

Plan d'eau des Gabelins à Aiton (73)

Etude hydrogéologique par modélisation numérique des incidences hydrodynamiques et hydrodispersives sur la nappe du projet de remblaiement de la gravière alluviale

Rapport d'étude

GEODEFIS

Ingénierie de l'environnement

GEODEFIS

SARL au capital de 10 000 €
RCS Grenoble 789960473

1196 route de Pierval – 38410 SAINT-MARTIN-D'URIAGE
Tél. 09 53 39 39 17 - Fax 09 58 39 39 17
geodefis@geodefis.fr

Nos références

Dossier A.0127/ C.0091
Suivi par Guillaume BOUDIN

Rapport R0102-2 du 16/09/2022

SOMMAIRE

1.	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA MISSION	4
2.	CONTEXTE DU SITE D'ETUDE – ETAT INITIAL	4
2.1	PERIMETRE D'ETUDE	4
2.2	CONTEXTE GEOLOGIQUE DU SITE DES GABELINS	4
2.3	CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	6
2.4	PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES DE L'AQUIFERE	7
2.5	CONTEXTE PIEZOMETRIQUE DE L'ETAT INITIAL	7
2.6	USAGES DES EAUX SOUTERRAINES	8
3.	MODELISATION HYDRODYNAMIQUE DU PROJET	10
3.1	OUTIL DE MODELISATION UTILISE	10
3.2	EMPRISE, MAILLAGE ET CONDITIONS AUX LIMITES DU MODELE	10
3.3	CALAGE DU MODELE	12
3.4	ETUDE DES INCIDENCES HYDRODYNAMIQUES DU PROJET	14
3.4.1	DESCRIPTIF DU PROJET DE REAMENAGEMENT DU PLAN D'EAU	14
3.4.2	RESULTATS DE LA SIMULATION S1	15
3.4.3	RESULTATS DE LA SIMULATION S2	15
3.4.4	INTERPRETATION DES RESULTATS	15
4.	ETUDE HYDRODISPERSIVE DU PROJET SUR LA NAPPE	22
4.1	CONFIGURATION DES SIMULATIONS ETUDIEES	22
4.2	RESULTATS DE LA SIMULATION P1 (SOLUTE)	25
4.3	RESULTATS DE LA SIMULATION P2-As (ARSENIC)	30
4.4	RESULTATS DE LA SIMULATION P3-Sb (ANTIMOINE)	35
5.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS POUR LE PROJET	40
5.1	INCIDENCES HYDRODYNAMIQUES	40
5.2	INCIDENCES SUR LA QUALITE DES EAUX POUR LES PARAMETRES ETUDIES	40
5.2.1	POUR LES PARAMETRES ETUDIES PAR MODELISATION HYDRODISPERSIVE	40
5.2.2	POUR LE CRITERE DE TURBIDITE DES EAUX SOUTERRAINES EN AVAL DU PLAN D'EAU	41
5.3	RECOMMANDATIONS POUR LA CONDUITE DU PROJET	41

FIGURES

Figure 1	Périmètre d'étude (avec fond piézométrique relevé le 04/10/2016)	5
Figure 2	Résultats de l'inventaire des usages des eaux souterraines autour du plan d'eau des Gabelins	9
Figure 3	Emprise, maillage et conditions aux limites du modèle hydrogéologique	11
Figure 4	Carte et coupes piézométriques, et zonage des coefficients de perméabilité résultant de l'état de calage du modèle	13
Figure 5	Résultats statistiques du calage du modèle	14
Figure 6	Simulation S1 – Carte piézométrique calculée (piézométrie en surface de la nappe)	16
Figure 7	Simulation S1 – Carte d'incidence piézométrique du projet par rapport à l'état initial	17
Figure 8	Simulation S1 – Coupes d'incidence piézométrique du projet par rapport à l'état initial	18
Figure 9	Simulation S2 – Carte piézométrique calculée (piézométrie en surface de la nappe)	19
Figure 10	Simulation S2 – Carte d'incidence piézométrique du projet par rapport à l'état initial	20
Figure 11	Simulation S2 – Coupes d'incidence piézométrique du projet par rapport à l'état initial	21
Figure 12	Localisation des remblais simulés (en bleu : inertes ; en vert : pollués) et de points de calcul des pollutogrammes	23
Figure 13	Simulation P1 (soluté) - Emprise du panache de concentration en nappe (1/3)	26
Figure 14	Simulation P1 (soluté) - Emprise du panache de concentration en nappe (2/3)	27
Figure 15	Simulation P1 (soluté) - Emprise du panache de concentration en nappe (3/3)	28
Figure 16	Pollutogrammes calculés pour la simulation P1 (soluté)	29
Figure 17	Simulation P2 (arsenic) - Emprise du panache de concentration en nappe (1/3)	31
Figure 18	Simulation P2 (arsenic) - Emprise du panache de concentration en nappe (2/3)	32
Figure 19	Simulation P2 (arsenic) - Emprise du panache de concentration en nappe (3/3)	33
Figure 20	Pollutogrammes calculés pour la simulation P2 (arsenic)	34
Figure 21	Simulation P3 (antimoine) - Emprise du panache de concentration en nappe (1/3)	36
Figure 22	Simulation P3 (antimoine) - Emprise du panache de concentration en nappe (2/3)	37
Figure 23	Simulation P3 (antimoine) - Emprise du panache de concentration en nappe (3/3)	38
Figure 24	Pollutogrammes calculés pour la simulation P3 (antimoine)	39
Figure 25	Position indicative des deux piézomètres à créer (en jaune) et des deux forages privés AEP existants (en rose) en vue de la surveillance des eaux souterraines	42

TABLEAUX

Tableau 1	Tableau de synthèse des caractéristiques quantitatives des polluants étudiés	24
------------------	--	----

ANNEXES

Annexe 1	Descriptif du projet de réaménagement du plan d'eau des Gabelins (cahier de plans AVP)	
-----------------	--	--

1. Contexte et objectifs de la mission

L'entreprise FOREZIENNE porte le projet de réalisation des travaux relatifs au réaménagement du plan d'eau alluvial des Gabelins à Aiton (Savoie), issu d'une ancienne exploitation de gravière.

Ce projet consiste à réaliser un comblement partiel du plan d'eau, impliquant toutefois des volumes importants de remblais à caractère exclusivement inerte au sens de la réglementation en vigueur. Dans le détail, ces matériaux de comblement envisagés présenteront selon leurs caractéristiques granulométriques et leur mise en œuvre, des coefficients de perméabilité hydraulique généralement variables et globalement plus faibles que ceux de l'aquifère en place. Le remblaiement projeté est alors susceptible de générer des incidences hydrodynamiques plus ou moins sensibles sur la nappe alluviale autour du plan d'eau actuellement ouvert.

Dans un premier temps, FOREZIENNE a mandaté GEODÉFIS pour conduire une mission d'étude hydrogéologique par modélisation hydrogéologique afin de déterminer quantitativement ces incidences sur la nappe.

Dans une seconde étape, faisant suite à une présentation des résultats au service administratif instructeur, FOREZIENNE a sollicité GEODÉFIS pour étudier le comportement en nappe au moyen de la modélisation numérique (étude hydrodispersive) de polluants qui seraient accidentellement inclus en partie dans les remblais du plan d'eau.

Le présent rapport, référencé R0102-2, décrit les méthodes et résultats de cette étude. Il complète et remplace¹ la précédente version (R0102-1 du 04/07/2022).

2. Contexte du site d'étude – Etat initial

2.1 Périmètre d'étude

Le périmètre retenu pour l'étude hydrogéologique est représenté par le polygone rouge indiqué sur la **Figure 1**.

Il inclut le plan d'eau des Gabelins et s'étend sur une aire alentour bien plus vaste afin de pouvoir inclure la totalité des incidences piézométriques du projet et aussi d'intégrer des conditions aux limites pertinentes pour la modélisation hydrogéologique tels que les autres plans d'eau alluviaux et les cours d'eau en échange avec la nappe (Arc, Isère, Bialle).

2.2 Contexte géologique du site des Gabelins

La vallée de l'Isère a été façonnée et approfondie au cours des phases de retraits glaciaires à partir de la fin du Tertiaire. C'est surtout lors de la dernière glaciation (Würm) que la vallée a été décaissée jusqu'à des profondeurs pluri-hectométriques.

Les glaciers de l'Isère ont approfondi la vallée chaque fois qu'ils se heurtaient à des roches plus résistantes. Des barrages naturels se sont formés lorsque les moraines frontales ont été bloquées dans des verrous rocheux ou des écroulements.

Ainsi, se succèdent dans la vallée des ombilics (bassins surcreusés et élargis) et des verrous (seuils resserrés), façonnant la vallée comme un chapelet de petits bassins se succédant en cascades au niveau des verrous. Ils ont permis la mise en place de lacs et leur comblement par les matériaux de l'érosion alpine charriés par l'Isère.

¹ sans en modifier les résultats de l'analyse hydrodynamique établie dans la précédente version

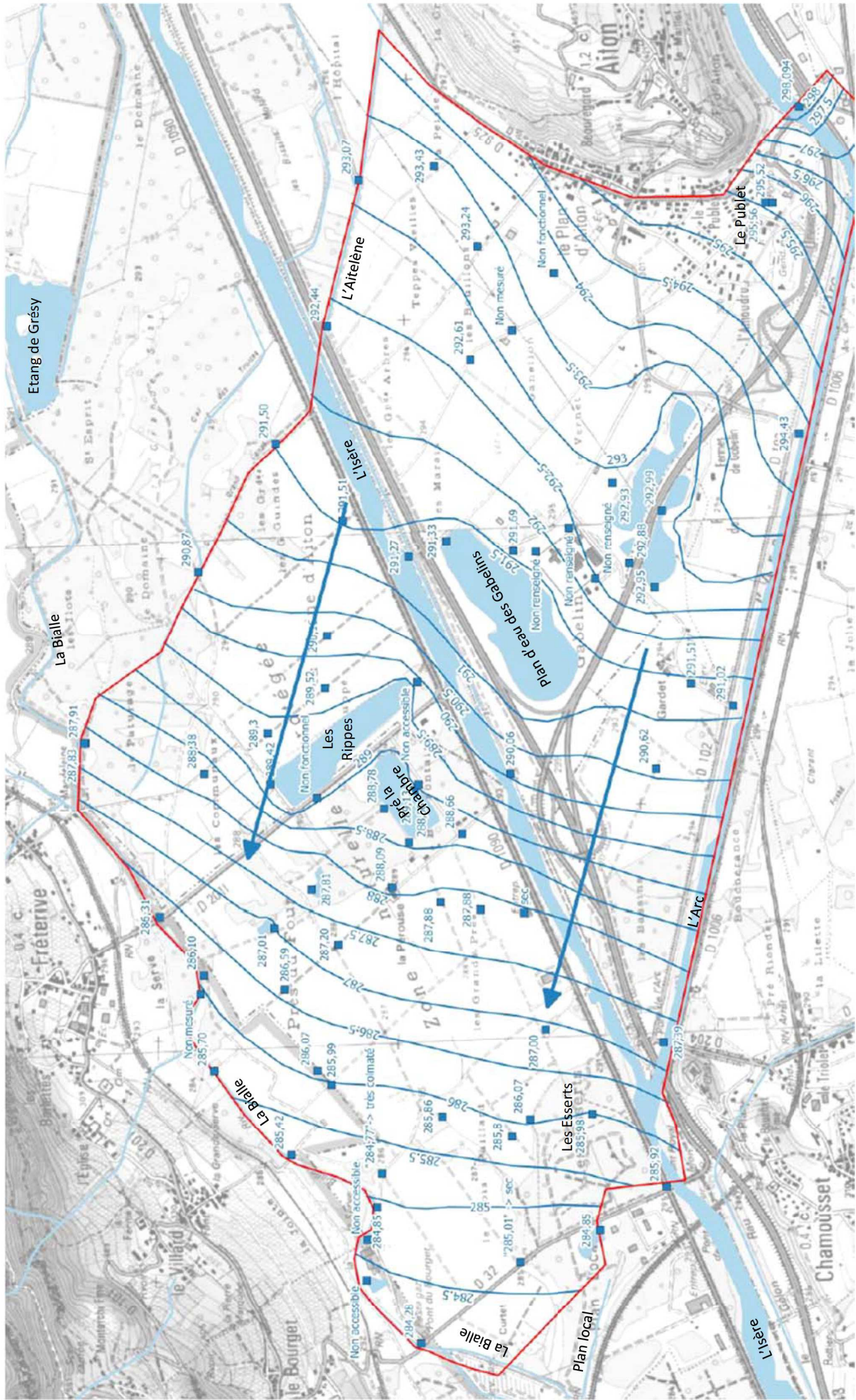


Figure 1 Périmètre d'étude (avec fond piézométrique relevé le 04/10/2016)

La nature des dépôts ayant comblé les lacs dépend de leur position par rapport à la source d'apports. Dans ces ombilics, les sédiments glacio-lacustres déposés les plus en amont (en position dite proximale) sont généralement grossiers en surface (graviers et galets) puis fins plus en profondeur (sables), alors que les sédiments les plus éloignés (position dite distale) sont remplis par des matériaux fins à très fins (sables puis argiles) sur de grandes épaisseurs. Le secteur d'étude est localisé au sein de l'ombilic de la plaine d'Aiton. Cet ombilic se termine en aval au niveau du verrou marno-calcaire (Jurassique moyen) de Châteauneuf à Saint-Pierre d'Albigny.

Enfin, plus récemment, au cours de l'Holocène, l'Isère a divagué dans la plaine avant de s'installer dans son lit actuel. Les cours d'eau longitudinaux (l'Isère) et latéraux (l'Arc) constituent des zones d'apports de sables, graviers et galets sous la forme de deltas. En surface se retrouvent alors des alluvions fluviales récentes présentant le remplissage supérieur. Dans la combe de Savoie, celui-ci présente une épaisseur généralement comprise entre 10 et 40 m environ.

Plus précisément, des sondages de la base de données du sous-sol (BSS) du BRGM renseignent sur la puissance de la formation des alluvions :

- la réalisation d'un forage d'essai en vue de la mise en place d'un captage AEP au lieu-dit Les Esserts, à l'ouest du plan d'eau Gabelins (cf. **Figure 1**), en 2005 par le Conseil départemental de la Savoie, met en évidence la lithologie suivante :
 - des graviers roulés et concassés et sables fins à limoneux jusqu'à une profondeur de 21 m ;
 - des sables fins et graviers roulés et concassés entre 21 et 32 m (sédiments moyens à fins lacustres distaux) ;
 - des argiles à partir de 32 m jusqu'à 38 m (correspondant aux dépôts fins lacustres) ;
- la réalisation d'un forage d'alimentation en eau potable au niveau des lieux-dits Le Publet et L'Amoudru à Aiton (cf. **Figure 1**), en 1976, indique la coupe suivante du haut vers le bas :
 - une épaisseur de 0,7 m de terre végétale ;
 - des graviers et galets francs jusqu'à 15 m ;
 - l'apparition de sables dans cet horizon de graviers/galets jusqu'à une profondeur de 30 m ;
 - des argiles bleues/noires à partir de 30 m ;
- la réalisation de forages de reconnaissance en 1991 par FONDASOL pour l'entreprise Chapelle S.A., à l'Est immédiat de l'actuel étang de Grésy (cf. **Figure 1**), qui indiquent en synthèse la coupe suivante sous la terre végétale peu épaisse :
 - une épaisseur de 16 m de galets, graviers et sables ;
 - des sables grossiers parfois graveleux ou légèrement limoneux jusqu'à 31 m de profondeur sous le terrain naturel ;
 - des sablons gris, fins, légèrement limoneux, en-dessous.

2.3 Contexte hydrogéologique

La masse d'eau en présence est recensée dans la base de données de l'Agence de l'Eau sous le nom « Alluvions de l'Isère Combe de Savoie et Grésivaudan » (code FRDG314). Elle est alimentée latéralement au droit de la zone d'étude par la nappe des alluvions de l'Arc en Maurienne (code FRDG308). Cette masse d'eau est située dans les alluvions graveleuses fluviales et les alluvions argileuses deltaïques à stratification entrecroisée dite « les Sablons ». Ces formations surplombent les argiles imperméables glacio-lacustres qui forment le substratum de l'aquifère sus-jacent.

L'aquifère contient une nappe importante, peu profonde (à quelques mètres sous le terrain naturel), et d'une puissance de l'ordre de 25 à 30 m. Cette nappe s'écoule dans les alluvions bien perméables, globalement de l'ESE vers l'WNW.

Par endroit, l'aquifère peut être recouvert par une couche de limons superficiels, pouvant mettre en charge localement la nappe et la rendre alors moins vulnérable face à d'éventuelles pollutions superficielles.

Des écoulements préférentiels selon des chenalizations graveleuses (paléochenaux) de l'Isère, voire de l'Arc, sont susceptibles d'influencer la piézométrie du site (cf. Figure 2). Le remplissage de ces chenaux est réalisé par des alluvions caillouteuses à graveleuses de l'Isère. Après comblement des chenaux, l'Isère a balayé la vallée en déposant des alluvions grossières à sableuses voire limoneuses. Des endiguements ont ensuite eu lieu au XIX^{ème} siècle et ont globalement réduit l'espace de mobilité de la rivière.

2.4 Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère

Les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère issus de différentes études disponibles, sont les suivants :

- coefficients de perméabilité des limons superficiels localement présents :
 - o 10^{-5} m/s pour les faciès sableux ;
 - o 10^{-8} m/s pour les faciès argileux ;
- coefficients de perméabilité des alluvions grossières :
 - o à dominante sableuse : 10^{-4} à 10^{-3} m/s ;
 - o majoritairement composées de graviers sablo-argileux : 10^{-4} m/s ;
 - o majoritairement composées de graviers propres : 10^{-2} m/s ;
 - o à dominante gravelo-sableuse : 10^{-3} m/s ;
- coefficient d'emmagasinement de l'aquifère libre : entre 15 et 23 % ;
- gradient hydraulique le plus fréquent : compris entre 1 et 2‰ ;
- vitesses d'écoulement souterrain effectives : de l'ordre de 10^{-5} m/s (soit environ 1 m/j) ;
- épaisseur moyenne mouillée de la nappe libre et productive : environ 25 à 30 m ;
- transmissivité moyenne de l'aquifère : de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-2} voire 10^{-1} m²/s.

2.5 Contexte piézométrique de l'état initial

L'état de référence connu le plus récent, est celui conduit par le bureau d'études AMETEN en partenariat avec GEODÉFIS le 04/10/2016, dans le cadre de l'étude d'incidence hydrogéologique du projet de réaménagement de la gravière de Pré la Chambre¹ située à proximité du plan d'eau des Gabelins (cf. **Figure 1**).

Le gradient découlement hydraulique souterrain est dirigé de l'ESE vers l'WNW, d'Aiton jusqu'à la Bialle qui représente le niveau le plus bas hydraulique du système et l'exutoire principal de la nappe : cf. carte piézométrique relevée le 04/10/2016 en **Figure 1**.

L'écoulement souterrain passe sous l'Isère en étant peu perturbé par les échanges entre la rivière assez colmatée et la nappe. Les relations d'échange entre l'Arc et la nappe sont plus notables, dans le sens d'une alimentation de la nappe par le cours d'eau, surtout en aval du débouché de l'Arc dans la plaine d'Aiton.

La piézométrie est marquée par les différents plans d'eau alluviaux, plus ou moins profonds (anciennes gravières), qui imposent un élargissement des courbes isopièzes (réduction du gradient hydraulique) au droit de ces plans d'eau.

