

*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 11** Simulation S2 – Coupes d'incidence piézométrique du projet par rapport à l'état initial

## 4. Etude hydrodispersive du projet sur la nappe

Ce chapitre présente l'étude de simulations hydrodispersives (transport de polluant en milieu aquifère continu et saturé) avec le modèle hydrogéologique développé dans les chapitres précédents.

### 4.1 Configuration des simulations étudiées

Conformément à la mission prescrite, l'analyse s'intéresse à trois simulations hydrodispersives :

- **simulation P1** : détermination de l'évolution dans la nappe d'un panache de pollution d'une substance considérée soluble (par exemple, les ions sulfate ou fluorure dans l'eau souterraine) depuis une ou plusieurs parties du corps de remblais projeté pour le plan d'eau, ces parties de remblais étant alors considérées comme non inertes au sens des seuils qualitatifs ISDI<sup>1</sup> avec des valeurs de concentrations en substance soluble dépassant les seuils autorisés. Cette partie polluée est considérée pour environ 5% en volume du corps complet des remblais prévus, avec une concentration dépassant d'un facteur 3 les valeurs réglementaires maximales caractéristiques des remblais inertes. Dans la simulation, la localisation de ces remblais considérés pollués est étudiée d'une façon pessimiste et très sécuritaire, sous forme de deux corps localisés au parement aval du plan d'eau des Gabelins et spécifiquement au droit des tubes de courant hydrodynamiques intéressant les cibles particulières que sont les forages privés d'eau potable (forage F2 Gusmeroli et forage F3 Les Rippes – cf. **chapitre 2.6** et **Figure 2**). Le reste des remblais prévus est considéré à la valeur maximale limite caractérisant les remblais inertes. Par commodité d'interprétation des résultats, la concentration d'entrée du polluant est considérée à la valeur de 100% ; ce choix permettant avec une unique simulation, d'interpréter les résultats hydrodispersifs en pourcentage de la concentration initiale d'entrée dans l'aquifère (pour les fluorures et pour les sulfates par exemple).
- **simulation P2-As et simulation P3-Sb** : ces deux simulations visent à déterminer respectivement l'évolution d'un panache de pollution par les métaux lourds arsenic (As) et antimoine (Sb) dont le comportement dispersif fait intervenir ici une partie soluble et une partie adsorbée sur la matrice solide de l'aquifère (moindre propagation spatiale et temporelle du panache polluant en nappe). Les phénomènes d'adsorption sont ici modélisés au moyen d'un coefficient quantitatif de partage (noté  $K_D$ ) entre l'eau et la matrice solide de l'aquifère : le coefficient employé est choisi pour l'arsenic et pour l'antimoine selon les données disponibles dans les bases documentaires bibliographiques en cohérence avec le type de matériau aquifère étudié et selon les valeurs les plus sécuritaires (c'est-à-dire offrant l'adsorption la plus faible). Les parties du remblai considérées polluées, c'est-à-dire dépassant là aussi les seuils de référence ISDI, sont les mêmes que celles indiquées pour la simulation P1, en localisation et en volume. Les calculs et interprétations sont toutefois ici réalisés en concentrations absolues d'arsenic et d'antimoine dans l'eau souterraine. Les parties non polluées du remblai sont considérées à la concentration maximale caractéristique des déchets inertes et sont identiques à la simulation P1.

La **Figure 12** localise l'emprise des remblais simulés pour 5 profondeurs différentes du plan d'eau, et précise la localisation des points de repère positionnés pour la restitution des pollutogrammes.

Les autres conditions prises en compte pour les calculs sont communes aux 3 simulations précitées et sont les suivantes :

---

<sup>1</sup> Installation de stockage de déchets inertes

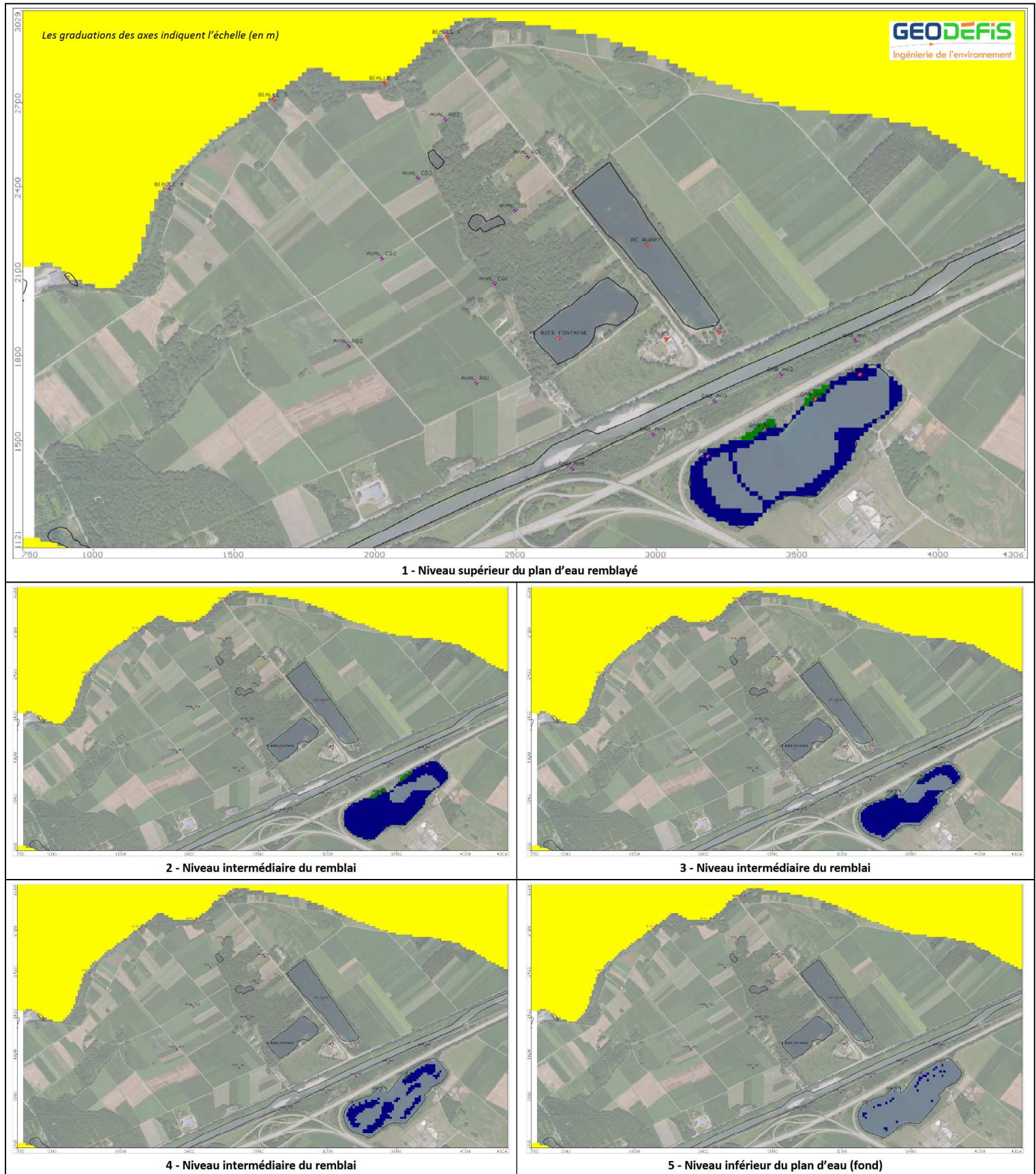


Figure 12 Localisation des remblais simulés (en bleu : inertes ; en vert : pollués) et de points de calcul des pollutogrammes

- pas de diminution de la zone source de pollution (ni en masse, ni en emprise surface ou volumétrique). Il est considéré que la source de polluant issue des remblais conserve ses dimensions et son potentiel de relargage initial dans toute la durée de la simulation ;
- contexte hydrodynamique de la nappe pris constant et en régime permanent d'écoulement. Cet état correspond à l'état piézométrique issu de la simulation S2 (cf. **chapitre 3.4**) tenant compte de la mise en œuvre du remblai finalisé dans le plan d'eau ;
- mécanismes de transport pris en compte : dispersion cinématique par advection seule pour les substances solubles (simulation P1), et avec mécanisme d'adsorption en plus pour l'arsenic et pour l'antimoine (simulations P2-As et P3-Sb). La diffusion moléculaire (liée aux gradients de concentration selon la loi de Fick) est considérée nulle (compte tenu du gradient hydraulique significatif de l'aquifère, la dispersion cinématique l'emporte très majoritairement devant la dispersion moléculaire qui devient négligeable) ;
- coefficient d'emménagement de l'aquifère libre pris à environ 15% (selon les données documentaires) et porosité totale de l'aquifère prise à 30% ;
- masse volumique de l'aquifère sec, considérée à 1 700 kg/m<sup>3</sup> ;
- coefficient de dispersion longitudinale : 10 m ; ratio entre les coefficients de dispersivité longitudinale/transversale/verticale : 10/1/0,1.

En outre, pour chacune des simulations, et pour identifier la seule contribution par la modélisation du projet de remblaiement de la gravière, il est retenu une concentration initiale en nappe du polluant étudié, partout nulle (pas de bruit de fond ou de pollution préalable).

Les simulations hydrodispersives sont conduites en régime transitoire sur une durée de plusieurs années, et suffisamment longue afin d'identifier la stabilisation en plateau des concentrations dans le temps compte tenu de la permanence des sources de pollution considérées.

Le **Tableau 1** ci-dessous résume les caractéristiques quantitatives retenues pour les polluants étudiés.

Simulation	Polluant	Concentration maximale du remblai inerte (ISDI)	Concentration d'entrée en nappe C <sub>0</sub> (lixiviât d'inerte)	Concentration d'entrée en nappe C <sub>0</sub> ' (ISDI x 3)	Coefficient de partage eau-sol (K <sub>D</sub> )	Concentration maximale admissible réglementaire pour les eaux potables *
<b>P1</b>	<b>Soluté parfait</b> <i>Exemple 1 : fluorure</i> <i>Exemple 2 : sulfate</i>	--- 10 mg/kg MS 1000 mg/kg MS	<b>100 %</b> 1 mg/L 100 mg/L	<b>300 %</b> 3 mg/L 300 mg/L	---	--- 1,5 mg/L 250 mg/L
<b>P2-As</b>	<b>Arsenic</b>	0,5 mg/kg MS	<b>0,05 mg/L</b>	<b>0,150 mg/L</b>	<b>2,0 L/kg (1)</b>	0,010 mg/L
<b>P3-Sb</b>	<b>Antimoine</b>	0,06 mg/kg MS	<b>0,006 mg/L</b>	<b>0,018 mg/L</b>	<b>7,0 L/kg (2)</b>	0,005 mg/L (0,020 mg/L selon OMS 2006 pour eau de boisson)

MS : matière sèche

OMS : Organisation mondiale de la santé

\* Selon Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique

(1) Selon INERIS 2010 (fiches de données toxicologiques et environnementales), citant Baes & Sharp (1983) avec K<sub>D</sub> = 1,0 à 8,3 L/kg pour As(III), et K<sub>D</sub> = 1,9 à 1500 L/kg pour As(V)

(2) Selon INERIS 2007 (fiches de données toxicologiques et environnementales), citant King (1988) avec K<sub>D</sub> = 7,0 à 695 L/kg

**Tableau 1** Tableau de synthèse des caractéristiques quantitatives des polluants étudiés

Pour chaque simulation, les résultats sont présentés au moyen :

- d'une carte du panache de polluant étudié à quelques dates-clés de la simulation, et pour deux niveaux de profondeur distincts dans l'aquifère (un niveau plutôt supérieur à la profondeur des zones de remblais du plan d'eau les plus importantes, et un niveau plus profond sous la surface piézométrique (environ 15 m) là où les concentrations du panache apparaissent maximales pour le secteur des forages F2 et F3) ;
- de courbes pollutogrammes (concentration en fonction du temps) pour différents points-clés localisés au sein du panache de pollution, et pour toute la durée de la simulation ;
- d'une interprétation des résultats sur les usages présents à l'aval du site.

## 4.2 Résultats de la simulation P1 (soluté)

Dans la configuration étudiée, il s'établit un panache de soluté en nappe depuis le plan d'eau des Gabelins, dont l'allure et l'évolution vers l'aval sont représentées sur la **Figure 13**, **Figure 14** et **Figure 15**. Les pollutogrammes calculés sont indiqués sur la **Figure 16**.

Le régime permanent du panache est atteint au bout d'environ 2 ans en aval du modèle (cours de la Bialle) : le panache présente alors son extension maximale et stabilisée à partir de ce temps.

