



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès différé

Expertise des compléments apportés au document d'incidences de l'exploitation d'une ressource en eau saumâtre pour l'élevage de saumons – Le Verdon sur Mer (33)

Rapport final

BRGM/RP-74213-FR

Version 1 du 5 février 2025

Expertise réalisée dans le cadre des missions d'Appui aux Administrations

BRGM

Ce rapport a été vérifié le 30/01/2025 et approuvé le 31/01/2025 selon la procédure interne en vigueur au sein du BRGM, qui garantit le respect de ses engagements contractuels, de l'intégrité et de l'impartialité du contenu scientifique et technique du présent rapport, de l'éthique et de la déontologie du BRGM, ainsi que des dispositions réglementaires et législatives auquel il est soumis pour l'exercice de son activité.

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Déclaration

Ce rapport est le produit d'une expertise institutionnelle qui engage la responsabilité civile du BRGM. Il constitue un tout indissociable et complet ; une exploitation partielle ou sortie du contexte particulier de l'expertise n'engage pas la responsabilité du BRGM.

La diffusion des rapports publics est soumise aux conditions de communicabilité des documents, définie en accord avec le demandeur. Les conditions d'accès, de diffusion et de réutilisation du document sont régies par les dispositions en vigueur prévues dans le CRPA et le code de l'environnement.

Le BRGM a mis en place un dispositif de déontologie visant à développer une culture de l'intégrité et de la responsabilité dans le quotidien de tous ses salariés.

- Après examen, il ressort qu'il n'existe aucun lien d'intérêt susceptible de compromettre l'indépendance et l'impartialité du BRGM dans la réalisation de cette expertise :
 - entre le BRGM et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise ;
 - entre les salariés du BRGM qui seront impliqués et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise.
- Après examen, il ressort qu'il existe un lien d'intérêt entre le BRGM et l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise (cf. déclaration de lien d'intérêt en annexe).

Cependant, le BRGM atteste, grâce à la mise en place de son SMQE et de son dispositif de déontologie, que la réalisation de la présente expertise n'est en rien influencée par le lien d'intérêt identifié.

Le BRGM confie la réalisation de cette expertise à des salariés qui n'ont, à titre individuel, aucun lien d'intérêt avec l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise, de façon à en préserver l'indépendance et l'impartialité.

- Le BRGM confie la réalisation de cette expertise à des salariés qui présentent un lien d'intérêt déclaré (Cf. déclaration de lien d'intérêt jointe en annexe) avec l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise et atteste que l'existence de ce(s) lien(s) ne présente aucun risque de compromettre leur neutralité.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots clés Expertise, Hydrogéologie, Modèle hydrodynamique, Pompage, Le Verdon sur Mer, Gironde.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

BRGM (2025) – Expertise des compléments apportés au document d'incidences de l'exploitation d'une ressource en eau saumâtre pour l'élevage de saumons – Le Verdon sur Mer (33). Rapport final V1. BRGM/RP-74213-FR, 25 p., 12 fig.

© BRGM, 2025, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM002_ENV-MT030-P2-08/04/2024

Synthèse

Contexte :

Date de la formulation de la demande d'expertise au BRGM : 13 décembre 2024.

Demandeur : Direction Départementale de la Protection des Populations de la Gironde.

Nature de l'expertise / question posée :

Cette sollicitation fait suite à une première expertise du dossier réglementaire relatif à l'exploitation de la nappe du Plio-Quaternaire *via* 3 triplets de forages, pour l'alimentation en eau d'un élevage de saumons ; cette expertise a fait l'objet du rapport BRGM/RP-73880-FR (septembre 2024).

Suite aux conclusions de cette expertise, des compléments ont été fournis par le pétitionnaire, et la DDPP a sollicité l'avis consolidé du BRGM sur l'ensemble des données produites, leurs méthodes de collecte et les modélisations utilisées pour évaluer l'incidence du projet sur les ressources en eaux souterraines : sont-elles adaptées, suffisantes et fiables ?

Situation du sujet : Le Verdon sur Mer (33).

Nature de l'intervention du BRGM : Expertise sur dossier.

Pour répondre à ces questions, le BRGM a effectué une analyse des compléments fournis, sur les points suivants :

- paramètres des aquifères et des forages ;
- vérification des impacts lors de l'essai complémentaire.

Dossiers examinés :

Les documents suivants, ainsi que leurs annexes, ont été examinés :

ArcaGée (2024), Pure Salmon France – Document d'incidences de l'exploitation d'une ressource en eau saumâtre pour l'élevage de saumons – Le Verdon sur Mer (33). Rapport d'étape et d'orientation après 3 séries de tests (version 0 du 16/04/2024).

ArcaGée (2024), Pure Salmon France – Note de travail suite à l'avis du BRGM sur le document d'incidences et synthèse suite à réunion – Site Gare à Terre – Zone portuaire du Verdon sur Mer (33). Note du 2 octobre 2024 – révision 1 du 6 décembre 2024 suite à réunion et compléments.

AnteaGroup (2024), Site de production aquacole de Verdon-sur-Mer (33) – Complément d'étude hydrogéologique. Rapport n° A133540/Version C – 9 décembre 2024.

Conclusions/Recommandations du BRGM :

Les éléments expertisés ont été produits en réponse à l'expertise initiale (rapport BRGM/RP-73880-FR). Ils consistent essentiellement en un pompage d'essai supplémentaire à 47 m³/h, avec plusieurs suivis mis en œuvre, et leur interprétation.

Ces suivis complémentaires fournissent des données étayées, qui peuvent permettre une caractérisation plus complète des propriétés des aquifères au droit du projet, et de leur comportement en réponse à un pompage au Plio-Quaternaire. Elles permettent de poser de premiers constats, mais ces données ne sont que partiellement exploitées et une part significative des interprétations fournies ne peut pas être validée.

En premier lieu, concernant l'aquifère du Plio-Quaternaire (cible du projet), l'interprétation ne prend pas en compte plusieurs facteurs qui sont susceptibles d'influencer significativement les résultats (notamment ici le calage de la transmissivité est assujéti à la condition de charge imposée car mise très proche du puits). Les paramètres calculés ne sont donc pas validés.

D'autre part, le constat majeur partagé est que ce pompage opéré au Plio-Quaternaire à 47 m³/h n'a pas eu d'influence supérieure à celle de la marée sur le niveau dans la nappe sous-jacente de l'Eocène. Par contre, la quantification fournie est vraisemblablement sous-estimée : le rapport expertisé évalue cette influence à un ordre de grandeur centimétrique, alors que les éléments fournis suggèrent une influence supérieure, d'ordre de grandeur décimétrique. Le constat posé dans le rapport d'une nappe de l'Eocène peu ou pas influencée par le pompage d'essai est donc à réévaluer sur une base plus solide, d'autant plus que le projet prévoit une exploitation jusqu'à 270 m³/h : les impacts immédiats sur les niveaux seront par conséquent 5,7 fois supérieurs à ceux observés lors du pompage d'essai à 47 m³/h, et encore accrus sur le long terme.

Enfin, les impacts qualitatifs sur les nappes du Plio-Quaternaire et de l'Eocène semblent faibles, mais seule la confirmation du protocole de mesure et la fourniture des suivis à une échelle de représentation appropriée permettront de valider cette hypothèse.

Sommaire

1. Introduction	9
1. Informations complémentaires fournies en décembre 2024.....	11
1.1. ÉLÉMENTS D'INFORMATION SUPPLÉMENTAIRES	11
1.2. INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES CONDUITES	11
1.2.1. Réalisation d'un piézomètre au Quaternaire	11
1.2.2. Protocole de réalisation du pompage d'essai.....	12
1.2.3. Calcul initial de la diffusivité de l'aquifère.....	12
1.2.4. Interprétation du pompage d'essai et évaluation des paramètres hydrodynamiques	13
1.2.5. Interprétation de l'influence du pompage d'essai sur les autres aquifères.....	14
1.2.6. Constats sur la qualité de l'eau	15
2. Avis sur les investigations et interprétations complémentaires	16
2.1. CARACTÉRISATION DU MILIEU PAR L'EXPLOITATION DES FLUCTUATIONS DE NIVEAU EN LIEN AVEC LA MARÉE	16
2.2. CARACTÉRISATION HYDRAULIQUE DE L'AQUIFÈRE CAPTE PAR LE POMPAGE D'ESSAI COMPLÉMENTAIRE.....	17
2.3. INCIDENCE QUANTITATIVE SUR LA NAPPE SUPERFICIELLE DU QUATERNAIRE	19
2.4. INCIDENCE QUANTITATIVE SUR LA NAPPE DE L'EOCÈNE	19
2.5. INCIDENCE QUALITATIVE SUR LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE	22
3. Conclusion et recommandations.....	23
3.1. ÉLÉMENTS COMPLÉMENTAIRES APPORTÉS PAR LES DOCUMENTS FOURNIS EN DÉCEMBRE 2024.....	23
3.2. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS GLOBALES	23