¹ Maîtrise d'ouvrage : DDT de la Savoie

L'amplitude des battements de la nappe mesurées au niveau de Fréterive sont de l'ordre de 0,6 m. Le suivi des piézomètres de la gravière de Pré la Chambre entre 2009 et 2018, met en évidence un battement de l'ordre de 1 m.

Ces battements, assez peu marqués, peuvent être expliqués d'une part par la présence de la Bialle, drainant la nappe à l'aval et en régulant le niveau bas, et d'autre part, par des apports à la nappe probablement assez peu variables au regard de l'importante capacité de stockage de l'aquifère (épaisseur mouillée et coefficients d'emménagement assez forts).

A défaut d'un état piézométrique plus récent couvrant l'ensemble du secteur d'étude, l'état piézométrique du 04/10/2016 est retenu en référence pour la modélisation numérique. Toutefois, les travaux de réaménagement par remblaiement de la gravière de Pré la Chambre sont considérés réalisés. Localement autour de cet ancien plan d'eau, l'état initial piézomètre diffère légèrement de l'état de référence du 04/10/2016.

2.6 Usages des eaux souterraines

Un inventaire des usages connus ou déclarés des eaux souterraines a été réalisé dans le secteur élargi autour du plan d'eau des Gabelins en vue de pouvoir déterminer d'éventuels impacts consécutifs aux modifications piézométriques apportées par le projet de réaménagement.

Cet inventaire a été réalisé en juin 2022 :

- en consultant les bases de données publiques en ligne (banque du sous-sol et inventaire des usages géothermiques du BRGM, base nationale des prélèvements d'eau de l'Agence de l'eau, base AtlaSanté de l'Agence régionale de santé pour les captages AEP) ;
- en interrogeant spécifiquement le service Environnement Eau Forêt (unité Qualité Quantité) de la DDT de la Savoie ;
- en interrogeant spécifiquement le Centre pénitentiaire d'Aiton, quant à d'éventuels usages de la nappe et à l'existence de niveaux souterrains au droit de l'établissement (cette demande relayée par le Maître d'ouvrage du projet est toutefois restée sans réponse à la date du présent rapport) ;
- en conduisant un parcours de terrain pour identifier d'éventuels ouvrages (puits privés, forages agricoles) en nappe, et pour vérifier l'utilisation de l'espace ou les activités rattachées aux plans d'eau alluviaux existants.

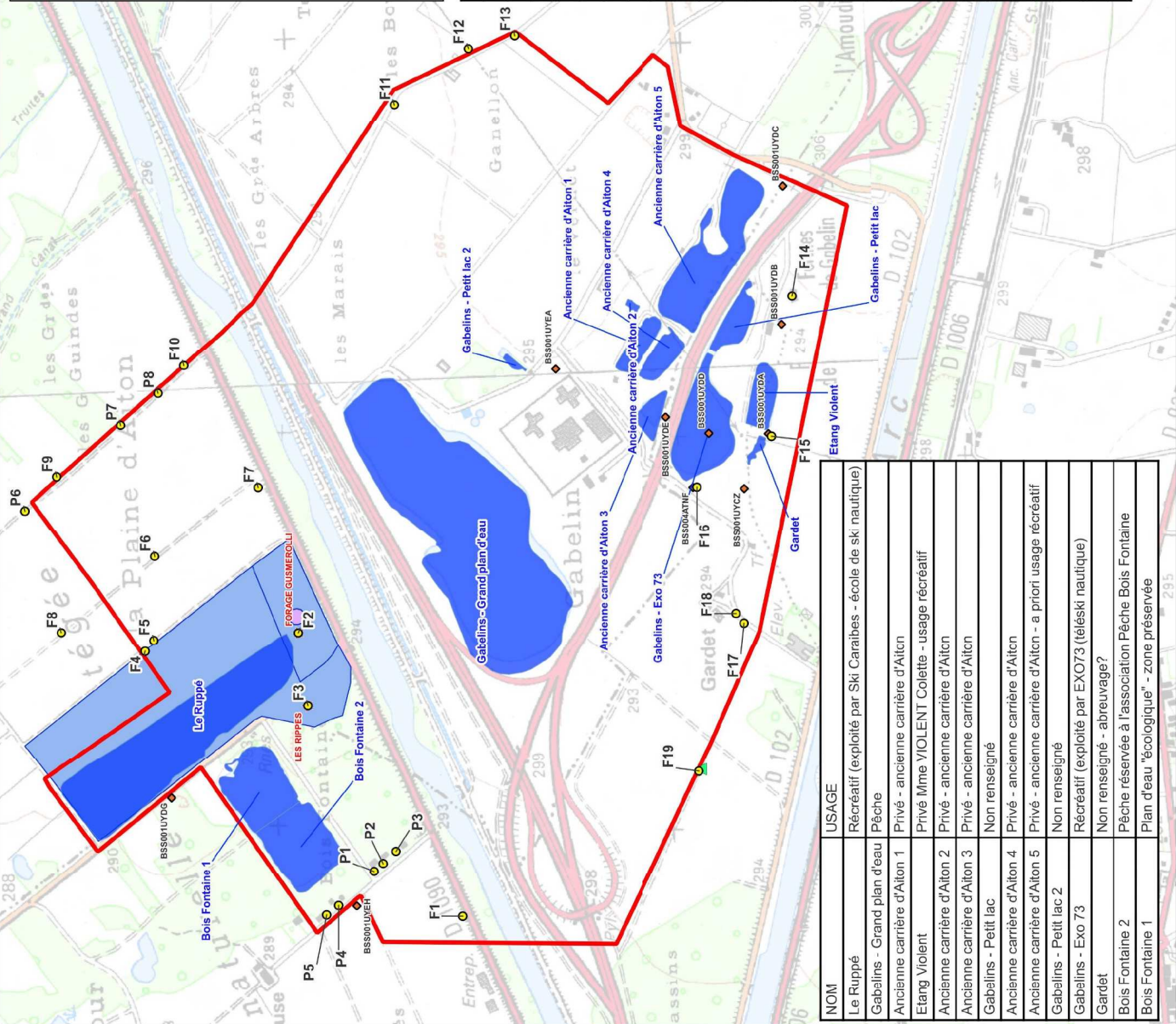
Les résultats de cet inventaire sont présentés de façon complète et synthétique sur la **Figure 2**.

Inventaire des usages des eaux souterraines autour de la gravière alluviale des Gabelins Aiton (73)

- Zone d'inventaire
 - Inventaire des points de prélèvements d'eau souterraine (inventaire visuel de terrain au 15/06/22)
 - Points d'eau recensés par le BRGM (BSS)
 - ▲ Points d'eau recensés par la DDT
- Captages et périmètres de protection pour l'adduction collective: (données ARS 73)
- ★ Captage d'adduction d'eau collective privée
 - Périmètre de protection rapprochée
 - Périmètre de protection immédiate



GEODEFIS
Ingénierie de l'environnement



TYPE	NOM	USAGE	ETAT	FONCTIONNEMENT
FORAGE	F12	INCONNU	BON	OUI
PUITS	P1	AUCUN	INCONNU	NON
PUITS	P2	AUCUN	INCONNU	NON
PUITS	P3	AUCUN	INUTILISABLE	NON
FORAGE	F1	AGRICOLE	BON	INCONNU
PUITS	P4	AUCUN	INCONNU	NON
PUITS	P5	INCONNU	INCONNU	INCONNU
FORAGE	F2	ADDITION COLLECTIVE PRIVEE	BON	OUI
FORAGE	F3	ADDITION COLLECTIVE PRIVEE (AEP?)	INCONNU	OUI
FORAGE	F4	AGRICOLE	INCONNU	INCONNU
FORAGE	F5	AGRICOLE	BON	OUI
FORAGE	F6	AGRICOLE	BON	OUI
FORAGE	F7	AGRICOLE	BON	OUI
FORAGE	F8	AGRICOLE	BON	OUI
PUITS	P6	AGRICOLE	INCONNU	INCONNU
PUITS	P7	AGRICOLE	INCONNU	INCONNU
FORAGE	F9	AGRICOLE	BON	OUI
PUITS	P8	AGRICOLE	INCONNU	INCONNU
FORAGE	F10	AGRICOLE	BON	OUI
FORAGE	F11	AGRICOLE	BON	OUI
FORAGE	F14	DOMESTIQUE + AEP	BON	OUI
FORAGE	F13	AGRICOLE	BON	OUI
FORAGE	F15	ABREUVAGE (+AGRICOLE?)	BON	OUI
FORAGE	F16	DOMESTIQUE	BON	OUI
FORAGE	F17	INCENDIE	BON	OUI
FORAGE	F18	AGRICOLE (ABREUVAGE, ALIM BERGERIE)	BON	OUI
FORAGE	F19	AGRICOLE	BON	OUI

NOM	USAGE
Le Ruppé	Récréatif (exploité par Ski Caraïbes - école de ski nautique)
Gabelins - Grand plan d'eau	Pêche
Ancienne carrière d'Aiton 1	Privé - ancienne carrière d'Aiton
Etang Violent	Privé Mme VIOLENT Colette - usage récréatif
Ancienne carrière d'Aiton 2	Privé - ancienne carrière d'Aiton
Ancienne carrière d'Aiton 3	Privé - ancienne carrière d'Aiton
Gabelins - Petit lac	Non renseigné
Ancienne carrière d'Aiton 4	Privé - ancienne carrière d'Aiton
Ancienne carrière d'Aiton 5	Privé - ancienne carrière d'Aiton - a priori usage récréatif
Gabelins - Petit lac 2	Non renseigné
Gabelins - Exo 73	Récréatif (exploité par EXO73 (téléski nautique))
Gardet	Non renseigné - abreuvement?
Bois Fontaine 2	Pêche réservée à l'association Pêche Bois Fontaine
Bois Fontaine 1	Plan d'eau "écologique" - zone préservée

Figure 2 Résultats de l'inventaire des usages des eaux souterraines autour du plan d'eau des Gabelins

3. Modélisation hydrodynamique du projet

3.1 Outil de modélisation utilisé

La modélisation ici développée permet d'étudier et de simuler, de façon déterministe en résolvant les lois fondamentales de l'hydrodynamique en milieux poreux, les écoulements en nappe. Le caractère déterministe du modèle apporte un intérêt particulier en permettant de calculer des simulations prédictives, pour différents scénarios en faisant varier les conditions et variables du modèle.

Le code retenu ici est VISUAL MODFLOW CLASSIC (Schlumberger/WHI Inc., Canada) dans sa version 4.6.0 (2015). Il s'agit d'un code logiciel internationalement reconnu depuis plusieurs décennies et éprouvé sur plusieurs milliers de cas. C'est un code de modélisation 3D aux différences finies qui permet de prendre en compte un grand nombre de configurations et de conditions aux limites (apports en flux, potentiels imposés, échanges nappe-cours d'eau, pompages et rejets en nappe, pluie utile, drains, parois moulées, etc.).

Par son caractère déterministe (et donc prédictif), cet outil permet facilement de conduire de nombreuses simulations et variantes d'un problème étudié.

3.2 Emprise, maillage et conditions aux limites du modèle

Les caractéristiques de discrétisation géométrique du modèle et ses conditions aux limites sont indiquées en **Figure 3**. Au sein du domaine modélisé, les mailles de calcul présentent une taille régulière unique et adaptée à la résolution du problème à étudier : mailles d'environ 15 m x 15 m horizontalement, et 18 couches verticalement.

Le substratum n'est pas connu précisément. Il est retenu globalement parallèle à la surface topographique et à une profondeur de 30 m en-dessous de celle-ci (cf. chapitre 2.2).

Les conditions aux limites du modèle sont les suivantes :

- à l'ENE, une limite à flux nul ;
- au SE en amont, une limite à potentiel imposé à la cote 294.5 m NGF ;
- au NW, une limite à potentiel variable correspondant au cours de la Bialle, drain principal aval de la nappe alluviale ;
- à l'W en aval, une limite à potentiel variable correspondant à un petit bief drainant (nommé Plan local), et une limite à flux nul entre la route RD 32 et l'Isère ;
- au SW, une limite à potentiel variable correspondant à l'Arc (alimentant la nappe) ;
- au sein du domaine de calcul :
 - o les plans d'eau alluviaux discrétisés : Pré la Chambre (considéré dans sa configuration finale réaménagée dont une partie en marais), les Rippes, les Gabelins (état initial bathymétrie fourni par FOREZIENNE) et les plans d'eau riverains de l'autoroute de Maurienne, ainsi que 2 petits plans d'eau au Nord (secteur Prés du Four) ;
 - o la pluie utile répartie sur le domaine non imperméabilisé, considérée à 250 mm/an ;
 - o les limites à potentiel variable correspondant à l'Isère en relation partielle (mais non nulle) avec la nappe compte tenu de son colmatage, et à l'Aitelène en partie amont NE ;
 - o les puits en nappe en fonctionnement. Pour cette dernière condition, il est à noter qu'aucun pompage significatif n'est effectif dans le modèle (pompage AEP des Esserts non fonctionnel, et pompages AEP des Rippes et de Gusmeroli insignifiants ; les éventuels pompages agricoles ne sont pas déterminés).

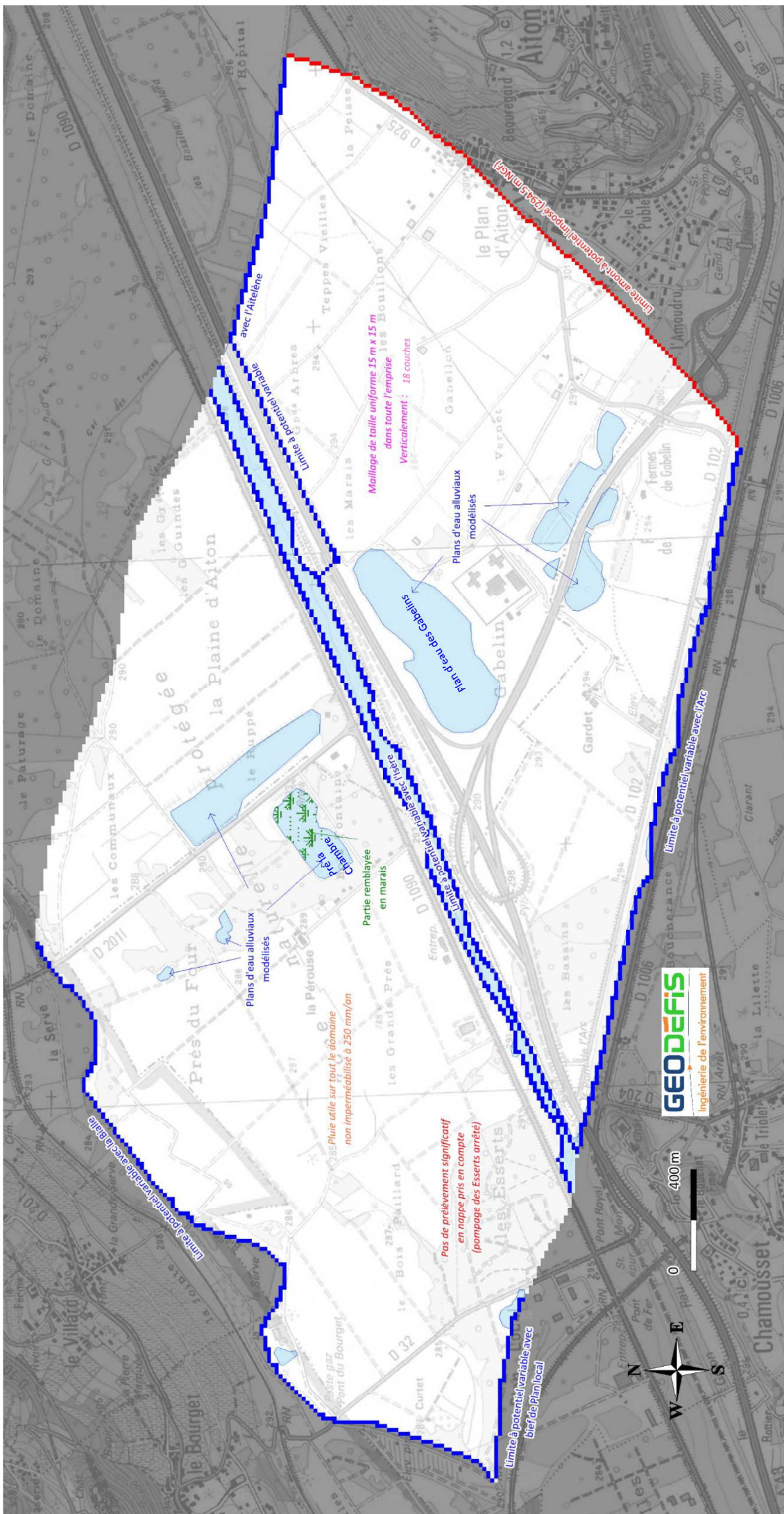


Figure 3 Emprise, maillage et conditions aux limites du modèle hydrogéologique

3.3 Calage du modèle

Une fois les conditions aux limites déterminées et saisies, le modèle a fait l'objet d'ajustements successifs des coefficients de perméabilité de l'aquifère, afin de pouvoir restituer la carte piézométrique prise en référence mesurée le 04/10/2016. Ce calage a été réalisé en régime permanent d'écoulement.