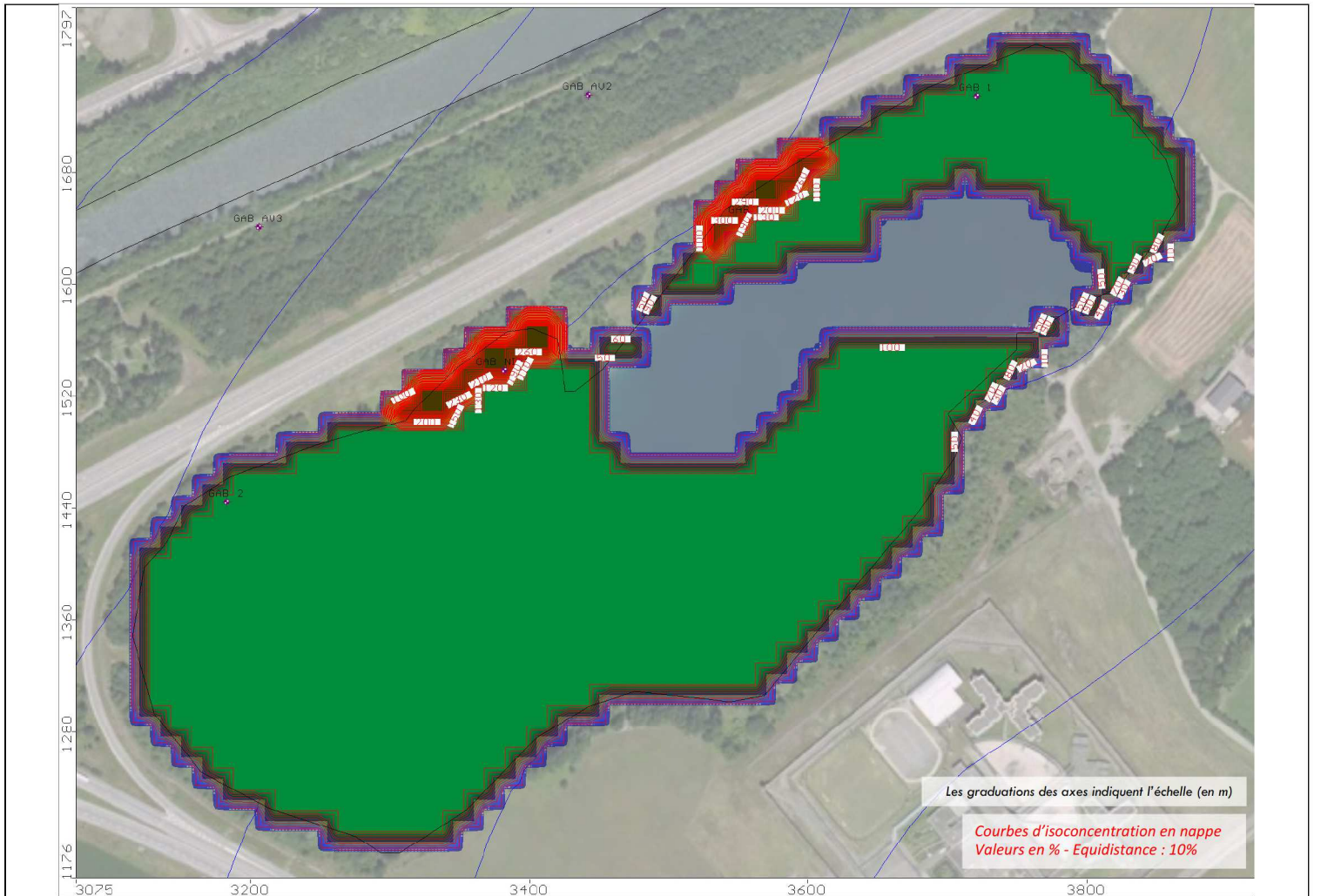
Dans l'emprise du panache, on distingue nettement les remblais inertes (zones sources à la concentration relative  $C_0$  de 100%) et les remblais pollués (à la concentration relative de 300%).

On s'intéresse particulièrement à l'extension et la concentration du panache au droit des cibles représentées à l'aval du projet par les forages AEP privés F2 et F3, et par le cours de la Bialle (usage pêche de loisirs). Les concentrations maximales calculées sur ces cibles sont les suivantes :

- 30 à 40 % de la concentration  $C_0$  respectivement pour F3 et F2 ;
- entre 0 et 15% de la concentration  $C_0$  pour la Bialle, selon les tronçons considérés du cours d'eau.

Pour les forages F2 et F3, on procède au calcul transposant ces résultats relatifs en concentrations absolues de départ pour les substances fluorure et sulfate afin de les comparer aux concentrations maximales admissibles (CMA) établies pour l'eau potable :

- pour l'ion fluorure, au comportement très soluble,  $C_0$  vaut 1 mg/L (concentration du lixiviat d'un déchet inerte à la limite réglementaire de 10 mg/kg MS : cf. **Tableau 1**), et  $C_0'$  vaut 3 mg/L. Aux forages F3 et F2, les concentrations absolues calculées sont alors respectivement de 0,3 et 0,4 mg/L. Ces valeurs sont inférieures d'un facteur 3,5 à 5 à la CMA (1,5 mg/L). Compte tenu des considérations pessimistes prises en compte pour la simulation, on peut conclure à l'absence d'incidence significative pour l'usage eau potable de ces deux forages pour l'ion fluorure ;
- pour l'ion sulfate, au comportement très soluble également,  $C_0$  vaut 100 mg/L (concentration du lixiviat d'un déchet inerte à la limite réglementaire de 1000 mg/kg MS) ; et  $C_0'$  vaut 300 mg/L. Aux forages F3 et F2, les concentrations absolues calculées sont alors de 30 et 40 mg/L, valeurs inférieures d'un facteur 6 à 8 à la CMA (250 mg/L). Là aussi, étant donné les considérations pessimistes prises en compte pour la simulation, on peut conclure à l'absence d'incidence significative pour l'usage eau potable de ces deux forages pour l'ion sulfate.



Temps initial t = 0 jours – Vue en plan de la gravière remblayée (niveau supérieur)

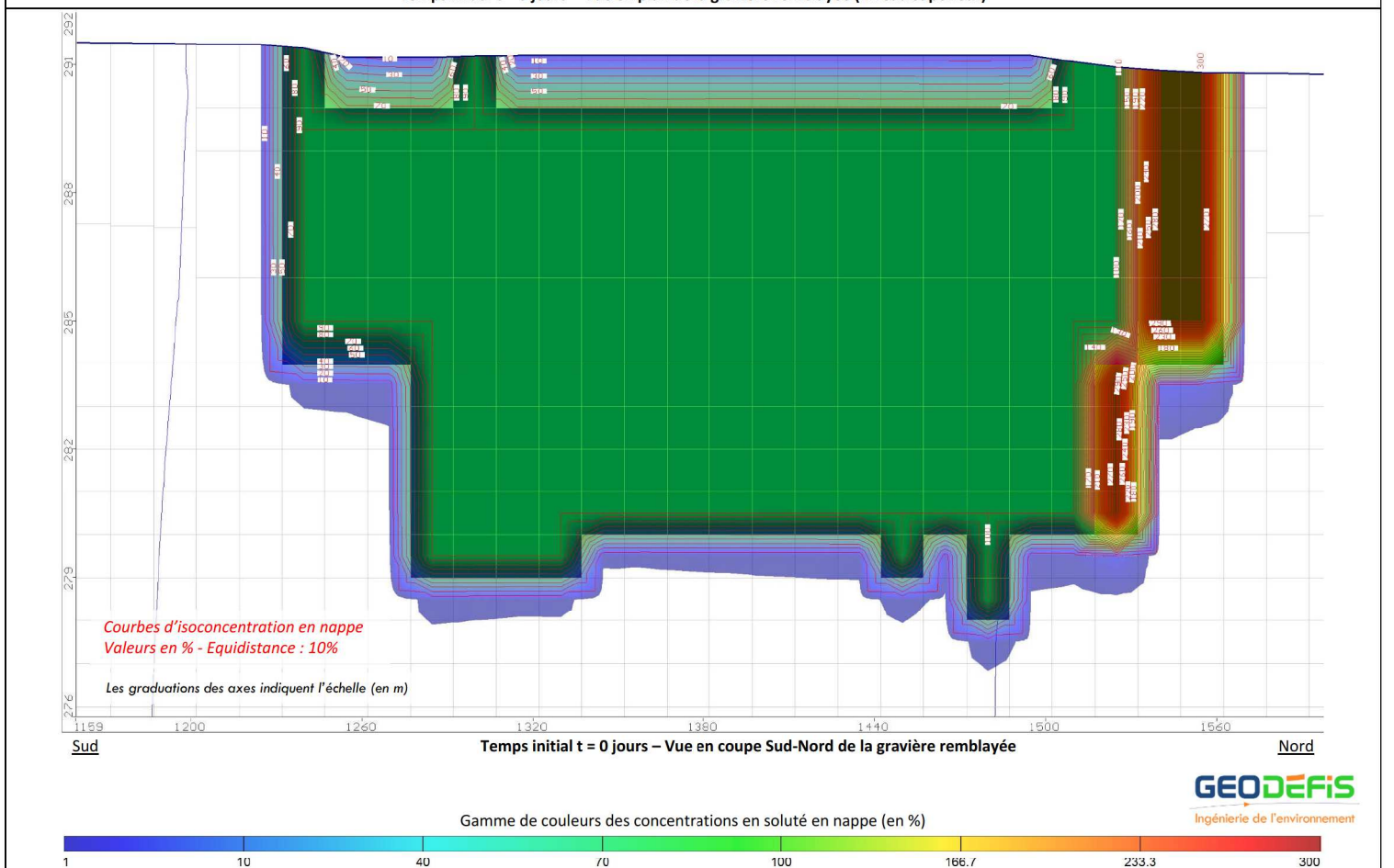
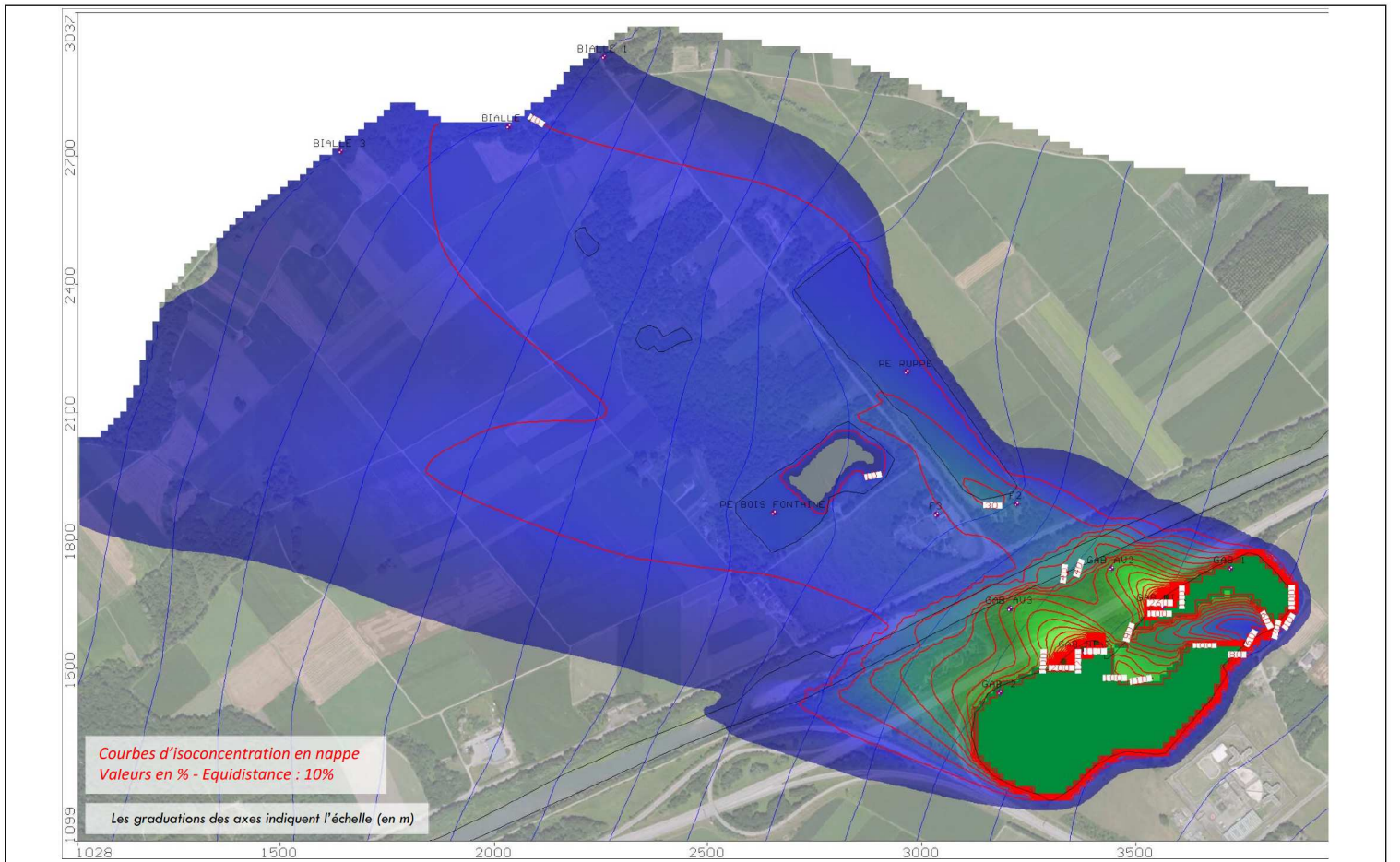
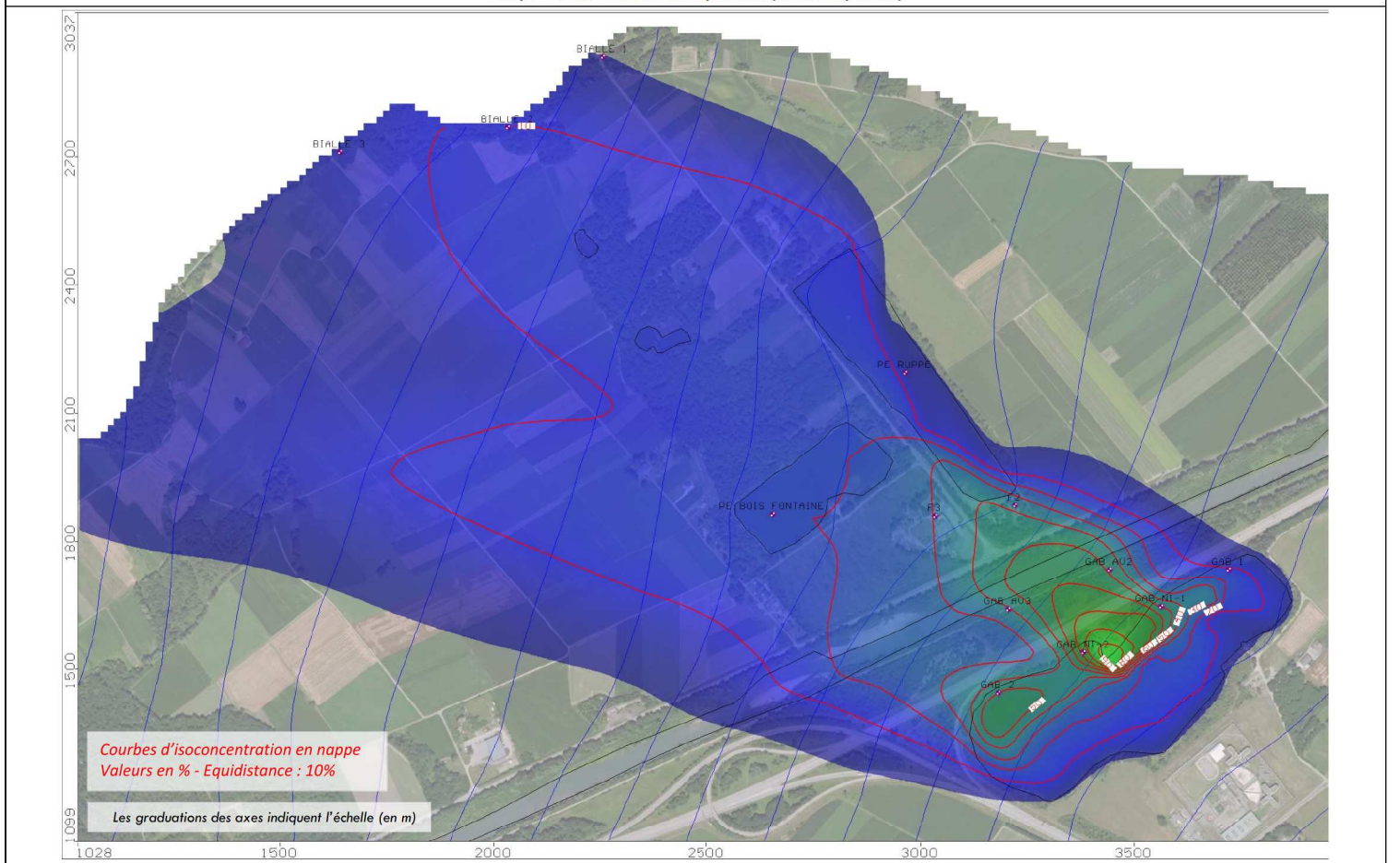