Liste des figures

Figure 1 : Coupe lithologique et technique du piézomètre au Quaternaire (source : AnteaGroup, 2024).....	11
Figure 2 : Données utilisées pour l'évaluation de la diffusivité (source : AnteaGroup).	12
Figure 3 : Interprétation du pompage longue durée (source : AnteaGroup).	13
Figure 4 : Interprétation du pompage longue durée en échelle semi-logarithmique (source : AnteaGroup).....	13
Figure 5 : Suivi du niveau piézométrique dans la nappe superficielle du Quaternaire durant le pompage longue durée (source : AnteaGroup).....	14
Figure 6 : Suivi du niveau piézométrique dans la nappe de l'Eocène (GAT-Pz) durant le pompage longue durée (source : AnteaGroup).....	15
Figure 7 : Suivi du niveau piézométrique dans la nappe de l'Eocène (GAT-Pz) zoomé sur la période de pompage longue durée (source : AnteaGroup).....	15
Figure 8 : Suivi en continu des conductivités dans chacun des trois forages durant le pompage d'essai.	16
Figure 9 : Suivi de marée dans l'estuaire durant la période des essais (source Hydroportail – station S100001001).	18
Figure 10 : Comparaison des suivis de niveau sur la période de pompage longue durée : niveau piézométrique dans la nappe de l'Eocène à gauche (GAT-Pz - source : AnteaGroup) et niveau dans l'estuaire (source des données : Hydroportail).	20
Figure 11 : Comparaison des suivis de niveau du 21/10 au 09/11/2024, avec évaluation des valeurs médianes entre niveaux maximum et minimum : niveau piézométrique dans la nappe de l'Eocène en haut (GAT-Pz) et niveau dans l'estuaire.	21
Figure 12 : Chronique piézométrique à l'Eocène moyen (forage BSS001UZPF – source ADES) du 15 octobre au 16 novembre 2024.	22

1. Introduction

La DDPP de la Gironde avait sollicité le BRGM le 3 juin 2024 pour émettre un avis technique relatif au document d'incidence de l'exploitation d'une ressource en eau saumâtre pour le projet d'élevage de saumons sur le territoire de la commune de Le Verdon sur Mer (33). L'avis portait sur les points suivants :

- forages de reconnaissance (données acquises et interprétations) ;
- paramètres des aquifères et des forages ;
- vérification des impacts et paramètres d'exploitation (débit et rabattement) ;
- modélisation hydrodynamique ;
- incidences calculées sur les ressources en eau ;
- préconisations associées.

Le document fourni au BRGM par la DDPP de la Gironde pour analyse critique était le suivant : ArcaGée (2024), Pure Salmon France – Document d'incidences de l'exploitation d'une ressource en eau saumâtre pour l'élevage de saumons – Le Verdon sur Mer (33). Rapport d'étape et d'orientation après 3 séries de tests (version 0 du 16/04/2024).

Cet avis a été rendu en septembre 2024 (Rapport BRGM/RP-73880-FR), le résumé des conclusions et recommandations était le suivant :

« Les investigations réalisées par forage permettent de préciser utilement le contexte géologique et hydrogéologique du projet, les interprétations de ces investigations sont cohérentes avec les documents de référence sur le territoire.

Par contre, les pompages d'essai et suivis n'ont pas été réalisés dans les règles de l'art, ils ne permettent par conséquent pas de préciser les propriétés de ces aquifères. L'affirmation de la déconnexion (ou d'une connexion négligeable) entre l'aquifère captif du Plio-Quaternaire, cible du projet, et l'aquifère sous-jacent de l'Eocène moyen à inférieur n'est pas confirmée, et les rares éléments fournis tendent plutôt à l'infirmer.

Du fait de ces incertitudes majeures sur le fonctionnement de l'aquifère visé du Plio-Quaternaire, et sur ses éventuelles connexions avec les autres masses d'eau, les simulations fournies pour évaluer l'incidence hydraulique du projet de prélèvement ne peuvent être validées. Et les choix méthodologiques pris pour la construction du modèle tendent à minimiser cette incidence.

Enfin, les évolutions de minéralisation dans les ressources en eau associées au projet de prélèvement ne peuvent pas être traitées, faute de suivi durant les essais.

Plusieurs préconisations sont émises afin que les investigations soient réalisées dans les règles de l'art, pour permettre dans un deuxième temps une évaluation étayée des incidences quantitatives et qualitatives du projet. »

Suite à ce rendu, une réunion s'est tenue le 9 octobre 2024 en Préfecture, présidée par Mme la Secrétaire générale, et en présence de la DDPP de la Gironde et du pétitionnaire.

Des investigations complémentaires ont été conduites par le pétitionnaire, qui a transmis en décembre 2024 deux documents supplémentaires aux Services de l'État. La DDPP de la Gironde a par conséquent sollicité à nouveau le BRGM le 13 décembre 2024 pour analyser ces compléments,

et établir un rapport d'expertise consolidé portant sur les mêmes questions, au regard des nouveaux éléments apportés.

Les deux documents complémentaires fournis au BRGM sont les suivants :

- ArcaGée (2024), Pure Salmon France – Note de travail suite à l'avis du BRGM sur le document d'incidences et synthèse suite à réunion – Site Gare à Terre – Zone portuaire du Verdon sur Mer (33). Note du 2 octobre 2024 – révision 1 du 6 décembre 2024 suite à réunion et compléments ;
- AnteaGroup (2024), Site de production aquacole de Verdon-sur-Mer (33) – Complément d'étude hydrogéologique. Rapport n° A133540/Version C – 9 décembre 2024.

En complément, le BRGM s'est également appuyé sur les documents/sources suivants :

- Arrêté du 11 septembre 2003 portant application du décret n° 96-102 du 2 février 1996 et fixant les prescriptions générales applicables aux sondage, forage, création de puits ou d'ouvrage souterrain soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 1.1.1.0 de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié.
- Barthélémy Y., Seguin J.-J., Wulleumier A., Courrioux G., Bourguine B. (2016) - Modélisation maillée des écoulements souterrains. Principes, démarche et recommandations. Rapport final. Version 2. BRGM/RP-62549-FR, 140 p., 3 ann.
- Chapuis R. P. (1999). - Guide des essais de pompage et leurs interprétations. Gouvernement du Québec.
- Chapuis R. P., Belanger C., & Chenaf D. (2006). - Pumping test in a confined aquifer under tidal influence. *Ground Water*, 44(2), 300-305.
- De Cazenove E. (1971). - Ondes phréatiques sinusoïdales. *La Houille Blanche*, 57(7), 601–616. <https://doi.org/10.1051/lhb/1971041>.
- Kruseman G.P., De Ridder N.A. (1974). - Interprétation et discussion des pompages d'essai. International institute for land reclamation and improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Norme NF X10-999 (2014) - Forage d'eau et de géothermie - Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages.
- Platel J.P., avec la collaboration de Dubreuilh J., Bonnery H., Sourisseau B., Besse A., Le Jeune F., Benhammouda S. (1997) Gestion des eaux souterraines en Aquitaine Année 1 – Opération sectorielle – Relations entre l'estuaire de la Gironde et la nappe de l'Eocène – Synthèse des connaissances géologiques, état des connaissances hydrogéologiques. Rapport BRGM/RP-39328-FR.
- Razack M., Drogue C., Romariz C., Almeida C. (1980). - Étude de l'effet de marée océanique sur un aquifère carbonate côtier (Miocène de l'algarve — Portugal), *Journal of Hydrology*, Volume 45, Issues 1–2, Pages 57-69, ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(80\)90005-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(80)90005-0).

L'expertise s'inscrit dans le cadre des missions d'Appui aux Administrations menées par le BRGM au titre de l'année 2024.

1. Informations complémentaires fournies en décembre 2024

1.1. ÉLÉMENTS D'INFORMATION SUPPLÉMENTAIRES

La note Arcagée du 2 octobre 2024 révisée le 6 décembre 2024 liste les principaux points abordés dans l'expertise précédente (Rapport BRGM RP-73880-FR) et lors de la réunion en préfecture, les classe selon un critère de validation/criticité, et identifie les suites à donner.

Il est indiqué qu'un suivi manuel de conductivité a été effectué lors de l'essai de 94 h (91 mesures), et que le constat posé est une stabilité de la minéralisation du fait de variations de l'ordre de 0,2 mS/cm. Les données ne sont pas fournies.

L'ensemble des autres éléments factuels complémentaires est contenu dans le rapport AnteaGroup, qui concerne les investigations conduites en octobre-novembre 2024.

1.2. INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES CONDUITES

Les investigations complémentaires sont décrites dans le rapport AnteaGroup. Les éléments essentiels sont repris dans le présent chapitre.

1.2.1. Réalisation d'un piézomètre au Quaternaire

Un piézomètre de 9,8 m de profondeur a été réalisé le 21 octobre 2024, afin de caractériser la nappe libre superficielle. Sa coupe lithologique et technique est fournie sur la Figure 1. Il se situe à une distance de 5,2 m du forage au Plio-Quaternaire (GAT-F).

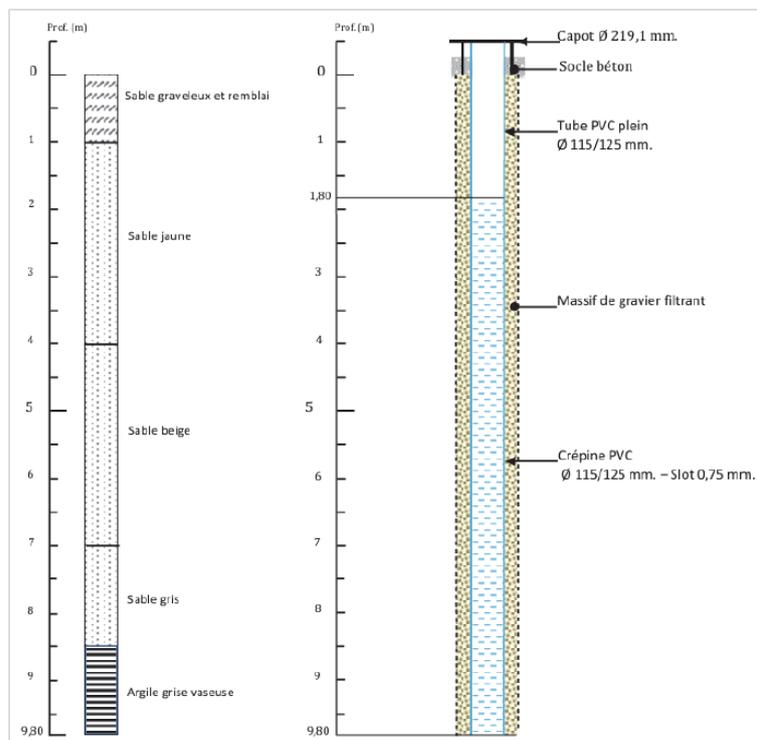


Figure 1 : Coupe lithologique et technique du piézomètre au Quaternaire (source : AnteaGroup, 2024).

