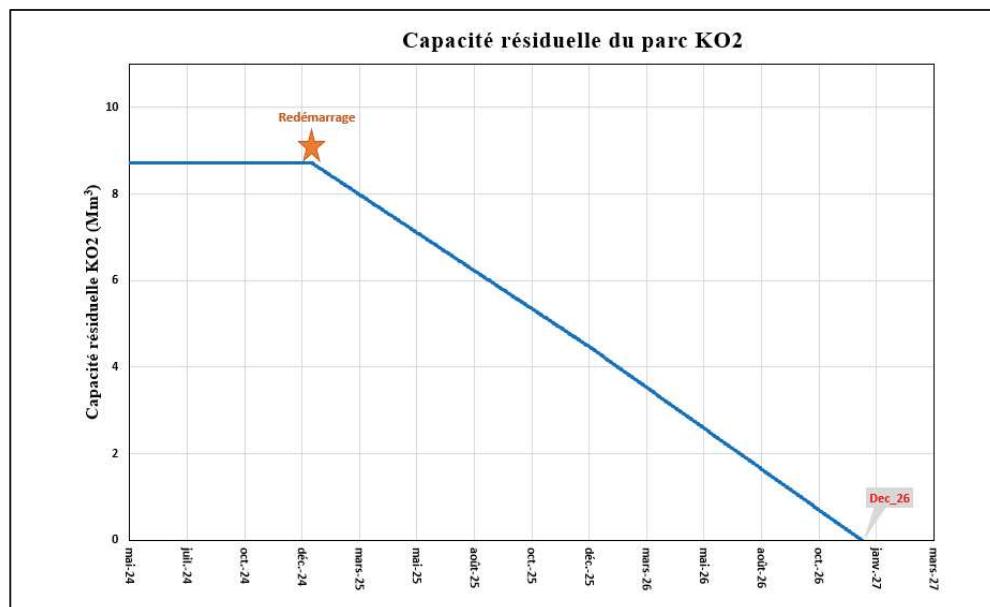


Figure 5 : Graphique - capacité résiduelle dans KO2 hors projet Lucy

3.3.3. Durée de vie du parc à résidus KO2 en considérant le projet Lucy

En prenant en considération les hypothèses présentées ci-dessus ainsi qu'un démarrage de stockage de résidus asséchés à partir de janvier 2026, le parc à résidus KO2 atteindra sa capacité de stockage maximale en juin 2035. Cf. Figure 6. La durée de vie du parc à résidus KO2 peut être modifiée en fonction des hypothèses considérées.

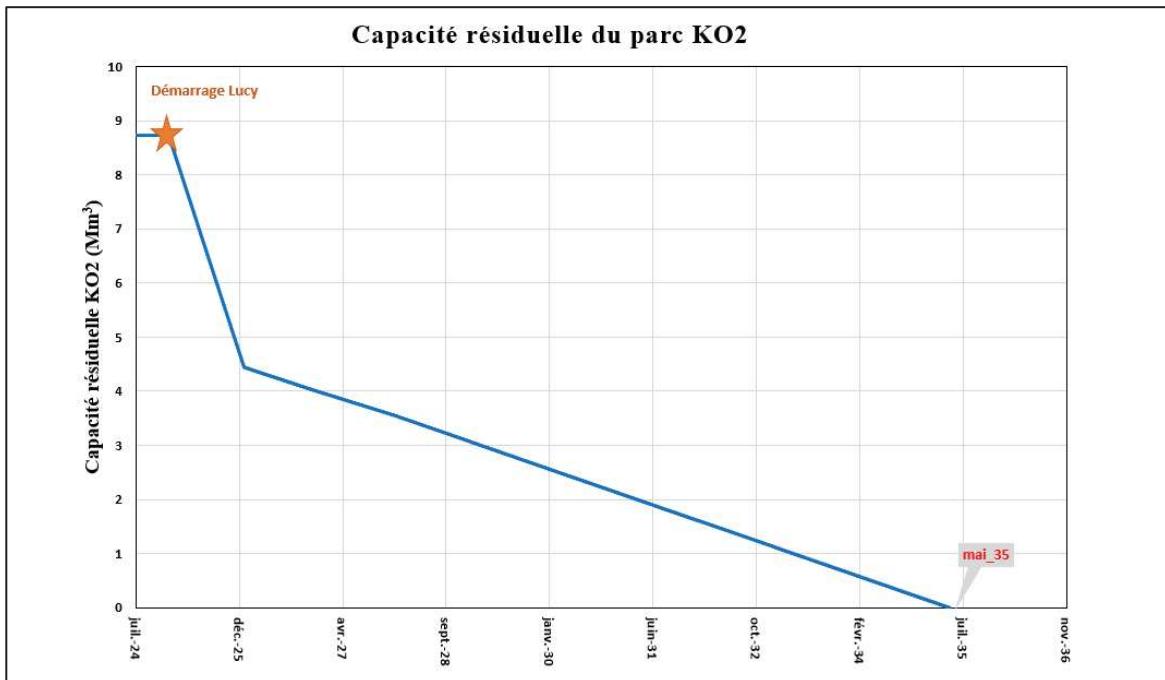


Figure 6 : Graphique - capacité résiduelle dans KO2 avec projet Lucy

4 Suivi du réseau d'auscultation

4.1. Réseau d'auscultation et paramètres de suivi

Le réseau d'auscultation géotechnique lié au barrage KO2 a pour objet de suivre le comportement de l'ouvrage en termes de :

- Pressions interstitielles dans le barrage et dans sa fondation ;
- Déformations horizontales et verticales ;
- Niveau d'eau dans le bassin de stockage ;
- Débits et qualité des eaux issues des différents organes de l'ouvrage ;
- Piézométrie à l'aval de l'ouvrage.

Le Tableau 5 présente les paramètres de suivi du réseau d'auscultation du site KO2 avec le type d'instrument de mesure installé, le nombre ainsi que les zones du site concernées par la surveillance.

Les plans indiquant la localisation des différents instruments sont présentés en Annexe A.

Tableau 5 : Présentation du réseau d'auscultation

PARAMETRE SUIVI	INSTRUMENT	TYPE DE DONNEE	FREQUENCE	ZONE SURVEILLEE	NB D'INSTRUMENT
Niveau piézométrique	Piézomètres à corde vibrante	Automatisée.	Horaire	- Fondation du barrage - Corps du barrage - Appuis du barrage	Fondation du barrage : 89 fonctionnels / 102 installés Corps du barrage : 53 fonctionnels / 65 installés
	Piézomètres ouverts	Manuelle et automatisée sur certains piézomètres	Mensuel	- Aval du barrage	19 répartis dans la zone aval du parc à résidus et 4 à l'extérieur
Déplacements horizontaux	Tubes inclinométriques	Manuelle	Mensuel	- Crête du barrage - Banquettes aval du barrage	10
	Tubes inclinométriques automatisés (SAAV)	Automatisée	Hebdomadaire	Crête et pied aval du barrage	3
Tassements	Tubes extensométriques	Manuelle	Mensuel	- Fondation du barrage - Corps du barrage	12
	Tiges de tassements	Manuelle	Mensuel	- Fondation du barrage - Pied aval du barrage - Conduites traversant le barrage	22
Tassement et déplacement horizontal	Monuments de surface	Manuelle	Mensuel	- Fondation du barrage - Face aval du barrage - Crête du barrage	25
Niveau du plan d'eau	Sonde de niveau d'eau	Manuelle puis automatisée	Horaire et hebdomadaire	Bassin de décantation	1
Débit et conductivité	Sondes paramètres multi-	Manuelle et automatisée	Horaire	- Réseaux de drainage sous la géomembrane - Drains de pieds - Sources en aval - Stations limnimétriques	Conduites du réseau de drainage sous la géomembrane : 4 Drains de pieds en aval du barrage : 3 Sources : 2 Stations limnimétriques : 2

PARAMETRE SUIVI	INSTRUMENT	TYPE DE DONNEE	FREQUENCE	ZONE SURVEILLEE	NB D'INSTRUMENT
Niveau piézométrique	Piézomètres à corde vibrante	Automatisée.	Horaire	<ul style="list-style-type: none"> - Fondation du barrage - Corps du barrage - Appuis du barrage 	Fondation du barrage : 89 fonctionnels / 102 installés Corps du barrage : 53 fonctionnels / 65 installés
	Piézomètres ouverts	Manuelle et automatisée sur certains piézomètres	Mensuel	<ul style="list-style-type: none"> - Aval du barrage 	19 répartis dans la zone aval du parc à résidus et 4 à l'extérieur
Qualité chimique	Analyse en laboratoires sur prélèvements	Manuelle	Hebdomadaire	<ul style="list-style-type: none"> - Réseaux de drainage sous la géomembrane - Drains de pieds et puisard de collecte - Sources en aval - Bassin de décantation - Eaux souterraines - Eaux de surfaces 	Conduites du réseau de drainage sous la géomembrane : 4 Drains de pieds* : 3 / Puisard : 1 Bassin de décantation : 1 Sources : 2 Piézomètres : 23 Stations limnimétriques : 2

4.1.1. Suivi piézométrique

4.1.1.1. Piézomètres à corde vibrante

Le tableau ci-dessous présente de manière exhaustive les piézomètres à corde vibrante installés dans le corps du remblai du barrage (WD) et en fondation (WF).

Tableau 6 : Etat des piézomètres à corde vibrante au 31/01/2025

Capteur	Chainage	Décalage	Altitude (m NGNC)	Date d'installation	Date de dernières lecture	Remarques
WD-01	678	-130	171,1	23/01/2007	En continue	-
WD-02	679	-111	171,2	24/01/2007	En continue	-
WD-03	602	-130	170	20/12/2006	21/11/2015	Capteur HS
WD-04	602	-108	169,7	21/12/2006	En continue	-
WD-05	497	-83	174,1	24/03/2007	En continue	-
WD-06	498	-22	174,7	24/03/2007	En continue	-
WD-07	498	28	173,8	24/03/2007	En continue	Thermistance HS
WD-08	498	73	172,8	20/06/2007	13/09/2014	Capteur HS
WD-09	497	-74	180,1	01/08/2007	En continue	-
WD-10	497	-17	180,6	03/08/2007	En continue	-
WD-11	497	23	180,1	03/08/2007	En continue	Thermistance HS
WD-12	499	62	179,4	04/09/2007	En continue	-
WD-13	497	-101	185,8	14/11/2007	-	Capteur HS / remplacé par WD-25
WD-14	497	-64	186,1	14/11/2007	En continue	-
WD-15	497	-13	186	27/11/2007	26/04/2012	Capteur HS
WD-16	499	16	186	30/11/2007	En continue	-
WD-17	501	51	185	23/01/2008	En continue	Thermistance HS
WD-18	498	-86	192,3	25/06/2008	En continue	Thermistance HS
WD-19	498	-54	192,4	08/07/2008	En continue	-
WD-20	498	-11	192,4	09/07/2008	En continue	Thermistance HS
WD-21	499	11	192,4	09/07/2008	En continue	-
WD-22	498	-81	195	20/08/2008	En continue	Thermistance HS
WD-23	498	-29	195,1	21/07/2008	En continue	-
WD-24	498	-7	195	21/07/2008	En continue	-
WD-25	497	-101	185,8	30/04/2008	En continue	Thermistance HS
WD-26	498	-20	200,1	28/11/2008	En continue	Thermistance HS
WD-27	498	-50	204,9	22/09/2009	En continue	Thermistance HS
WD-28	500	63	198,4	16/01/2013	14/03/2015	Capteur HS
WD-29	500	-41	209,9	10/05/2013	En continue	Thermistance HS
WD-35	701	-75	179,9	31/07/2007	En continue	-
WD-36	700	-18	180,4	02/08/2007	En continue	-
WD-37	701	22	180	02/08/2007	En continue	-
WD-38	701	63	179,5	03/09/2007	En continue	-
WD-39	700	-101	186	08/11/2007	En continue	-
WD-40	700	-64	186,1	08/11/2007	En continue	-
WD-41	700	-14	186,1	29/11/2007	En continue	-
WD-42	704	16	186	01/12/2007	En continue	-
WD-425	497	-71	200	14/05/2009	25/04/2012	Capteur HS
WD-43	708	55	185	22/01/2008	En continue	Thermistance HS
WD-44	701	-91	191,9	18/06/2008	En continue	-
WD-45	702	-54	192,1	18/06/2008	En continue	-
WD-46	702	-11	192,1	20/06/2008	En continue	-
WD-47	701	11	192,2	20/06/2008	En continue	-

Capteur	Chainage	Décalage	Altitude (m NGNC)	Date d'installation	Date de dernières lecture	Remarques
WD-48	701	-81	195,6	19/08/2008	En continue	-
WD-49	702	-39	195	11/07/2008	-	Capteur HS
WD-50	702	-7	195	11/07/2008	En continue	-
WD-51	701	-71	200	13/05/2008	En continue	-
WD-52	701	-24	200,3	02/12/2008	En continue	-
WD-53	701	-51	205,1	21/09/2009	06/12/2012	Capteur HS
WD-54	700	24	199,5	15/01/2013	09/02/2017	Capteur HS
WD-55	700	-36	212,5	03/05/2013	En continue	Thermistance HS
WD-59	500	98	183,1	10/07/2012	En continue	Capteur défaillant
WD-64	500	6	209,9	12/06/2013	En continue	Thermistance HS
WD-65	700	98	183,2	09/07/2012	En continue	-
WD-70	700	7	210,4	17/06/2013	En continue	-
WD-71	182	5	190,9	02/04/2018	En continue	VALEUR ERRATIQUES
WD-72	182	5	195,4	02/04/2018	En continue	-
WD-73	182	5	201,9	02/04/2018	En continue	-
WD-74	182	5	207,4	02/04/2018	En continue	-
WD-75	182	5	216,9	02/04/2018	En continue	Capteur défaillant
WD-76	182	5	221,9	02/04/2018	En continue	Capteur défaillant
WD-77	215	6	189,9	02/08/2021	03/08/2021	Capteur HS
WD-78	215	6	209,4	02/08/2021	En continue	Problème d'altitude à réparer
WD-79	215	6	217,4	02/08/2021	En continue	-
WD-80	215	6	223,9	02/08/2021	En continue	-
WF-01	497	-123	153,3	05/12/2006	05/07/2015	Capteur HS
WF-02	497	-123	158,3	05/12/2006	06/04/2008	Capteur HS
WF-03	497	-123	163,3	05/12/2006	En continue	-
WF-04	602	-123	143,9	12/12/2006	En continue	-
WF-05	602	-123	148,9	12/12/2006	En continue	Thermistance HS
WF-06	602	-123	153,9	12/12/2006	19/09/2016	Capteur HS
WF-07	602	-123	158,9	12/12/2006	En continue	-
WF-08	602	-123	163,9	12/12/2006	25/04/2012	Capteur HS
WF-09	807	49	169,1	12/02/2007	En continue	-
WF-10	807	49	174,1	12/02/2007	En continue	-
WF-11	498	1	143,4	12/01/2007	-	Capteur HS
WF-12	498	1	148,4	12/01/2007	En continue	Thermistance HS
WF-13	498	1	153,4	12/01/2007	En continue	-
WF-14	498	1	158,4	12/01/2007	En continue	-
WF-15	498	1	163,4	12/01/2007	En continue	Thermistance HS
WF-16	498	1	168,4	12/01/2007	En continue	Thermistance HS
WF-17	701	0	145,7	30/01/2007	23/08/2014	Capteur HS
WF-18	701	0	150,2	30/01/2007	En continue	-
WF-19	701	0	154,7	30/01/2007	En continue	Thermistance HS
WF-20	701	0	159,2	30/01/2007	En continue	-
WF-21	701	0	163,7	30/01/2007	En continue	-
WF-22	701	0	168,2	30/01/2007	En continue	-
WF-23	701	0	172,7	30/01/2007	En continue	-
WF-24	497	49	143,5	23/01/2007	En continue	-
WF-25	497	49	148,5	23/01/2007	En continue	Thermistance HS
WF-26	497	49	153,5	23/01/2007	En continue	Thermistance HS
WF-27	497	49	157,5	23/01/2007	En continue	Thermistance HS
WF-28	497	49	162,5	23/01/2007	En continue	Thermistance HS
WF-29	497	49	167,5	23/01/2007	En continue	-
WF-30	701	49	142,8	06/02/2007	En continue	-