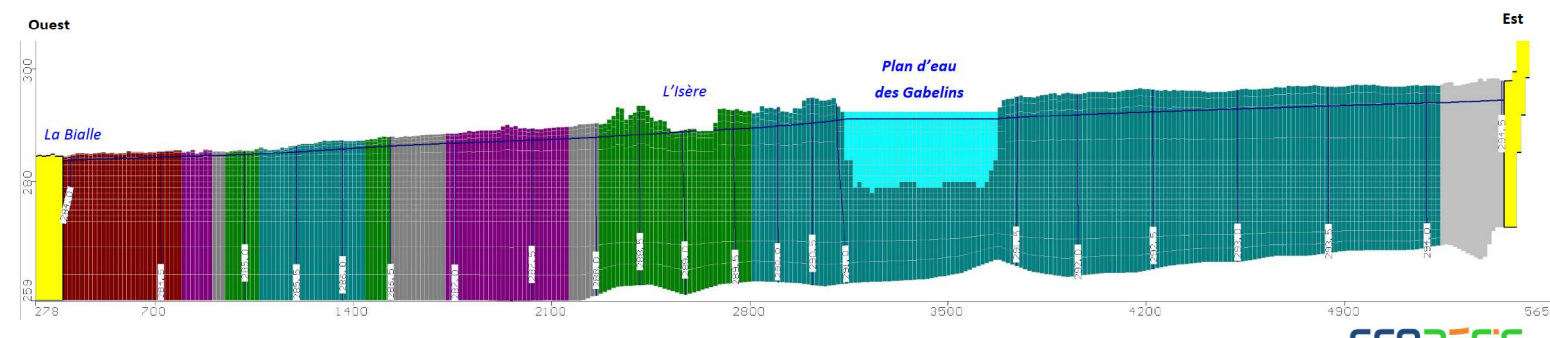
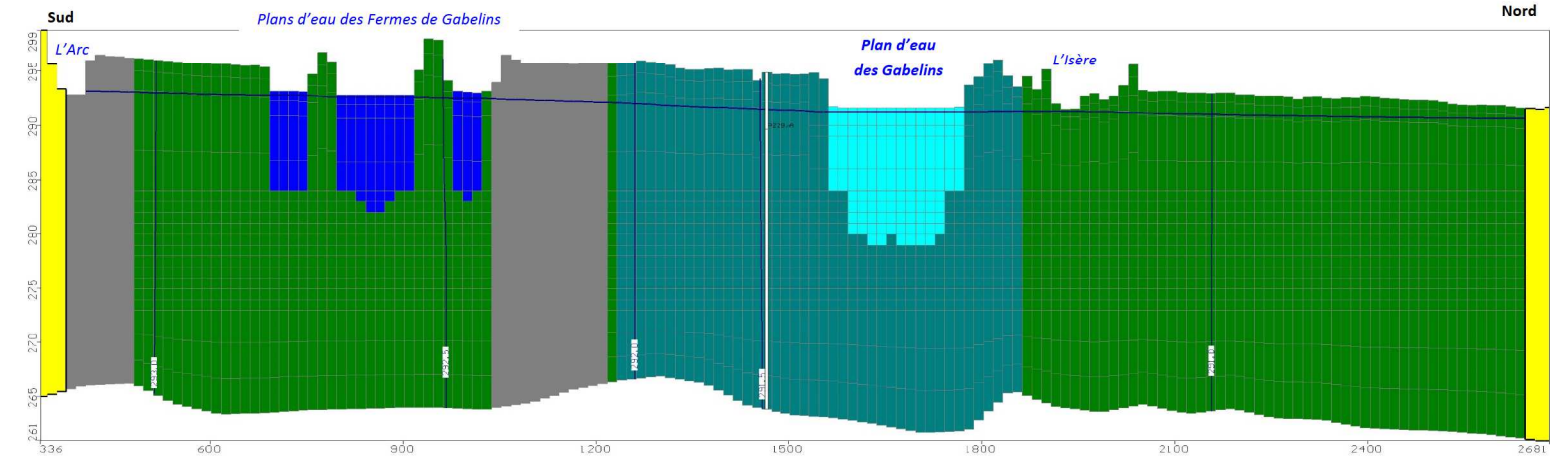
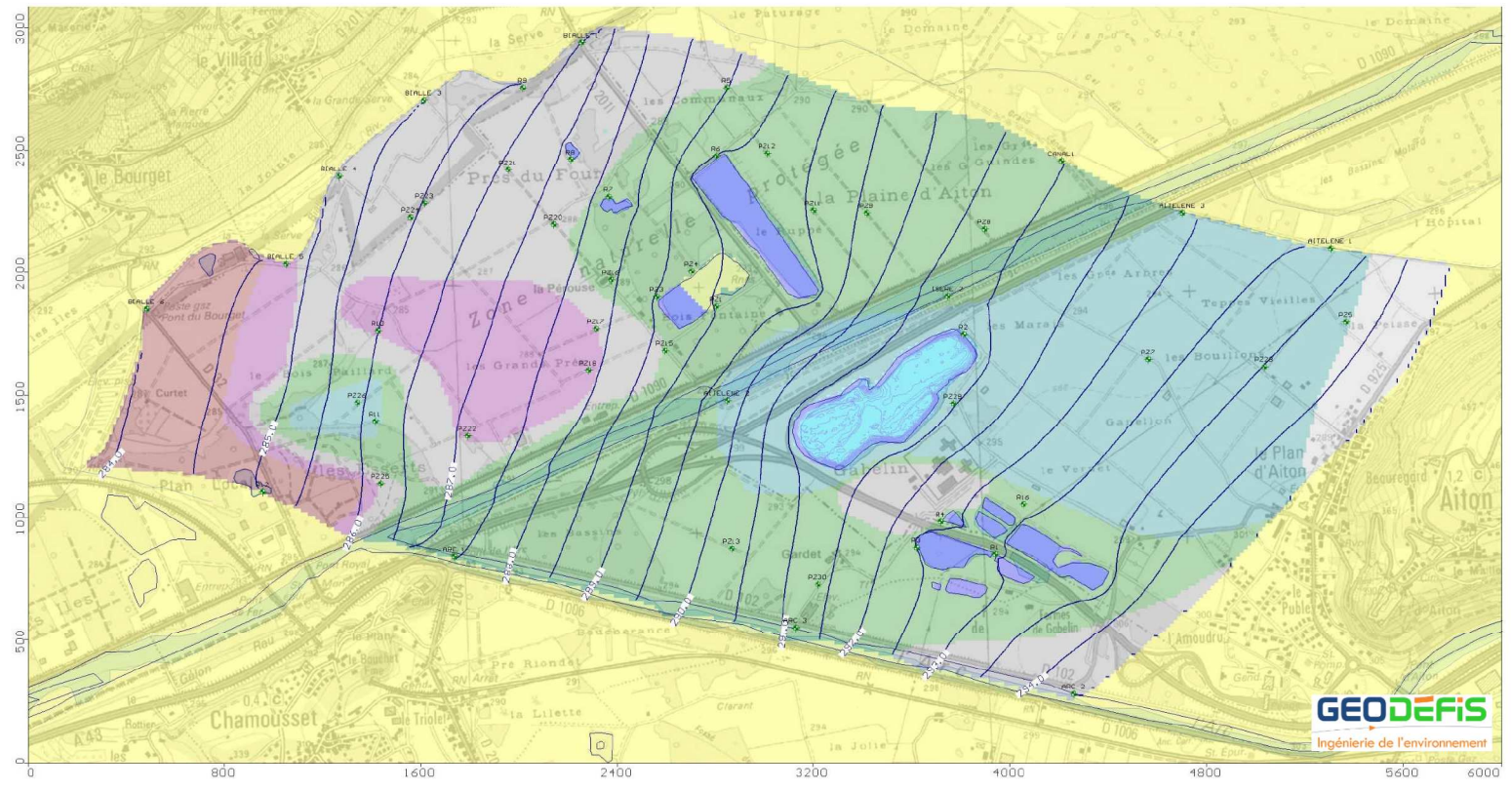
La carte piézométrique résultante du calage est présentée en **Figure 4**. Les courbes isopièzes calculées restituent bien l'allure et le gradient hydraulique des courbes prises en référence.

Les coefficients de perméabilité employés pour le calage sont compris entre $0,3 \cdot 10^{-3}$ et $8 \cdot 10^{-3}$ m/s (hors matériaux des remblais de gravières considérés bien moins perméables), avec des valeurs majoritairement comprises entre $0,6 \cdot 10^{-3}$ et $2 \cdot 10^{-3}$ m/s, ce qui correspond bien aux coefficients et aux données lithologiques reconnus dans le secteur d'étude.

La **Figure 5** présente l'analyse statistique des écarts entre les niveaux calculés avec ceux mesurés pour la carte piézométrique de référence. Les écarts sont faibles en valeur absolue (environ 10 cm) avec une très bonne corrélation entre les niveaux observés et les niveaux calculés. Les 50 points vérifiés, bien répartis dans toute la gamme des niveaux piézométriques du modèle (près de 9 m de dénivelé), sont tous situés dans l'intervalle de corrélation statistique de 95%, ce qui permet d'apprécier la validité du calage hydrodynamique.

Le bilan des flux souterrains résultant de ce calage est indiqué ci-dessous.

<i>ENTREES à la nappe</i>	m3/j	L/s	<i>SORTIES de la nappe</i>	m3/j	L/s
Nappe amont	29 132	337	Bialle	55 203	639
Pluie utile (250 mm/an)	6 261	72	Petit bief de Plan Local	626	7
Arc	12 582	146	Aitelène	2 048	24
Isère	9 922	115	Prélèvements/pompages	0	0
Total	57 897	670	Total	57 877	670



Les graduations des axes indiquent l'échelle (en m)



Figure 4 Carte et coupes piézométriques, et zonage des coefficients de perméabilité résultant de l'état de calage du modèle

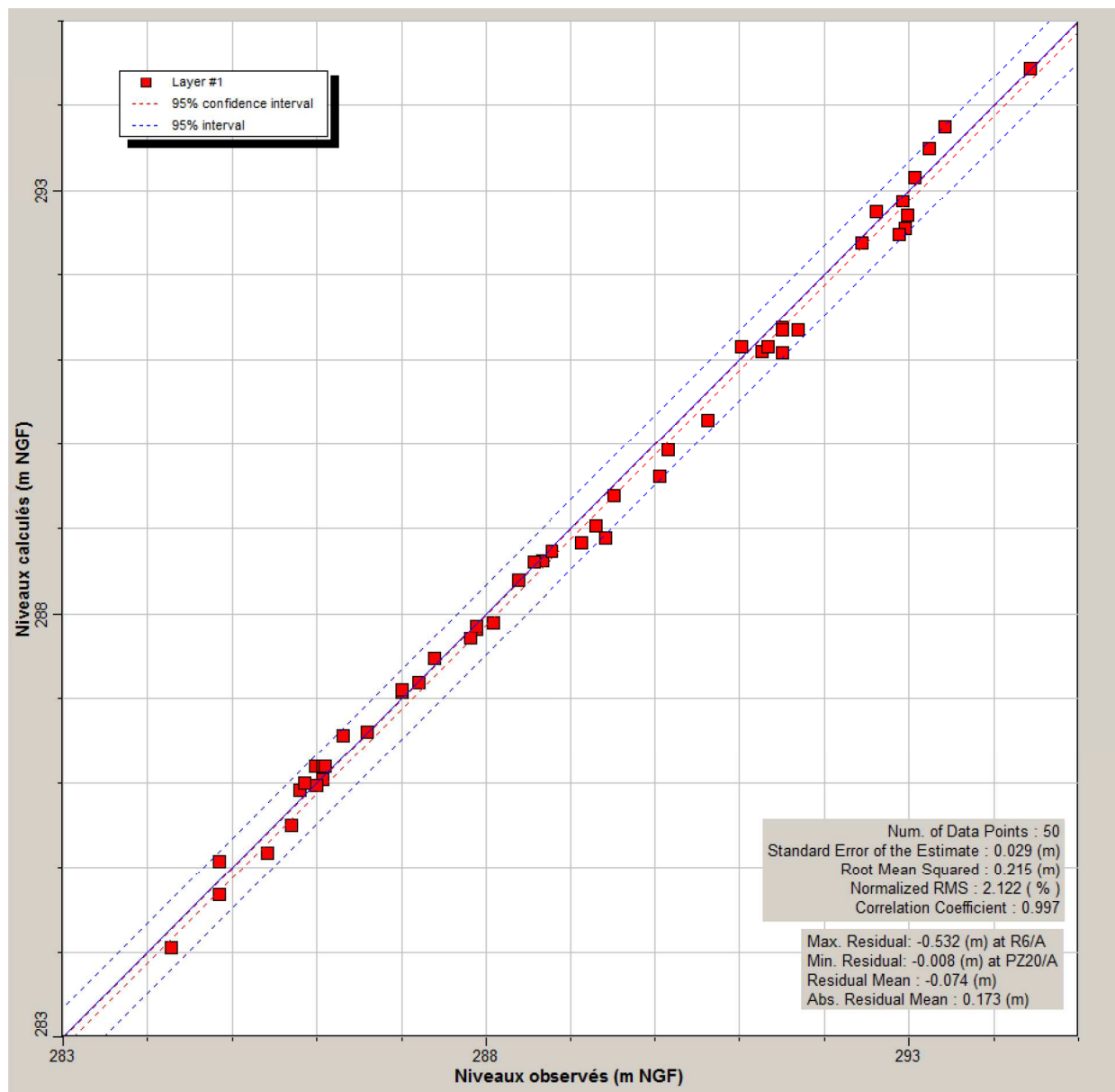


Figure 5 Résultats statistiques du calage du modèle

3.4 Etude des incidences hydrodynamiques du projet

3.4.1 Descriptif du projet de réaménagement du plan d'eau

Le descriptif du projet de réaménagement du plan d'eau des Gabelins est présenté en **annexe 1**.

Le projet consiste en un remblaiement important du volume offert par le plan d'eau jusqu'au terrain naturel, en laissant toutefois une partie non négligeable en superficie, de plan d'eau ouvert et profond (destiné à l'usage de pêche de loisirs) dans le secteur Nord-Est du site, ainsi qu'une zone marécageuse peu profonde dans le secteur Sud-Ouest du plan d'eau actuel.

La nature granulométrique et donc la perméabilité hydraulique des matériaux constitutifs des remblais projetés ne sont pas connues précisément à ce stade du projet. Pour cette raison, il a été ici réalisé deux simulations hydrodynamiques distinctes permettant d'étudier les incidences piézométriques du projet suivant deux hypothèses de perméabilité suffisamment contrastées et raisonnablement possibles. Dans les deux cas, la répartition spatiale et la volumétrie des remblais est identique :

- simulation **S1** : remblais considérés fins avec une perméabilité faible à 1.10^{-7} m/s ;
- simulation **S2** : remblais considérés grossiers ou mélangés avec une perméabilité assez bonne à 1.10^{-4} m/s.

3.4.2 Résultats de la simulation S1

Cette simulation numérique sur le modèle étudie le cas du remblaiement au moyen de matériaux présentant un coefficient de perméabilité moyen et homogène de 1.10^{-7} m/s. Les résultats de cette simulation sont présentés en plan et en coupe en **Figure 6**, **Figure 7** et **Figure 8**. Ils correspondent au projet en fin de travaux.

3.4.3 Résultats de la simulation S2

Cette simulation numérique sur le modèle étudie le cas du remblaiement au moyen de matériaux présentant un coefficient de perméabilité moyen et homogène de 1.10^{-4} m/s. Les résultats de cette simulation sont présentés en plan et en coupe en **Figure 9**, **Figure 10** et **Figure 11**. Ils correspondent au projet en fin de travaux.

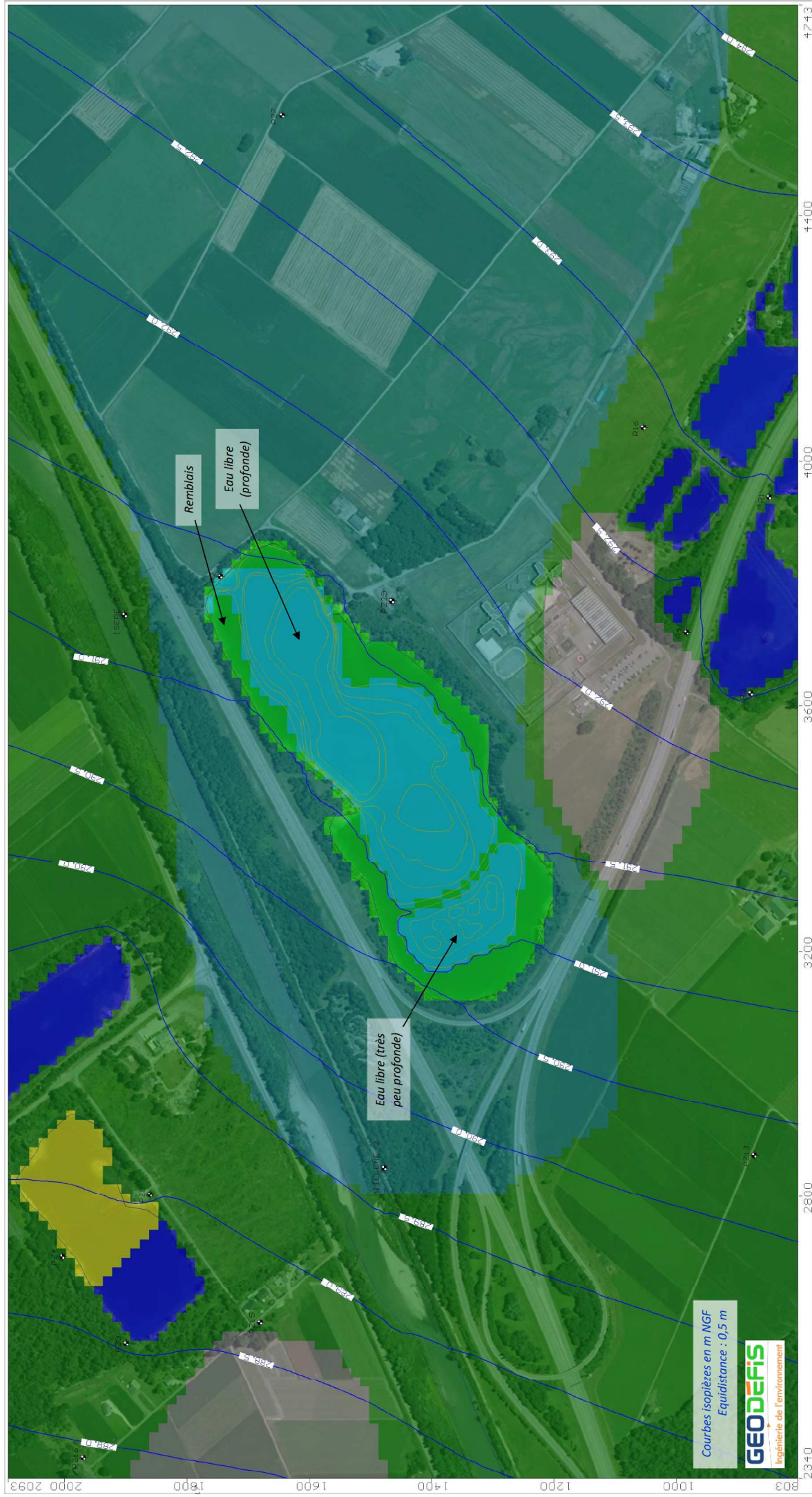
3.4.4 Interprétation des résultats

Les incidences piézométriques calculées dans les deux simulations S1 et S2 sont assez faibles en valeur absolue : elles sont nettement inférieures à 1 m, et n'influencent que très faiblement l'allure des courbes piézométriques. Ces incidences sont les plus marquées au pourtour du plan au droit des zones remblayées, avec :

- une augmentation du niveau de la nappe par rapport à l'état initial, en amont immédiat du projet, de l'ordre de quelques décimètres (jusqu'à 0,5 m). Cette augmentation s'atténue rapidement dans l'espace. Elle est inférieure à 0,3 m au droit du Centre pénitentiaire d'Aiton ;
- une diminution du niveau de la nappe par rapport à l'état initial, en aval du projet, de l'ordre de quelques décimètres (jusqu'à 0,6 m dans l'angle NW du projet). Cette diminution du niveau devient insignifiante (inférieure à 0,1 m) à partir d'une distance de l'ordre de 250 m depuis le flanc Nord du projet. Cette incidence ne dépasse pas sensiblement la rive droite de l'Isère.

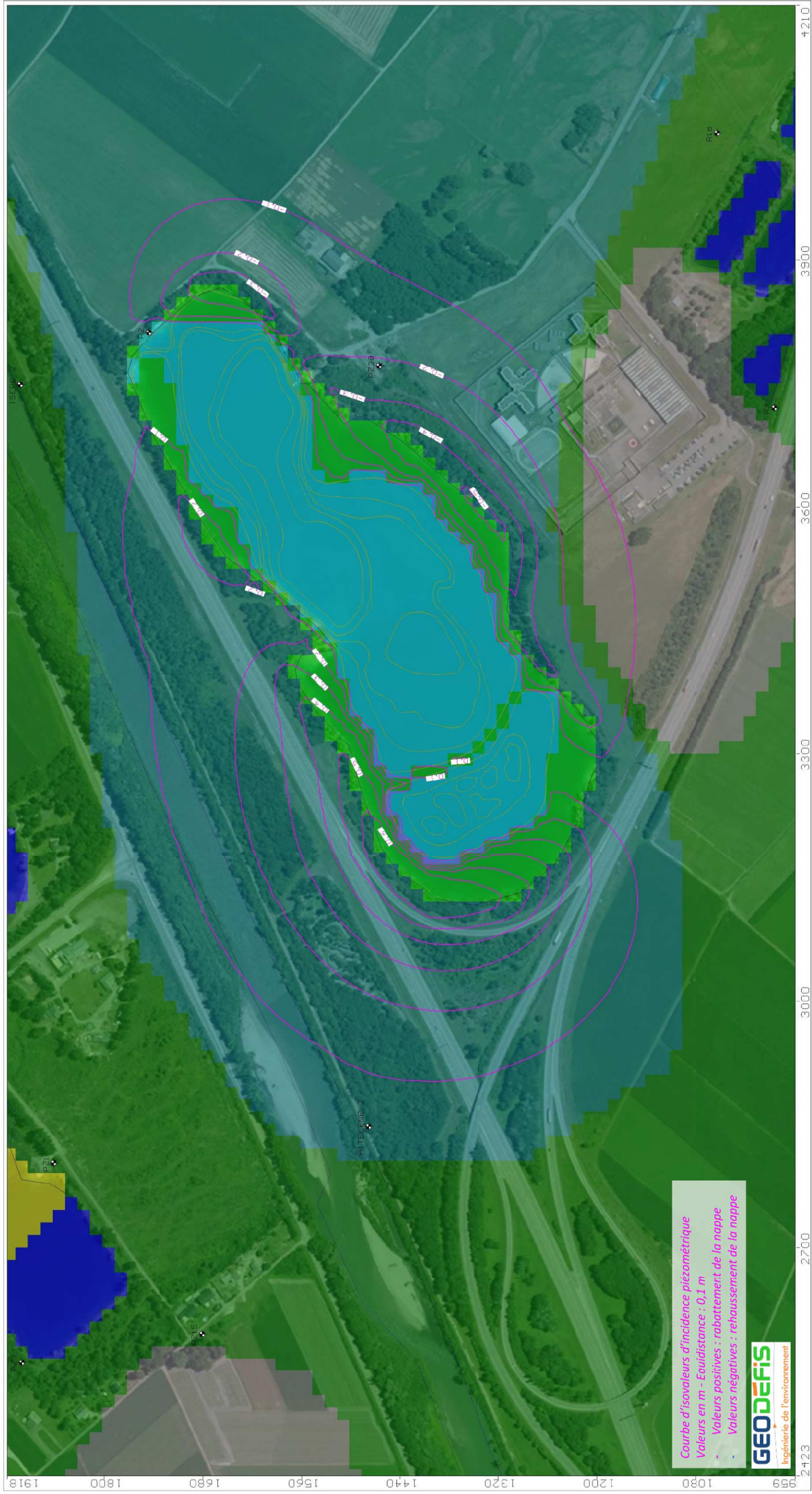
Les résultats entre les simulations S1 et S2 diffèrent très peu : les différences entre ces deux cas sont uniquement observables au droit même des zones remblayées. Cette faible différence, de même que le caractère modéré des incidences piézométriques, s'explique :

- d'une part, par la présence d'aquifère perméable encore suffisamment épais et bien transmissif sous la gravière et jusqu'au substratum, avec environ 15 m d'alluvions considérées entre 1.10^{-3} et 2.10^{-3} m/s de coefficients de perméabilité ;
- d'autre part, par le maintien par le projet d'une zone d'eau libre et profonde non remblayée, sur une superficie relativement importante en moitié NE du projet.



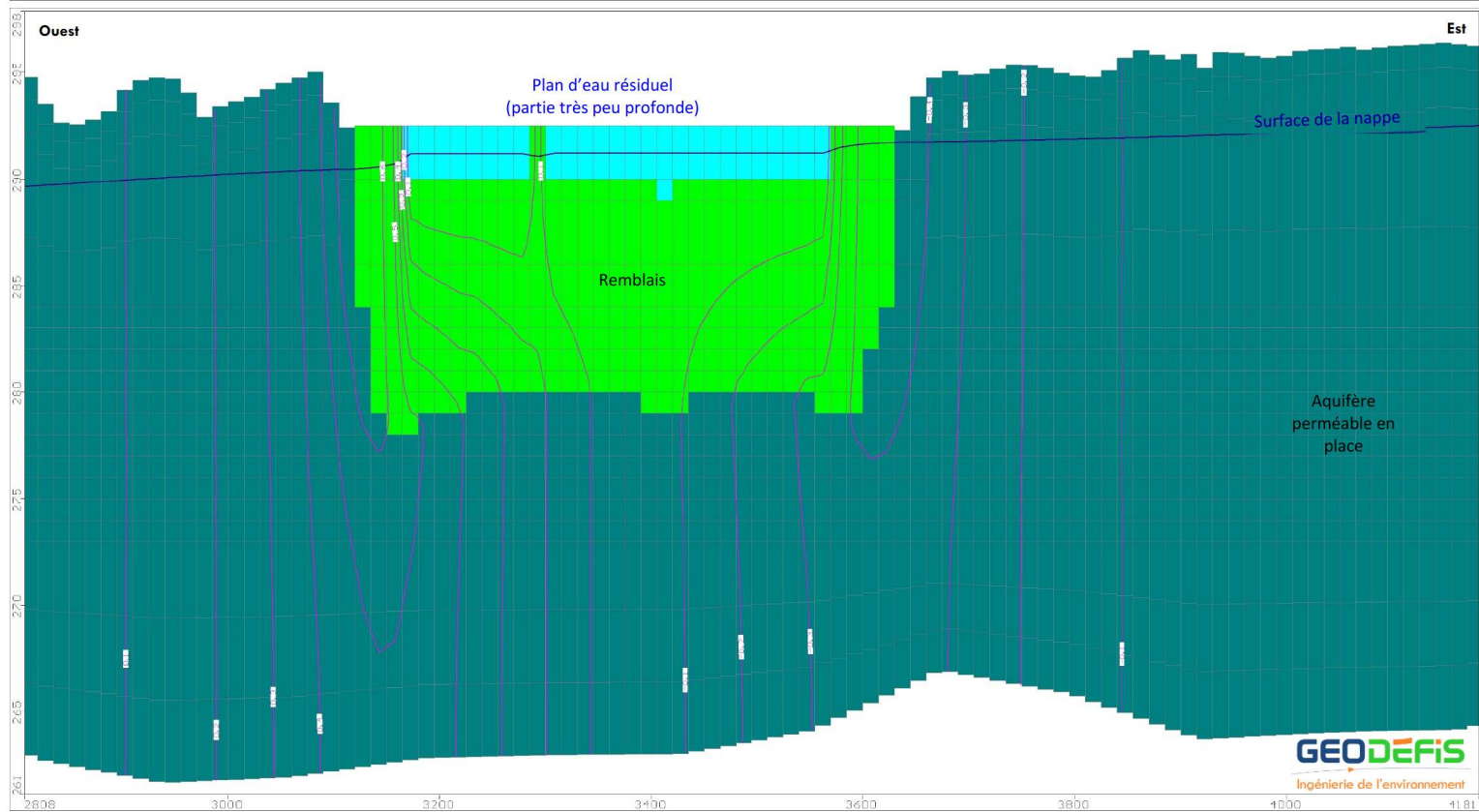
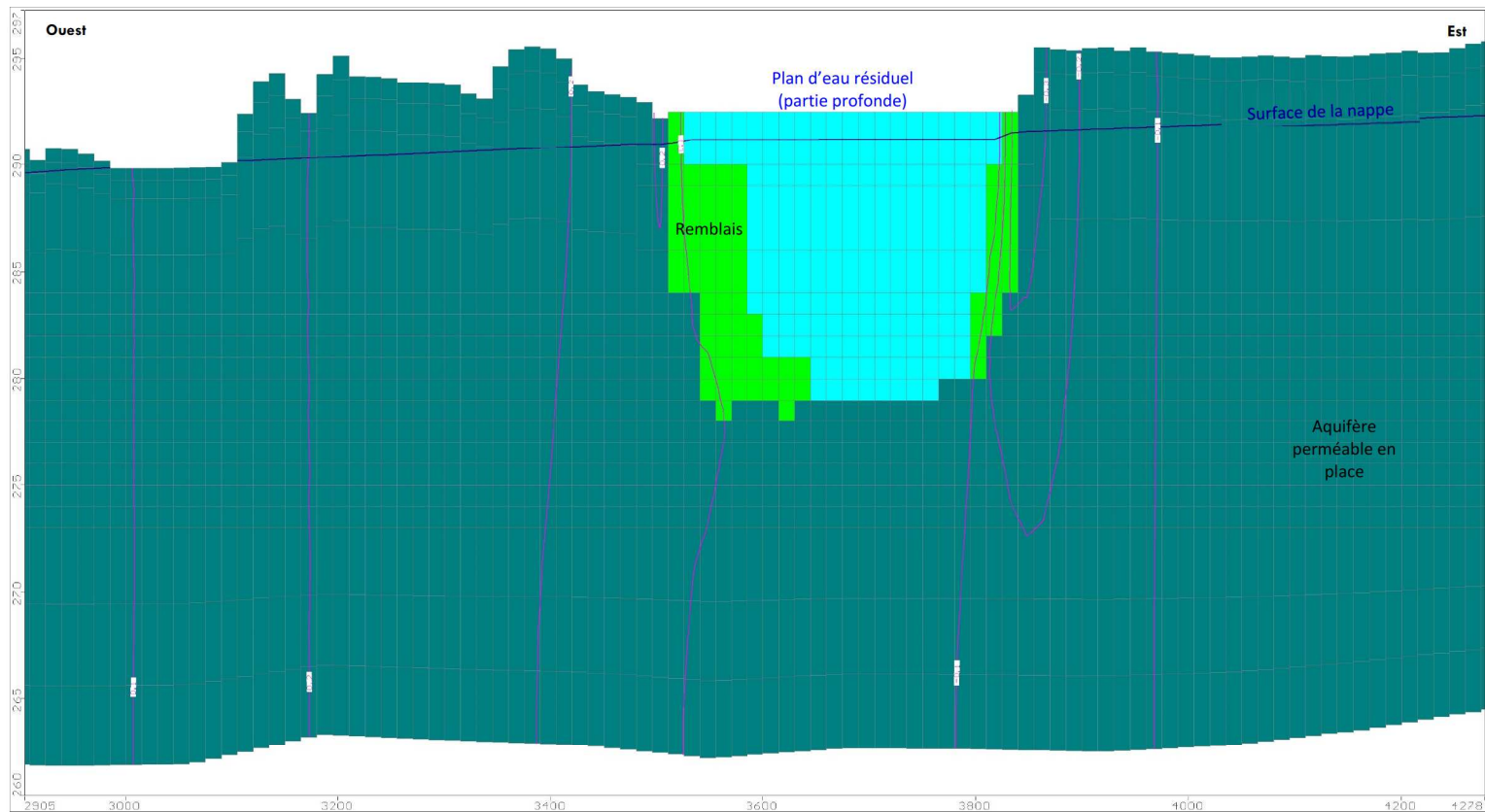
Les graduations des axes indiquent l'échelle (en m)

Figure 6 Simulation S1 – Carte piézométrique calculée (piézométrie en surface de la nappe)



Les graduations des axes indiquent l'échelle (en m)

Figure 7 Simulation S1 – Carte d'incidence piézométrique du projet par rapport à l'état initial



Courbe d'isovaleurs d'incidence piézométrique
 Valeurs en m - Equidistance : 0,1 m
 - Valeurs positives : rabattement de la nappe
 - Valeurs négatives : rehaussement de la nappe

Les graduations des axes indiquent l'échelle (en m)

Figure 8 Simulation S1 – Coupes d'incidence piézométrique du projet par rapport à l'état initial

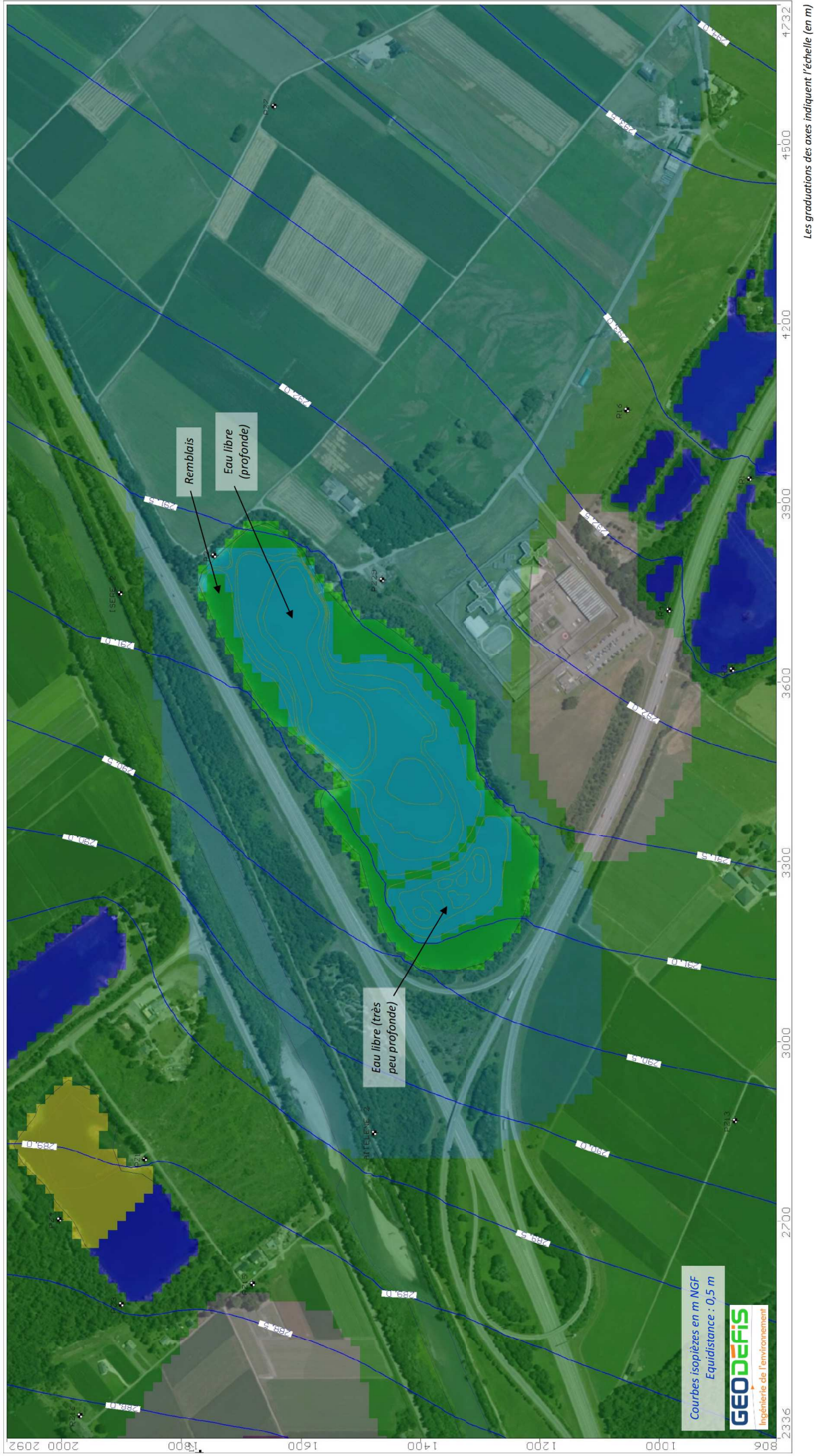


Figure 9 Simulation S2 – Carte piézométrique calculée (piézométrie en surface de la nappe)

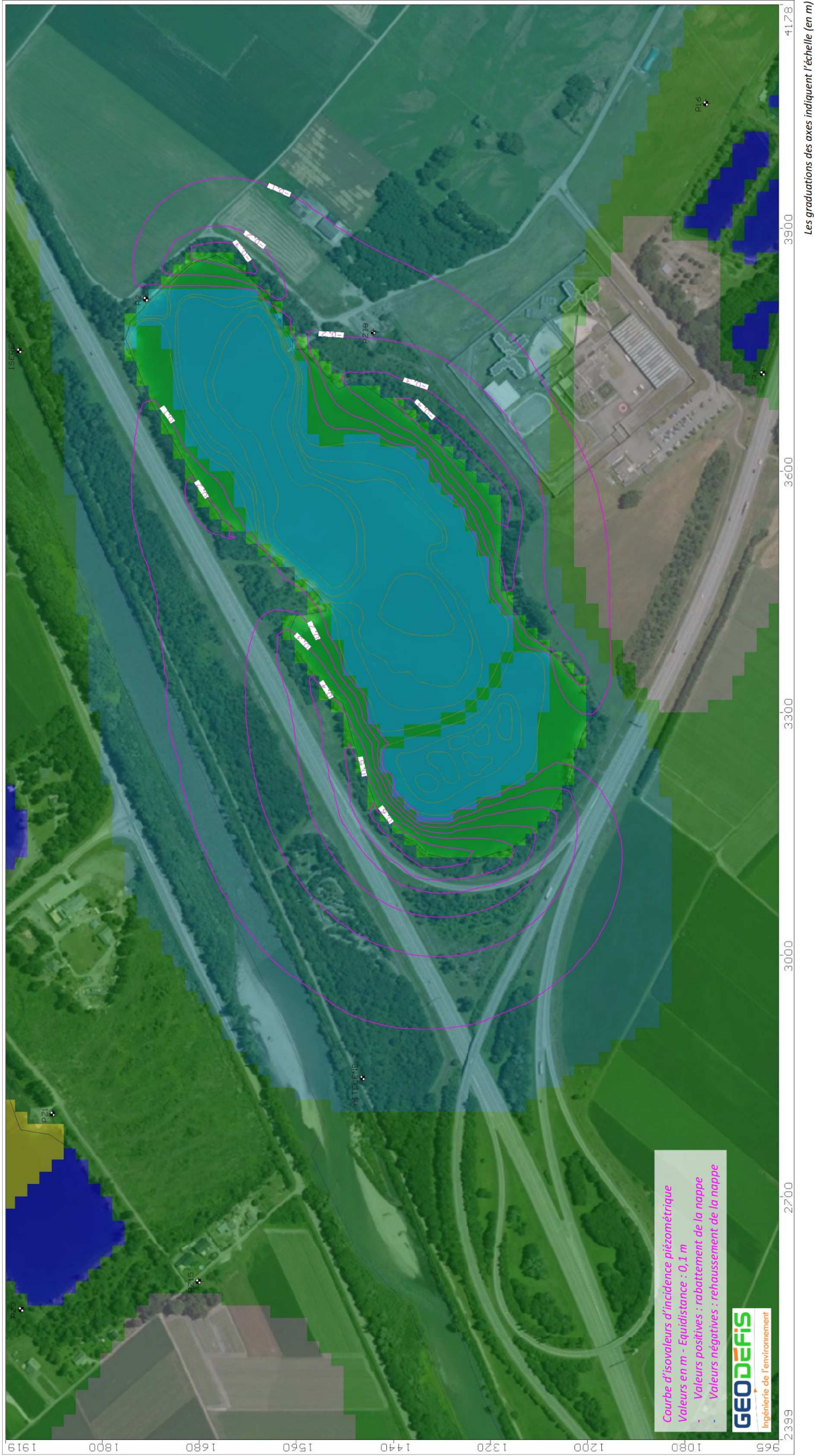


Figure 10 Simulation S2 – Carte d'incidence piézométrique du projet par rapport à l'état initial