La coupe lithologique établie est cohérente avec celle du forage GAT-F, elle identifie des formations sableuses jusqu'à 8,5 m de profondeur, puis des terrains à dominante argileuse au-delà.

1.2.2. Protocole de réalisation du pompage d'essai

Un pompage d'essai a été réalisé sur une durée de 72 h du 28 octobre 2024 au 31 octobre 2024, dans le forage GAT-F captant les formations à dominante sableuse et graveleuse du Plio-Quaternaire sous horizons à dominante argileuse. Le débit était de l'ordre de 47 m³/h.

Les suivis de niveau par sondes automatiques ont été mis en œuvre du 21 octobre 2024 au 8 novembre 2024. Ils ont fait l'objet de contrôles manuels. Le lancement du pompage s'est effectué exactement à l'étales à marée haute, dans le but de caler l'interprétation de la courbe théorique sur le sommet des fluctuations de marée.

D'autre part, un suivi en continu de la conductivité a été opéré sur les 3 forages durant l'essai, par une sonde de conductivité positionnée au droit des crépines :

- dans le forage pompé GAT-F ;
- dans le forage à l'Eocène GAT-Pz ;
- dans le forage au Quaternaire (aquifère superficiel).

Un prélèvement pour analyse d'eau a en outre été réalisé en fin de pompage, à l'exhaure.

1.2.3. Calcul initial de la diffusivité de l'aquifère

Sur la base des suivis de niveau précédant le pompage, une évaluation de la diffusivité de l'aquifère du Plio-Quaternaire a été effectuée en utilisant le logiciel CATHERINE (logiciel BRGM). Sur la base d'une distance indiquée de 200 m entre le forage et l'estuaire, la diffusivité fournie est de 2,26 m²/s. Les données ayant servi à cette estimation sont fournies sous forme de graphique (Figure 2), où la marée est représentée en pointillé vert et la fluctuation induite dans le piézomètre est représentée en trait plein rouge.

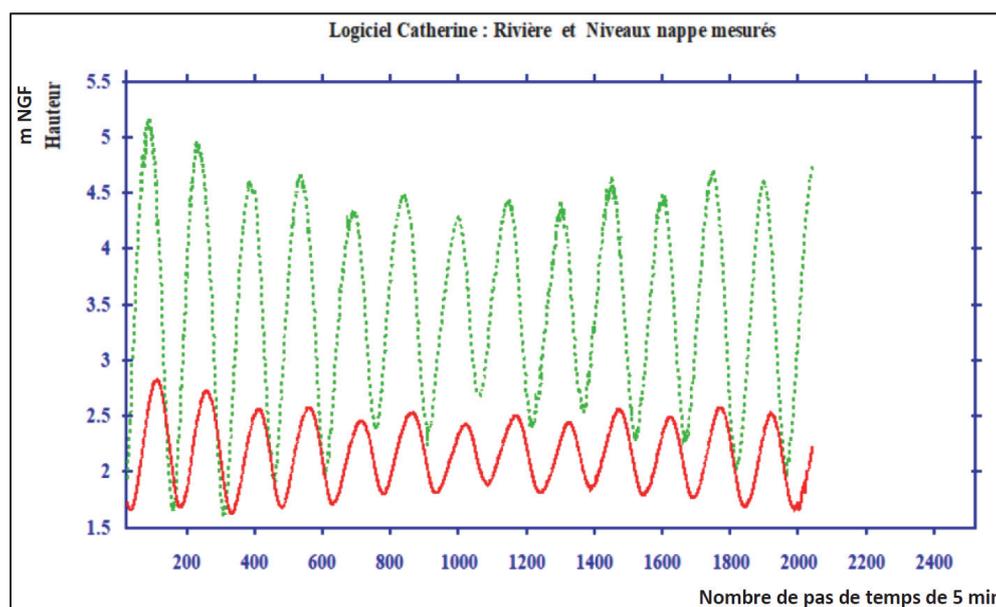


Figure 2 : Données utilisées pour l'évaluation de la diffusivité (source : AnteaGroup).

1.2.4. Interprétation du pompage d'essai et évaluation des paramètres hydrodynamiques

Sur la base du suivi de niveau dans l'ouvrage pompé, l'interprétation du pompage longue durée a été conduite avec le logiciel OUAIP du BRGM en utilisant la solution de Theis. Les ajustements fournis sont présentés sur la Figure 3 et la Figure 4. Le choix de caler la courbe théorique sur le sommet des fluctuations de marée est justifié par le fait que le pompage a été lancé à l'échelle à marée haute. Les paramètres ajustés sont les suivants :

- transmissivité : $T = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- coefficient d'emmagasinement : $S = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Afin de caler la courbe théorique sur les valeurs observées, une limite alimentée située à 22 m de l'ouvrage a été introduite. Elle est interprétée comme liée à la nature hétérogène des dépôts, avec un accroissement de la perméabilité des formations captées à distance de l'ouvrage.

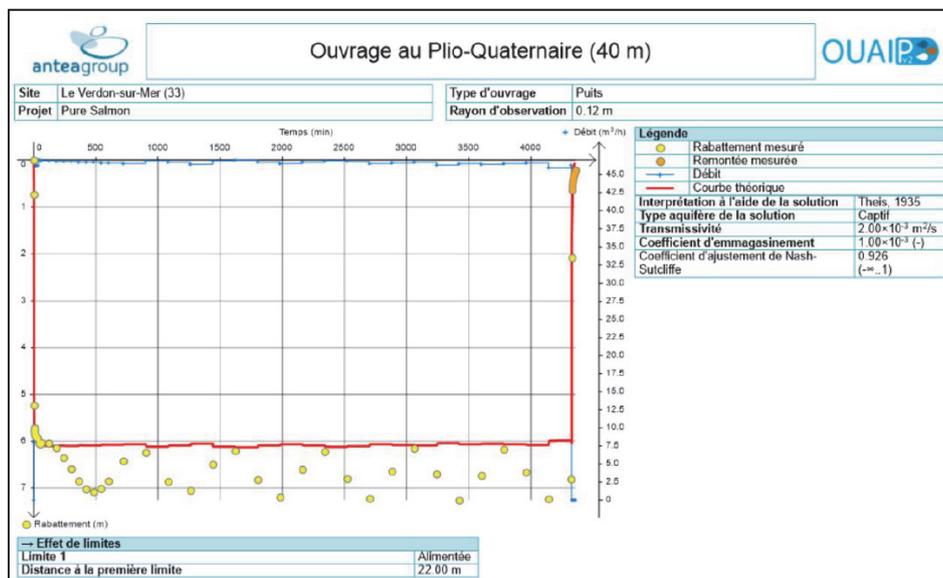


Figure 3 : Interprétation du pompage longue durée (source : AnteaGroup).

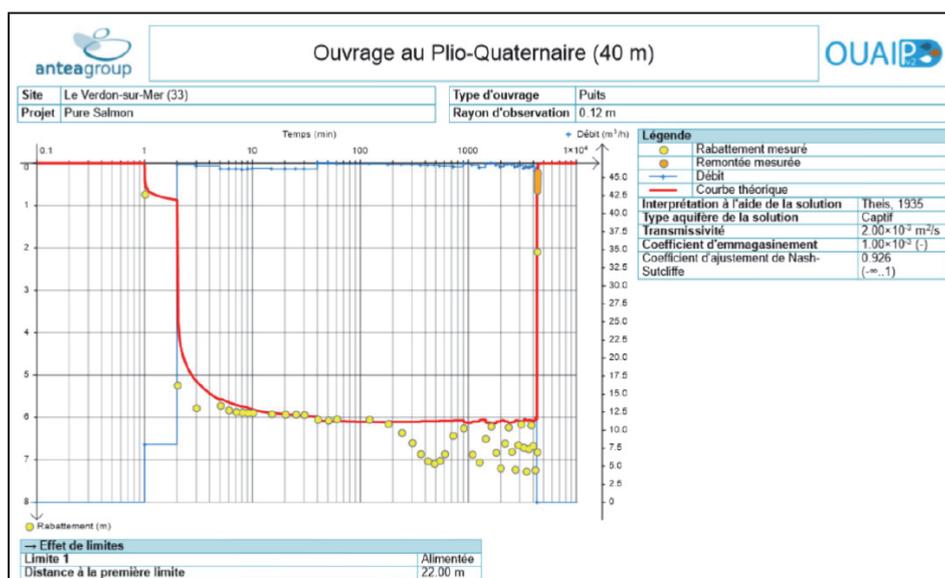


Figure 4 : Interprétation du pompage longue durée en échelle semi-logarithmique (source : AnteaGroup).

1.2.5. Interprétation de l'influence du pompage d'essai sur les autres aquifères

Les suivis de niveau dans chacun des ouvrages sont fournis.