Capteur	Chainage	Décalage	Altitude (m NGNC)	Date d'installation	Date de dernières lecture	Remarques
WF-31	701	49	147,8	06/02/2007	En continue	-
WF-32	701	49	152,8	06/02/2007	En continue	-
WF-33	701	49	157,8	06/02/2007	En continue	-
WF-34	701	49	162,8	06/02/2007	En continue	-
WF-35	701	49	167,8	06/02/2007	En continue	-
WF-36	701	49	172,8	06/02/2007	En continue	Thermistance HS
WF-38	713	110	115,5	11/04/2012	En continue	-
WF-39	713	110	121,4	11/04/2012	En continue	-
WF-40	713	110	130,7	11/04/2012	En continue	-
WF-41	713	110	133,9	11/04/2012	En continue	-
WF-42	713	110	145	11/04/2012	En continue	-
WF-43	713	110	152,2	11/04/2012	En continue	-
WF-44	713	110	156,4	11/04/2012	En continue	-
WF-45	713	110	163,7	11/04/2012	En continue	Thermistance HS
WF-46	1071	11	167,7	11/02/2009	06/04/2016	Capteur HS
WF-47	1071	11	173,7	11/02/2009	01/10/2010	Capteur HS
WF-48	1071	11	177,7	11/02/2009	10/07/2014	Capteur HS
WF-49	1071	11	181,7	11/02/2009	En continue	NOMBREUSES VALEURS ABERRANTES
WF-50	1071	11	185,7	11/02/2009	En continue	NOMBREUSES VALEURS ABERRANTES
WF-51	1203	3	181,7	26/01/2016	En continue	-
WF-52	1203	3	193	26/01/2016	En continue	-
WF-53	1203	3	197,7	26/01/2016	En continue	-
WF-54	1203	3	207,9	26/01/2016	En continue	-
WF-55	1203	3	211,1	26/01/2016	En continue	-
WF-56	168	15	195,3	20/01/2016	En continue	-
WF-57	168	15	197,5	20/01/2016	En continue	-
WF-58	168	15	199,5	20/01/2016	En continue	-
WF-59	168	15	202,5	20/01/2016	En continue	-
WF-60	168	15	205,5	20/01/2016	En continue	Thermistance HS
WF-101	506	-39	101	01/07/2008	En continue	-
WF-102	506	-39	107,8	01/07/2008	09/10/2018	Capteur HS
WF-103	506	-39	114,9	02/07/2008	04/03/2016	Capteur HS
WF-104	506	-39	121,9	03/07/2008	26/04/2020	Capteur HS
WF-105	506	-39	128,9	04/07/2008	En continue	-
WF-106	506	-39	135,9	05/07/2008	En continue	-
WF-107	506	-39	142,9	06/07/2008	En continue	-
WF-108	506	-39	149,9	07/07/2008	En continue	-
WF-109	506	-39	156,9	08/07/2008	En continue	-
WF-110	504	10	112,2	27/06/2008	En continue	Forage incliné à 70°
WF-111	506	10	118,8	27/06/2008	En continue	Forage incliné à 70° - therm. HS
WF-112	507	10	125,3	27/06/2008	En continue	Forage incliné à 70° - therm. HS
WF-113	511	10	131,9	27/06/2008	En continue	Forage incliné à 70°
WF-114	513	10	138,6	27/06/2008	En continue	Forage incliné à 70°
WF-115	515	10	145,1	27/06/2008	En continue	Forage incliné à 70° - therm. HS
WF-116	518	10	151,7	27/06/2008	En continue	Forage incliné à 70° - therm. HS
WF-117	520	10	158,3	27/06/2008	En continue	Forage incliné à 70° - therm. HS

Capteur	Chainage	Décalage	Altitude (m NGNC)	Date d'installation	Date de dernières lecture	Remarques
WF-118	522	10	164,8	27/06/2008	En continue	Forage incliné à 70°
WF-119	224	-44	170,3	25/08/2008	-	Capteur HS
WF-120	224	-44	175,8	26/08/2008	-	Capteur HS
WF-121	224	-44	181,3	27/08/2008	En continue	-
WF-122	224	-44	186,8	28/08/2008	En continue	Valeurs de thermistance erratiques
WF-123	713	110	168,7	11/04/2012	En continue	-
WF-125	504	108	140,4	19/07/2021	En continue	-
WF-126	504	108	143,9	19/07/2021	En continue	-
WF-127	504	108	150,9	19/07/2021	En continue	-
WF-128	504	108	162,9	19/07/2021	En continue	-
WF-129	920	53	144,4	03/09/2021	En continue	-
WF-130	920	53	149,4	03/09/2021	En continue	-
WF-131	920	53	156,4	03/09/2021	En continue	-
WF-132	920	53	169,4	03/09/2021	En continue	-
WF-133	686	5	138,2	20/08/2021	En continue	-
WF-134	686	5	141,7	20/08/2021	En continue	-
WF-135	686	5	157,7	20/08/2021	En continue	-
WF-136	686	5	165,7	20/08/2021	En continue	-
WF-200	700	222	135,4	25/07/2021	En continue	-
WF-201	700	222	141,9	25/07/2021	En continue	-
WF-202	700	222	145,9	25/07/2021	En continue	-
WF-203	700	222	153,9	25/07/2021	En continue	-
WF-204	505	256	126,3	08/07/2021	En continue	Problème de lecture automatique du baromètre
WF-205	505	256	138,2	08/07/2021	En continue	Problème de lecture automatique du baromètre
WF-206	505	256	148,6	08/07/2021	En continue	Problème de lecture automatique du baromètre
WF-207	505	256	156,4	08/07/2021	En continue	Problème de lecture automatique du baromètre

Observations :

- *Les valeurs de décalage correspondent à des valeurs par rapport à l'axe de la crête du barrage (les valeurs négatives indiquent une position en amont de l'axe du barrage) ;*
- *Les instruments indiqués en gris sont ceux détruits ou hors service.*

Sur un total de **167 capteurs** de pression interstitielle installés depuis le début de la construction, **142** sont toujours actifs dont 36 en mode « dégradé » du fait de la perte des données de thermistance. Les données de température du capteur le plus proche encore en fonctionnement sont alors utilisées en remplacement. Sur ces 142 capteurs encore en fonctionnement, **53** sont installés dans le remblai du barrage (série WD) et **89** dans la fondation (série WF). Le nombre de défaillance des capteurs de pression interstitielle est lié à l'activité lors des travaux de construction et à l'élongation des câbles électriques sous la charge de remblai dans le temps (déformation de la fondation). Au cours de la construction, certains de ces capteurs ont été remplacés et d'autres ajoutés (pendant et après la construction). De nouveaux capteurs ont également été installés pendant l'opération.

Depuis fin juin 2023, certains capteurs installés dans la fondation du barrage fournissent des valeurs aberrantes de pression (voire plus de valeurs). Il s'agit en particulier des colonnes WF30-36 et WF38-45 situées au chainage 700

(15 capteurs), et du capteur WF110 de la colonne WF110-118 au chainage 500. Il semble que la plupart de ces capteurs ne fournissent plus que ponctuellement quelques données valides en période sèche, alors qu'en période humide et lorsque la nappe est haute, ces capteurs semblent fournir des valeurs correctes.

Une carte de localisation des piézomètres est fournie en Annexe A.

4.1.1.2. Piézomètres à l'aval du barrage

Avant le démarrage des travaux en lien avec le projet Lucy, quinze (15) piézomètres situés à l'aval du barrage et positionnés dans différents aquifères étaient utilisés pour le suivi hydrogéologique aval de l'ouvrage.

Les niveaux de vingt (20) autres piézomètres, plus éloignés, dont trois (3) au niveau de la carrière Audemard, étaient également relevés.

Avec le démarrage des travaux du projet LUCY, les piézomètres à l'aval de KO2 ont été démantelés au fur et à mesure de l'avancement du chantier.

Les piézomètres situés dans l'emprise de la zone Audemard ont été détruits en octobre 2021. Treize piézomètres ouverts présents sur la zone d'emprise des travaux de terrassements Lucy ont été déséquipés de leur instrumentation puis cimentés en novembre 2021, il s'agit de : WKBH102, WKBH102A, WKBH103, WKBH109, WKBH109A, WKBH110, WKBH110A, WKBH110B, WKBH111, WK6-11, WK6-11A, WK6-12 et WK6-12A.

Le 29/03/2022, les piézomètres WKBH115, WKBH115A et WKBH115B ont également été démantelés du fait de l'avancée des travaux Lucy.

Vingt (20) piézomètres ouverts sont actuellement utilisés pour le suivi des niveaux piézométriques à l'aval du barrage, il s'agit de : WK6-10 ; WK6-10A ; WK6-9 ; WK6-9A ; WKBH09 ; WKBH112 ; WKBH112A ; WKBH114 ; WKBH114A ; WKBH116 ; WKBH116A ; WKBH116B ; WKBH117 ; WKBH117A ; WKBH117B ; WKBH118A ; WKBH118B ; WTBH02 et WTBH09.

Une carte de localisation des piézomètres de référence est fournie en Annexe A.

4.1.2. Suivi des déplacements horizontaux et verticaux

4.1.2.1. Inclinomètres et extensomètres

La liste ci-dessous présente les tubes combinés extensométriques et inclinométriques installés pour le suivi de l'ouvrage. Le positionnement des instruments est visible en Annexe A :

Tableau 7 : Liste de l'auscultation pour les mouvements en profondeur

Type	CH. (m)	Déc. (m)	Sommet du tube actuel (m NGNC)	Bas du tube initial (m NGNC)	Install.	Dernière lecture extenso.	Dernière lecture inclino.	Remarques
EL-01	510	-118	-	130,4	11/12/06	29/09/08	29/09/08	Scellé le 20/11/08
EL-02	600	-118	-	132	11/12/06	29/09/08	29/09/08	Scellé le 16/12/08
EL-03	806	53	210,58 (-3)	130,1	12/02/07	14/12/24	17/01/25	Blocage à +145,1 m (latérites) – tassement excessif
EL-04	493	11	-	103,7	10/01/07	12/04/16	13/04/16	Scellé le 30/04/16
EL-04A	492	6	-	71,8	14/11/08	12/04/16	-	Scellé le 30/04/16
EL-04B	502	5	233,04 (-1)	68,8	03/12/15	30/12/24	30/01/25	-
EL-05	695	6	233,05 (0)	123,6	29/01/07	17/02/21	15/02/21	Scellé le 23/08/21
EL-05A	702	4	233,46 (-1)	98,6	23/11/15	30/12/24	29/01/25	-
EL-06	492	55	210,89 (-1)	132,7	19/01/07	14/12/24	21/01/25	Blocage à +148,9 m (latérites) – tassement excessif
EL-06A	484	55	210,80 (0)	96,7	17/05/12	14/12/24	23/01/25	-

Type	CH. (m)	Déc. (m)	Sommet du tube actuel (m NGNC)	Bas du tube initial (m NGNC)	Install.	Dernière lecture extenso.	Dernière lecture inclino.	Remarques
EL-07	695	55	210,30 (0)	139,4	01/02/07	14/12/24	21/01/25	Blocage à +155,4 m (latérites) – tassement excessif
EL-08	703	113	191,33 (0)	92,2	28/01/09	15/12/24	09/04/14	Blocage à +135,6 m (latérites) – tassement excessif
EL-08A	720	101	191,67 (-1)	93	21/12/15	15/12/24	20/01/25	-
EL-09*	408	113	191,32 (0)	93,1	16/12/08	14/12/24	07/12/22	Blocage à +149,4 m (latérites) – tassement excessif
EL-09A	506	108	191,63 (-1)	92,1	18/01/16	15/12/24	15/09/16	Blocage à +151,7 m (latérites) – cailloux dans le tube
EL-09B	505	101	191,31 (-1)	136,8	16/03/18	15/12/24	14/01/25	-
EL-10	884	113	191,39 (-1)	128,9	30/03/12	14/12/24	22/01/25	-
EL-11	902	4	233,63 (0)	132,7	10/11/15	30/12/24	28/01/25	-

Les variations, entre parenthèse, correspondent à l'évolution des tassements du sommet du tube sur le dernier mois (en centimètre).

Les tubes inclinométriques et extensométriques combinés qui ont présenté des défaillances importantes au cours du temps sont identifiés en gris dans le tableau ci-dessus. Ces instruments ont été remplacés au fur et à mesure de la construction, à l'exception de deux tubes EL-01 et EL-02 installés au niveau de la crête du batardeau (cote 185 m NGNC). Les tubes EL-01 et EL-02 ont, en effet, été démantelés pendant la construction pour permettre la pose de la géomembrane et la montée des résidus dans le parc à résidus. En mars 2021, le tube EL-05 a été abandonné (au profit du tube EL-05A) du fait de sa faible profondeur accessible (au sein des remblais).