Figure 13 Simulation P1 (soluté) - Emprise du panache de concentration en nappe (1/3)



Temps t = 1 an – Extension du panache (niveau supérieur)

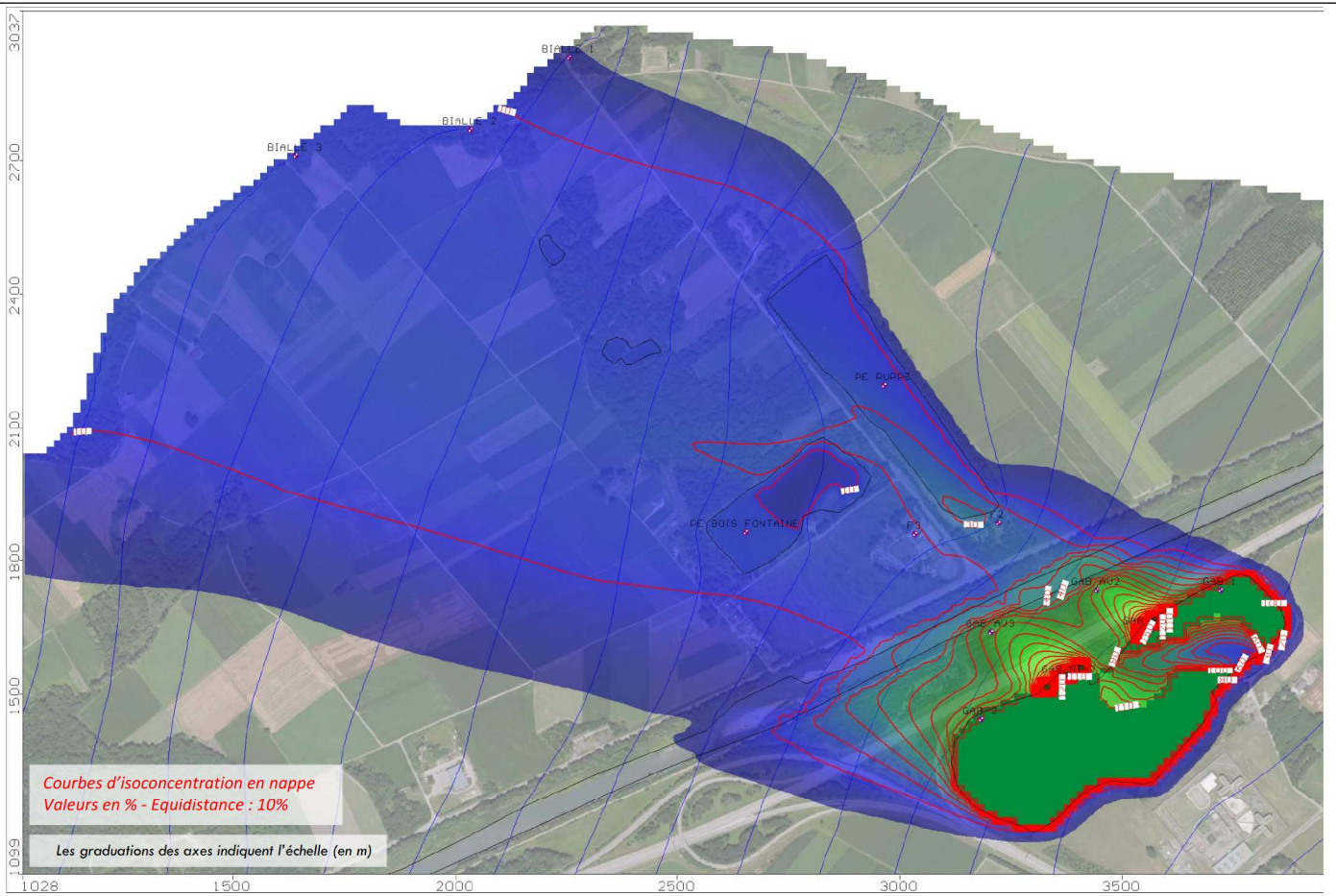


Temps t = 1 an – Extension du panache (niveau inférieur)

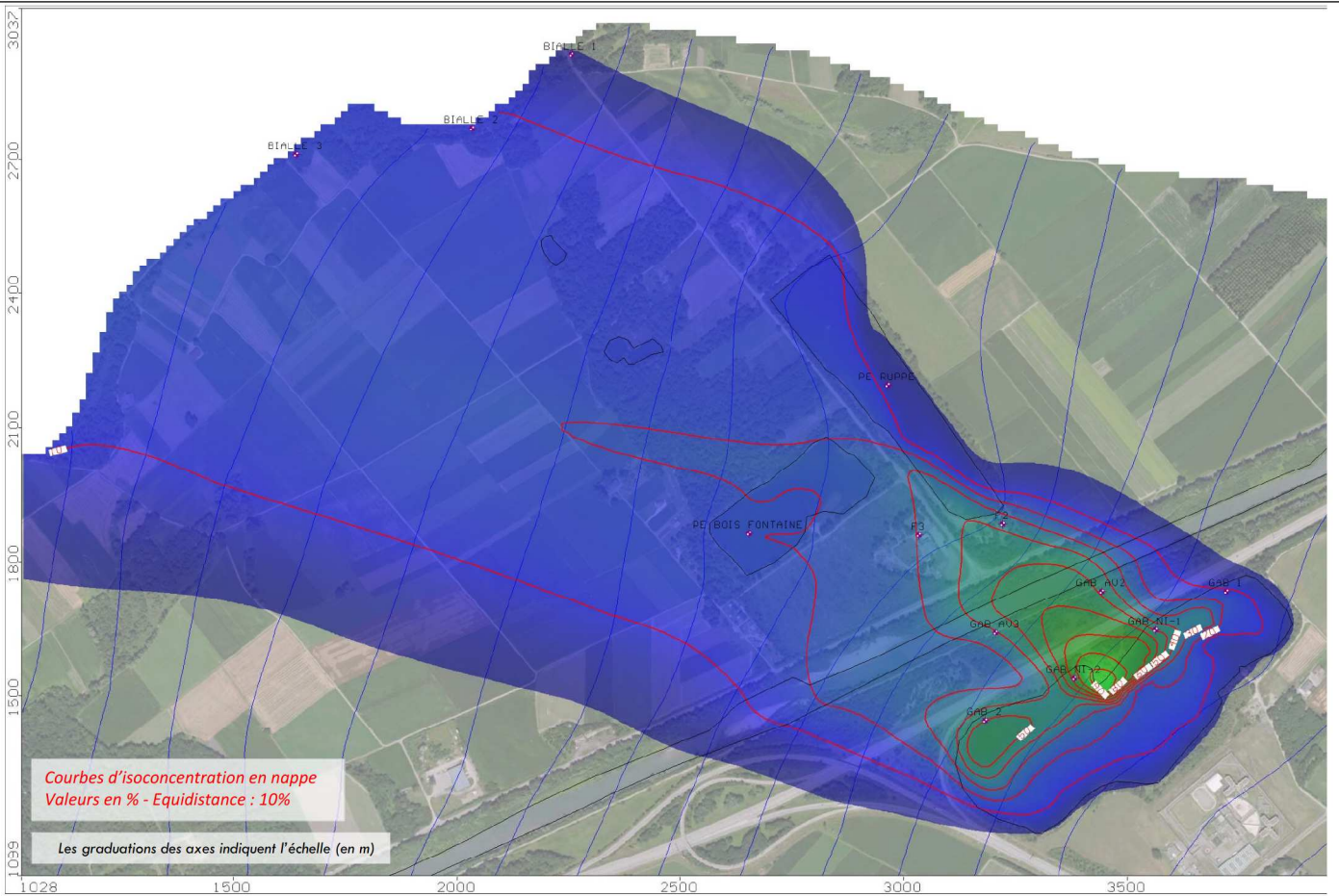
Gamme de couleurs des concentrations en soluté en nappe (en %)