En premier lieu, le suivi dans la nappe superficielle du Quaternaire (Figure 5) est interprété comme démontrant l'absence d'influence de la marée sur cette nappe et l'absence de connexion hydraulique

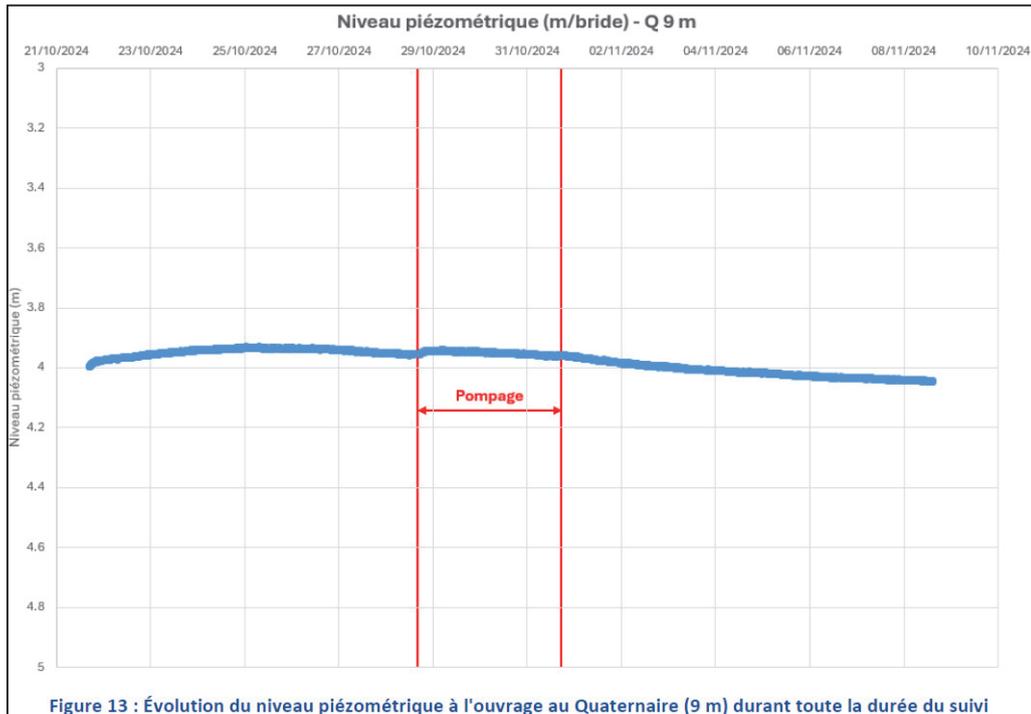


Figure 5 : Suivi du niveau piézométrique dans la nappe superficielle du Quaternaire durant le pompage longue durée (source : AnteaGroup).

D'autre part, le suivi dans le forage GAT-Pz captant la nappe de l'Eocène (Figure 6) est interprété comme démontrant l'influence de la marée (avec des variations de l'ordre du mètre), et l'absence ou la faible influence du pompage d'essai au Plio-Quaternaire. Un fléchissement du signal de l'ordre de quelques centimètres est mis en évidence (Figure 7), mais il est indiqué qu'il n'est pas possible de discerner s'il est causé par le pompage ou par les fluctuations de niveau dans l'estuaire et l'incertitude de mesure. Il est indiqué que 'si ce fléchissement était dû au pompage d'essai, il serait considéré comme négligeable dans ces conditions (45 m³/h pendant 72h)'.

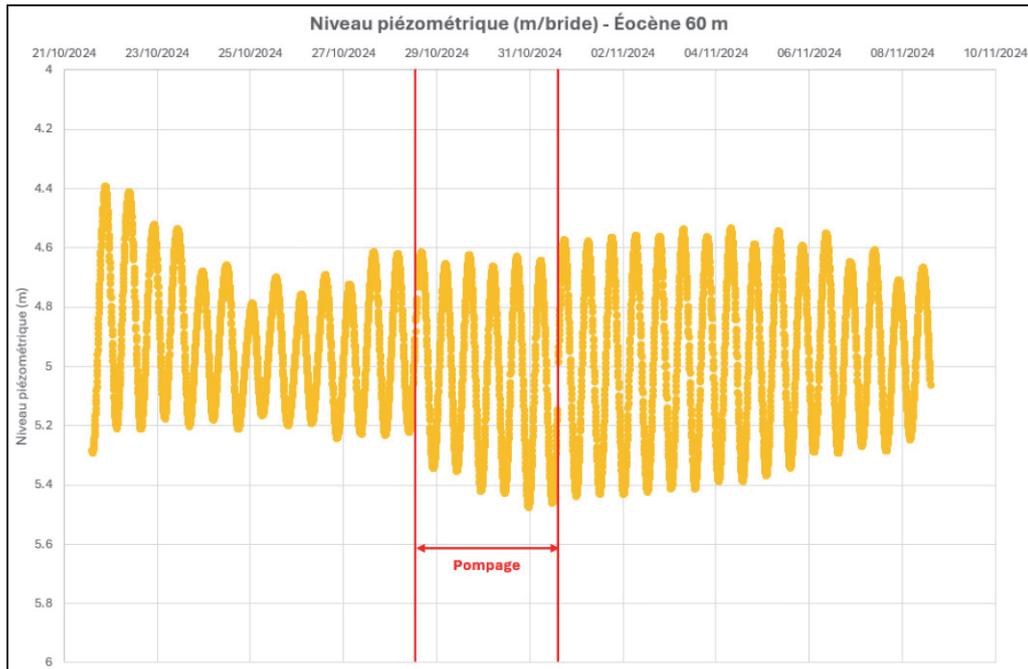


Figure 6 : Suivi du niveau piézométrique dans la nappe de l'Eocène (GAT-Pz) durant le pompage longue durée (source : AnteaGroup).

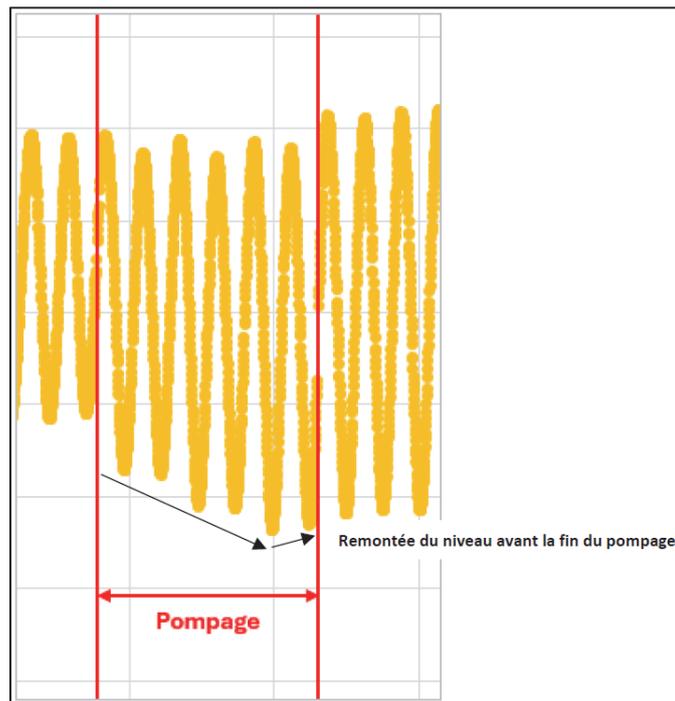


Figure 7 : Suivi du niveau piézométrique dans la nappe de l'Eocène (GAT-Pz) zoomé sur la période de pompage longue durée (source : AnteaGroup).

1.2.6. Constats sur la qualité de l'eau

Le suivi en continu de la conductivité électrique de l'eau, qui traduit sa minéralisation, est fourni sur un graphe commun (Figure 8).

Concernant la nappe libre du Quaternaire, le constat posé est celui d'une absence d'influence du pompage sur la minéralisation.

Concernant la minéralisation au droit de l'ouvrage pompé au Plio-Quaternaire, le constat posé est d'une part que les oscillations naturelles de la conductivité liées à la marée ne s'observent plus pendant le pompage, et d'autre part que la conductivité se stabilise autour de 10 mS/cm, soit 1,7 mS/cm environ au-dessus de la valeur observée au repos.

Enfin, il est indiqué que la conductivité de la nappe de l'Eocène n'évolue pas avec le pompage.

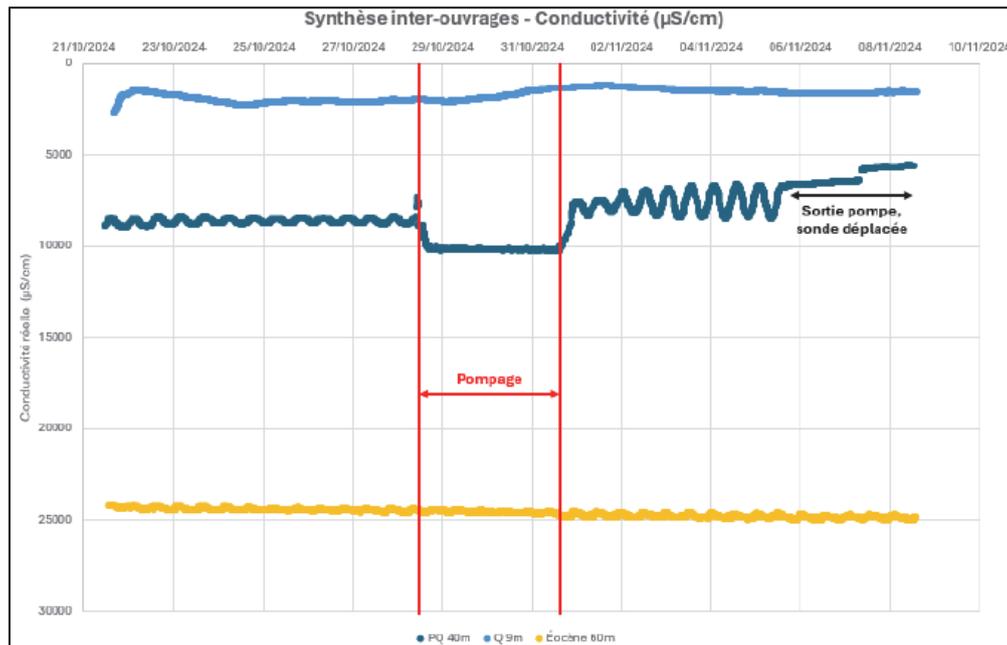


Figure 8 : Suivi en continu des conductivités dans chacun des trois forages durant le pompage d'essai.