GEOS4D conseille également de ne plus suivre l'instrument EL-09 étant donné l'incertitude sur les mesures depuis que le fond initial du tube n'est plus atteint et du fait des multiples rallonges effectuées en cours de construction (décision validée par l'EoR).

4.1.2.2. Inclinomètres automatiques

La liste ci-dessous présente les trois (3) SAA (inclinomètres automatiques) installés le 10 et 11 mai 2022 pour compléter l'auscultation du barrage. Le positionnement des instruments est visible en Annexe A :

Tableau 8 : Liste des SAAV

Type	CH. (m)	Déc.- 24(m)	Localisation	Sommet du tube actuel (m NGNC)	Bas du tube instrumenté (m NGNC)	Install.	Dernière lecture inclino.	Remarques
SAA-01	693	5	Crête	232,7	132,7	10/05/2022	31/01/2025	-
SAA-02	507	256	Pied aval	163,8	119,7	10/05/2022	31/01/2025	-
SAA-03	699	222	Pied aval	173,6	127,6	10/05/2022	31/01/2025	-

4.1.2.3. Repères topographiques

La liste des repères topographiques est présentée dans le tableau ci-dessous. Les implantations de ces instruments sont présentées en Annexe A.

Tableau 9 : Liste des repères de tassements

Repère	Chaînage (m)	Décalage (m)	Localisation	Type	Installation	Dernière lecture	Remarques
SM-21	655	-156	Amont de conduite	TdT	16/10/2007	16/10/2008	Inaccessible
SM-22	658	-28	Conduite	TdT	05/03/2008	26/02/2014	Scellé le 27/02/2014
SM-23	659	7	Conduite	TdT	05/03/2008	07/01/2025	-
SM-24	663	104	Aval de conduite	TdT	16/10/2007	10/09/2008	Tige détruite
SM-25	662	105	Conduite	TdT	16/04/2012	07/01/2025	-
SM-30	396	30	Berme	TdT	19/03/2008	07/01/2025	-
SM-31	436	30	Berme	TdT	19/03/2008	07/01/2025	-
SM-32	467	30	Berme	TdT	28/03/2008	07/01/2025	-
SM-33	528	30	Berme	TdT	31/03/2008	07/01/2025	-
SM-34	559	30	Berme	TdT	01/04/2008	07/01/2025	-
SM-35	600	30	Berme	TdT	02/04/2008	07/01/2025	-
SM-36	436	6	Berme	TdT	24/04/2008	07/01/2025	-
SM-37	467	6	Berme	TdT	08/04/2008	07/01/2025	-
SM-38	528	6	Berme	TdT	08/04/2008	07/01/2025	-
SM-39	559	6	Berme	TdT	03/04/2008	07/01/2025	-
SM-40	436	57	Berme	TdT	22/04/2008	07/01/2025	-
SM-41	559	57	Berme	TdT	22/04/2008	07/01/2025	-
SM-154	802	1	Berme	TdT	11/03/2009	07/01/2025	-
SM-155	849	1	Berme	TdT	11/03/2009	07/01/2025	-
SM-191	333	160	Pied aval	PT	18/01/2012	23/10/2013	Repère détruit
SM-192	500	166	Pied aval	PT	18/01/2012	23/10/2013	Repère détruit
SM-193	593	163	Pied aval	PT	18/01/2012	23/10/2014	Repère détruit
SM-194	658	175	Pied aval	PT	18/01/2012	23/10/2014	Repère détruit
SM-195	721	159	Pied aval	PT	18/01/2012	23/10/2014	Repère détruit
SM-196	1133	129	Pied aval	PT	18/01/2012	23/10/2014	Repère détruit
SM-200	342	160	Pied aval	TdT	22/10/2014	07/01/2025	-
SM-201	502	164	Pied aval	TdT	22/10/2014	07/01/2025	-
SM-202	594	162	Pied aval	TdT	26/11/2014	07/01/2025	-
SM-203	723	159	Pied aval	TdT	17/03/2015	10/01/2023	Détruit / remplacé par SM-206
SM-204	888	146	Pied aval	TdT	29/01/2015	07/01/2025	-
SM-205	1049	130	Pied aval	TdT	29/01/2015	07/01/2025	-
SM-206	718	160	Pied aval	TdT	17/06/2015	07/01/2025	-
SM-0.3	699	181	Pied aval	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-1.1	960	116	Banquette 192	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-1.2	800	115	Banquette 192	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-1.3	702	116	Banquette 192	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-1.4	606	117	Banquette 192	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-1.5	504	116	Banquette 192	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-1.6	348	116	Banquette 192	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-2.0	1108	56	Banquette 212	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-2.1	954	55	Banquette 212	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-2.2	796	56	Banquette 212	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-2.3	702	57	Banquette 212	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-2.4	603	56	Banquette 212	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-2.5	498	58	Banquette 212	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-2.6	358	57	Banquette 212	PT	13/12/2018	15/01/2025	-

Repère	Chaînage (m)	Décalage (m)	Localisation	Type	Installation	Dernière lecture	Remarques
SM-2.7	219	56	Banquette 212	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-3.0	1100	5	Crête	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-3.1	953	5	Crête	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-3.2	804	5	Crête	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-3.3	694	6	Crête	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-3.4	601	6	Crête	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-3.5	495	6	Crête	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-3.6	356	7	Crête	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-3.7	203	6	Crête	PT	13/12/2018	15/01/2025	-
SM-3.8	160	7	Dogleg	PT	02/07/2019	15/01/2025	-
SM-3.9	68	1	Dogleg	PT	02/07/2019	15/01/2025	-
RM-1	236	-109	TN	MR	16/10/2007	20/08/2008	Inaccessible
RM-2	880	-109	TN	MR	16/10/2007	20/08/2008	Inaccessible
SM-1	400	-121	Batardeau	PT	16/10/2007	20/08/2008	Inaccessible
SM-2	500	-121	Batardeau	PT	16/10/2007	20/08/2008	Inaccessible
SM-3	600	-121	Batardeau	PT	16/10/2007	20/08/2008	Inaccessible
SM-4	700	-121	Batardeau	PT	16/10/2007	20/08/2008	Inaccessible
SM-42	436	-57	Berme	TdT	10/04/2008	09/01/2009	Scellée
SM-43	592	-57	Berme	TdT	24/04/2008	09/01/2009	Scellée
SM-44	659	-57	Berme	TdT	15/04/2008	09/01/2009	Scellée
SM-131	400	-87	Batardeau	PT	08/04/2008	20/08/2008	Inaccessible
SM-132	350	-87	Batardeau	PT	08/04/2008	20/08/2008	Inaccessible
SM-133	400	-120	Batardeau	PT	08/04/2008	20/08/2008	Inaccessible
SM-134	450	-87	Batardeau	PT	08/04/2008	20/08/2008	Inaccessible
SM-135	500	121	Batardeau	PT	08/04/2008	20/08/2008	Inaccessible
SM-136	550	-87	Batardeau	PT	08/04/2008	20/08/2008	Inaccessible
SM-137	600	-122	Batardeau	PT	08/04/2008	20/08/2008	Inaccessible
SM-138	850	-87	Batardeau	PT	08/04/2008	20/08/2008	Inaccessible
SM-139	650	-87	Batardeau	PT	08/04/2008	20/08/2008	Inaccessible
SM-141	482	111	Pied aval	PT	25/04/2008	28/12/2011	Inaccessible
SM-142	559	111	Pied aval	PT	25/04/2008	28/12/2011	Inaccessible
SM-143	615	111	Pied aval	PT	25/04/2008	10/02/2010	Inaccessible
SM-152	702	8	Berme	PT	11/03/2009	14/11/2012	Repère détruit
SM-153	753	4	Berme	PT	11/03/2009	14/11/2012	Repère détruit
SM-156	902	4	Berme	PT	11/03/2009	14/11/2012	Repère détruit
SM-157	952	4	Berme	PT	11/03/2009	24/10/2012	Repère détruit
SM-161	651	27	Berme	PT	11/03/2009	29/08/2012	Repère détruit
SM-162	709	38	Berme	PT	11/03/2009	15/08/2012	Repère détruit
SM-163	752	27	Berme	PT	11/03/2009	05/07/2012	Repère détruit
SM-164	802	27	Berme	PT	11/03/2009	05/07/2012	Repère détruit
SM-165	852	28	Berme	PT	11/03/2009	05/07/2012	Repère détruit
SM-166	902	28	Berme	PT	11/03/2009	05/07/2012	Repère détruit
SM-167	952	27	Berme	PT	11/03/2009	20/06/2012	Repère détruit

Observations :

- *Les décalages négatifs sont situés en amont de l'axe du barrage*
- *Les monuments indiqués en gris sont détruits, endommagés ou inaccessibles*
- *PT = Plot topographique*
- *MR = Monument de Référence*
- *TdT = Tige de Tassement*

Certains repères de tassements installés au cours de la construction étaient des repères temporaires du fait de l'avancement des travaux de construction. Il pouvait s'agir de repères installés à l'aval de la phase 1 du barrage

(recouvert par la phase 2 pendant la construction), ou encore de repères installés sur la banquette amont du barrage.

Ces repères ont donc dû être démantelés pendant la construction pour permettre la pose de la géomembrane et la montée des résidus dans le parc à résidus.

Les tiges de tassements actuellement en place (série SM-X.Y) permettent de suivre les déplacements horizontaux et verticaux de l'ouvrage si ces derniers sont supérieurs à la précision du GPS.

4.1.3. Qualité des eaux

4.1.3.1. Suivi de la qualité des eaux collectées par le système de drainage situé sous la géomembrane et des eaux collectées par les drains de pied du barrage

Depuis le mois de mai 2016, à la suite d'une demande de la DIMENC, les données de débit et de qualité des eaux issues du système de drainage situé sous la géomembrane ainsi que les eaux des drains de pied du barrage sont collectées en continu par des sondes multi-paramètres et analysées toutes les semaines par PRNC.

Des échantillons d'eaux sont également prélevés chaque semaine au niveau des exutoires de ces réseaux, afin de réaliser une analyse de la chimie des eaux et des Matières En Suspensions (MES).

4.1.3.2. Suivi de la qualité des eaux

➤ Suivi des sources WK17 et WK20 :

Les variations de débit et de conductivité au niveau des sources WK17 et WK20 sont suivies depuis le mois de janvier 2011.

Le matériel d'instrumentation permettant le suivi des sources WK17 et WK20 a été désinstallé début septembre 2021 du fait des travaux de terrassements Lucy sur la zone.

La conductivité et la chimie des eaux sont désormais suivies bi-hebdomadairement par l'équipe Environnement (mesure In situ et en laboratoire) au niveau des exutoires.

➤ Suivi des piézomètres en aval du barrage KO2 :

Afin de suivre les fluctuations saisonnières et de détecter de potentielles perturbations temporaires, les piézomètres PP5A, WKBH114, WKBH114A, WKBH116, et WKBH116B font l'objet d'une surveillance mensuelle pour la qualité des eaux (sulfates, manganèse, Chrome et Nickel, conductivité électrique et température).

4.2. Seuils d'alerte fixés

Dans le cadre du développement du Plan d'Action en cas d'Elément Déclencheur (TARP – « Trigger Action Response Plan »), finalisé en octobre 2020, des nouveaux seuils d'alerte ont été définis par Golder.

Le TARP a été préparé en complémentarité avec le Plan d'Actions d'Urgence (PAU) en intégrant les besoins opérationnels, de sécurité et les bonnes pratiques pour le parc à résidus KO2. Il fournit aux opérateurs du parc à résidus KO2 des directives claires sur les actions qu'ils doivent prendre lorsque les changements sur les différents aspects de l'auscultation de KO2, qu'ils mesurent ou observent, atteignent ou dépassent les seuils d'alertes applicables. Deux (2) TARPs distincts ont été préparés, concernant respectivement :

- Le barrage et la déposition des résidus dans le parc à résidus ;
- Les systèmes de drainage : réseau de drainage sous la géomembrane, drains de pied et sources.

La rédaction du TARP a conduit à la construction de plans d'actions, s'appuyant sur les seuils du PAU. Ils définissent des seuils de valeurs ou d'observation, pour un comportement normal (seuil VERT) ainsi que pour trois (3) niveaux

d'urgence classés en seuils Jaune, Orange ou Rouge dans l'ordre de gravité pour les différents éléments suivis dans le cadre de l'auscultation de KO2.

Les seuils et les actions en découlant sont classés en fonction de trois rubriques : éléments relatifs à l'exploitation, éléments extérieurs et résultats de l'auscultation.

Pour la rubrique relative aux éléments d'exploitation, les seuils sont définis pour :

- Le niveau des résidus au droit du déversoir ;
- La profondeur d'eau sous la barge de pompage ;
- Le volume de surnageant dans le bassin de décantation ;
- La revanche du bassin de décantation sous le seuil du déversoir (RL 229 m) pour fournir une capacité de stockage suffisante pour la crue dimensionnante ;
- L'infiltration provenant du barrage, du réseau de drainage sous la géomembrane et de la fondation ;
- Le « piping » au niveau du barrage, du réseau de drainage sous la géomembrane et de la fondation.

Pour la rubrique relative aux éléments extérieurs, les seuils sont définis pour :

- Le cas d'un séisme ;
- La fissuration ;
- La pluviométrie.

Pour la rubrique relative aux résultats de l'auscultation, les seuils sont définis pour :

- Les niveaux piézométriques dans le barrage en conditions drainées ;
- Les niveaux piézométriques dans la fondation du barrage, en conditions non drainées ;
- Les déplacements horizontaux (inclinomètres et plots topographiques) ;
- Les tassements (extensomètres et plots topographiques) ;
- Les drains sous la géomembrane (débits, conductivité et MES) ;
- Les drains de pied (débits, conductivité et MES) ;
- Les sources (débits, conductivité et MES).

Le système d'alerte du dépassement des seuils a été automatisé avec le passage à la télégestion des données d'auscultation du barrage. Ainsi un e-mail est automatiquement envoyé à l'équipe de surveillance du barrage KO2 dès le dépassement d'un seuil.

Le TARP relatif au barrage est présenté en Annexe B-1.

Le TARP relatif au système de drainage est présenté en Annexe B-2

Il est à noter que le TARP est actuellement en cours de révision. La révision concerne spécifiquement les seuils relatifs aux piézomètres à corde vibrante en conditions drainées et non drainées.