Figure 14 Simulation P1 (soluté) - Emprise du panache de concentration en nappe (2/3)



Temps t = 2 ans ou plus – Extension du panache (niveau supérieur)



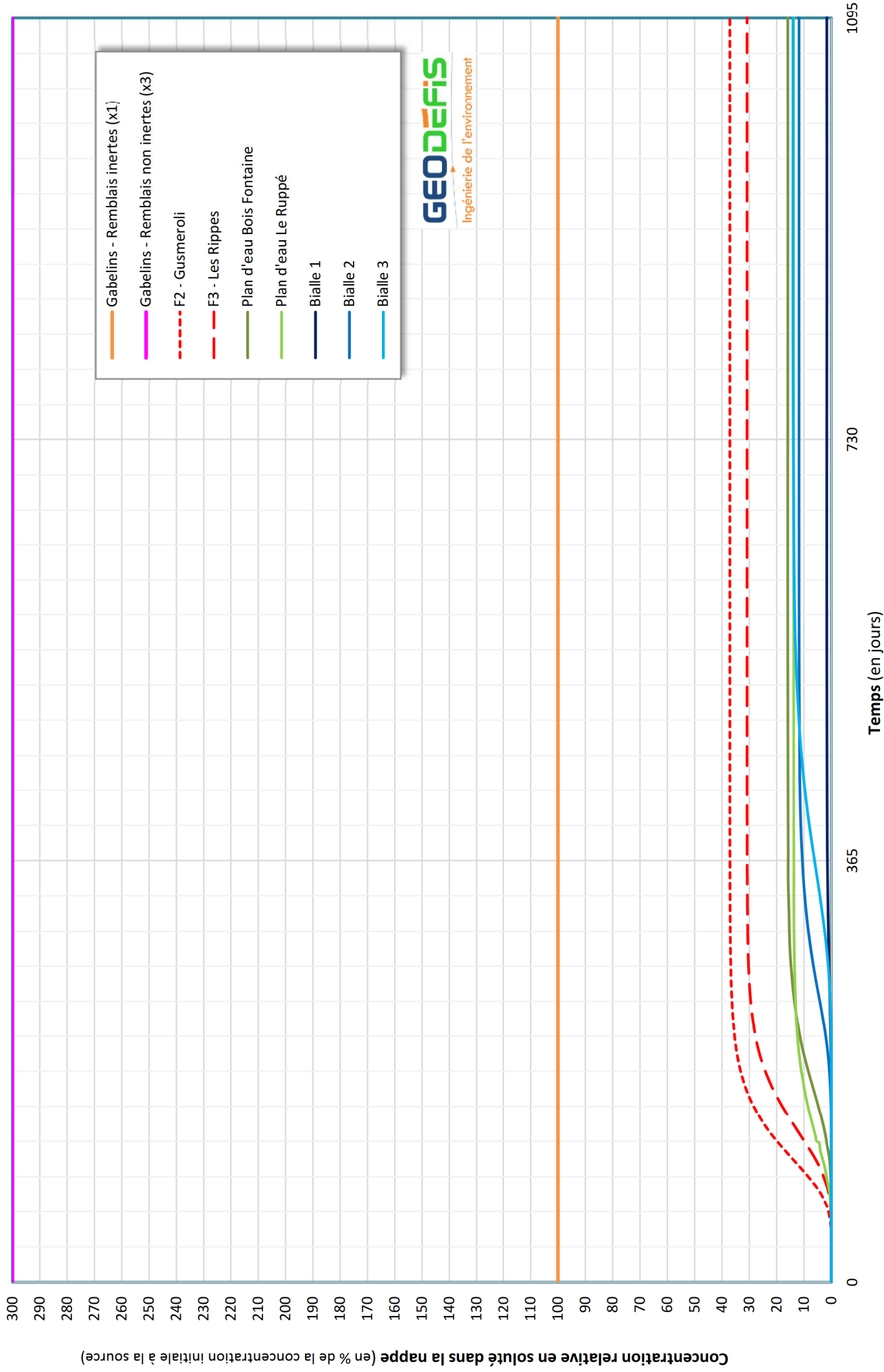
Temps t = 2 ans ou plus – Extension du panache (niveau inférieur)

Gamme de couleurs des concentrations en soluté en nappe (en %)



Figure 15 Simulation P1 (soluté) - Emprise du panache de concentration en nappe (3/3)





**Figure 16** Pollutogrammes calculés pour la simulation P1 (soluté)

### 4.3 Résultats de la simulation P2-As (arsenic)

Les résultats de la simulation P2 pour la dispersion de l'arsenic en nappe depuis les remblais du plan d'eau sont présentés en **Figure 17**, **Figure 18** et **Figure 19** pour les cartes, et en **Figure 20** pour les pollutogrammes.

Du fait de la prise en compte des mécanismes d'adsorption du polluant sur la matrice solide de l'aquifère, le temps d'établissement du régime permanent du panache est plus long que dans la simulation P1 (pas d'adsorption). La simulation est ici conduite sur une durée de 20 années.

Au droit des remblais, on distingue les deux zones permanentes de concentration d'entrée en nappe en arsenic : à 0,05 mg/L pour les remblais inertes et à 0,15 mg/L pour les deux corps de remblais considérés pollués.

Au niveau des forages AEP privés F2 et F3 et pour la Bialle, les concentrations maximales calculées sont les suivantes (au temps de la simulation  $t = 20$  ans) :

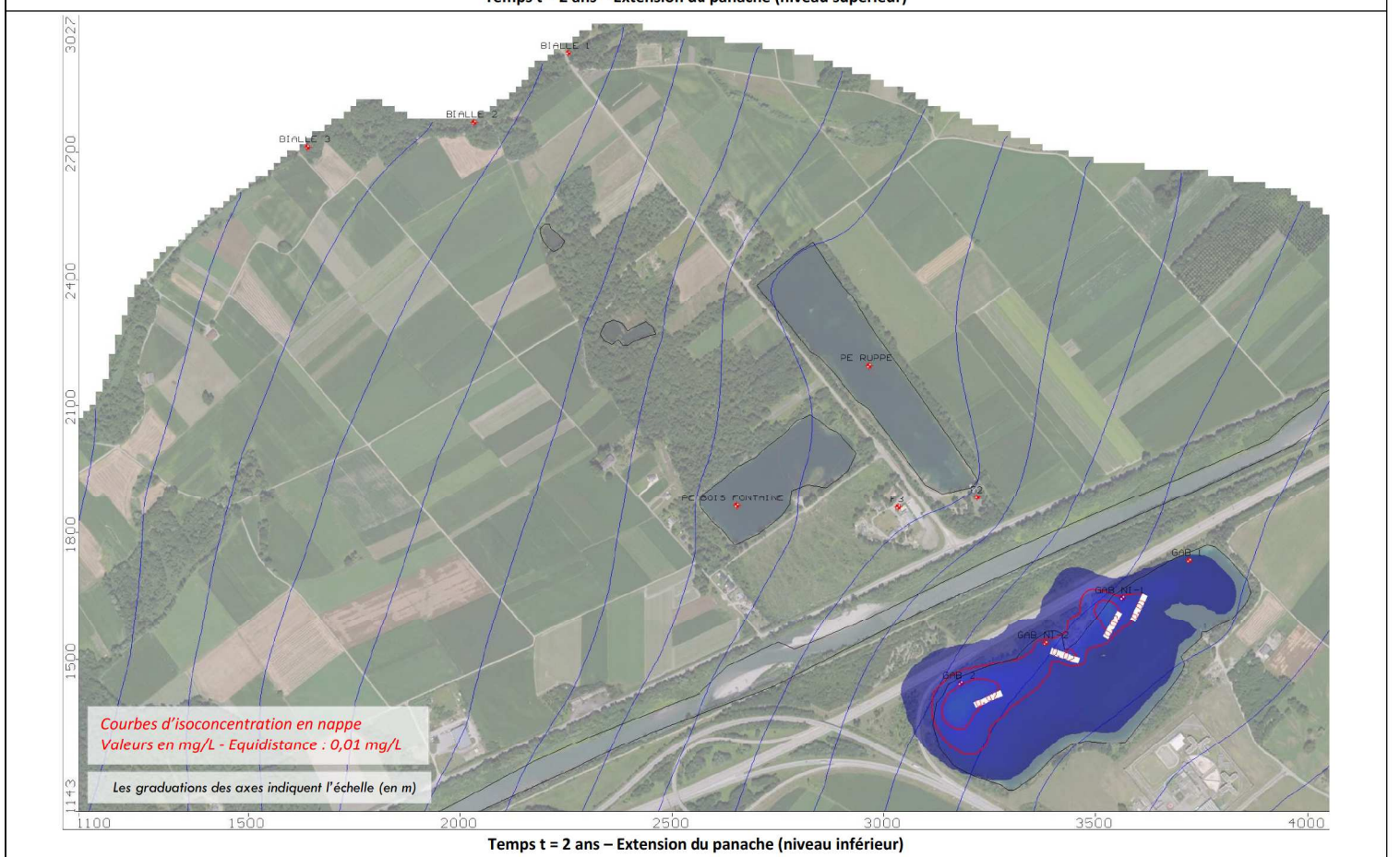
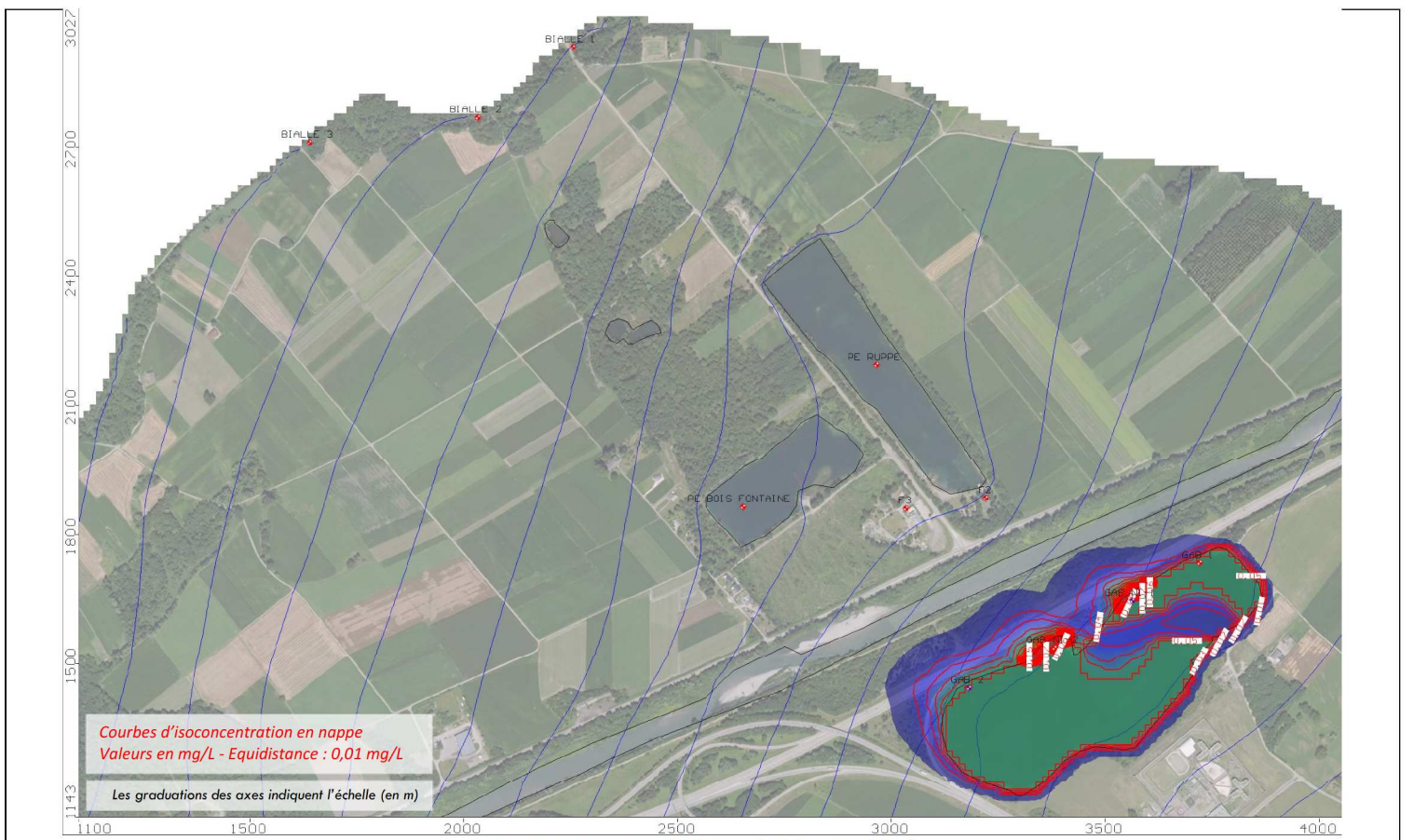
- 0,030 mg/L et 0,024 mg/L respectivement pour F3 et F2 ;
- entre 0 et 0,004 mg/L pour la Bialle, selon les tronçons considérés du cours d'eau.