Lors du prélèvement en fin de pompage, la conductivité mesurée était de 10,3 mS/cm à 25 °C, pour une salinité de 6,23 g/L. Pour mémoire, lors du pompage d'avril 2023, la conductivité mesurée était de 11,7 mS/cm, pour une salinité de 6,9 g/L. L'analyse montre un faciès chloruré sodique.

2. Avis sur les investigations et interprétations complémentaires

La note Arcagée du 12 octobre 2024, révisée le 6 décembre 2024, ne comprend pas d'éléments factuels complémentaires, l'avis sera par conséquent focalisé sur les éléments fournis par le rapport AnteaGroup A133540C.

2.1. CARACTÉRISATION DU MILIEU PAR L'EXPLOITATION DES FLUCTUATIONS DE NIVEAU EN LIEN AVEC LA MARÉE

L'évaluation de la diffusivité effectuée dans le rapport AnteaGroup peut être validée indirectement sur la base du graphe fourni. Ce graphe met en évidence un déphasage de l'ordre de 2 heures entre les fluctuations piézométriques et celles du niveau dans l'estuaire, et un amortissement

(rapport entre l'amplitude des variations piézométriques et celle du niveau dans l'estuaire) de l'ordre de 0,33. À partir de formules simplifiées (De Cazenove, 1971 ; Razack, 1980), et en considérant également une distance à l'estuaire de 200 m, la diffusivité est évaluée entre 2,4 et 3,7 m²/s, soit des valeurs proches de la valeur fournie (2,26) : l'ordre de grandeur de diffusivité calculée est cohérent avec les observations.

2.2. CARACTÉRISATION HYDRAULIQUE DE L'AQUIFÈRE CAPTE PAR LE POMPAGE D'ESSAI COMPLÉMENTAIRE

En premier lieu, le protocole mis en œuvre, qui inclut un suivi de niveau sur plusieurs cycles de marée avant et après l'essai, est conforme aux règles de l'art dans un contexte d'aquifères influencés par la marée (Chapuis, 1999 ; Kruseman et De Ridder, 1974). Il permet de caractériser les fluctuations naturelles de niveau, pour tâcher de s'en affranchir lors de la phase d'interprétation.

Concernant l'interprétation effectuée, l'utilisation de la formule de Theis est adaptée dans ce contexte de nappe captive, et l'introduction dans les hypothèses d'une limite alimentée est cohérente avec le constat de stabilisation rapide du niveau piézométrique et de connexion hydraulique avec l'estuaire proche.

Mais plusieurs remarques sont émises sur l'interprétation conduite :

- la limite alimentée utilisée pour l'interprétation, avec les paramètres choisis, est 10 fois plus proche (22 m) que l'estuaire (la distance réelle par rapport au forage pompé de 200 m) ; cette nécessité d'introduire une hypothèse qui diffère de la réalité physique signifie que cette seule connexion avec l'estuaire ne suffit pas à expliquer la stabilisation rapide observée du niveau : un autre phénomène entrerait vraisemblablement en jeu ;
- l'interprétation fournie repose sur le seul suivi dans l'ouvrage pompé, le pétitionnaire ayant fait le choix de ne pas réaliser d'ouvrage de suivi distant pour étayer l'interprétation ; or l'interprétation d'un pompage d'essai au puits pompé présente en général plusieurs inconvénients qu'il est nécessaire de prendre en compte lors de l'interprétation :
 - d'une part, l'évaluation du coefficient d'emmagasinement S n'est pas fiable et ce coefficient ne peut être qu'estimé *a priori*,
 - d'autre part le rabattement observé dans un forage pompé n'est pas lié aux seuls paramètres de l'aquifère, il est aussi influencé par l'ensemble des pertes de charge inhérentes au forage ; il est possible de s'en affranchir pour évaluer la transmissivité, uniquement si l'interprétation s'appuie sur l'ajustement de la pente de la courbe de descente ou de remontée hors de toute autre influence ;
- le temps de pompage (t_d) au bout duquel la limite alimentée serait atteinte peut être estimé par la formule de Theis avec les paramètres calés :

$$t_d = \frac{d^2 \times S}{4 \times T}$$

cette durée est de l'ordre d'une minute avec les hypothèses utilisées, ce qui signifie que l'ensemble de l'essai serait quasi-instantanément influencé par cette limite alimentée : dans ces conditions, l'interprétation des paramètres hydrodynamiques ne peut pas reposer sur l'analyse de la courbe de descente, et est conditionnée quasi-exclusivement par le rabattement total observé ; comme vu plus haut, sans prise en compte des pertes de charge inhérentes au forage (qui peuvent représenter une part significative du rabattement), cette interprétation est erronée ; par conséquent, les paramètres hydrodynamiques qui sont déduits de cette modélisation sont très approximatifs ;

- le choix de caler exclusivement l'interprétation sur les niveaux observés à marée haute, implique une forte dépendance des résultats aux coefficients de marée ; or il est à noter que le coefficient de marée augmente au cours de l'essai, dans l'estuaire le niveau à l'étale à marée haute augmente de plus de 25 cm entre le 28 et le 31 octobre (Figure 9) ; l'interprétation n'est pas corrigée de ce phénomène, qui pourtant influence nécessairement le niveau dans l'aquifère au vu de la relation mise en évidence plus haut (Cf ; 1.2.3 et 2.1.).

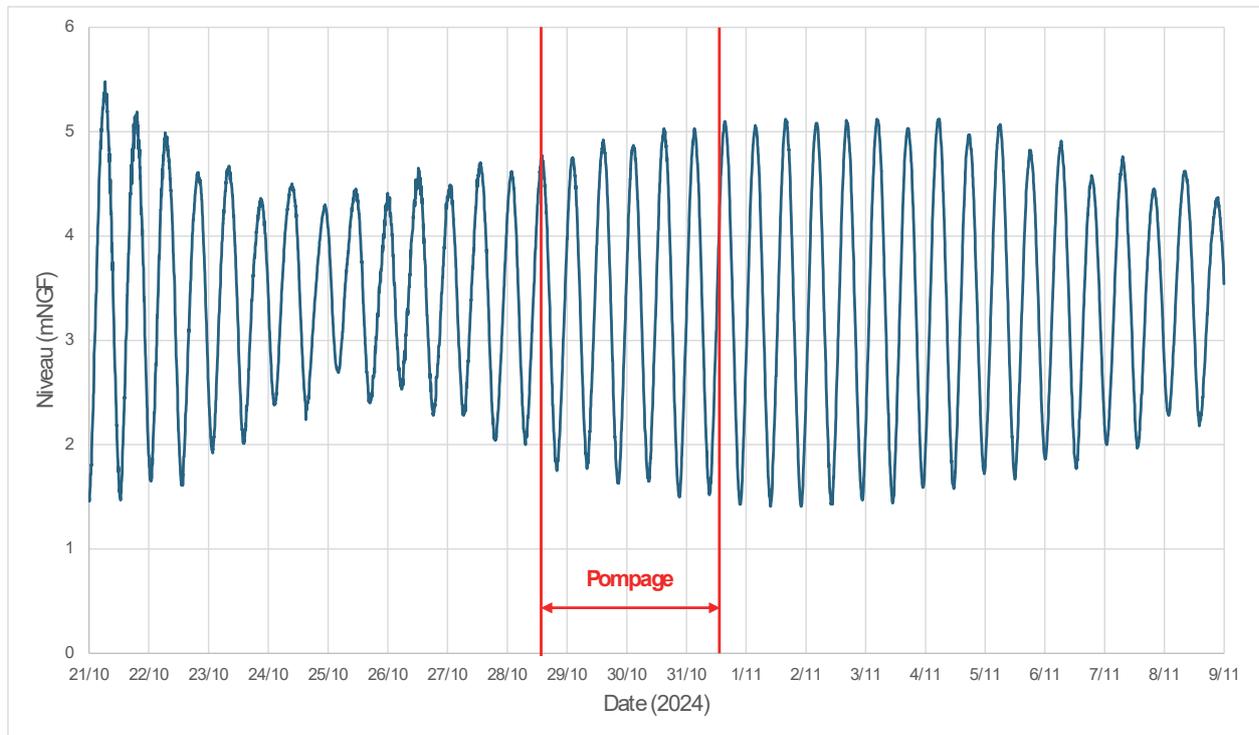


Figure 9 : Suivi de marée dans l'estuaire durant la période des essais (source Hydroportail – station S100001001).