5 Résultats d'auscultation

5.1. Niveaux piézométriques

5.1.1. Capteurs au sein de la fondation du barrage

L'auscultation de l'ouvrage doit permettre de suivre les conditions de comportement des sols de fondation.

Les observations actuelles des différents instruments montrent que le comportement des sols de fondation, est en conditions drainées.

Les seuils d'auscultation (VERT, JAUNE, ORANGE et ROUGE), en conditions drainées, sont présentés dans le TARP.

Le tableau suivant présente les valeurs seuils pour les CPI en conditions drainées et le niveau piézométrique observé dans la fondation au cours du mois de janvier 2025.

Tableau 10: Valeurs de seuils pour les CPI et niveaux piézométriques observés dans la fondation au cours du mois de janvier 2025

Capteur	Zone	Cote d'install. (m NGNC)	Dernière mesure journalière	Niveau piézo. Pour FoS>>1,5	Niveau piézo. Pour FoS>1,5	Niveau piézo. Pour FoS>1,5	Niveau piézo. Pour FoS≤1,5
WF-03	Fondation	163,3	170,72	230	230	230	230
WF-04	Fondation	143,9	167,70	230	230	230	230
WF-05	Fondation	148,9	168,86	230	230	230	230
WF-07	Fondation	158,9	172,42	230	230	230	230
WF-09	Fondation	169,1	174,42	195	195	195	195
WF-10	Fondation	174,1	174,66	195	195	195	195
WF-12	Fondation	148,4	167,85*	205	205	205	205
WF-13	Fondation	153,4	170,57*	205	205	205	205
WF-14	Fondation	158,4	170,84*	205	205	205	205
WF-15	Fondation	163,4	172,20*	205	205	205	205
WF-16	Fondation	168,4	173,05*	205	205	205	205
WF-18	Fondation	150,2	167,90*	205	205	205	205
WF-19	Fondation	154,7	169,49*	205	205	205	205
WF-20	Fondation	159,2	171,18*	205	205	205	205
WF-21	Fondation	163,7	173,23*	205	205	205	205
WF-22	Fondation	168,2	173,44*	205	205	205	205
WF-23	Fondation	172,7	173,55*	205	205	205	205
WF-24	Fondation	143,5	164,11	195	195	195	195
WF-25	Fondation	148,5	166,44	195	195	195	195
WF-26	Fondation	153,5	169,01	195	195	195	195
WF-27	Fondation	157,5	168,89	195	195	195	195
WF-28	Fondation	162,5	170,89	195	195	195	195
WF-29	Fondation	167,5	172,00	195	195	195	195
WF-30	Fondation	142,8	166,61	195	195	195	195
WF-31	Fondation	147,8	167,91	195	195	195	195
WF-32	Fondation	152,8	168,22*	195	195	195	195

Capteur	Zone	Cote d'install. (m NGNC)	Dernière mesure journalière	Niveau piézo. Pour FoS>>1,5	Niveau piézo. Pour FoS>1,5	Niveau piézo. Pour FoS>1,5	Niveau piézo. Pour FoS≤1,5
WF-33	Fondation	157,8	168,78*	195	195	195	195
WF-34	Fondation	162,8	172,11	195	195	195	195
WF-35	Fondation	167,8	174,09	195	195	195	195
WF-36	Fondation	172,8	173,78	195	195	195	195
WF-38	Fondation	115,5	165,27*	182	182	182	182
WF-39	Fondation	121,4	166,12*	182	182	182	182
WF-40	Fondation	130,7	166,86	182	182	182	182
WF-41	Fondation	133,9	166,94	182	182	182	182
WF-42	Fondation	145	167,65	182	182	182	182
WF-43	Fondation	152,2	167,56	182	182	182	182
WF-44	Fondation	156,4	167,97	182	182	182	182
WF-45	Fondation	163,7	173,38	182	182	182	182
WF-49	Fondation	181,7	185,60	207	207	207	207
WF-50	Fondation	185,7	187,19	207	207	207	207
WF-51	Fondation	181,7	185,26	211	211	211	211
WF-52	Fondation	193	194,41	211	211	211	211
WF-53	Fondation	197,7	199,91	211	211	211	211
WF-54	Fondation	207,9	208,72	211	211	211	211
WF-55	Fondation	211,1	212,23	212,5	212,5	212,5	212,5
WF-56	Fondation	195,3	197,27	205	205	205	205
WF-57	Fondation	197,5	196,75	205	205	205	205
WF-58	Fondation	199,5	198,20	205	205	205	205
WF-59	Fondation	202,5	203,68	205	205	205	205
WF-60	Fondation	205,5	205,75	206,5	206,5	206,5	206,5
WF-101	Fondation	101	160,71	210	210	210	210
WF-105	Fondation	128,9	162,78	210	210	210	210
WF-106	Fondation	135,9	166,72	210	210	210	210
WF-107	Fondation	142,9	167,24	210	210	210	210
WF-108	Fondation	149,9	168,98	210	210	210	210
WF-109	Fondation	156,9	169,56	210	210	210	210
WF-110	Fondation	112,2	162,21*	205	205	205	205
WF-111	Fondation	118,8	163,66	205	205	205	205
WF-112	Fondation	125,3	164,30	205	205	205	205
WF-113	Fondation	131,9	165,34	205	205	205	205
WF-114	Fondation	138,6	165,07	205	205	205	205
WF-115	Fondation	145,1	166,23	205	205	205	205
WF-116	Fondation	151,7	168,27*	205	205	205	205
WF-117	Fondation	158,3	171,76	205	205	205	205
WF-118	Fondation	164,8	173,16*	205	205	205	205
WF-121	Fondation	181,3	183,07	210	210	210	210
WF-122	Fondation	186,8	187,16	210	210	210	210
WF-123	Fondation	168,7	171,59	182	182	182	182
WF-125	Fondation	140,4	159,76	205	205	205	205
WF-126	Fondation	143,9	162,89	205	205	205	205
WF-127	Fondation	150,9	164,22	205	205	205	205
WF-128	Fondation	162,9	165,86	205	205	205	205
WF-129	Fondation	144,4	168,11	195	195	195	195

Capteur	Zone	Cote d'install. (m NGNC)	Dernière mesure journalière	Niveau piézo. Pour FoS>>1,5	Niveau piézo. Pour FoS>1,5	Niveau piézo. Pour FoS>1,5	Niveau piézo. Pour FoS≤1,5
WF-130	Fondation	149,4	167,86	195	195	195	195
WF-131	Fondation	156,4	168,54	195	195	195	195
WF-132	Fondation	169,4	171,10	195	195	195	195
WF-133	Fondation	138,2	164,65	205	205	205	205
WF-134	Fondation	141,7	165,03	205	205	205	205
WF-135	Fondation	157,7	169,48	205	205	205	205
WF-136	Fondation	165,7	166,66	205	205	205	205
WF-200	Fondation	135,4	135,27	-	-	-	-
WF-201	Fondation	141,9	141,77	-	-	-	-
WF-202	Fondation	145,9	145,77	-	-	-	-
WF-203	Fondation	153,9	153,77	-	-	-	-

* : Valeur de niveau piézométrique surestimée car non corrigée par rapport au tassement

** : Dernière mesure enregistrée est le 25/11/2024. Etat de capteur WF-117 sera vérifié

Les résultats de l'auscultation sont présentés sous forme graphique. Chaque graphique représente, par série de piézomètres situés dans le même forage, les variations du niveau piézométrique en fonction du temps sur la dernière année. Ces graphiques sont présentés en Annexe C.

Il est à noter que les données relatives aux quatre dernières années sont présentées dans le rapport semestriel d'auscultation.

5.1.1.1. Capteurs en fondation sous le corps du barrage

Les capteurs installés sous le corps du barrage présentent des pressions relativement stables sur le long terme avec des réactions normales à la pluviométrie et traduisent le comportement en conditions drainées des sols de fondation.

Du fait des tassements importants enregistrés lors de la construction du barrage, des corrections d'altitude du positionnement des capteurs ont été réalisées sur la majorité des capteurs situés dans la fondation à partir des données issues des mesures sur les extensomètres. Ces corrections permettent d'ajuster l'altitude du niveau piézométrique enregistré.

En janvier 2025, les valeurs sont corrélées à la pluviométrie du site. On observe une hausse suite aux pluies du 19, du 20 et du 25 janvier.

Les valeurs observées au cours du mois de Janvier sont conformes au seuil vert (état normal).

5.1.1.2. Capteurs au niveau des appuis du barrage

Chaque appui est équipé de deux colonnes de capteurs :

- Appui Nord : A-01 (CH1070 : WF46 à WF50) et A-02 (CH1203 : WF51 à WF55) ;
- Appui Sud : A-03 (CH224 : WF119 à WF122) et A-04 (CH168 : WF56 à WF60).

Aux appuis Nord et Sud du barrage, les réactions à la pluviométrie demeurent généralement plus marquées du fait de la proximité des crêtes et de l'horizon saprolitique à faible profondeur.

Certains capteurs sont installés au-dessus du niveau de la nappe et ne réagissent donc qu'en cas de fortes pluies, comme lors de l'épisode de la DTF « Lucas » (02 et 03/02/2021), de l'épisode pluvio-orageux particulièrement intense du 04/05/2021 ou de la DTF « Ruby » (13 et 14/12/2021).

Les variations au niveau des appuis peuvent être très importantes et particulièrement au droit des capteurs installés en profondeur où des augmentations du niveau piézométrique de plus de dix mètres, à la suite

d'événements pluviométriques importants, sont observées. Ces augmentations sont liées au fait que ces capteurs sont situés dans l'horizon rocheux (péridotite) à proximité des appuis qui présente une recharge (et une vidange) rapide en cas d'évènement pluvieux après un long cycle de faible pluviométrie.

Au cours du mois de janvier 2025, le niveau piézométrique au niveau des appuis Nord et Sud est stable.

Les valeurs observées au cours du mois de janvier sont conformes au seuil vert (état normal).

5.1.2. Capteurs installés au sein du remblai du barrage

Les résultats de l'auscultation sont présentés sous forme graphique. Chaque graphique représente, par série de piézomètres installés au même chainage et au sein du même matériau (Batardeau, Zones 1A, 3A, 3B, 3C et Dogleg), les variations de niveau piézométrique en fonction du temps sur la dernière année. Ces graphiques sont présentés en Annexe C. Les données relatives aux quatre dernières années sont présentées dans le rapport semestriel d'auscultation.

Le tableau suivant présente les valeurs seuils pour les CPI en condition drainée et le niveau piézométrique observé dans les remblais au cours du mois de janvier 2025.

Tableau 11: Valeurs de seuils pour les CPI et niveaux piézométriques observés dans les remblais

Zone	Capteur	Cote d'install. (m NGNC)	Dernière mesure journalière	Niveau piézo. Pour FoS>>1,5	Niveau piézo. Pour FoS>1,5	Niveau piézo. Pour FoS>1,5	Niveau piézo. Pour FoS≤1,5
Batardeau	WD-01	171,1	172,9	-	-	-	-
Batardeau	WD-02	171,2	173,4	-	-	-	-
Batardeau	WD-04	169,7	171,6	-	-	-	-
1A	WD-18*	192,3	197,7	Pas de PI >0	192,5	208	230
	WD-22	195	203,3	Pas de PI >0	195,5	208	230
	WD-25*	185,8	193,9	Pas de PI >0	187	208	230
	WD-27*	204,9	209,9	Pas de PI >0	205,5	208	230
	WD-29*	209,9	213,5	Pas de PI >0	210,5	220	230
	WD-39*	186	190,0	Pas de PI >0	187	208	230
	WD-44*	191,9	199,4	Pas de PI >0	192,5	208	230
	WD-48*	195,6	202,7	Pas de PI >0	196	208	230
	WD-51*	200	207,8	Pas de PI >0	201	208	230
	WD-55*	212,5	213,1	Pas de PI >0	201	208	230
3A	WD-05*	174,1	176,3	Pas de PI >0	190	208	230
	WD-09*	180,1	179,5	Pas de PI >0	190	208	230
	WD-14*	186,1	185,3	Pas de PI >0	188	208	230
	WD-19*	192,4	192,6	Pas de PI >0	192,5	208	230
	WD-23*	195,1	194,5	Pas de PI >0	195,5	208	230
	WD-26*	200,1	198,6	Pas de PI >0	200,5	205	210
	WD-35*	179,9	179,0	Pas de PI >0	187	208	230
	WD-40*	186,1	185,9	Pas de PI >0	187	208	230
	WD-45*	192,1	192,3	Pas de PI >0	192,5	208	230
	WD-52*	200,3	200,0	Pas de PI >0	201	208	210
3B	WD-12*	179,4	178,7	Pas de PI >0	180	183	192,5
	WD-17*	185	184,2	Pas de PI >0	185,5	190	192,5
	WD-38*	179,5	178,8	Pas de PI >0	180	185	192,5
	WD-43*	185	185,3	Pas de PI >0	186	183	192,5
	WD-59	183,1	184,1	Pas de PI >0	185,5	186	186,5
	WD-64	209,9	211,7	Pas de PI >0	Pas de PI >0	Pas de PI >0	Pas de PI >0
	WD-65	183,2	186,7	Pas de PI >0	184	184,5	185

Zone	Capteur	Cote d'install. (m NGNC)	Dernière mesure journalière	Niveau piézo. Pour FoS>>1,5	Niveau piézo. Pour FoS>1,5	Niveau piézo. Pour FoS>1,5	Niveau piézo. Pour FoS≤1,5
	WD-70	210,4	211,5	Pas de PI >0	Pas de PI >0	Pas de PI >0	Pas de PI >0
3C	WD-06*	174,7	176,1	Pas de PI >0	185	195	210
	WD-07*	173,8	174,1	Pas de PI >0	182	190	202,5
	WD-10*	180,6	182,6	Pas de PI >0	185	195	210
	WD-11*	180,1	181,2	Pas de PI >0	183	190	202,5
	WD-16*	186	186,3	Pas de PI >0	186,5	190	202,5
	WD-20*	192,4	190,6	Pas de PI >0	192,5	195	210
	WD-21**	192,4	193,0	Pas de PI >0	192,5	195	202,5
	WD-24*	195	197,7	Pas de PI >0	195,5	200	210
	WD-36*	180,4	181,2	Pas de PI >0	181	195	210
	WD-37*	180	179,9	Pas de PI >0	180,5	190	202,5
	WD-41*	186,1	186,7	Pas de PI >0	187	195	210
	WD-42*	186	187,3	Pas de PI >0	187	190	202,5
	WD-46*	192,1	193,3	Pas de PI >0	192,5	200	210
	WD-47*	192,2	194,3	Pas de PI >0	192,5	195	205
Dogleg	WD-50*	195	195,3	Pas de PI >0	196	208	230
	WD-71	190,9	187,9	-	-	-	-
	WD-72	195,4	197,6	-	-	-	-
	WD-73	201,9	203,4	-	-	-	-
	WD-74	207,4	210,7	-	-	-	-
	WD-75	216,9	222,4	-	-	-	-
	WD-76	221,9	223,4	-	-	-	-
	WD-78	209,4	210,1	-	-	-	-
	WD-79	217,4	216,2	-	-	-	-
	WD-80	223,9	226,7	-	-	-	-

* : Valeur de niveau piézométrique surestimée car non corrigée par rapport au tassement

** : Non pris en compte car anomalie du capteur

Il est à noter que par manque de données extensométriques au droit des capteurs situés dans le remblai, ces derniers n'ont pas fait l'objet de corrections liées au tassement. Les valeurs de pressions sont donc surestimées, à l'exception des capteurs WD-59, WD-64, WD-65 et WD-70 qui ont été corrigés de respectivement 1,25 m, 1,55 m, 1,10 m et 1,45 m (tassements estimés depuis l'installation des capteurs).