On relève également les concentrations en arsenic calculées au sein des plans d'eau du Ruppé et de Bois Fontaine, respectivement à 0,007 mg/L et 0,020 mg/L au maximum.

Pour l'usage AEP, on constate que les concentrations calculées dépassent la CMA fixée à 0,010 mg/L, d'un facteur 2 à 3 environ. Cet impact théorique est toutefois à nuancer du fait des conditions maximales et pessimistes qui sont retenues pour la simulation. En réalité dans les conditions naturelles, les phénomènes d'équilibres physico-chimiques, de lixiviation et de solubilisation des polluants depuis un déchet solide, ne sont jamais atteints à leur maximum, et sont souvent inférieurs de plusieurs ordres de grandeur à ceux étudiés en conditions de laboratoire.

En outre, on rappelle que le coefficient d'équilibre  $K_D$  pris en compte pour les mécanismes d'adsorption de l'arsenic sur la matrice solide de l'aquifère a été choisi de façon la plus pessimiste à défaut de connaissance précise des caractéristiques propres de l'aquifère (granulométrie détaillée, pH des eaux souterraines, taux de matières organiques, etc.).

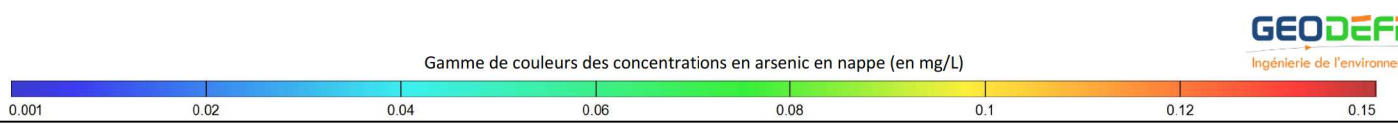
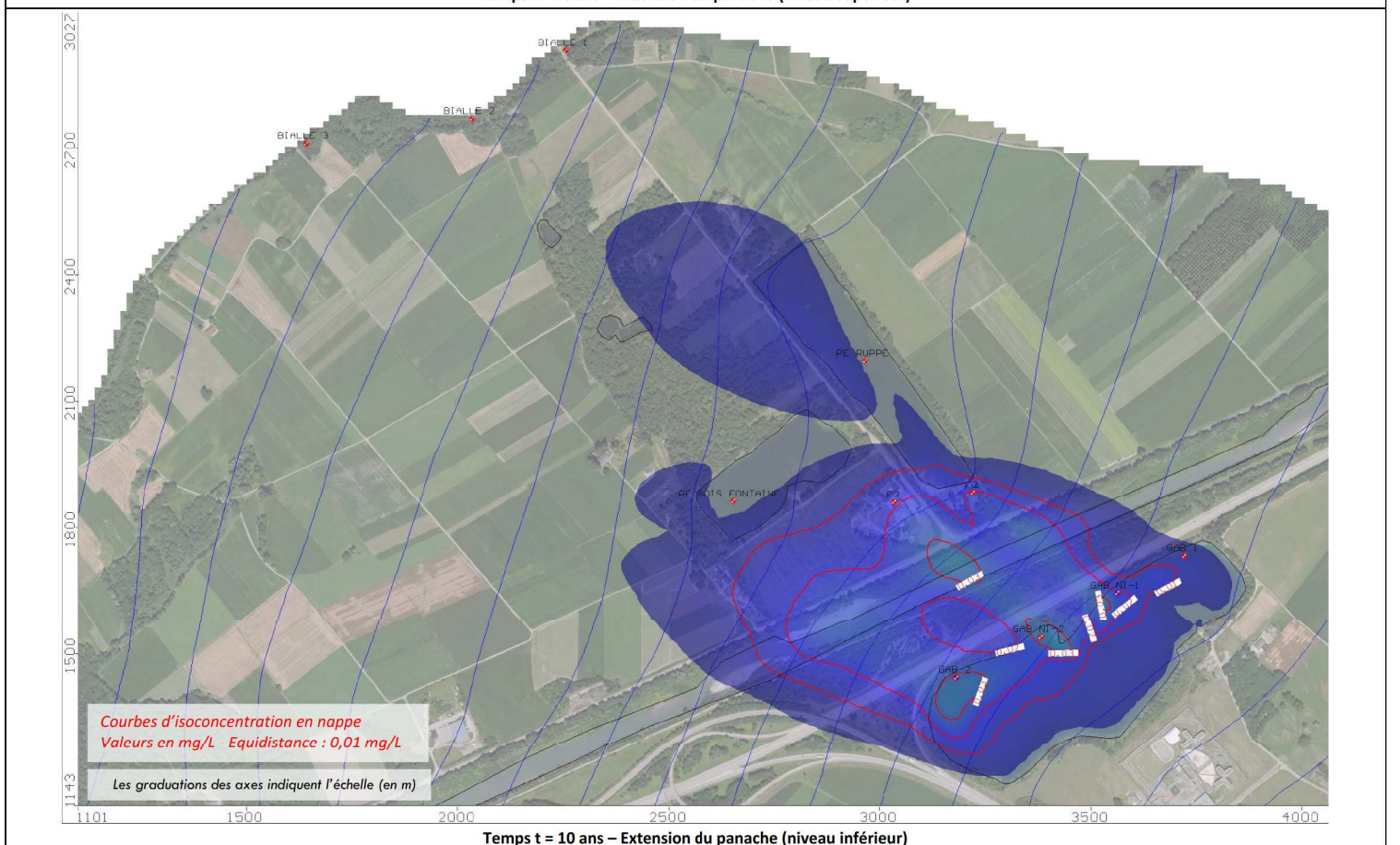
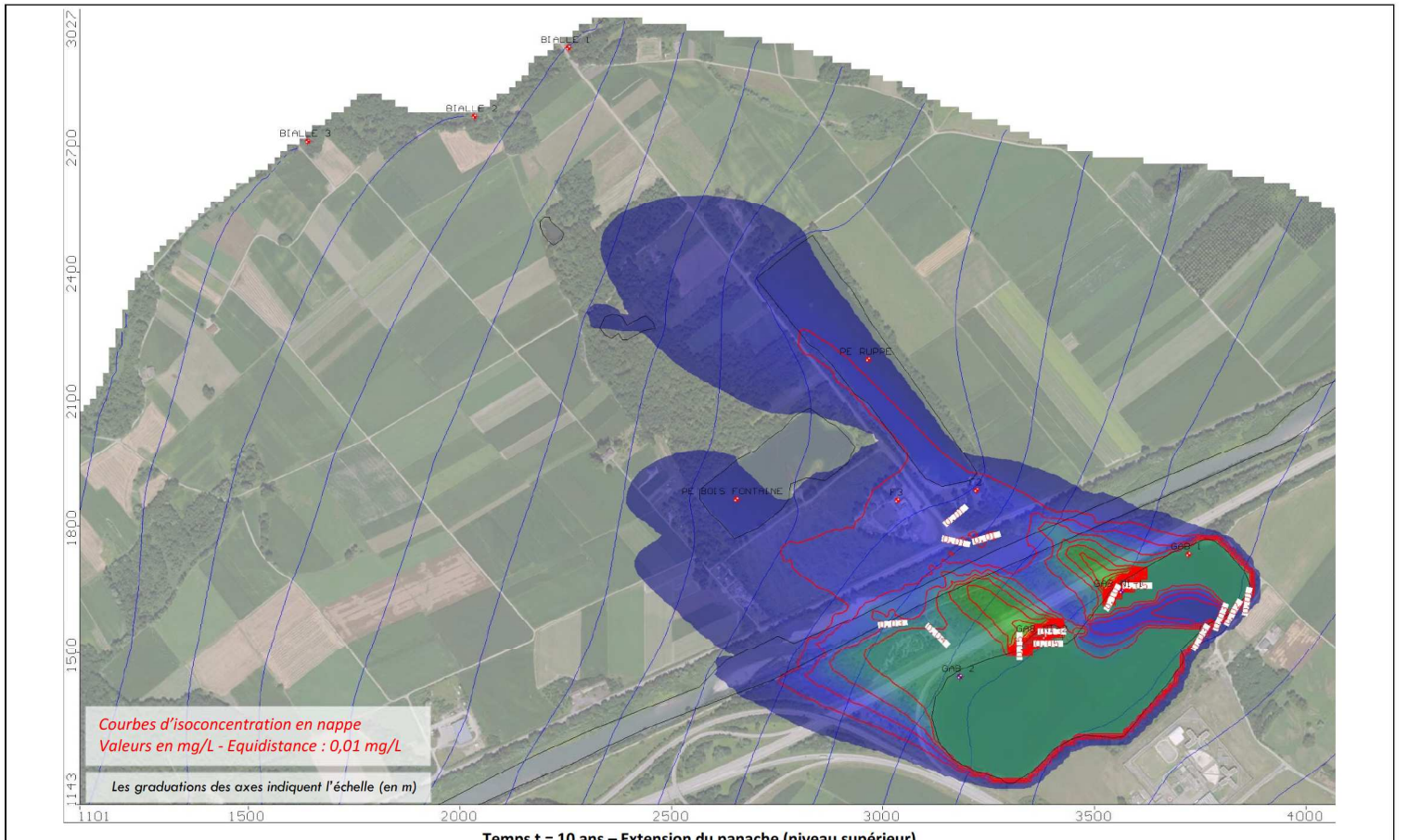
En conclusion, il est donc probable que la mise en œuvre accidentelle de remblais pollués dans le plan d'eau des Gabelins dans les conditions considérées en volume, localisation et concentration, n'implique en réalité qu'un impact limité sur la qualité des eaux captées aux forages F2 et F3, et ne soit pas nécessairement déclassant pour leur usage AEP.