Par conséquent, en l'absence de prise en compte des pertes de charge au puits pompé, et du fait des choix effectués pour l'interprétation, de fortes incertitudes pèsent sur les paramètres résultants (T et S). Pour surmonter la difficulté d'interprétation de ces données fortement influencées par la marée et limiter par-là même les incertitudes sur les résultats, il aurait été souhaitable de suivre la procédure suivante :

- utiliser les ajustements faits pour calculer la diffusivité de l'aquifère (Cf ; 1.2.3 et 2.1), pour évaluer l'incidence effective de la marée (mesurée dans l'estuaire) sur le niveau de la nappe lors de l'essai, afin de décomposer le signal piézométrique ;
- utiliser le pompage par paliers effectué lors des phases précédentes pour établir la courbe caractéristique d'ouvrage et évaluer par-là même les pertes de charge liées au forage pompé afin de les prendre en compte dans l'interprétation suivante ;
- sur la base du signal piézométrique corrigé des effets de marée et en prenant en compte les pertes de charge liées au forage, effectuer un ajustement de la transmissivité T ;
- vérifier la cohérence du coefficient d'emménagement S, estimé sur la base du rabattement total observé avec la diffusivité calculée.

2.3. INCIDENCE QUANTITATIVE SUR LA NAPPE SUPERFICIELLE DU QUATERNAIRE

En premier lieu, le suivi piézométrique dans la nappe superficielle du Quaternaire indique que le niveau n'est pas influencé par la marée au droit du site. Ce constat n'est pas expliqué, mais il est probable que cela soit lié au coefficient d'emmagasinement élevé dans ce contexte : la diffusivité étant faible, le signal de marée ne se propagerait pas aussi loin.

D'autre part, les observations entre le 28 et le 31 octobre ne mettent pas en évidence d'influence majeure, d'ordre métrique à décimétrique, du pompage au Plio-Quaternaire captif sur cette nappe libre superficielle. Il est toutefois à noter qu'une augmentation de niveau d'ordre centimétrique est discernable en début de pompage, mais qu'il est difficile de confirmer au vu de l'échelle de représentation : elle peut poser la question de la distance du point de rejet du pompage vis-à-vis de cet ouvrage et d'une éventuelle infiltration proche des eaux pompées.

2.4. INCIDENCE QUANTITATIVE SUR LA NAPPE DE L'EOCÈNE

Le suivi mis en place, y compris pendant plusieurs cycles de marée avant et après pompage, permet de démontrer que le pompage opéré au Plio-Quaternaire à 47 m³/h n'a pas eu d'influence supérieure à celle de la marée sur le niveau dans l'Eocène.

Par contre, l'interprétation proposée n'intègre pas totalement le fait que la nappe de l'Eocène, au même titre que celle du Plio-Quaternaire captif, est en liaison hydraulique avec l'estuaire et est influencée par la marée. Ceci implique en effet théoriquement une relation de proportionnalité (avec un déphasage) entre les fluctuations naturelles de niveau dans la nappe de l'Eocène et celles de l'estuaire. Il a été montré plus haut que les coefficients de marée augmentent durant l'essai (Figure 9) ; cela se traduit sur les suivis de niveau dans l'estuaire par une augmentation de l'amplitude des variations de niveau (Figure 10 – graphe de droite) : *maxima* plus hauts et *minima* plus bas. Or ce comportement ne se retrouve pas dans la nappe de l'Eocène durant l'essai (Figure 10 – graphe de droite) : en particulier l'augmentation des *maxima* n'est pas visible.

D'autre part, il est important de noter que le suivi dans la nappe de l'Eocène semble montrer une remontée brutale de niveau à l'arrêt du pompage, de l'ordre de 15 cm environ d'après le graphique (commentaire en bleu sur la Figure 10). Cela pourrait également être une lacune dans les données acquises, mais en l'absence de mention et d'exploitation de cette observation il n'est pas possible de trancher.

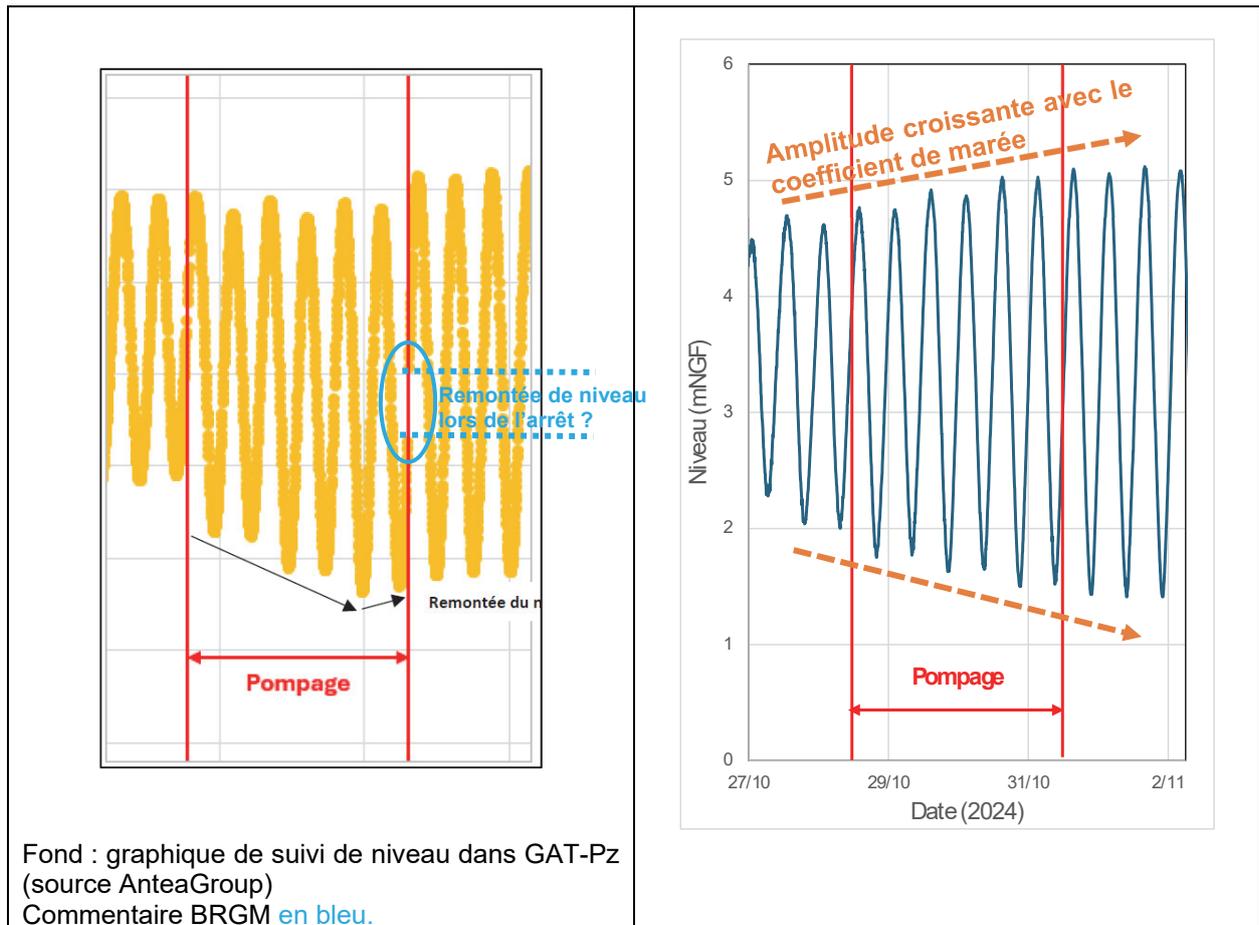
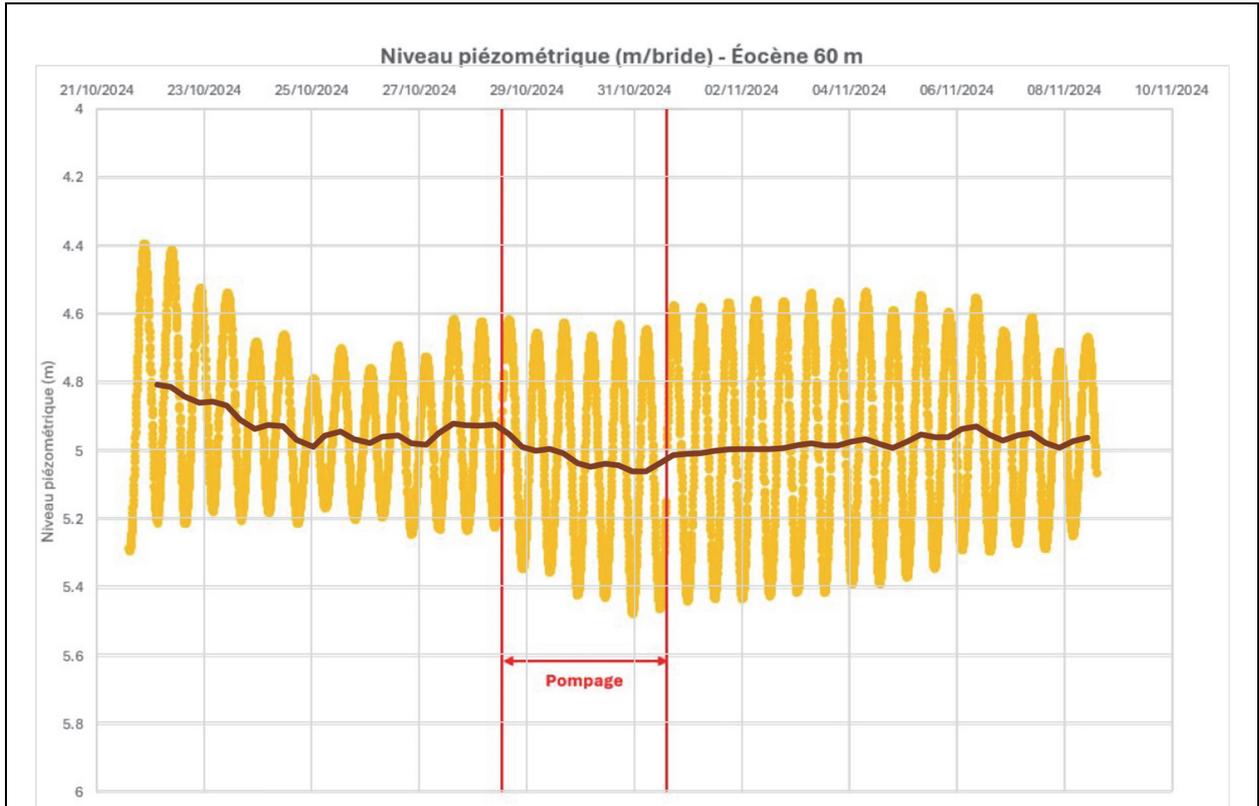
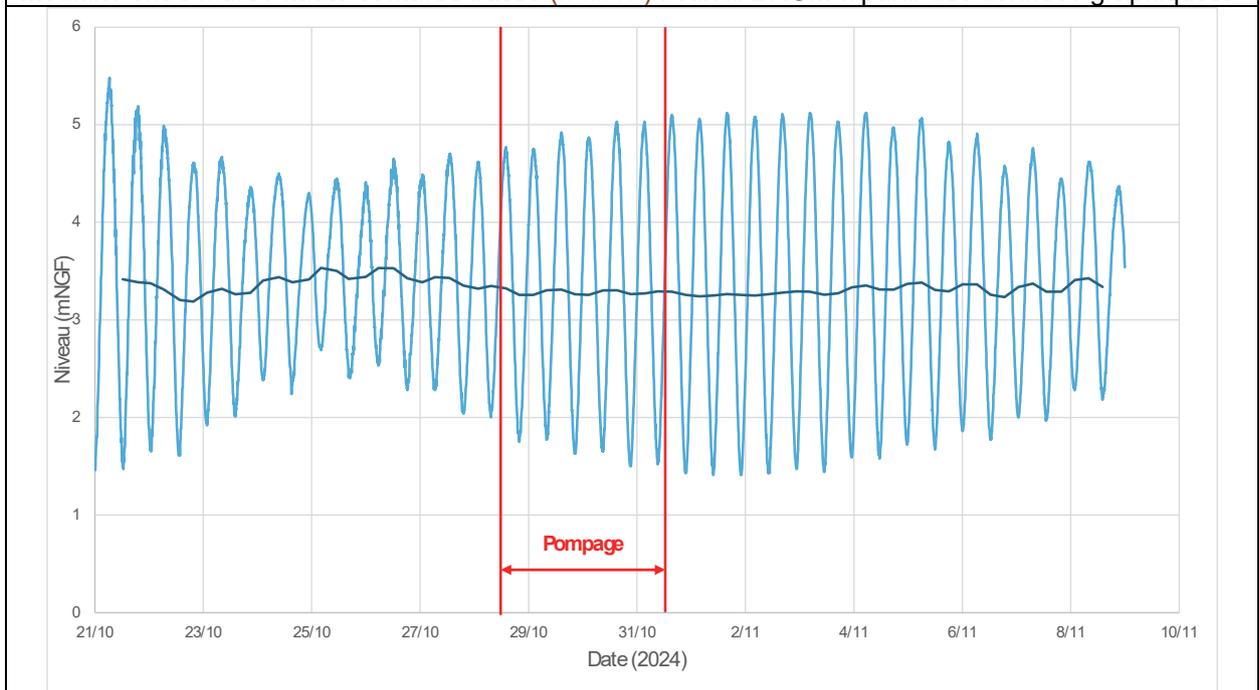