Avec la construction de la verve Lucy et les tassements attendus de la fondation (y compris sous le barrage), ces pressions seront d'autant plus surestimées.

Actuellement, les capteurs de pression interstitielle installés dans le corps du barrage enregistrent des pressions très faibles, à l'exception des instruments installés dans la Zone 1A qui ont mesuré l'installation d'une nappe au sein des matériaux 1A depuis le courant de l'année 2016.

La présence de cette nappe réagit en fonction du niveau d'eau dans le bassin.

Les capteurs des zones 3A, directement à l'aval de la Zone 1A et de la cheminée drainante, font l'objet d'une attention particulière afin de déceler rapidement des éventuelles augmentations de pression.

Les détails des mesures par zone sont présentés ci-après.

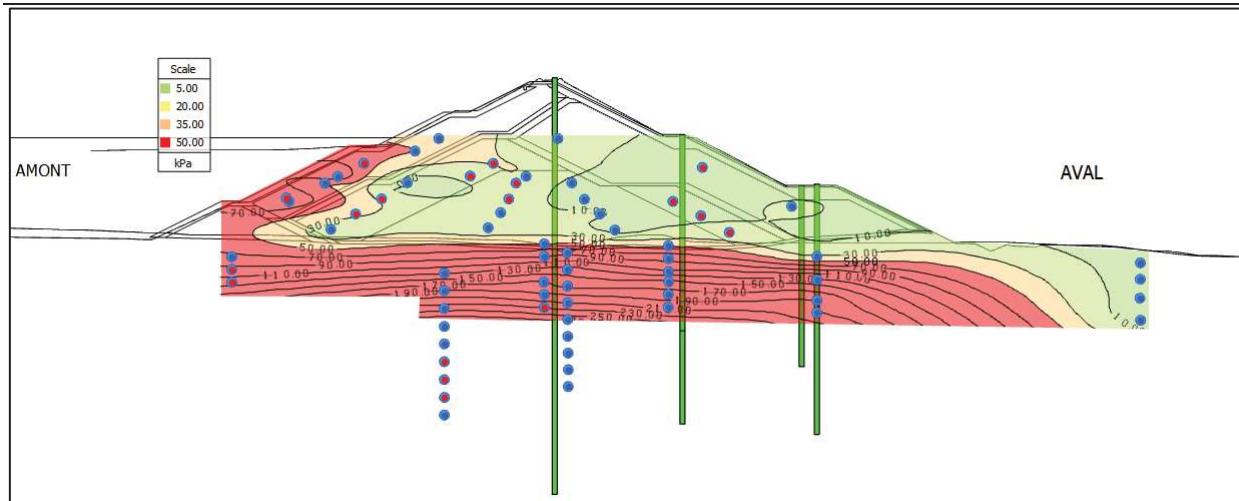


Figure 7 : Isoligne de pression interstitielle en kPa – Chainage 500 en date du 31/01/2025

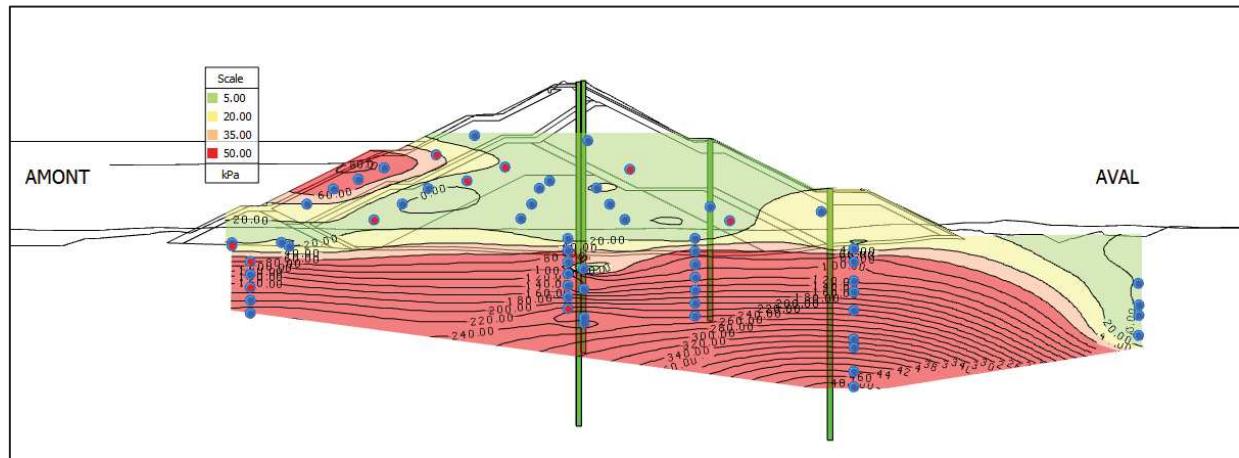


Figure 8 : Isoline de pression interstitielle en kPa – Chainage 700 en date du 31/01/2025

5.1.2.1. Batardeau

Sur les capteurs encore en fonctionnement installés à la base du batardeau, à savoir WD-01, WD-02 et WD-04, des variations peu marquées du niveau piézométrique sont enregistrées, avec néanmoins des réactions saisonnières.

Au cours du mois de janvier 2025, les piézomètres installés dans la zone du batardeau présentent des niveaux stables.

5.1.2.2.Zone 1A

Avec la montée du niveau de résidus et du surnageant dans le bassin, les capteurs situés dans cette zone font l'objet d'un suivi particulier.

En effet, depuis 2016, une augmentation du niveau piézométrique a été observée sur un nombre important de capteurs installés dans la Zone 1A. Cette augmentation a été observée aussi bien au niveau des capteurs situés au CH500 qu'au CH700 du barrage.

L'augmentation de la pression interstitielle semblait être due à une fuite au travers de la géomembrane combinée à un niveau d'eau important et en augmentation.

Ces fuites semblent avoir tendance à être colmatées par les résidus au fur et à mesure de leur montée dans le bassin. Mais d'autres fuites peuvent également devenir active avec la montée du niveau d'eau concomitante, malgré les inspections et réparations régulières de la géomembrane sur la face amont du barrage et du parc à résidus.

Les précipitations observées en 2023 et 2024, et les variations du niveau d'eau du parc qui en découlent, continuent de se refléter sur les niveaux piézométriques des capteurs de la Zone 1A.

Les pluies observées de février à avril 2024 engendrent à nouveau une augmentation du niveau d'eau dans le bassin et en parallèle une augmentation de pression au sein de la Zone 1A qui est à nouveau particulièrement visible au niveau des capteurs WD-29 au niveau du CH500 (+1,8 m environ) et WD-55 au CH700 (+1,7 m environ).

Depuis le mois d'Août 2024, on constate une baisse du niveau piézométrique qui continue jusqu'au mois de janvier 2025.

Les valeurs observées de niveaux piézométriques déclenchent majoritairement le seuil JAUNE. Les capteurs WD-27 et WD-55 déclenchent le seuil ORANGE.

Il est important néanmoins de rappeler que ces seuils (JAUNE et ORANGE) pour la zone 1A ne remettent pas en cause la stabilité de l'ouvrage (coefficient de sécurité toujours supérieur à 1,5), mais sont des indicateurs de suivi d'un changement de comportement de l'ouvrage (développement d'une nappe dans la Zone 1A).

5.1.2.3. Zone 3A

Suite aux différentes augmentations des pressions qui ont été observées dans la Zone 1A depuis 2016, aucune réaction spécifique globale n'est apparue sur les capteurs de la Zone 3A (les deux zones étant séparées par la cheminée drainante).

Dans la Zone 3A, les piézomètres installés présentent des valeurs relativement stables et conformes au seuil VERT et indiquent qu'il n'y a pas de développement d'une quelconque nappe au sein de cette zone.

Les fluctuations du niveau sont très faibles. Elles augmentent puis baissent selon la pluviométrie.

Au cours du mois de janvier 2025, un capteur sur 10 dépasse légèrement le premier seuil (WD19).

La fluctuation du niveau est très faible, le niveau est stable.

5.1.2.4. Zone 3B et 3C

Dans les zones 3B et 3C, les valeurs observées sur les niveaux piézométriques sont globalement inférieures aux seuils définis.

Les valeurs observées sur les niveaux piézométriques sont majoritairement conformes au seuil VERT. Certains capteurs atteignent néanmoins le seuil JAUNE et le WD65 le seuil rouge depuis 2015. Ce dernier est localisé au pied aval du barrage (sous la banquette 192), où les seuils du TARP ont une très faible différence de niveau.

Dans ce secteur il faut prendre en compte que c'est le comportement global des capteurs qui doit être analysé pour déceler le développement d'une nappe globale et pas le comportement individuel de chaque capteur.

Nous pouvons conclure que les données collectées indiquent clairement qu'aucune nappe ne s'est développée au sein des zones 3B et 3C.

Ce mois-ci la fluctuation du niveau est très faible, le niveau est stable.

5.1.2.5. Dogleg

Une colonne de six capteurs de pression interstitielle a été installée le 02/04/2018 dans les remblais au niveau du « Dogleg » afin de suivre le comportement piézométrique dans cette zone spécifique.

Lors de l'installation, les deux capteurs situés les plus en hauteur (WD-75 et WD-76) n'ont pas pu être injectés de coulis et sont restés « à l'air libre » dans le trou nu jusqu'au 05/10/2018 (date de la cimentation définitive des capteurs). Depuis cette date, des évolutions anormales pour ces deux capteurs sont observées. Ces derniers sont installés au-dessus du niveau actuel du réservoir et les variations enregistrées sont décorrélées de la pluviométrie.

Il semble s'agir d'un dysfonctionnement des capteurs à la suite de la cimentation.

Les deux capteurs installés dans la fondation du dogleg (WD-71 et WD-72) sont réactifs à la pluviométrie. En revanche, les capteurs installés dans le remblai (WD-73 et WD-74) ne présentent pas de réactions liées à la pluviométrie.

En août 2021, une nouvelle colonne de capteurs a été installée dans le remblai afin de compléter la couverture dans cette zone. Ces nouveaux capteurs ont été connectés au datalogger DASA le 11 mai 2022 et les données remontent désormais automatiquement.

Le capteur WD71 n'est plus suivi en raison des données erronées qu'il remonte.

Aucun seuil n'a été défini au niveau du Dogleg car il n'a pas été établi de profil de calcul dans cet axe. En effet, la géologie au droit de cette zone est marquée par une remonté du bedrock favorisant ainsi la stabilité de l'ouvrage. Ainsi, le profil au droit du dog leg ne correspond pas au profil le plus critique.

Par ailleurs, une étude de stabilité de la zone dog leg a été réalisée en décembre 2023 et ce, en considérant les résultats de mesures de pressions interstitielles. Selon cette analyse, le coefficient de sécurité du dog leg en considérant les conditions actuelles drainées est supérieur au minimum requis à savoir 1.5.

Etant donnée que depuis que l'étude a été réalisée, aucune variation des pressions interstitielles n'a été enregistrée. Les résultats de l'analyse de stabilité restent donc valables. Une mise à jour des calculs sera réalisée en cas de variation des pressions interstitielles au droit du dog leg.

Les mesures au droit du Dog Leg sont stables. Le coefficient de sécurité calculé au droit du dog leg en considérant les conditions réelles de la zone est supérieur au minimum requis à savoir 1.5.

5.1.3. Bilan global vis-à-vis du TARP

Le Tableau 12 présente le bilan global des CPI vis-à-vis du TARP.

Tableau 12 : Tableau récapitulatif de l'analyse statistiques des CPI vis-à-vis du TARP

Zone	Niveau piézo. Pour $FoS >> 1,5$	Niveau piézo. Pour $FoS > 1,5$	Niveau piézo. Pour $FoS > 1,5$	Niveau piézo. Pour $FoS \leq 1,5$	Paragraphe explicatif
Zone 1A – Nombre de capteurs par seuil	0 capteurs en vert	8 capteurs dans le jaune	2 capteurs dans l'orange	0 capteurs dans le rouge	§5.1.2.2
Zone 3A – Nombre de capteurs par seuil	9 capteurs en vert	1 capteur dans le jaune	0 capteurs dans l'orange	0 capteurs dans le rouge	§5.1.2.3
Zone 3B / 3C – Nombre de capteurs par seuil	16 capteurs en vert	6 capteurs dans le jaune	0 capteurs dans l'orange	1 capteur dans le rouge	§5.1.2.4
Zone Batardeau	-	-	-	-	§5.1.2.1
Zone Dogleg	-	-	-	-	§5.1.2.5
Zone en fondation	84 capteurs en vert	0 capteurs dans le jaune	0 capteurs dans l'orange	0 capteurs dans le rouge	§5.1.1

5.1.4. Piézomètres en aval du barrage

Les données mensuelles issues des piézomètres à l'aval du barrage (niveaux d'eau avec sondes enregistreuses, conductivités, lectures manuelles) sont collectées et traitées par l'équipe environnement de PRNC. Les données de suivi environnemental sont ensuite traitées dans GEOSCOPE.

Les données acquises au niveau des piézomètres aval en fonction du temps depuis le début des données disponibles sont présentées en Annexe D.