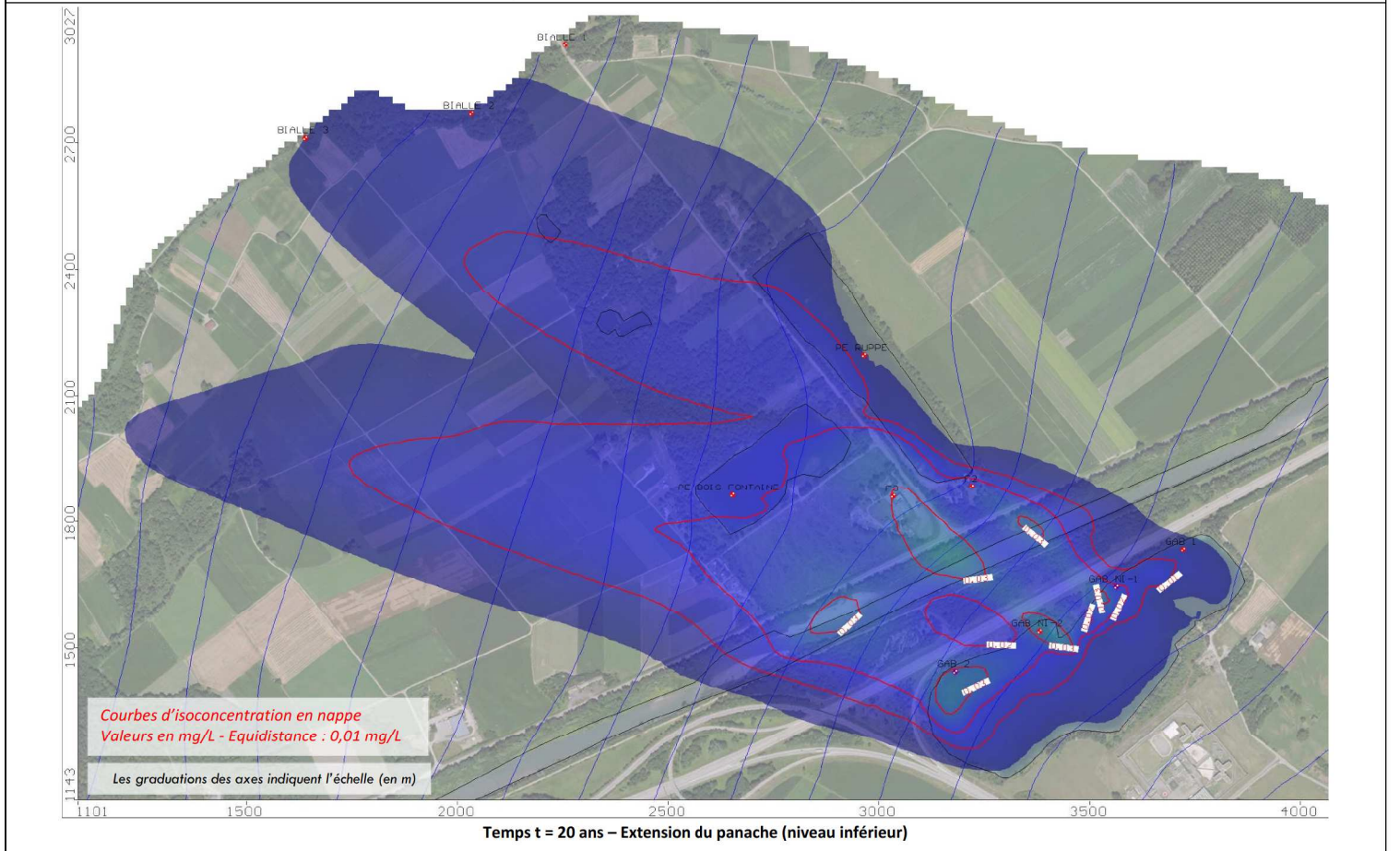
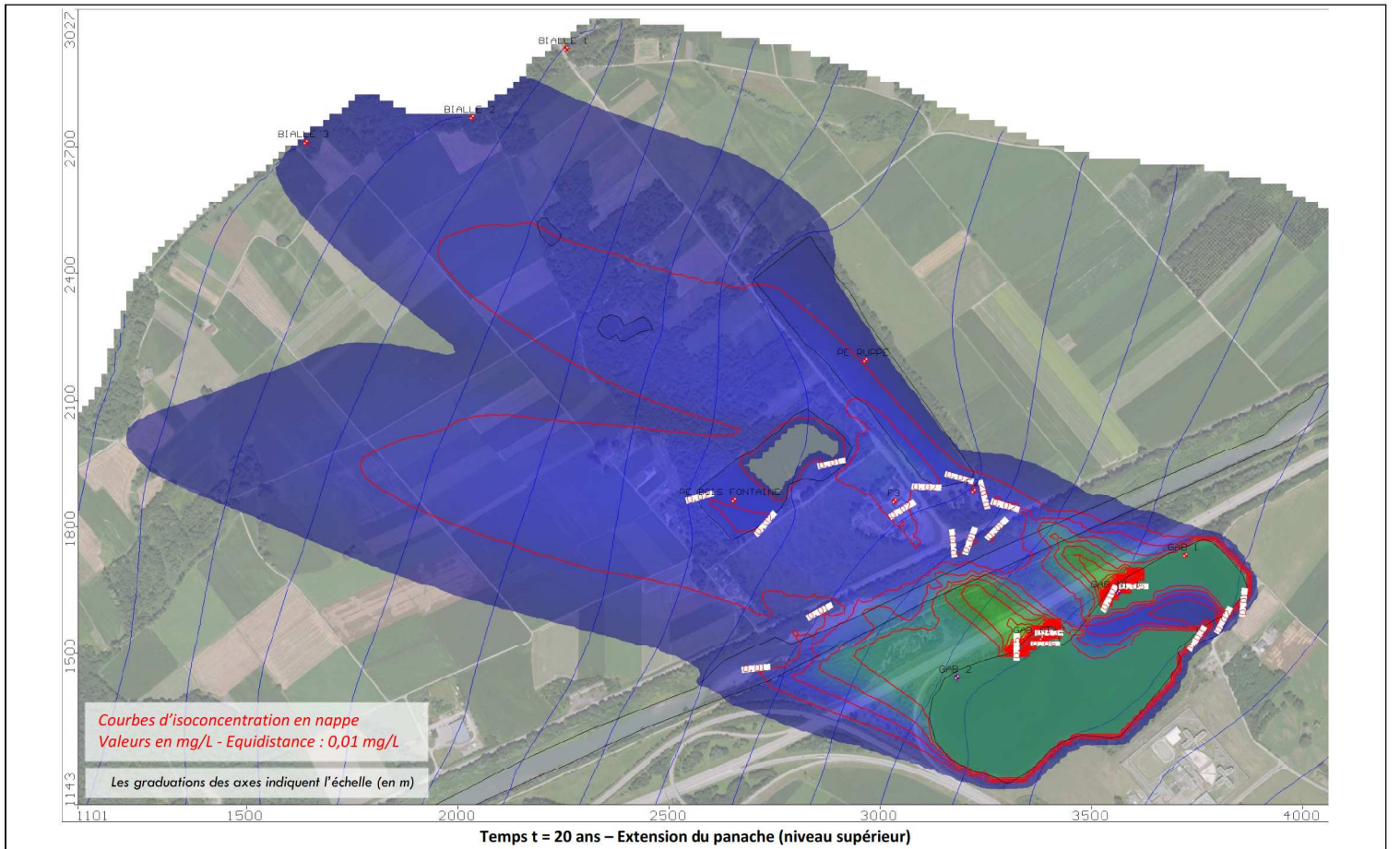
Gamme de couleurs des concentrations en arsenic en nappe (en mg/L)



**Figure 17** Simulation P2 (arsenic) - Emprise du panache de concentration en nappe (1/3)



**Figure 18** Simulation P2 (arsenic) - Emprise du panache de concentration en nappe (2/3)



**Figure 19** Simulation P2 (arsenic) - Emprise du panache de concentration en nappe (3/3)



**Figure 20** Pollutogrammes calculés pour la simulation P2 (arsenic)

#### 4.4 Résultats de la simulation P3-Sb (antimoine)

Les résultats de la simulation P3 pour la dispersion de l'antimoine en nappe depuis les remblais du plan d'eau sont présentés en pour les cartes, et en **Figure 20** pour les pollutogrammes.

La simulation est ici conduite sur une durée de 40 années.

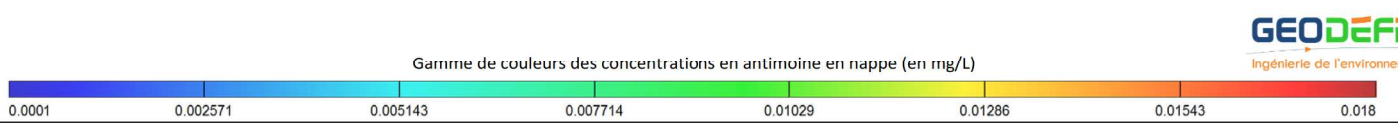
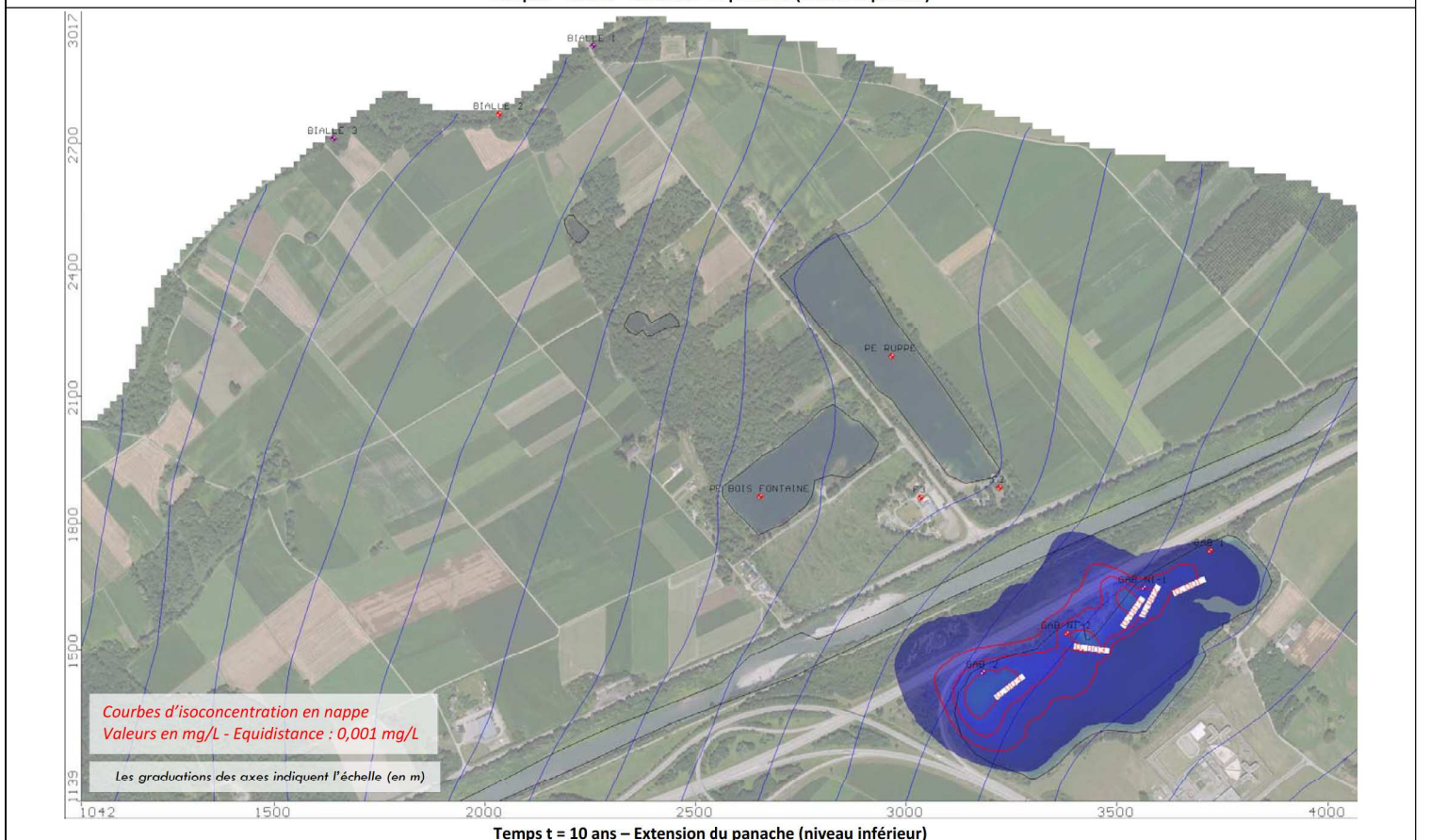
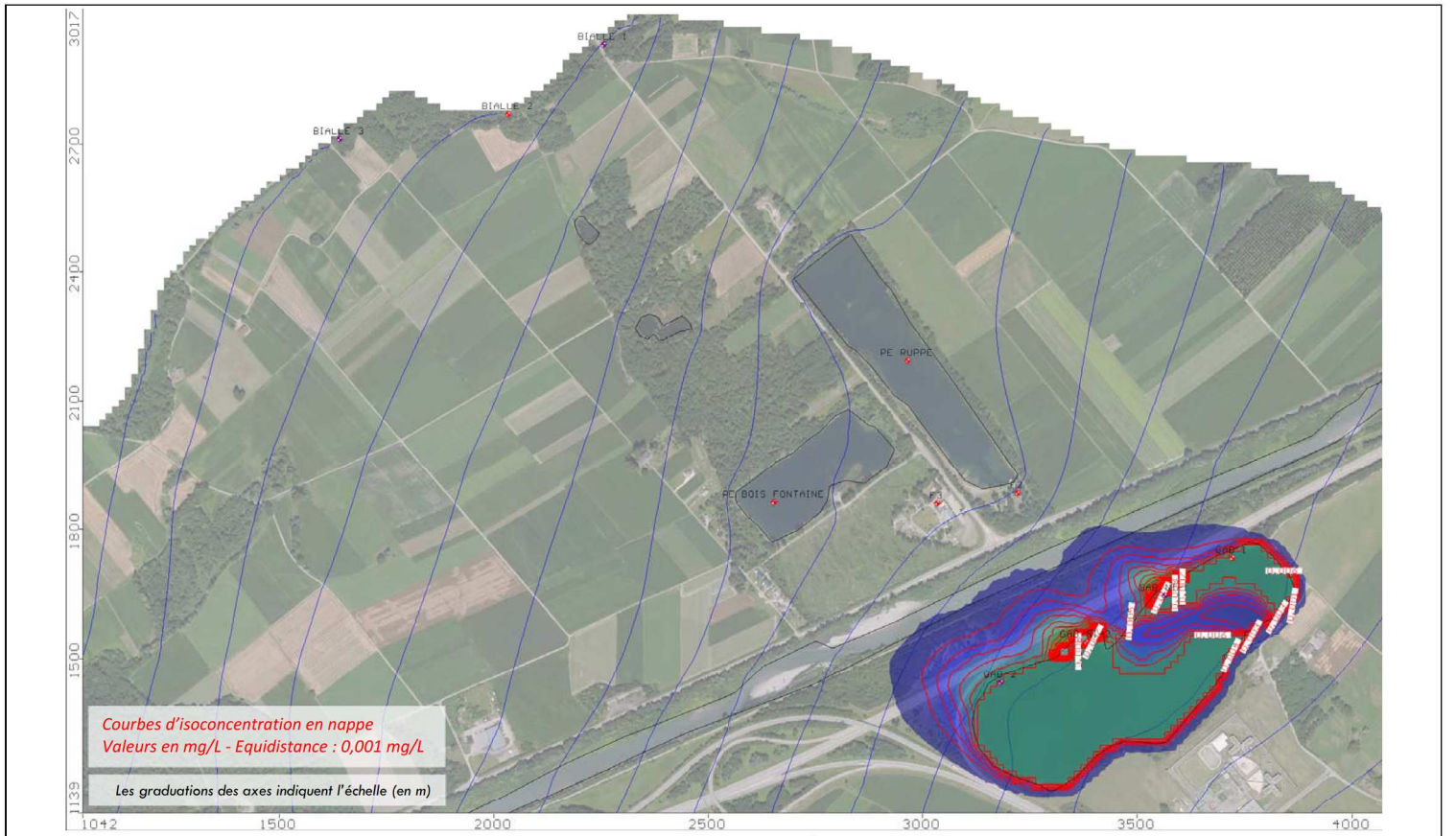
Au droit des remblais, on distingue les deux zones permanentes de concentration d'entrée en nappe en antimoine : à 0,006 mg/L pour les remblais inertes, et à 0,018 mg/L pour les deux corps de remblais considérés pollués.

Au niveau des forages AEP privés F2 et F3, les concentrations maximales calculées sont les suivantes (au temps de la simulation  $t=40$  ans) : 0,0032 mg/L et 0,0027 mg/L respectivement pour F3 et F2. Le panache n'atteint pas significativement ces forages avant le temps  $t=15$  ans, ce qui illustre la migration extrêmement lente de l'antimoine vers l'aval.

Ainsi, le cours de la Bialle n'est pas atteint par le panache d'antimoine, même au temps final de la simulation (40 ans).

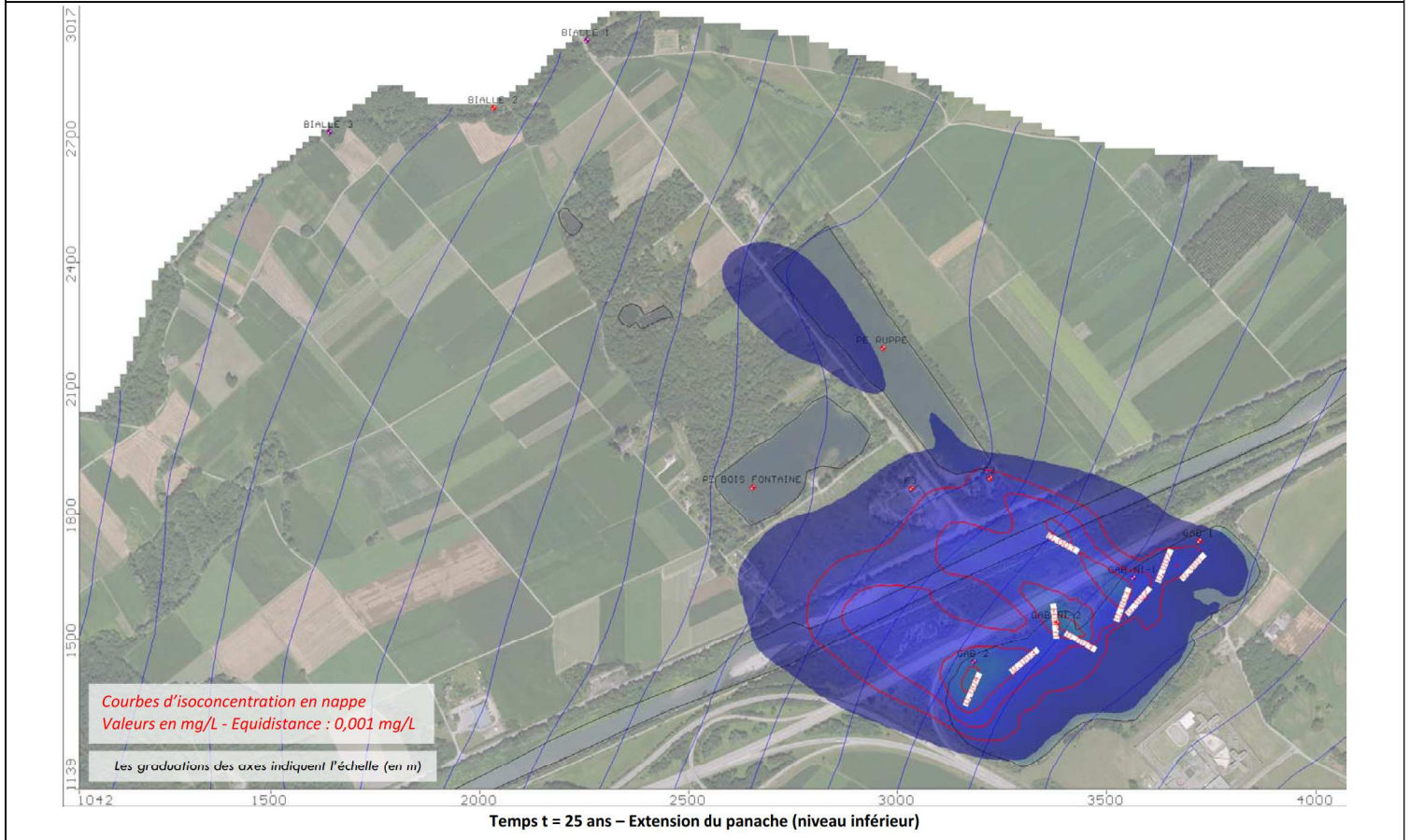
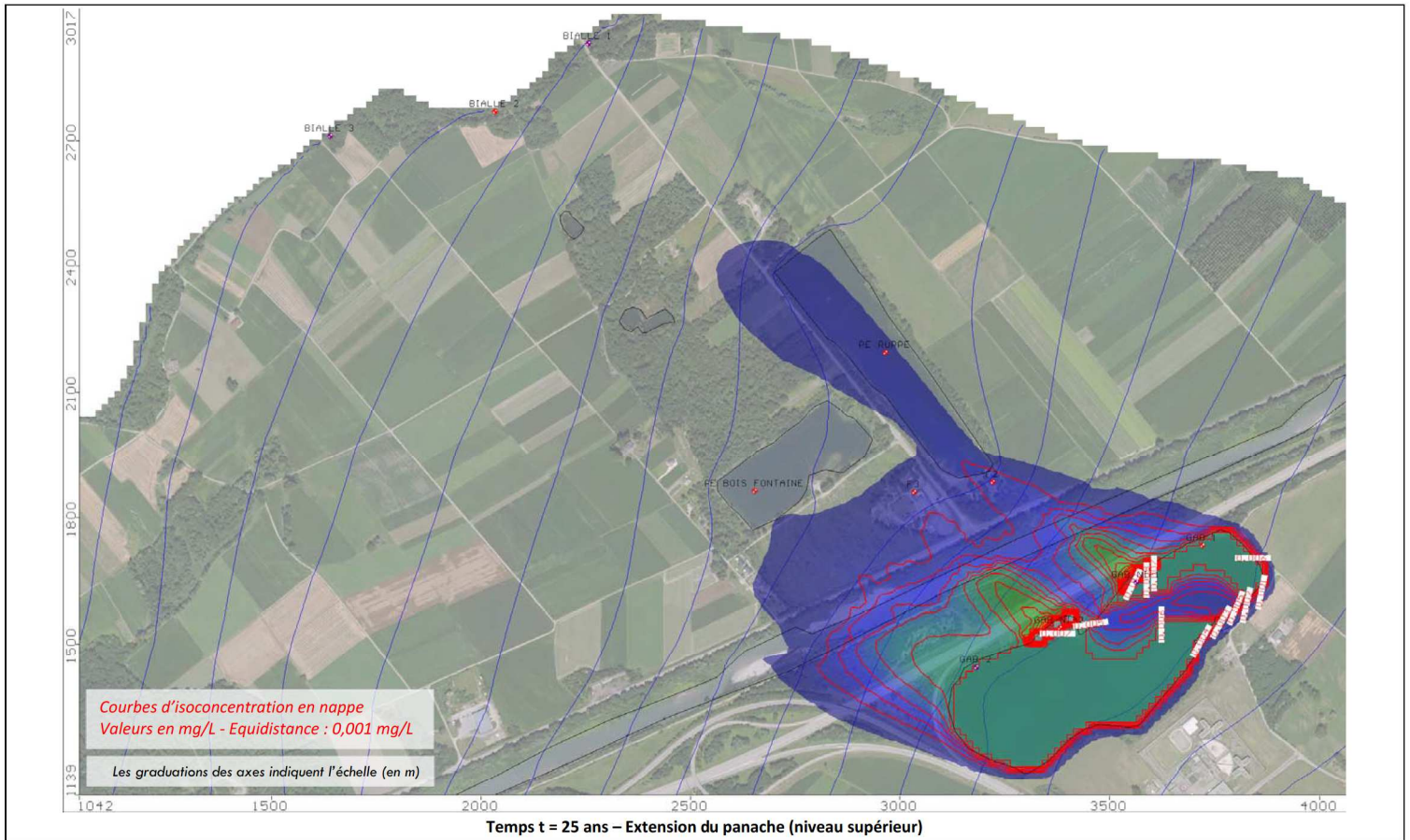
Les concentrations en calculées au sein des plans d'eau du Ruppé et de Bois Fontaine sont de l'ordre de 0,001 mg/L au temps final de la simulation.

Les concentrations calculées en antimoine aux forages F2 et F3 restent inférieures d'un facteur d'environ 2, à la CMA fixée pour l'eau potable à 0,005 mg/L.

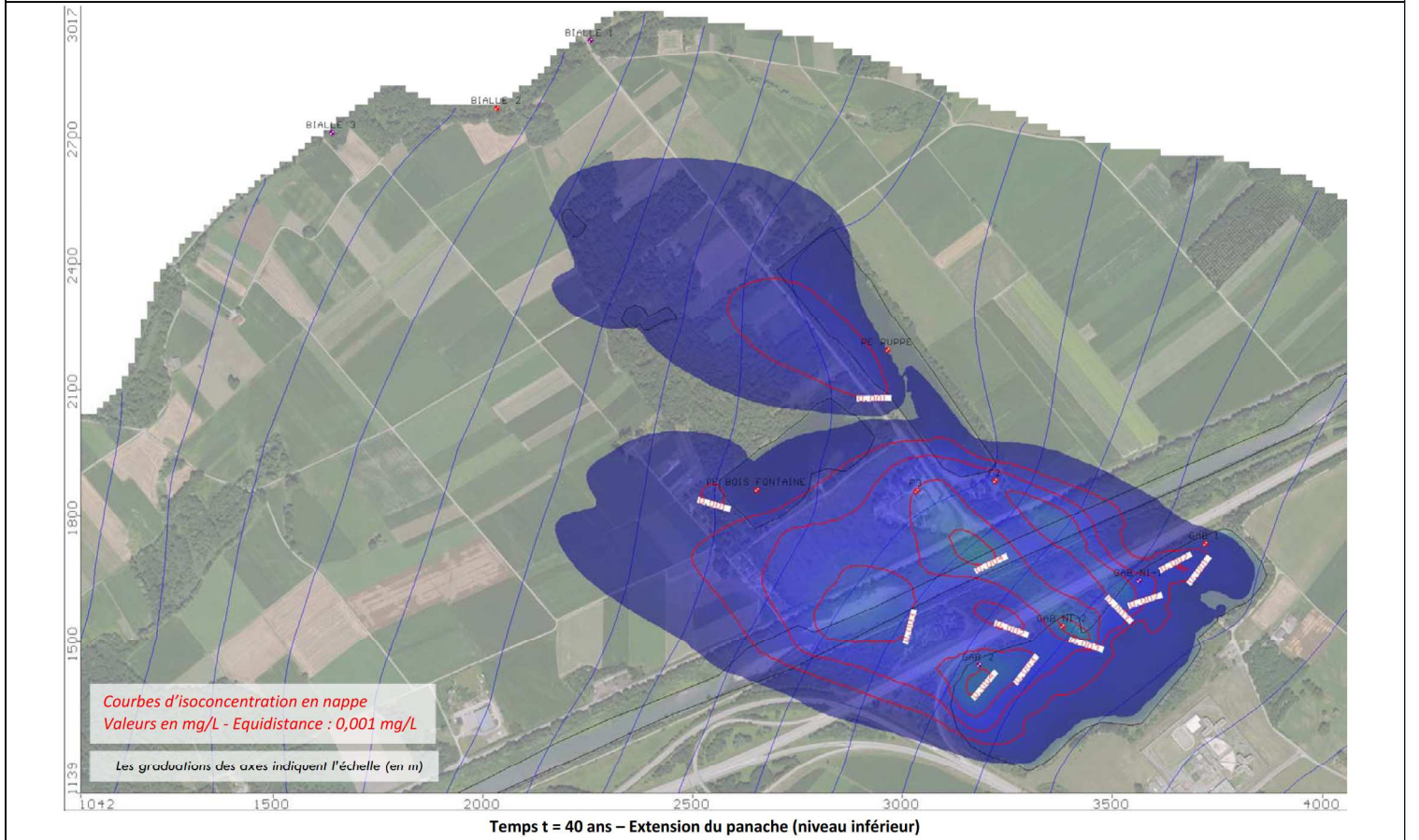
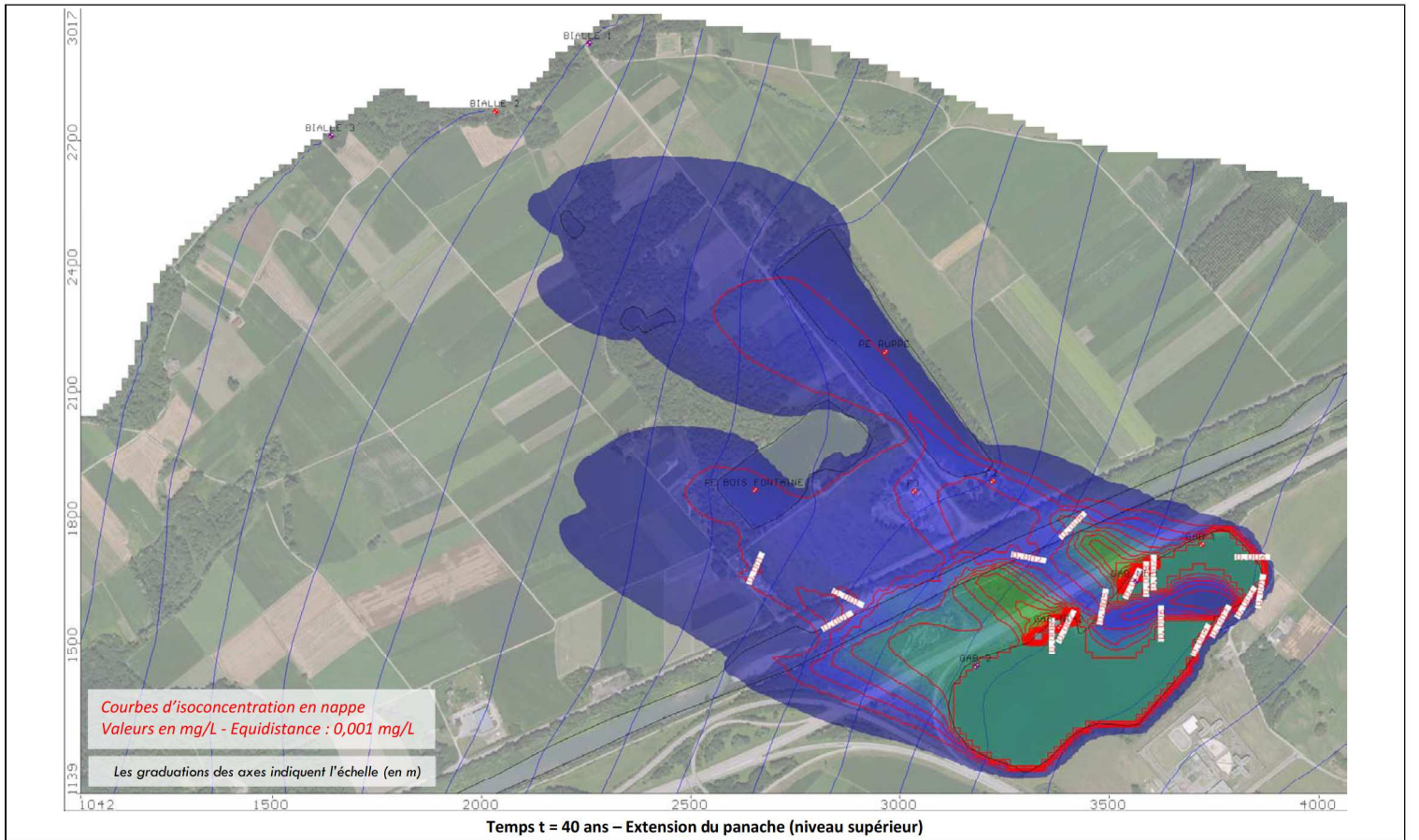


**Figure 21** Simulation P3 (antimoine) - Emprise du panache de concentration en nappe (1/3)





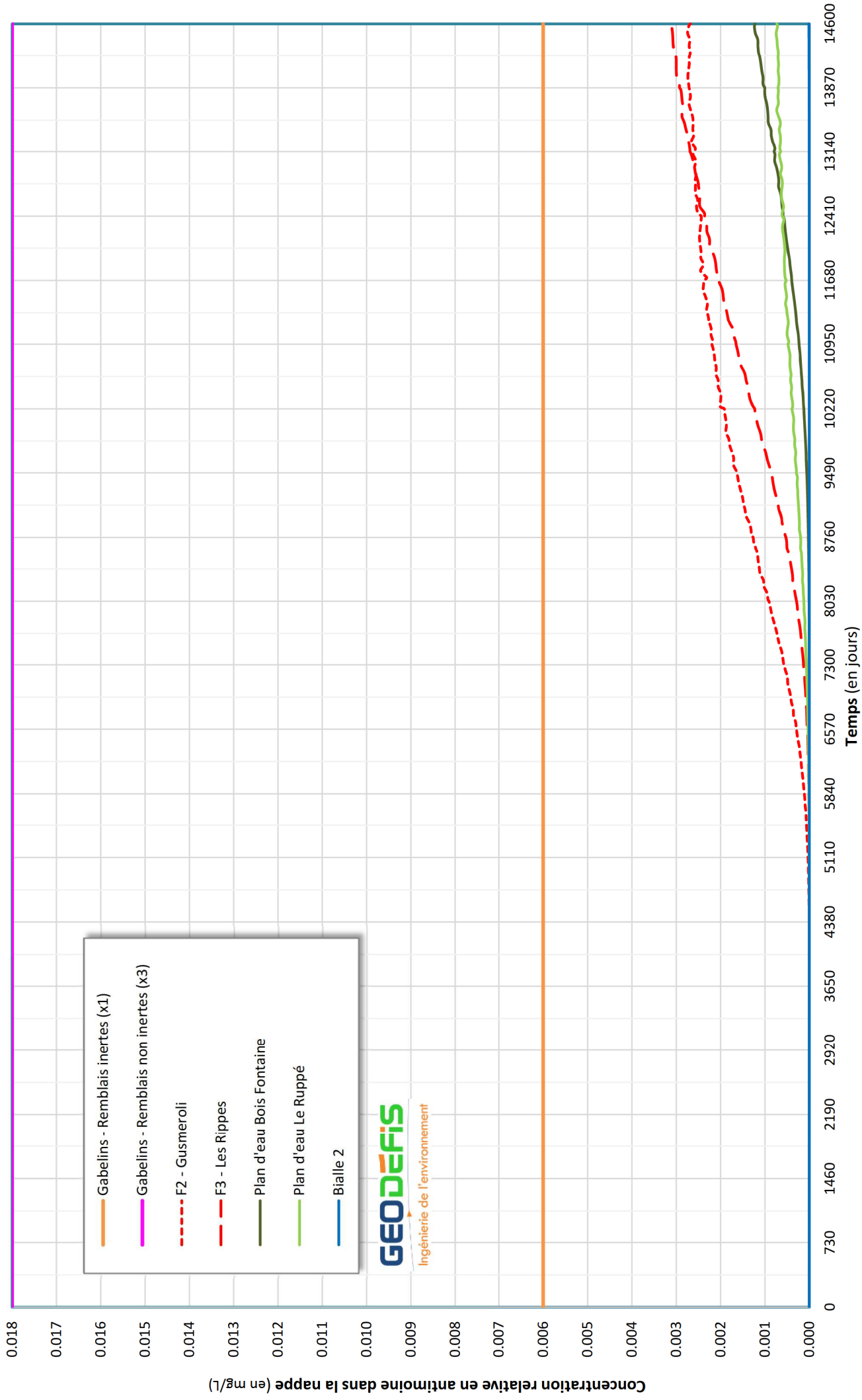
**Figure 22** Simulation P3 (antimoine) - Emprise du panache de concentration en nappe (2/3)



Gamme de couleurs des concentrations en antimoine en nappe (en mg/L)



**Figure 23** Simulation P3 (antimoine) - Emprise du panache de concentration en nappe (3/3)



**Figure 24** Pollutogrammes calculés pour la simulation P3 (antimoine)

## 5. Conclusions et recommandations pour le projet

Une étude de modélisation hydrogéologique de plaine alluviale du confluent Arc-Isère, encadrant largement le plan d'eau des Gabelins et son projet de réaménagement par remblaiement partiel, a été conduite. Cette modélisation a pour objet l'évaluation quantitative des incidences du projet d'un point de vue hydrodynamique et hydrodispersif sur les eaux souterraines et leurs usages dont un inventaire actualisé a été réalisé.

### 5.1 Incidences hydrodynamiques

Les simulations numériques hydrodynamiques du projet de remblaiement du plan d'eau, étudiées selon deux hypothèses encadrant la perméabilité des matériaux mis en œuvre pour les remblais (simulations S1 et S2), déterminent des incidences piézométriques faibles du projet par rapport à l'état initial pris en référence.

En effet, hormis à proximité immédiate des zones remblayées du projet (incidences de l'ordre de 0,5 m d'augmentation ou de diminution du niveau de la nappe, respectivement en amont ou en aval hydrodynamique du plan d'eau), et à partir d'une distance de l'ordre de 250 m environ depuis les berges actuelles du plan d'eau des Gabelins, les incidences piézométriques calculées du projet deviennent insignifiantes en valeur absolue (inférieures à 0,1 m).

La faiblesse de ces incidences est encore plus notable si on les rapporte aux battements naturels de la nappe évalués entre 0,6 et 1 m environ.

Ainsi, le projet de réaménagement du plan d'eau des Gabelins, dans les conditions étudiées et hypothèses retenues, n'est pas de nature à impacter significativement les usages quantitatifs des eaux souterraines inventoriés à la date du présent rapport. Il n'est en effet pas attendu de situations nouvelles ou de conséquences imprévues en terme de niveaux altimétriques absolus de la nappe au regard des battements naturels initiaux.

Néanmoins, il est à retenir que le rehaussement, même faible (compris entre 10 et 30 cm environ), du niveau de la nappe en amont hydrodynamique du projet, présentera un caractère permanent à compter de la fin des travaux de réaménagement, ce qui concourt à augmenter la fréquence et/ou la durée des périodes de nappe haute par rapport à l'état initial. Cette remarque est identiquement valable pour les périodes de nappe basse en ce qui concerne le secteur en aval hydrodynamique du plan d'eau des Gabelins où le projet induit une diminution du niveau de nappe (comprise entre 10 et 50 cm environ).

### 5.2 Incidences sur la qualité des eaux pour les paramètres étudiés

#### 5.2.1 Pour les paramètres étudiés par modélisation hydrodispersive

Du point de vue de la qualité des eaux pour les polluants étudiés au moyen des simulations hydrodispersives (soluté, arsenic et antimoine), les résultats de la modélisation ne montrent aucune incidence notable du projet pour les solutés et l'antimoine sur la qualité des eaux captées pour l'eau potable aux deux forages privés situés en aval (Les Rippes, et Gusmeroli). La seule incidence identifiée concerne uniquement l'arsenic avec l'atteinte ou le dépassement modéré de la concentration maximale admissible réglementaire pour l'eau potable.

Toutefois, compte tenu des conditions très pessimistes et sécuritaires prises cumulativement en hypothèses pour les configurations polluantes et les mécanismes de dispersion décrits au rapport, il est en définitive peu probable que les incidences calculées soient réalisées dans la réalité. En effet :

- le maître d'ouvrage du projet prévoit une démarche de contrôles multiples et redondants à maillage serré pour vérifier la qualité des matériaux avant mise en remblai dans le plan d'eau (ces éléments sont précisés dans le dossier technique principal du pétitionnaire) ;