Figure 10 : Comparaison des suivis de niveau sur la période de pompage longue durée : niveau piézométrique dans la nappe de l'Eocène à gauche (GAT-Pz - source : AnteaGroup) et niveau dans l'estuaire (source des données : Hydroportail).

Ne disposant pas des données, une première analyse des chroniques sur la période couverte par les suivis a été réalisée, en considérant uniquement les médianes entre valeurs minimum et maximum des chroniques, pour tenter de s'affranchir des fluctuations de marée (Figure 11). Par cette première approche, il apparaît que deux tendances à la baisse d'ordre décimétrique sont discernables sur la chronique du forage GAT-Pz à l'Eocène, qui ne sont pas corrélées à des variations de niveau dans l'estuaire : au début de la chronique autour du 21-23 octobre, et lors du pompage d'essai du 28 au 31 octobre. Il est possible que la première baisse de niveau soit liée à une tendance générale dans l'aquifère, puisqu'une baisse est également enregistrée autour de la même période dans l'Eocène moyen sur le piézomètre BSS001USPF, situé 3 km à l'ouest (Figure 12). Par contre, aucun facteur extérieur identifié autre que le pompage au Plio-Quaternaire n'explique à ce stade la baisse visible du 28 au 31 octobre.



Fond : graphique de suivi de niveau dans GAT-Pz (source AnteaGroup).
Médiane entre marée haute et marée basse (marron) : calcul BRGM à partir des données graphiques.



Niveau de l'estuaire en bleu clair (source des données : Hydroportail).
Médiane entre maxima et minima en bleu foncé.

Figure 11 : Comparaison des suivis de niveau du 21/10 au 09/11/2024, avec évaluation des valeurs médianes entre niveaux maximum et minimum : niveau piézométrique dans la nappe de l'Eocène en haut (GAT-Pz) et niveau dans l'estuaire.

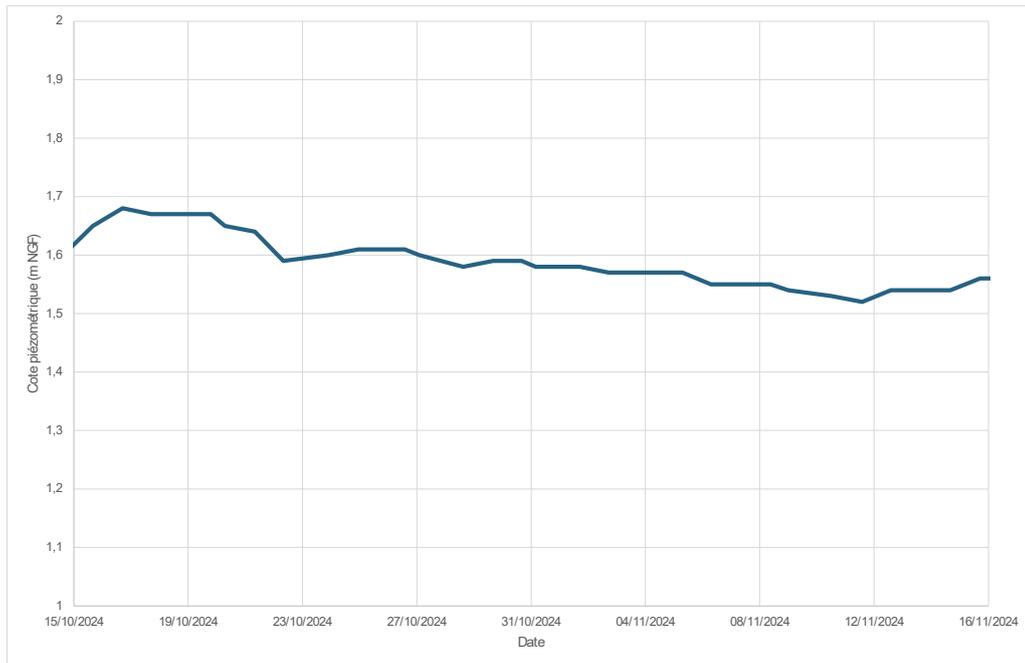


Figure 12 : Chronique piézométrique à l'Eocène moyen (forage BSS001UZPF – source ADES) du 15 octobre au 16 novembre 2024.

L'interprétation fournie, avançant une incidence maximale de 5 cm sur l'aquifère de l'Eocène lors du pompage d'essai, est par conséquent fortement questionnable ; sur la base de cette analyse graphique, elle peut être estimée approximativement à une quinzaine de cm. Au vu des données acquises et en l'absence de traitement plus poussé, on ne peut pas considérer que l'aquifère de l'Eocène est « pas ou peu influencé par le pompage d'essai ».

Afin d'étayer l'interprétation sur les bases les plus solides possibles, en tentant de s'affranchir au mieux de l'influence de la marée pour discerner toute autre influence extérieure sur le niveau piézométrique de l'Eocène, il aurait été souhaitable de suivre le protocole d'interprétation suivant :

- évaluer la diffusivité de l'aquifère de l'Eocène selon la même méthode que pour le Plio-Quaternaire (Cf. 1.2.3 et 2.1), pour reproduire l'incidence effective de la marée (mesurée dans l'estuaire) sur le niveau de la nappe, afin de décomposer le signal piézométrique ;
- sur la base du signal piézométrique corrigé des effets de marée, analyser l'éventuelle influence du pompage d'essai au Plio-Quaternaire par drainage verticale ; le cas échéant, et si les données épurées le permettent, interpréter les paramètres hydrodynamiques associés.