5.2. Déplacements horizontaux

5.2.1.1. Déformation de la fondation

Les déplacements horizontaux de la fondation sont actuellement suivis à partir de treize (13) inclinomètres dont trois automatisés (SAA).

Les inclinomètres font l'objet d'un suivi mensuel. Les dernières mesures ont été réalisées au mois de janvier.

Des graphiques représentant les profils des déplacements horizontaux en fonction de la cote altimétrique et de la géologie ainsi que les déplacements cumulés en fonction du temps sont présentés en Annexe E.

Les graphiques représentant les profils des déplacements horizontaux mesurés au niveau de inclinomètres automatisés sont présentés en Annexe F.

Les valeurs de déplacements horizontaux maximums dans la fondation pouvant être retenues sont présentées dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Résultats des déplacements constatés au niveau des inclinomètres – Janvier 2025

ID	Déplacement cumulé horizontaux max. (mm) en fondation Axe Amont/Aval	Cote alti. (m NGNC)	Direction	Matériaux	Commentaires
EL-03	-405 (-2)	174,6	Amont	Latérite	-
EL-04	97	149	Aval	Latérite	Lors des dernières lectures interprétables en 05/2008 à cette cote
EL-04B	-59 (0)	143.1*	-	Latérite	-
EL-05	150	156	Aval	Latérite	Lors des dernières lectures interprétables en 02/2013 à cette cote
EL-05A	62 (+5)	148	Aval	Colluvions	-
EL-06	-240 (0)	170,4	-	Cuirasse	-
EL-06A	432(+4)	155.8	Aval	Latérite	-
EL-07	-195 (-1)	176.8	Amont	Cuirasse	-
EL-08	406	143	Aval	Latérite	Lors des dernières lectures interprétables en 04/2014 à cette cote
EL-08A	40 (-4)	143.7	Amont	Latérite	Post construction
EL-09	-	-	-	-	Plus mesuré
EL-09A	-	-	-	-	Pas de mesures possibles

ID	Déplacement cumulé horizontaux max. (mm) en fondation Axe Amont/Aval	Cote alti. (m NGNC)	Direction	Matériaux	Commentaires
EL-09B	-14 (-1)	162.3	Amont	Colluvions	Le bas du tube ne semble pas ancré dans le substratum
EL-10	168 (+2)	158	Aval	Colluvions	-
EL-11	56 (0)	167.2	-	Latérite	Déplacement apparu en aout 2020, pas d'évolution depuis - flambement
SAA-01	15,2 (-0,1)	155,2	Amont	Colluvions	-
SAA-02	2,1 (+0,2)	154,8	Aval	Latérite	-
SAA-03	-0,2 (-0,3)	164,6	Amont	Colluvions	Des mouvements inframillimétriques sont constatés en tête lors des fortes pluies.

NB : Entre parenthèses est précisé l'évolution depuis la dernière mesure. (-) sens amont ; (+) sens aval.

De manière générale, un fluage latéral vers l'aval des formations latéritiques de la fondation a été observé pendant la construction. Depuis mi-2013, un ralentissement des déplacements horizontaux (accentué depuis 2015) a été observé en raison des plus faibles quantités de remblai mis en œuvre, puis de l'arrêt de la construction au droit des instruments.

Depuis 2016, les déplacements horizontaux mesurés sont très faibles voire inférieurs à la précision des instruments.

Les instruments SAAV installés en crête (SAA-01) et en pied du barrage (SAA-02 et SAA-03) présentent des déformations horizontales millimétriques à centimétriques depuis leurs installations en mai 2022. L'instrument SAA-01 donne une forme et amplitude des déformations similaires à celle du tube inclinométrique EL-05A installé à proximité.

Les instruments SAA-02 et SAA-03 présentent des déformations qui semblent être directement liées aux travaux préparatoires de la zone d'emprise de la verve Lucy.

Les valeurs observées sont conformes au seuil vert (état normal) pour les déplacements en fondation pour le mois de janvier 2025.

5.2.1.2. En surface

Des plots de suivi topographique (25 unités) ont été installés sur la face aval du barrage en décembre 2018.

Ces derniers font l'objet d'un suivi mensuel par le géomètre PRNC (depuis janvier 2020). Les dernières mesures ont été réalisées le 15 janvier 2025.

L'évolution des déplacements de ces plots depuis leurs installations est présentée en Annexe G.

Les mesures disponibles au niveau de la crête de l'ouvrage font apparaître une tendance aux déplacements horizontaux de surface vers l'amont et le centre du bassin de l'ordre de 20 mm à 114 mm.

Le déplacement maximal de 114 mm vers l'Ouest est mesuré au niveau du plot SM-3.5.

Le plus fort tassement total est enregistré sur le plot 3.5 (192 mm) soit une augmentation de 4 mm en un mois.

Le plot SM-3.3 a été heurté par une foreuse le 24/08/2021, ce qui a engendré un léger déplacement du plot (variation verticale de l'ordre de +30 mm vers le haut, et variation horizontale de l'ordre de +50 mm vers le Nord-

Ouest). Une correction a été réalisée sur les courbes des plots topographiques afin de faire disparaître cette anomalie (lectures définies comme étant égales, avant et après le choc avec le plot).

Pour le mois de janvier 2025, les valeurs observées des déplacements de surface sont conformes au seuil vert (état normal).

5.3. Tassements

Les deux sondes à disposition sont défectueuses. Pour le mois de janvier, nous n'avons pas donc effectué les levés des extensomètres. Le tassement a été principalement contrôlé par le levé topographique des instruments.

Ces sondes ne sont pas disponibles sur le territoire et la livraison de nouvelles sondes est prévue pour le mois de mars 2025.

A noter que la fondation est déjà consolidée et que les tassements mesurés depuis la fin de la construction en 2016 sont négligeables voire nuls.

5.3.1. Tassements totaux

Les courbes de tassements en fonction du temps issues des mesures prélevées des extensomètres sont présentées en Annexe H.

L'Annexe H présente pour chaque instrument, les tassements calculés (en prenant comme référence le haut du tube) en fonction de la cote altimétrique des anneaux de référence. Il est noté qu'au moment de l'installation de toute nouvelle section, le tassement initial de la nouvelle jonction (et anneau) installée a été considéré comme étant égal au tassement de l'anneau inférieur.

Le tableau ci-après présente les valeurs de tassements totaux au sein du sol de la fondation et des remblais au droit des extensomètres.

Tableau 14 : Tassement total au droit des extensomètres – Janvier 2025

ID	Tassement depuis le mois dernier (m)	Tassement depuis installation (m)	Hauteur totale de remblai (m)	Hauteur de remblai depuis installation (m)	Commentaires
EL-03	0	4.40	39.1	39.0	Blocage au sein de la fondation
EL-04B	0	0.36	68.7	3.2	-
EL-05A	0	0.31	62.1	2.3	-
EL-06	0	5.43	46.0	40.1	Blocage au sein de la fondation
EL-06A	0.01	3.26	45.9	20.3	-
EL-07	0	3.92	38.7	38.6	Blocage au sein de la fondation
EL-08	0	1.35	18.8	16.3	Blocage au sein de la fondation
EL-08A	0	0.02	18.5	0	-
EL-09	0	1.50	23.9	20.8	Blocage au sein de la fondation
EL-09A	0.01	0.02	25.4	0	Blocage au sein de la fondation
EL-09B	0	-0.04	25.4	0	-
EL-10	-0.01	0.54	18.3	7.0	-

ID	Tassement depuis le mois dernier (m)	Tassement depuis installation (m)	Hauteur totale de remblai (m)	Hauteur de remblai depuis installation (m)	Commentaires
EL-11	0	0.25	59.8	2.1	-

Des tassements importants ont été enregistrés durant la construction du barrage. Ils étaient directement associés à la mise en place des remblais. Ces tassements ont été en partie compensés en cours de construction par la mise en place de matériaux de construction complémentaires.

Depuis 2016, à la suite de la fin des travaux de construction du barrage, les tassements observés sont très faibles en partie centrale du barrage (voire quasi nuls en se rapprochant des appuis). Certains tassements faibles observés au niveau de la crête du barrage semblent être liés à l'augmentation de la charge à l'amont du barrage (montée du niveau des résidus) ainsi qu'à la consolidation secondaire des matériaux de fondation.

Les tiges de tassement installées sur la face aval du barrage en 2013, font l'objet d'un suivi mensuel par le géomètre PRNC et mesurent les tassements totaux (somme des tassements de la fondation et des remblais). Les mesures disponibles confirment également une tendance de tassement faible depuis 2016.

Les courbes de tassements en fonction du temps issues des tiges de tassement sont présentées en Annexe I.

Aucun tassement significatif n'a été constaté. L'état est normal au sens du TARP.

5.3.2. Tassements au sein de la fondation

Le Tableau ci-dessous présente les valeurs de tassements pouvant être retenues au sein du sol de fondation au droit des extensomètres. Les hauteurs de remblai fournies prennent en compte le tassement de la fondation.

Tableau 15 : Tassement de la fondation au droit des extensomètres - Janvier 2025

ID	Tassement depuis le mois dernier (m)	Tassement depuis installation (m)	Cote Fondation (NGNC)	Hauteur de remblai depuis installation (m)	Commentaires
EL-03	0	3,38	175	39.0	Blocage au sein de la fondation
EL-04B	-0.01	0.16	165,2	3.2	-
EL-05A	0.01	0.17	170,7	2.3	-
EL-06	0	4,09	171,8	40.1	Blocage au sein de la fondation
EL-06A	0	2.17	171,9	20.3	-
EL-07	0	2,90	176,5	38.6	Blocage au sein de la fondation
EL-08	0	1,18	173	16.3	Blocage au sein de la fondation
EL-08A	0	0.01	171,9	0	-
EL-09	-0.02	1.01	168,4	20.8	Blocage au sein de la fondation
EL-09A	0	-0,01	164,8	0	Blocage au sein de la fondation
EL-09B	0	-0,03	166,8	0	-
EL-10	0	0.39	175,2	7.0	-
EL-11	0	0.18	173,4	2.1	-

Aucun tassement significatif n'a été constaté. Les valeurs observées sont conformes au seuil VERT (Etat Normal).

5.3.3. Tassement de la conduite

Des repères de tassement ont été mis en place sur la conduite principale (regroupant les conduites 1 à 4) et au niveau de la fondation du barrage. Seules les tiges SM-23 et SM-25 sont utilisées pour suivre les tassements de la conduite.

L'Annexe I présente le tassement de ces repères en fonction du temps.

Le Tableau ci-dessous présente les valeurs de tassements au niveau des conduites.

Tableau 16 : Tassement des conduites - Janvier 2025

ID	Tassement depuis le mois dernier (m)	Tassement depuis installation (m)	Commentaires
SM-23	0	3.53	-
SM-25	0	1.46	-

Il est important de noter qu'il ne s'agit pas du tassement total de la conduite car lors de l'installation des repères de tassements, la conduite devait déjà avoir été soumise à une déformation sous la charge des matériaux mis en œuvre sur le barrage au CH650. Le tassement total par rapport à la position d'installation de la conduite est estimé à environ 4,4 m.

Depuis début 2016, les tassements de la conduite située à l'aval de l'axe du barrage, se sont stabilisés.

Aucun mouvement notable n'a été observé sur les tiges de tassement, ce mois-ci.

5.4. Débits et qualité des eaux du système de drainage sous la géomembrane

Les valeurs de débits et de qualité des eaux collectées par le réseau de sous drainage sont présentées dans les graphiques de l'Annexe J. Une synthèse par rapport aux seuils fixés par le TARP est présentée dans le tableau suivant.

La saison humide s'étend de Décembre à Mai, les critères du TARP de cette saison sont donc appliqués.

Tableau 17 : Système de drainage sous la géomembrane- Seuils et valeurs durant le mois de janvier

Paramètres	Conduite		Valeurs maximales	Etat Normal	Seuil de Niveau 1	Seuil de Niveau 2	Seuil de Niveau 3
	1	SH			Qjour (m ³ /h) ≤ 50 et/ou Evolution ≤ 200%	50 < Qjour (m ³ /h) ≤ 70 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	70 < Qjour (m ³ /h) ≤ 80 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%
Débit (m ³ /h) et Evolution par rapport au mois précédent	1	SS	-	Qjour (m ³ /h) ≤ 30 et/ou Evolution ≤ 200%	30 < Qjour (m ³ /h) ≤ 40 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	40 < Qjour (m ³ /h) ≤ 50 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%	Qjour (m ³ /h) > 50 et/ou Evolution > 400%
		SH			Qjour (m ³ /h) ≤ 300 et/ou Evolution ≤ 200%	300 < Qjour (m ³ /h) ≤ 400 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	400 < Qjour (m ³ /h) ≤ 450 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%
	2	SS	-	Qjour (m ³ /h) ≤ 50 et/ou Evolution ≤ 200%	50 < Qjour (m ³ /h) ≤ 100 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	100 < Qjour (m ³ /h) ≤ 200 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%	Qjour (m ³ /h) > 200 et/ou Evolution > 400%
		SH			Qjour (m ³ /h) ≤ 300 et/ou Evolution ≤ 200%	300 < Qjour (m ³ /h) ≤ 400 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	400 < Qjour (m ³ /h) ≤ 450 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%
	3	SS	-	Qjour (m ³ /h) ≤ 50 et/ou Evolution ≤ 200%	50 < Qjour (m ³ /h) ≤ 100 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	100 < Qjour (m ³ /h) ≤ 200 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%	Qjour (m ³ /h) > 200 et/ou Evolution > 400%
		SH			Qjour (m ³ /h) ≤ 21,6	Qjour (m ³ /h) ≤ 300 et/ou Evolution ≤ 200%	Qjour (m ³ /h) > 450 et/ou Evolution > 400%

Paramètres	Conduite	Valeurs maximales	Etat Normal	Seuil de Niveau 1	Seuil de Niveau 2	Seuil de Niveau 3
	4	SH	Qjour (m ³ /h) < 30	Qjour (m ³ /h) ≤ 30 et/ou Evolution ≤ 200%	30 < Qjour (m ³ /h) ≤ 40 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	40 < Qjour (m ³ /h) ≤ 50 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%
		SS		Qjour (m ³ /h) ≤ 10 et/ou Evolution ≤ 200%	10 < Qjour (m ³ /h) ≤ 15 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	15 < Qjour (m ³ /h) ≤ 20 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%
Conductivité (μS/cm)	1	Cond. (μS/cm) < 5 757	Cond. (μS/cm) ≤ 6000	6000 < Cond. (μS/cm) ≤ 8000	8000 < Cond. (μS/cm) ≤ 10000	Cond. (μS/cm) > 10000
	2	Cond. (μS/cm) < 8 460	Cond. (μS/cm) ≤ 6000	6000 < Cond. (μS/cm) ≤ 8000	8000 < Cond. (μS/cm) ≤ 10000	Cond. (μS/cm) > 10000
	3	Cond. (μS/cm) < 4 345	Cond. (μS/cm) ≤ 6000	6000 < Cond. (μS/cm) ≤ 8000	8000 < Cond. (μS/cm) ≤ 10000	Cond. (μS/cm) > 10000
	4	Cond. (μS/cm)max < 8702	Cond. (μS/cm) ≤ 6000	6000 < Cond. (μS/cm) ≤ 8000	8000 < Cond. (μS/cm) ≤ 10000	Cond. (μS/cm) > 10000
MES (mg/l)	Tous	MES ≤ 5	MES (mg/l) ≤ 5 ou > 5 mg/l pendant 2 semaines	5 < MES (mg/l) ≤ 50 pendant plus de deux semaines	50 < MES (mg/l) ≤ 100 pendant plus de deux semaines	MES (mg/l) > 100 pendant plus d'une semaine

SH : Saison Humide du 01/12 au 31/05 ; SS : Saison sèche du 01/06 au 30/11

5.4.1. Résultats et interprétation

Un récapitulatif des résultats par conduite est présenté ci-après :

- Conduite 1 (Baie 1) : cette conduite collecte les eaux de la zone Sud immédiatement à l'amont du barrage. Il est observé que les fluctuations des débits sont peu marquées avec néanmoins une légère réaction lors des saisons humides. **Les seuils sur le débit, la conductivité et les MES sont au niveau VERT pour le mois de janvier** ;
- Conduite 2 (Baie 2) : cette conduite collecte les eaux de la baie la plus étendue située en amont du réservoir. Les débits mesurés augmentent très rapidement après un épisode pluvieux. Une contamination liée au surnageant semble présente. **Le seuil de conductivité est au niveau Orange pour ce mois-ci. Les seuils sur les MES et le débit sont au niveau VERT** ;
- Conduite 3 (Baie 3) : Cette conduite collecte les eaux d'une grande superficie de géomembrane en fond de réservoir et sur le flanc Nord du réservoir. Le comportement des variations de conductivité est assez similaire à celui observé sur la conduite 1. **Les seuils sur le débit, la conductivité et les MES sont au niveau VERT pour le mois de janvier** ;
- Conduite 4 (Baie 4) : cette conduite capte les eaux de la zone Nord immédiatement à l'amont du barrage. Elle présente généralement les débits les plus faibles et de faibles fluctuations. **Le seuil de conductivité est au niveau Orange pour ce mois-ci. Les seuils sur le débit et les MES sont au niveau VERT**.

5.4.2. Résultats des vidéos inspections

La dernière vidéo inspection du réseau de sous-drainage a été réalisée le 23/03/2023 par l'entreprise IRC à la suite des travaux du curage.

La vidéo inspection a permis d'observer sans problème le linéaire total des drains 1, 2 et 3, et confirme toujours l'intégrité de ces trois conduites sous l'emprise du barrage.

Seuls 134 m de longueur sur la conduite 4 ont pu être inspectés du fait de la présence de résidus au sein de cette conduite (malgré le curage préalable sur 400 m). En comparaison, en 2021, seuls 110 m avaient pu être observés, la situation ne s'est donc vraisemblablement pas dégradée. La partie observée de cette conduite 4 confirme son intégrité et l'obstruction partielle est également confirmée par les écoulements observés.

5.5. Débits et qualité des eaux des drains de pied

Les valeurs de débits et de qualité des eaux des drains de pied pour la dernière année sont présentées en Annexe J et une synthèse par rapport aux seuils est présentée dans le Tableau 18.

Tableau 18 : Drains de pied- Seuils et valeurs durant le mois de Janvier

Paramètres	Drain	Valeurs maximales	Etat Normal	Seuil de Niveau 1	Seuil de Niveau 2	Seuil de Niveau 3
Débit (m ³ /h) et Evolution par rapport au mois précédent	4R7	211	Qjour (m ³ /h) ≤ 70 et/ou Evolution ≤ 200%	70 < Qjour (m ³ /h) ≤ 150 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	150 < Qjour (m ³ /h) ≤ 400 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%	Qjour (m ³ /h) > 400 et/ou Evolution > 400%
	4R8	177	Qjour (m ³ /h) ≤ 100 et/ou Evolution ≤ 200%	100 < Qjour (m ³ /h) ≤ 200 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	200 < Qjour (m ³ /h) ≤ 400 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%	Qjour (m ³ /h) > 400 et/ou Evolution > 400%
	4R9	65	Qjour (m ³ /h) ≤ 70 et/ou Evolution ≤ 200%	70 < Qjour (m ³ /h) ≤ 150 et/ou 200% < Evolution ≤ 300%	150 < Qjour (m ³ /h) ≤ 400 et/ou 300% < Evolution ≤ 400%	Qjour (m ³ /h) > 400 et/ou Evolution > 400%
Conductivité (μS/cm)	4R7	286	Cond. (μS/cm) ≤ 500	500 < Cond. (μS/cm) ≤ 1000 pendant plus d'une semaine	1000 < Cond. (μS/cm) ≤ 1500 pendant plus d'une semaine	Cond. (μS/cm) > 1500 pendant plus de deux semaines
	4R8	21 007	Cond. (μS/cm) ≤ 1000	1000 < Cond. (μS/cm) ≤ 1500 pendant plus d'une semaine	1500 < Cond. (μS/cm) ≤ 2000 pendant plus d'une semaine	Cond. (μS/cm) > 2000 pendant plus de deux semaines
	4R9	11 393	Cond. (μS/cm) ≤ 2000	2000 < Cond. (μS/cm) ≤ 2500 pendant plus d'une semaine	2500 < Cond. (μS/cm) ≤ 3000 pendant plus d'une semaine	Cond. (μS/cm) > 3000 pendant plus de deux semaines
MES (mg/l)	Tous	< 5 pour 4R7 < 5 pour 4R8 8.1 pour 4R9 (pendant une semaine)	MES (mg/l) ≤ 5 ou > 5 mg/l pendant 2 semaines	5 < MES (mg/l) ≤ 50 pendant plus de deux semaines	50 < MES (mg/l) ≤ 100 pendant plus de deux semaines	MES (mg/l) > 100 pendant plus d'une semaine

5.5.1. Résultats et interprétation

Les débits des drains de pied du barrage correspondent aux débits collectés par le tapis drainant mais également aux débits provenant du bassin versant constitué par la face aval du barrage.

Une très forte relation entre ces débits et la pluviométrie enregistrée sur site est observée, avec des valeurs de débits instantanées pouvant atteindre plus de 500 m³/h lors d'épisode pluvieux très intenses.

Entre fin août et mi-novembre 2022, une infiltration au travers du barrage a été observée au niveau des drains de pied 4R8 et 4R9.

En effet, une très nette augmentation de la conductivité a été notée sur 4R8 (20 000 μS/cm) et 4R9 (18 000 μS/cm) (avec un décalage d'environ deux jours). Cette augmentation est également associée à une augmentation des débits sur ces deux mêmes drains de pied avant une chute brutale des débits le 15/11/2022.

Les MES ne présentent que des variations ponctuelles inférieures à 20 mg/l sur cette même période sur ces deux drains. Le drain 4R7 quant à lui, continue de fournir des données similaires aux variations saisonnières (débit, conductivité et MES).

Divers travaux ont été mis en œuvre par PRNC pour traiter cet écoulement et le trou a été comblé le 15/11/2022. Une réduction brutale des écoulements au niveau du pied aval a été constatée ce jour-là avant de retrouver des valeurs d'écoulements (débits et conductivité) sensiblement similaires à avant l'évènement entre mi-novembre (débits) et fin janvier (conductivité).

Il est à noter que cette infiltration a présenté un incident environnemental important mais n'a pas remis en cause la sécurité immédiate de l'ouvrage.

Depuis la fin de l'épisode d'infiltration, les débits des drains 4R8 et 4R9 semblaient suivre à nouveau un comportement similaire à celui d'avant infiltration (seuils VERT).

Depuis mars 2024, une augmentation progressive de la conductivité est observée sur le drain 4R8. Ce phénomène semble s'accentuer début avril 2024 (phénomène similaire mais de moindre amplitude sur 4R9). Il est stabilisé au mois de Mai puis diminue à la fin du mois avec la baisse du volume d'eau libre dans le parc et continue de diminuer jusqu'au mois de décembre 2024.

Il est à noter que lors du 2S2023, une augmentation très forte de la conductivité avait été observée au niveau de 4R9, pour de faibles débits et dans une moindre mesure sur 4R8.

Depuis mars 2024, les valeurs de débit résiduel (après une période importante sans pluie) atteignent désormais environ 40 m³/h, alors que les valeurs étaient proches de 0 avant cette période.

Suite à l'augmentation du débit et de la conductivité depuis mars 2024, des investigations complémentaires ont été réalisées : un traçage par injection de fluorescéine a été réalisé au cours du mois de novembre et une investigation subaquatique est prévue au cours du mois de février 2025.

Les ordres de grandeur des conductivités et des débits observés dans les drains 4R8 et 4R9 ainsi que l'essai de traçage réalisé indiquent clairement qu'une nouvelle infiltration de moindre envergure que celle observée en 2022 est en cours.

Un outil a été développé afin d'évaluer le débit d'infiltration au niveau du 4R8 (Cf. §5.5.2.3). Les principaux résultats obtenus à ce jour sont les suivants :

- A l'issue des travaux de colmatage de la zone de défaut repérée en 2022, le débit de fuite a chuté de 180 m³/h à environ 2 m³/h en moins de 2 mois.
- Entre janvier 2023 et janvier 2024, le débit de fuite s'est stabilisé autour de 1 m³/h.
- Depuis février 2024, une tendance à l'augmentation est observée. Depuis le mois d'avril 2024, le débit de fuite est stable avec une valeur de l'ordre de 40 m³/h.

La conductivité demeure, pour ce mois-ci, élevée (seuils ROUGE) pour les drains 4R8 et 4R9 avec un phénomène de lessivage lorsque les débits sont relativement importants et une augmentation forte lorsque les débits sont très faibles.

Les MES des drains 4R8 et 4R9 demeurent au niveau VERT sans indication de déplacement de matériaux.

Le drain 4R7 quant à lui, continue de fournir des données similaires aux variations saisonnières (débit, conductivité et MES).

5.5.2. Investigations complémentaires

5.5.2.1. Investigations subaquatiques

Depuis le colmatage de l'infiltration de 2022, PRNC a commandé trois prestations d'investigations subaquatiques par la société SCADEM pour inspecter la zone d'infiltration au CH390.

La dernière investigation subaquatique a été réalisée le 30/10/2023 pendant l'arrêt de l'usine en raison de l'augmentation de la conductivité du 4R9. Les résultats ont fait l'objet d'un rapport SCADEM diffusé à la DIMENC.

Une investigation subaquatique est prévue au cours du mois de février 2025 suite à une nouvelle augmentation de la conductivité du 4R8 détectée au mois de mai 2024.

Les résultats de cette investigation seront présentés dans le rapport mensuel du mois de février 2025.

5.5.2.2. Traçage par injection de fluorescéine

➤ Objectif

Un essai de traçage par fluorescéine a été réalisé le 27/11/2024.

L'objectif de ce troisième essai par traçage est d'évaluer l'état de colmatage de la zone d'infiltration détectée en octobre 2022 puis traitée en novembre 2022 par dépôts successifs de résidus humides. Cette évaluation se base sur une comparaison entre les temps de transfert mesurés lors des trois essais réalisés entre la zone d'infiltration et le drain 4R8.

Le temps de transfert de référence (3 à 4 heures) est celui obtenu le 10 novembre 2022 à la suite d'une injection de traceur directement dans le point d'infiltration qui avait été préalablement repéré par un plongeur. Ce temps de référence correspond vraisemblablement au temps nécessaire à l'eau pour traverser le corps du barrage et être collectée par le système de drainage interne du barrage (cheminée et tapis drainant), sans aucun ralentissement potentiellement engendré par le résidu déposé dans le parc.

➤ Protocole et conditions de l'essai

10 Kg de fluorescéine (préalablement diluée) ont été déversés au fond de la colonne d'eau, au-dessus du point d'infiltration (Cf. Figure 9) . Cette zone est maintenant recouverte par une couche de résidu humide de l'ordre de 6 m d'épaisseur. La hauteur de la colonne d'eau au droit de la zone d'injection était inférieure à 0.6 m.

Un préleveur automatique a été installé sur le drain 4R8, en amont immédiat du seuil de mesure du débit (Cf. Figure 10). La fréquence de prélèvement est de 1 heure.

L'injection de fluorescéine a eu lieu le 27/11/2024 de 10h20 à 10h50.



Figure 9 : Déversement de la fluorescéine



Figure 10 : Préleveur automatique installé sur le drain 4R8

➤ Résultat et interprétations

Le traceur a atteint le drain 4R8 le 27/11/2024 entre 23h et minuit, ce qui correspond à un temp de transfert de 13-14 heures.

La zone d'émergence de la fluorescéine dans le drain 4R8 est la même que celle observée lors des deux essais précédents.

Sur cette base, le temps de transfert du traceur au travers de la couche de résidu déposée au-dessus de la zone principale d'infiltration serait de l'ordre de 10 heures (soit le temps de transfert mesuré auquel on retranche le temps de référence).

En se plaçant dans l'hypothèse où les écoulements au travers de la couche de résidu humide posée sur la zone d'infiltration respectent la loi de Darcy, la perméabilité équivalente théorique de cette couche serait de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-4} m/s.

Cette perméabilité équivalente est de 1000 à 10000 fois plus forte que la perméabilité du résidu humide (de l'ordre de 10^{-8} m/s).

Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce résultat :

- L'écoulement respecte la loi de Darcy : La couche de résidu posée sur la zone d'infiltration n'est pas encore complètement tassée et n'a pas encore atteint sa perméabilité optimale ;
- L'écoulement ne respecte pas la loi de Darcy (écoulements rapides et/ou turbulents) : Une ou plusieurs zones directes d'infiltration se sont mises en place dans le secteur.



Figure 11 : Traceur observé au niveau du drain 4R8

5.5.2.3. Suivi de l'infiltration : Modèle d'évaluation du débit d'infiltration au travers du barrage

Depuis mars 2024, une augmentation progressive de la conductivité électrique est observée sur le drain 4R8. Ce phénomène semble s'accentuer début avril. Il est stabilisé au mois de Mai puis diminue avec la baisse du volume d'eau libre dans le parc à résidus KO2.

Un outil a été développé par expert hydrogéologue afin d'évaluer un débit d'infiltration potentiel au niveau du 4R8. Cet outil combine un modèle Pluie-Débit (GARDENIA du BRGM) et un modèle de dilution pour simuler, au pas de temps journalier la conductivité électrique du drain 4R8.

Le modèle d'évaluation du débit d'infiltration, qui couple un modèle pluie-débit avec un modèle de dilution, utilise une valeur fixe de conductivité électrique pour l'eau libre (20 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Les diagraphies de conductivité électrique, réalisées lors des deux premiers essais par traçage, ont montré l'existence d'une stratification de la charge minérale dissoute de l'eau libre stockée dans KO2. Cette conductivité varie avec la profondeur en passant de l'ordre de 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en surface à 22 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ environ au fond de la colonne d'eau. Ce phénomène est interprété comme le résultat de l'existence d'un écoulement densitaire (à la faveur des cycles de production de l'usine métallurgique, les eaux libres les plus chargées en éléments dissous sont plus lourdes et auront tendance à couler plus vite vers le fond) couplé à un effet de dilution par les pluies en surface du parc.

Or, le volume d'eau libre dans le parc est historiquement très bas depuis juillet 2024. La hauteur de la colonne d'eau au-dessus de la zone d'infiltration a progressivement diminué pour atteindre moins de 0.6 m en décembre 2024.

Cela signifie que l'effet de dilution de l'eau libre par les pluies a pu s'intensifier au fur et à mesure que le volume d'eau stocké dans le parc a diminué.

Des profils de conductivité électrique du surnageant ont été réalisés le 18/12/2024. Les résultats sont présentés dans la figure suivante.

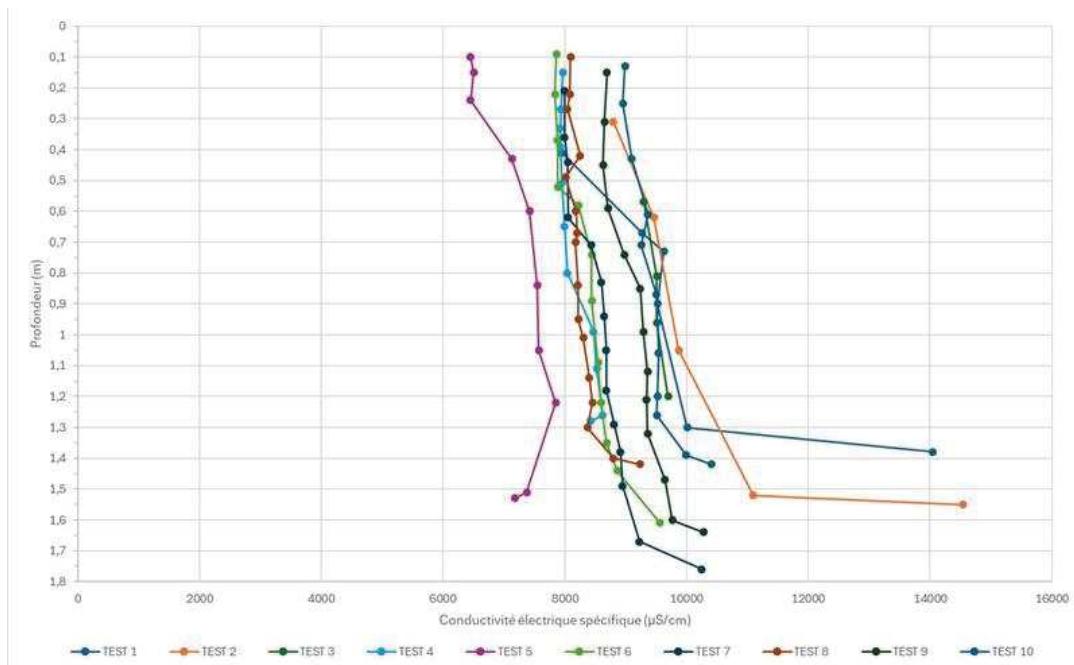


Figure 12 : Profils de conductivité électrique du surnageant réalisés le 18/12/2024

Les résultats ont montré que la conductivité au fond de la colonne d'eau varie de 9000 à 12000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Le modèle d'évaluation du débit d'infiltration a été actualisé pour prendre en compte le phénomène de fluctuation de la charge minérale dans l'eau libre en fonction de l'épaisseur de la colonne d'eau au droit de la zone d'infiltration.

Le modèle actualisé montre que le débit de fuite est de l'ordre de 40 m^3/h . Ce débit est stable depuis le mois d'avril 2024. Les résultats du modèle actualisé sont présentés dans la figure suivante.

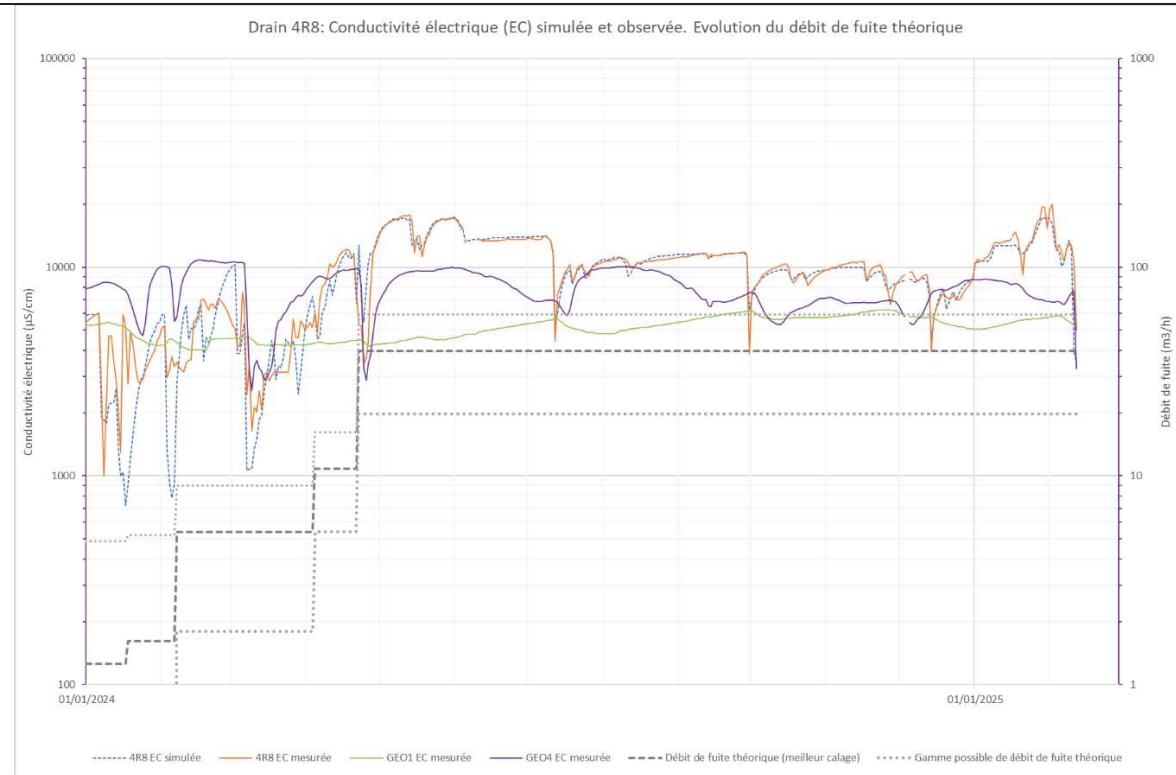


Figure 13 : Drain 4R8 : Conductivité électrique (EC) simulée et observée. Evolution du débit de fuite théorique

5.6. Qualité des eaux souterraines

5.6.1. Sources WK17 et WK20

La conductivité et la chimie des eaux des sources sont suivies bi-hebdomadairement par l'équipe Environnement (mesure In situ et en laboratoire).

Une synthèse des valeurs de la qualité des eaux des sources par rapport aux seuils est présentée dans le Tableau 19.

Tableau 19 : Sources- Seuils et valeurs durant le mois de janvier

Paramètres	Drain	Valeurs maximales	Etat Normal	Seuil de Niveau 1	Seuil de Niveau 2	Seuil de Niveau 3
Débit (m^3/h)	WK17	Equipement de mesure désinstallée durant les travaux Lucy	Qjour (l/s) \leq 15	15 $<$ Qjour (l/s) \leq 20 pendant plus d'une semaine	20 $<$ Qjour (l/s) \leq 25 pendant plus d'une semaine	Qjour (l/s) $>$ 25 pendant plus d'une semaine
	WK20	Equipement de mesure désinstallée durant les travaux Lucy	Qjour (l/s) \leq 30	30 $<$ Qjour (l/s) \leq 40 pendant plus d'une semaine	40 $<$ Qjour (l/s) \leq 60 pendant plus d'une semaine	Qjour (l/s) $>$ 60 pendant plus d'une semaine
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	WK17	3650	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) \leq 200	200 $<$ Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) \leq 2500 pendant plus d'une semaine	2500 $<$ Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) \leq 4000 pendant plus d'une semaine	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) $>$ 4000 pendant plus d'une semaine
	WK20	882	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) \leq 150	150 $<$ Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) \leq 1000 pendant plus d'une semaine	1000 $<$ Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) \leq 2500 pendant plus d'une semaine	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) $>$ 2500 pendant plus d'une semaine
MES (mg/l)	WK17	<5 (labo)	MES (mg/l) \leq 5 ou > 5 mg/l pendant 2 semaines	5 $<$ MES (mg/l) \leq 50 pendant plus de deux semaines	50 $<$ MES (mg/l) \leq 100 pendant plus de deux semaines	MES (mg/l) $>$ 100 pendant plus d'une semaine
	WK20	<5 (labo)				

Une augmentation de la conductivité est observée au niveau de la source WK17 depuis 2012. Cette augmentation a été particulièrement importante entre mars 2016 et fin 2017. La conductivité devient relativement stable (entre 1 800 et 2 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en fonction des variations saisonnières) et ce jusqu'à fin septembre 2022 (fuite à travers la géomembrane).

Depuis cette date, une très forte augmentation de la conductivité est observée sur WK17 avec des valeurs variant de 3 000 à 3 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le seuil de conductivité ORANGE ($>2500 \mu\text{S}/\text{cm}$) est alors atteint.

Depuis janvier 2023, les valeurs de conductivité sont en baisse pour ensuite varier entre 2 000 et 2 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ jusqu'au mois d'octobre 2023. Depuis le mois de novembre 2023, la conductivité est à nouveau en hausse importante sur WK17 pour atteindre des valeurs variant de 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Concernant la source WK20, depuis 2018, la conductivité se maintient entre 500 et 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec des pics à près de 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lors des saisons sèches. Le seuil de conductivité JAUNE ($>150 \mu\text{S}/\text{cm}$) est atteint de façon continue depuis mi-2015.

En ce qui concerne les matières en suspension, les valeurs dans les sources demeurent au niveau vert au mois de janvier 2025.

5.6.2. Piézomètres en aval du barrage KO2

Les analyses chimiques réalisées sur les prélèvements des piézomètres WKBH-114 et WKBH-116 ne montrent aucune augmentation qui prouverait une contamination de la nappe au niveau de ces piézomètres.

6 Performance du parc à résidus KO2

La fiche de performance du barrage est présentée en Annexe K. Elle inclut également les événements météorologiques significatifs enregistrés durant le mois en cours.

7 Conclusion

Depuis octobre 2023, une variation du débit et de la conductivité des eaux issues des drains 4R8 et 4R9 a été constatée.

En effet, le débit résiduel (après une période importante sans pluie) mesurés au droit des drains 4R8 et 4R9 a augmenté atteignant environ $40 \text{ m}^3/\text{h}$ (alors que les valeurs étaient proches de 0 avant cette date).

Une augmentation progressive de la conductivité électrique est observée sur le drain 4R8 (seuil rouge) avec un phénomène de lessivage lorsque les débits sont relativement importants et une augmentation forte lorsque les débits sont très faibles. Les MES des drains 4R8 et 4R9 demeurent au niveau VERT sans indication de déplacement de matériaux.

Les variations observées comparées aux données historiques sont causées par une infiltration à travers la zone 1A du barrage et captée en aval par le système de drainage interne de l'ouvrage (cheminée et tapis drainant). Une étude hydrogéologique basée sur des modélisations hydrogéologiques ainsi que les résultats du dernier essai de traçage a été réalisée confirmant que le débit d'infiltration est stable depuis avril 2024 et est de l'ordre de $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

Il est important de noter que l'infiltration est un incident environnemental qui ne remet pas en cause la sécurité immédiate de l'ouvrage. La digue KO2 est conçue pour évacuer les éventuelles infiltrations via son système de drainage interne. Cet incident environnemental est actuellement maîtrisé puisque toutes les eaux provenant des drains pieds sont pompées vers le KO2.

Bien que l'infiltration soit un incident environnemental qui reste maîtrisé, PRNC a mis en place un plan d'action pour limiter l'infiltration actuelle et prévenir des éventuelles infiltrations :

- Mise en place du nouveau point de rejet (spigot sud) mis en opération en février 2024. Ce point de rejet permet de couvrir la moitié sud de la digue. Les premiers résultats obtenus entre février et mai 2024 sont satisfaisants ;
- Maintenir le rejet des résidus par le spigot sud afin d'assurer la couverture de la moitié sud de la digue ;
- Réduire le volume d'eau dans le KO2 : le volume d'eau a été maintenu en dessous de 1 Mm^3 et ce depuis septembre 2024. La réduction du volume d'eau a permis de mettre hors d'eau le coin dog leg et de réduire le plan d'eau au droit de l'ancienne infiltration à environ 0.6 m ;
- Engager des investigations complémentaires dont notamment le traçage par injection de fluorescéine, réalisé en novembre 2024, et l'investigation subaquatique prévue au cours du mois de février 2025 ;
- Développer le projet de mise en place de nouveaux points de rejets pour assurer la couverture de la moitié nord de la digue.

L'analyse des données d'auscultation ne fait pas apparaître un comportement d'instabilité de l'ouvrage. L'ensemble des seuils liés aux déformations (tassemements et déformations horizontales) demeurent VERT.