2.5. INCIDENCE QUALITATIVE SUR LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

La mise en œuvre de sondes de mesure en continu de la conductivité lors des essais va dans le sens de la meilleure caractérisation de l'incidence qualitative des prélèvements projetés. Toutefois, en l'absence d'information sur les positions des sondes, il n'est pas possible de valider la représentativité des données acquises. En effet, si les profondeurs mentionnées de 9 m pour le forage au Quaternaire, 40 m pour le forage au Plio-Quaternaire et 60 m pour le forage à l'Eocène sont effectivement les profondeurs d'implantation des sondes, alors les mesures ne sont pas représentatives des minéralisations dans les aquifères considérés puisque les sondes seraient en fond de colonne captante, et non face aux zones productives.

Sous réserve de confirmation de la position de la sonde, la mise en production du forage GAT-F génèrerait une augmentation de la minéralisation dans la nappe au démarrage, qui n'est pas expliquée. Ensuite, à l'échelle présentée, il n'y a pas d'évolution visible lors du pompage de la conductivité dans l'ouvrage pompé. Cela demande à être confirmé par la production des données à une échelle affinée.

Il en est de même pour l'incidence sur la minéralisation dans l'aquifère de l'Eocène : sous réserve de confirmation de la représentativité de la mesure, l'absence d'évolution de la minéralisation durant l'essai doit être confirmée par la production des données à une échelle affinée.

3. Conclusion et recommandations

3.1. ÉLÉMENTS COMPLÉMENTAIRES APPORTÉS PAR LES DOCUMENTS FOURNIS EN DÉCEMBRE 2024

Les essais mis en œuvre fournissent des données étayées, qui peuvent permettre une caractérisation plus complète des propriétés des aquifères et de leur comportement en réponse à un pompage au Plio-Quaternaire, en intégrant les effets de marée. Toutefois ces données ne sont que partiellement exploitées, seuls quelques constats peuvent être validés :

- d'une part, le calcul de diffusivité de l'aquifère du Plio-Quaternaire, dont les ordres de grandeur sont visiblement cohérents avec les observations ;
- d'autre part, le fait que le pompage opéré au Plio-Quaternaire à 47 m³/h n'a pas eu d'influence supérieure à celle de la marée sur le niveau dans l'Eocène ;
- enfin, le fait que la nappe du Quaternaire n'est pas impactée ni par le pompage ni par la marée pendant l'essai.

Plusieurs incertitudes ont ensuite été relevées sur l'interprétation de cet essai à 47 m³/h :

- l'estimation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère du Plio-Quaternaire est très approximative, en l'absence de prise en compte des effets de marée et des pertes de charge liées au puits ;
- l'estimation de l'influence quantitative de l'essai sur la nappe de l'Eocène à quelques centimètres au plus est vraisemblablement sous-estimée d'une dizaine de centimètres ;
- les impacts qualitatifs sur les nappes du Plio-Quaternaire et de l'Eocène semblent faibles, mais le protocole de mesure n'est pas décrit (il pourrait ne pas observer correctement les impacts) et l'échelle de représentation n'est pas adaptée pour valider ces affirmations.

3.2. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS GLOBALES

En premier lieu, il est important de mentionner que l'ensemble des constats posés sur les incidences le sont pour un pompage d'essai à 47 m³/h, alors même que le projet vise une exploitation allant jusqu'à 270 m³/h. Par conséquent, les incidences à attendre en termes de rabattement instantané sont à multiplier par 5,7 par rapport aux observations de l'essai, et seront encore accrues sur une exploitation à long terme. C'est pourquoi il est nécessaire de caractériser le plus finement possible les impacts observés lors de l'essai dans un premier temps : il s'agit de limiter toute amplification des incertitudes sur les impacts attendus du projet jusqu'à des valeurs rédhibitoires.

À la lumière des éléments complémentaires fournis, les conclusions globales sur l'ensemble des investigations, interprétations et simulations fournies sont les suivantes :

- les investigations réalisées par forage permettent de préciser utilement le contexte géologique et hydrogéologique du projet, les interprétations géologiques fournies sont cohérentes avec les documents de référence sur le territoire : succession des terrains au droit du site et attribution stratigraphique, aquifères en présence, stratification de la minéralisation des eaux des différentes nappes associées ;
- ces deux aquifères du Plio-Quaternaire et de l'Eocène moyen à inférieur sont susceptibles d'être en connexion hydraulique en l'absence d'horizon imperméable franc entre eux ;
- l'aquifère captif de la base du Plio-Quaternaire, cible du projet, ainsi que l'aquifère sous-jacent de l'Eocène moyen à inférieur, sont en connexion hydraulique avec l'estuaire et soumis à des variations cycliques naturelles des niveaux piézométriques, liées à l'influence de la marée ; de ce fait, l'interprétation d'essais hydrauliques se doit de prendre en compte ces fluctuations naturelles pour s'en affranchir ;
- du fait de cette connexion hydraulique, les eaux des deux nappes du Plio-Quaternaire et de l'Eocène moyen à inférieur ont des minéralisations élevées, qui limitent de facto les usages possibles dans le secteur considéré ;
- les suivis de niveau lors du pompage d'essai complémentaire d'octobre 2024 ont été mis en œuvre dans les règles de l'art ; ils permettent de caractériser l'influence de la marée sur les niveaux piézométriques dans chacun des aquifères, et autorisent un traitement fin de la donnée pour s'affranchir de cette influence ; à ce titre :
 - les paramètres gouvernant la relation entre la marée dans l'estuaire et les fluctuations de niveau dans la nappe du Plio-Quaternaire ont été calculés, et l'ordre de grandeur est cohérent avec les observations,
 - ces paramètres n'ont pas été évalués pour l'aquifère de l'Eocène ;
- concernant l'interprétation quantitative du pompage d'essai complémentaire d'octobre 2024 :
 - l'estimation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère du Plio-Quaternaire est très approximative, car elle ne prend pas en compte plusieurs facteurs susceptibles d'influencer significativement les résultats ; en l'absence de mise en œuvre d'une interprétation plus poussée, toute simulation d'exploitation reposant sur ces paramètres comportera de fortes incertitudes,
 - il est mis en évidence que le pompage à 47 m³/h dans la nappe du Plio-Quaternaire n'a pas eu d'influence supérieure à celle de la marée sur le niveau dans la nappe de l'Eocène ; par contre, contrairement aux quelques centimètres maximum avancés dans le rapport fourni, il est probable que l'influence sur la nappe de l'Eocène soit d'un ordre de grandeur décimétrique ; le constat d'une nappe de l'Eocène peu ou pas influencée par le pompage d'essai doit être réévalué ;
- l'aquifère libre superficiel du Quaternaire n'est pas soumis à des fluctuations de niveau liées à la marée au droit du projet ; aucune influence majeure (décimétrique ou plus) du pompage d'essai au Plio-Quaternaire sur le niveau piézométrique de cet aquifère n'est visible ; une remontée de niveau d'ordre centimétrique semble se produire durant l'essai, elle n'est pas mentionnée, il serait souhaitable de vérifier si elle est liée aux conditions de rejet de l'eau pompée (recharge par infiltration ?) ;
- concernant les suivis de minéralisation lors de l'essai de pompage complémentaire d'octobre 2024, les positions des sondes doivent être précisées pour confirmer la représentativité des mesures ; si cette représentativité est confirmée :

- la minéralisation de l'eau captée au Plio-Quaternaire augmente significativement au démarrage de l'essai ; par la suite, aucune évolution majeure n'est visible (pas d'évolution de conductivité de l'ordre du mS/cm) ; la résolution du graphe fourni ne permet toutefois pas de discerner une éventuelle tendance susceptible de se poursuivre sur du long terme,
 - aucune évolution majeure de la conductivité de l'eau de l'Eocène n'est visible (pas d'évolution de conductivité de l'ordre du mS/cm) ; la résolution du graphe fourni ne permet toutefois pas de discerner une éventuelle tendance susceptible de se poursuivre sur du long terme ;
- du fait des incertitudes sur la connaissance de l'aquifère visé du Plio-Quaternaire, et sur ses liens avec les autres masses d'eau, les réserves émises sur les simulations lors de l'expertise initiale (Rapport BRGM RP-73880-FR) restent d'actualité.

Plusieurs préconisations méthodologiques pour l'interprétation pourraient être mises en œuvre :

- les suivis de conductivité doivent être fournis à des échelles de représentation appropriées, voire assortis d'une analyse de tendance, pour valider les impacts qualitatifs attendus ;
- les interprétations hydrauliques doivent intégrer :
 - les méthodes spécifiques aux aquifères soumis à effet de marée pour décomposer cet effet (qui a déjà pu être caractérisé) des données acquises,
 - la prise en compte des pertes de charge liées au forage pompé, puisque le choix a été fait de ne pas disposer d'ouvrage distant,
 - un ordre de grandeur de limite alimentée cohérent avec le constat de terrain, et d'éventuelles autres effets (drainance) susceptibles d'être mis en évidence sur la courbe corrigée ;
- cette exploitation rigoureuse des données acquises doit permettre de disposer :
 - des ordres de grandeur des impacts quantitatifs effectifs lors de l'essai considéré à 47 m³/h,
 - de préfigurer les ordres de grandeur des impacts à attendre pour une exploitation à plus long terme à 270 m³/h, sur la base de formules analytiques.

Sur la base de ces ordres de grandeur, les services de l'État et acteurs du territoire disposeront de premiers éléments factuels permettant de juger de la sensibilité des impacts à attendre, et arbitrer la pertinence à conduire des simulations plus poussées, notamment *via* un modèle hydrodynamique. Dans ce cas, les préconisations du rapport RP-73880-FR concernant la modélisation seront à prendre en compte.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale Nouvelle-Aquitaine

24 avenue Leonard de Vinci

33600 – Pessac – France

Tél. : 05 57 26 52 70

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm