

Véronique Durand
Laboratoire GEOPS-CNRS
Bât 504
Université Paris Sud
91405 ORSAY Cedex

Branche Industrie & Nucléaire
ARTELIA Bâtiment & Industrie
47 Avenue de Lugo, CS 20349
94607 Choisy-le-Roi Cedex

**MISSION D'EXPERTISE SUR L'IMPACT
HYDROGEOLOGIQUE DES REJETS DU PROJET UNITECH
SUR LE CHAMP CAPTANT DE VECQUEVILLE**

TABLE DES MATIÈRES

I.	Introduction.....	4
II.	Hydrologie de la Marne.....	4
A.	Suivi aux stations hydrologiques.....	4
B.	Interpolations au droit du champ captant.....	5
III.	Contexte géologique régional et local.....	6
IV.	Fonctionnement hydrogéologique local.....	8
A.	Caractéristiques techniques du champ captant.....	8
B.	Essais par pompages au forage.....	9
C.	Modèle hydrogéologique.....	11
V.	Estimations des concentrations d'éléments retrouvées au champ captant.....	13
A.	Bilans de masse sans rétention.....	13
B.	Hypothèses de rétention dans le milieu.....	14
VI.	Conclusion.....	14
VII.	Remerciements.....	14
VIII.	Références.....	15

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. Localisation du site d'étude et des stations hydrologiques considérées sur la Marne	4
Figure 2. Débits mensuels aux stations hydrologiques	5
Figure 3. Cotes du niveau d'eau à différentes dates	5
Figure 4. Cotes altimétriques du terrain (échelle de couleurs) et de la Marne (étiquettes en italique) au sein du méandre de Vecqueville d'après le Référentiel à Grande Echelle (RGE) de l'IGN ; Cotes au sein des captages AEP (en italique) d'après les informations fournies par Artélia; Cotes de la Marne (étiquettes jaunes) d'après l'interpolation des niveaux le 24/01/2018 effectuée en Figure 3 ; lignes d'écoulements souterrains (en jaune) déduites des cotes hydrauliques de la Marne et des captages selon les différentes hypothèses.....	6
Figure 5. Log des formations rencontrées localement à l'affleurement.....	7
Figure 6. Extrait de la carte géologique de Joinville (issue de Geoportail), avec position du trait de coupe (trait noir épais NE-SW)	8
Figure 7. Coupe géologique NE-SW passant par Vecqueville au SW (au niveau de la Marne). Les formations représentées de la plus récente à la plus ancienne sont les suivantes : alluvions (en jaune), Valanginien (en vert, sur la bordure NE uniquement), Tithonien supérieur (en bleu clair, sur la bordure SW), Tithonien inférieur (bleu gris, formation majoritaire à l'affleurement), Kimméridgien Supérieur (en rose pale), Kimméridgien inférieur (en rose moyen)	8
Figure 8. Position des ouvrages du champ captant de Vecqueville (carrés rouges)	9
Figure 9. Rabattements au cours du temps mesurés au forage pour un débit de 44 m ³ /h.....	10
Figure 10. Rabattements au cours du temps mesurés au forage pour un débit de 39 m ³ /h.....	10
Figure 11. Schéma du pompage dans le forage	10
Figure 12. Emplacement de la grille du modèle par rapport à la Marne et au forage.....	11
Figure 13. Rabattements au cours du temps observés et simulés au forage pour différents jeux de paramètres	12
Figure 14. Courbes de rabattement simulées autour du forage et lignes d'écoulement associées (marques de temps de transfert indiquées tous les ans).....	13

I. INTRODUCTION

Le laboratoire GEOPS, en la personne de Véronique Durand, a été missionné par la société Artélia pour effectuer une expertise en hydrogéologie. Dans le cadre du projet UNITECH qui prévoit la construction d'une Installation Classée Pour l'Environnement, il est prévu de rejeter les effluents de l'activité industrielle, après traitement, directement dans la Marne, en aval de Joinville (Figure 1). Les quantités d'effluents rejetés, compte tenu du taux de dilution dans la Marne, devront respecter les normes pour l'eau potable. Cependant, la présence du champ captant de Vecqueville, à proximité de la Marne, à moins d'un kilomètre de distance du rejet, pose la question de l'impact de ces rejets sur l'alimentation en eau potable, en particulier pour les polluants radioactifs. Ce rapport a donc pour objectif d'étudier le risque pour que le champ captant soit contaminé à des taux de concentration en éléments polluants supérieurs à ceux prévus au sein de la rivière.

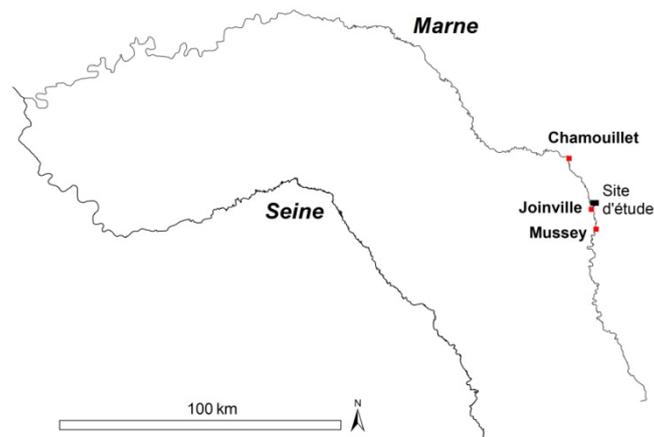


FIGURE 1. LOCALISATION DU SITE D'ETUDE ET DES STATIONS HYDROLOGIQUES CONSIDEREES SUR LA MARNE

Afin d'étudier ce risque, l'hydrologie de la Marne sera abordée de manière succincte, afin de mieux connaître le vecteur principal de la pollution. Ensuite, le contexte géologique régional et local sera présenté, suivi du contexte hydrogéologique ; il s'agira d'estimer la part de débit pompée par le champ captant depuis la rivière. Enfin, un dernier paragraphe sur des calculs de bilans de masse permettra d'estimer des concentrations en éléments polluants au niveau du champ captant, et d'envisager l'hypothèse de rétention des éléments dans l'environnement. Une conclusion reprendra les principaux résultats de cette étude pour donner un avis sur le risque associé au projet.

II. HYDROLOGIE DE LA MARNE

A. SUIVI AUX STATIONS HYDROLOGIQUES

Comme il s'agit ici d'une étude des relations nappe-rivière, il convient de bien connaître le fonctionnement de la rivière qui risque a priori d'alimenter le champ captant. Une des données cruciales pour cela est celle des débits et niveaux d'eau le long de la rivière au cours du temps. Cette donnée est fournie par la Banque Hydro (<http://hydro.eaufrance.fr/>) au niveau des trois stations hydrologiques le plus proches du site d'étude (Figure 1) : Chamouillet à 23 km en aval, Joinville directement à l'amont (3 km), et Mussey-sur-Marne à 12 km en amont. Les stations de Chamouillet et Mussey fournissent les niveaux d'eau et débits en continu depuis respectivement 2000 et 2001, mais les cotes altimétriques de la base des échelles ne sont pas nivelées précisément. La station de Joinville est bien nivelée, et fournit les cotes de niveau d'eau depuis 2002. Par contre, la calibration des niveaux en débit n'a pas été effectuée, les débits ne sont donc pas fournis sur cette station.

Afin d'avoir une vision sur l'ensemble du jeu de données disponible, la Figure 2 montre l'évolution des débits mensuels aux stations de Chamouillet et Mussey entre janvier 2000 et novembre 2018. On y note une saisonnalité marquée des débits, avec des hautes eaux entre janvier et mars et basses eaux entre juillet et septembre. Le cycle n'est cependant pas régulier, avec des débits assez variables d'une année à l'autre (débits mensuels les plus hauts entre 50 et 180 m³/s, et les plus bas entre 2 et 8 m³/s), et des périodes de hautes eaux ou basses eaux qui peuvent s'étendre sur des durées allant de moins d'un mois à sept mois. L'année avec les débits les plus faibles sur la période considérée est 2003, et celle avec les débits les plus forts est 2018.

Sur la Figure 3, les cotes de niveaux d'eaux mesurés aux trois stations sont rapportés à la distance depuis la station aval le long du tracé de la rivière et comparés à trois dates : le 25/08/2003 pour le niveau le plus bas, le 11/02/2016 pour un niveau haut "classique", et le 24/01/2018 pour le niveau le plus haut. Pour les stations de Chamouillet et Mussey, on a retranché un mètre à la cote du niveau du sol pour estimer la cote altimétrique de la base de l'échelle (les données sont fournies sur le site en cm de colonne d'eau par rapport à la base de l'échelle). Malgré l'imprécision de cette estimation, les données aux trois stations sont bien corrélées, avec une relation parfaitement linéaire entre les trois points. Le gradient de rivière, plutôt élevé (autour de 1/1000), semble constant selon les différents états de la Marne. Entre le niveau le plus bas et le plus haut, on mesure une différence d'altitude de près de 3 m.

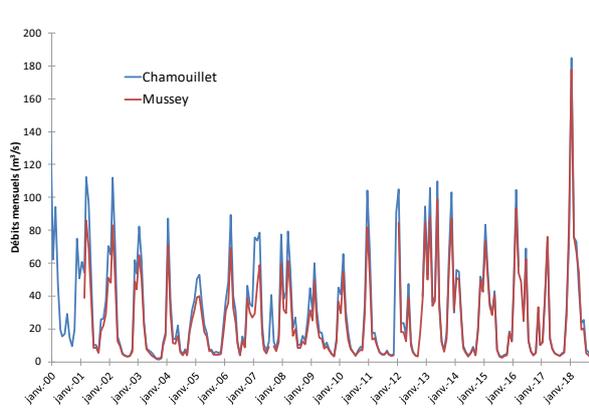


FIGURE 2. DEBITS MENSUELS AUX STATIONS HYDROLOGIQUES

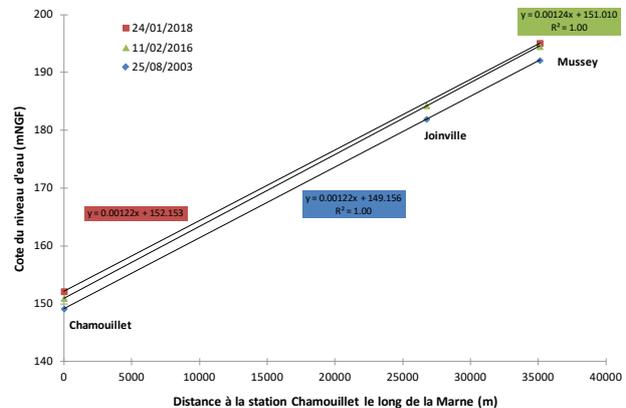


FIGURE 3. COTES DU NIVEAU D'EAU A DIFFERENTES DATES

B. INTERPOLATIONS AU DROIT DU CHAMP CAPTANT

Afin d'aller un petit peu plus loin avec ces données de niveaux d'eau, on peut utiliser les relations linéaires entre les stations pour en déduire les niveaux au droit du champ captant, juste à l'aval de la station de Joinville. Pour cela, on a tracé des points sur un Système d'Information Géographique tous les 500 m le long de la Marne entre la station Chamouillet et celle de Mussey (Figure 4). La relation linéaire du 24/01/2018 fournie en Figure 3 est utilisée pour donner les cotes de tous les points (étiquettes jaunes sur la Figure 4) en fonction de leur distance à la station Chamouillet. Ces cotes de hautes eaux peuvent être comparées au niveau du méandre de Vecqueville à des altitudes moyennes fournies par le Référentiel à Grande Echelle (RGE) de l'IGN (<http://professionnels.ign.fr/>), qui donne les altitudes de la surface du sol et des plans d'eau (étiquettes en italique) avec une résolution de 1 m. Sur ce référentiel, on observe bien le saut du niveau de la Marne entre l'amont et l'aval du barrage hydraulique situé au milieu du méandre, montrant ainsi qu'une simple interpolation n'est pas suffisante pour fournir des cotes précises de niveau d'eau dans la rivière. Néanmoins, si on considère les niveaux d'eau au champ captant tels qu'ils ont été renseignés par la société Artélia après enquête auprès de la commune de Vecqueville (profondeur de 2 à 3 m sous le niveau du sol), cela conduit à estimer grossièrement des charges hydrauliques au champ captant entre les cotes 177 et 178 m, soit inférieures aux niveaux estimés dans la Marne juste en face, ceci selon les deux hypothèses présentées. Il semble donc confirmé que le champ captant pompe l'eau de la Marne après transport au sein des formations

aquifères. Les captages se situant à l'aval d'un méandre de la Marne, ils pompent également l'eau qui vient de l'amont de celui-ci, avec un trajet beaucoup plus long. Par contre, il semble que le rejet prévu dans le projet (Figure 4) soit situé suffisamment à l'aval du méandre (Artélia, 2018) pour que les eaux qui pourraient transiter depuis l'amont du méandre vers le captage n'aient pas encore été polluées par les effluents rejetés.

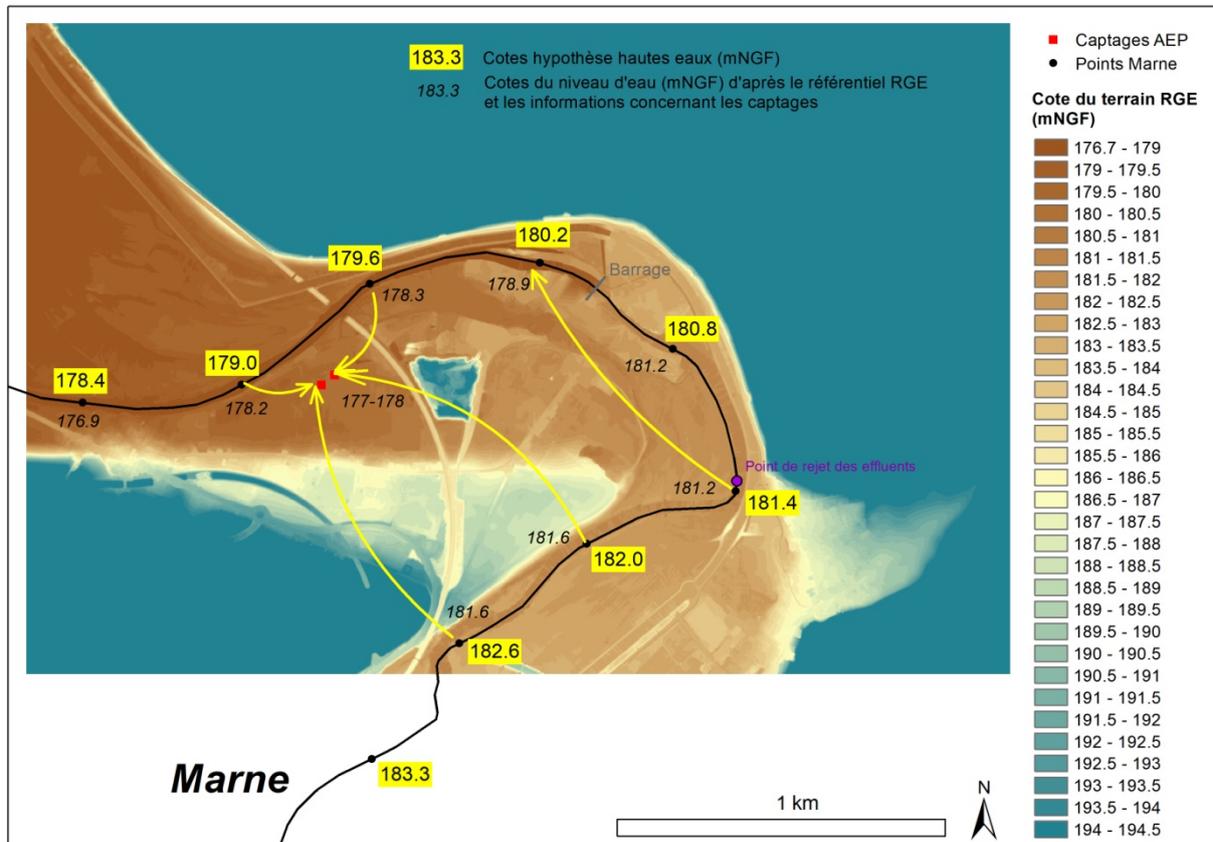


FIGURE 4. COTES ALTIMETRIQUES DU TERRAIN (ECHELLE DE COULEURS) ET DE LA MARNE (ETIQUETTES EN ITALIQUE) AU SEIN DU MEANDRE DE VECQUEVILLE D'APRES LE REFERENTIEL A GRANDE ECHELLE (RGE) DE L'IGN ; COTES AU SEIN DES CAPTAGES AEP (EN ITALIQUE) D'APRES LES INFORMATIONS FOURNIES PAR ARTELIA; COTES DE LA MARNE (ETIQUETTES JAUNES) D'APRES L'INTERPOLATION DES NIVEAUX LE 24/01/2018 EFFECTUEE EN FIGURE 3 ; LIGNES D'ECOULEMENTS SOUTERRAINS (EN JAUNE) DEDUITES DES COTES HYDRAULIQUES DE LA MARNE ET DES CAPTAGES SELON LES DIFFERENTES HYPOTHESES

III. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL ET LOCAL

Après ce premier aperçu sur les niveaux d'eau et l'idée que les écoulements se font a priori depuis la Marne vers le champ captant, le contexte géologique est présenté succinctement ici, afin de pouvoir parler ensuite d'écoulements d'eaux souterraines.

Le contexte régional est celui de la bordure Est du Bassin Parisien, avec des formations en général carbonatées datées du Jurassique au Crétacé inférieur. Un log stratigraphique en Figure 5 présente les formations rencontrées localement à l'affleurement. Les couleurs respectent à peu près la nomenclature classique utilisée par le BRGM pour les cartes géologiques. Du plus récent au plus ancien, on trouve :

- les formations du Crétacé inférieur, avec, dans les tons ocres, l'Albien, l'Aptien, et le Barrémien, plutôt composés de sables ou d'argiles / marnes, et dans les tons verts, l'Hauterivien et le Valanginien, également composés de sables et argiles / marnes, avec un peu de calcaire ;
- les formations du Jurassique supérieur, avec, dans les tons bleus, le Tithonien et le Kimméridgien, beaucoup plus épais, essentiellement composés de calcaires et d'un peu de marnes.

Les formations plus anciennes sous-jacentes ne sont pas montrées. Les formations de la base du Bassin Parisien commencent au Trias et sont déposées sur le socle Permien schisteux. La puissance de l'ensemble atteint environ 1600m d'épaisseur.

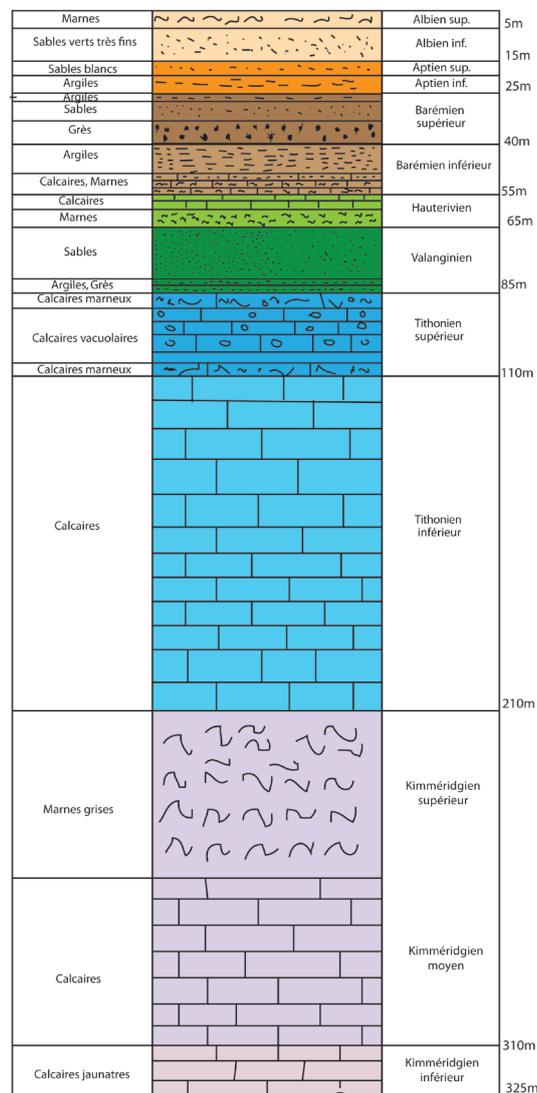


FIGURE 5. LOG DES FORMATIONS RENCONTREES LOCALEMENT A L'AFFLEUREMENT

Localement, le lit de la Marne coule au sein d'un graben d'orientation générale NNW-SSE, qui devient NW-SE au niveau de Vecqueville (Figure 6). Les deux failles normales qui bordent ce graben présentent un rejet d'environ 80 à 85 m de part et d'autre (BRGM, 1965a). Sur la coupe dessinée en Figure 7, on peut noter que la formation présente sous les alluvions au niveau du lit de la Marne est le Tithonien inférieur, décalé vers le bas par rapport à la formation du Kimmeridgien à l'extérieur du graben. Les calcaires du Tithonien, très durs et compacts, ne sont pas vraiment réputés pour constituer une bonne formation aquifère, mais peuvent le devenir quand ils sont proches de la surface (BRGM, 1965b), par altération liée à la circulation d'eau. Les alternances de calcaires et marnes du Kimmeridgien sont quant à eux bien identifiés comme formation aquifère avec de nombreuses sources (BRGM, 1965b). Les alluvions récentes du lit de la Marne, constituées essentiellement de graviers, sont réputées comme étant très perméables et constituant un réservoir très riche en eau de bonne qualité (BRGM, 1965b). Au niveau du méandre de Vecqueville, les failles du graben n'ont apparemment pas décalé les formations sur la partie NE du méandre (Figure 6), mais la position exacte n'est pas précisée sur la carte géologique.

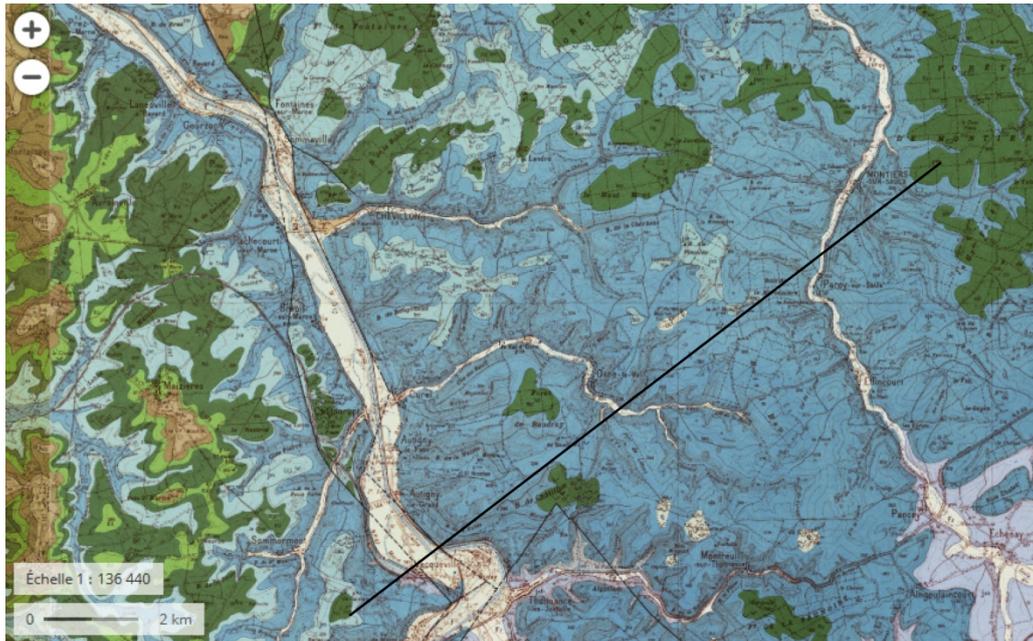


FIGURE 6. EXTRAIT DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DE JOINVILLE (ISSUE DE GEOPORTAIL), AVEC POSITION DU TRAIT DE COUPE (TRAIT NOIR ÉPAIS NE-SW)

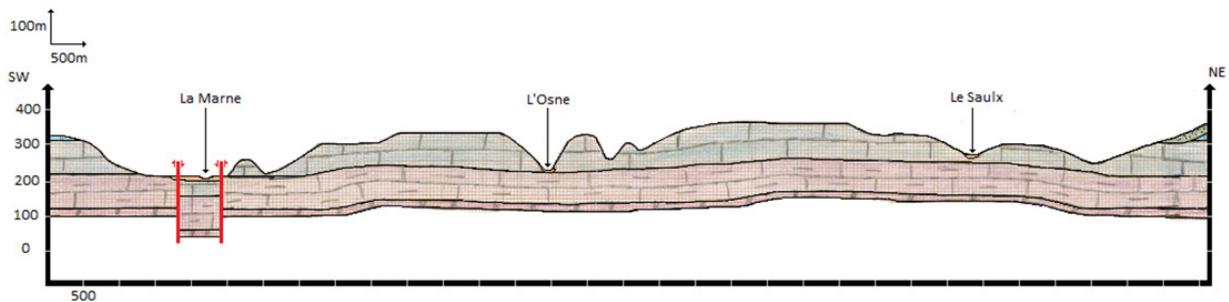


FIGURE 7. COUPE GÉOLOGIQUE NE-SW PASSANT PAR VECQUEVILLE AU SW (AU NIVEAU DE LA MARNE). LES FORMATIONS REPRÉSENTÉES DE LA PLUS RÉCENTE À LA PLUS ANCIENNE SONT LES SUIVANTES : ALLUVIONS (EN JAUNE), VALANGINIEN (EN VERT, SUR LA BORDURE NE UNIQUEMENT), TITHONIEN SUPÉRIEUR (EN BLEU CLAIR, SUR LA BORDURE SW), TITHONIEN INFÉRIEUR (BLEU GRIS, FORMATION MAJORITAIRE À L'AFFLEUREMENT), KIMMÉRIDIEN SUPÉRIEUR (EN ROSE PÂLE), KIMMÉRIDIEN INFÉRIEUR (EN ROSE MOYEN)

IV. FONCTIONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE LOCAL

Pour résumer les observations précédentes, les formations rencontrées au niveau du méandre de Vecqueville sont des alluvions très perméables sur quelques mètres d'épaisseur, puis, en dessous, des calcaires relativement perméables datés soit du Kimméridgien, soit du Tithonien pour la zone de graben, dont la position n'est pas précise sous les alluvions.

A. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU CHAMP CAPTANT

Les deux ouvrages du champ captant de Vecqueville sont renseignés sur le site du BRGM (<http://infoterre.brgm.fr/>). Ils portent les noms indiqués ci-dessous et sont distants de 50m l'un de l'autre :

- 02656X0031/FAEP pour le forage, daté de 1977 ;
- 02656X0038/PAEP84 pour le puits, daté de 1984.

Leurs positions respectives par rapport à la Marne sont montrées sur la Figure 8. La distance à la rivière est de 114m. Leurs caractéristiques techniques sont fournies sur le site du BRGM, qui nous donne les informations ci-dessous.

Le forage atteint 8m de profondeur, et rencontre les alluvions sur une épaisseur de 2.5 m, puis les calcaires du Tithonien (cf log géologique validé). Il est crépiné uniquement devant les calcaires et présente un diamètre de 40 cm, sans compter le massif filtrant autour a priori (largeur non renseignée).

Le puits atteint 4.5m de profondeur et rencontre les alluvions jusqu'à 2.7 m, puis des calcaires (non renseigné). Il est crépiné essentiellement devant les alluvions, et capte en plus celles-ci par des drains horizontaux à la base des alluvions qui partent depuis l'ouvrage vers le NW (en direction de la Marne) et vers le SE. Ces drains mesurent respectivement 40m et 25m, et présentent un diamètre de 30 cm.

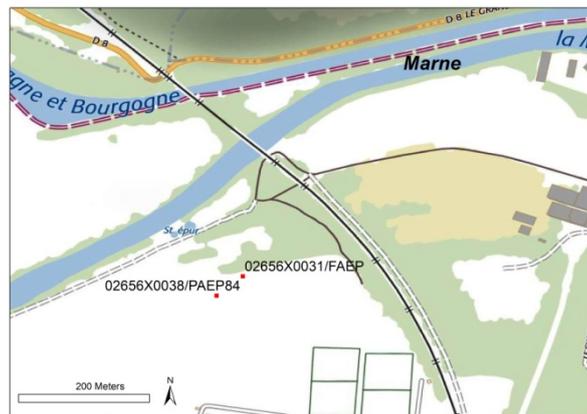


FIGURE 8. POSITION DES OUVRAGES DU CHAMP CAPTANT DE VECQUEVILLE (CARRES ROUGES)

B. ESSAIS PAR POMPAGES AU FORAGE

Au moment de la création des ouvrages, des tests de pompage ont été effectués. Pour le puits, seules des valeurs de rabattement (différence de niveau d'eau entre l'état initial et l'état en situation de pompage) sont données en fonction des débits de pompage appliqués, sans suivi au cours du temps. Cela, en plus de la géométrie compliquée de l'ouvrage avec les drains, rend l'interprétation poussée des données assez compliquée. On retiendra juste les valeurs suivantes :

- rabattement de 0.05 m pour un débit de 26 m³/h;
- rabattement de 0.1 m pour un débit de 41.8 m³/h;
- rabattement de 0.16 m pour un débit de 56.2 m³/h;
- profondeur du niveau statique : 2.82 m par rapport au repère

Les rabattements très faibles obtenus pour des débits importants montrent la forte perméabilité des alluvions.

Par contre, en ce qui concerne le forage, des suivis au cours du temps ont été effectués pour différents débits, et nous avons pu interpréter deux séries de mesures de rabattement au cours du temps pour deux débits différents. Les graphiques obtenus sont montrés en Figure 9 (débit de 44 m³/h, pompage de 1h) et Figure 10 (débit de 39 m³/h, pompage de 42h). A l'aide de la méthode de Jacob (1949), on peut estimer une valeur de la transmissivité à partir de la droite tracée au moment où les variations rabattements deviennent proportionnelles au logarithme du temps. La transmissivité T (en m²/s) est déduite de la formule suivante :

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{s_2 - s_1}$$

avec Q le débit en m³/s et s1 et s2 les rabattements donnés sur la droite pour des temps espacés d'un facteur 10 (cf Figure 9 et Figure 10). La transmissivité étant le produit de la perméabilité par l'épaisseur de la nappe, on

peut en déduire la perméabilité en divisant T par une épaisseur de 5 m (longueur de la crépine). On obtient ainsi pour les deux essais :

- débit de 44 m³/h : $T = \frac{0,183 \times (44/3600)}{3,48 - 1,32} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $K = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
- débit de 39 m³/h : $T = \frac{0,183 \times (39/3600)}{2,08 - 0,64} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $K = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

Les valeurs estimées sont relativement proches l'une de l'autre et correspondent à un milieu plutôt perméable.

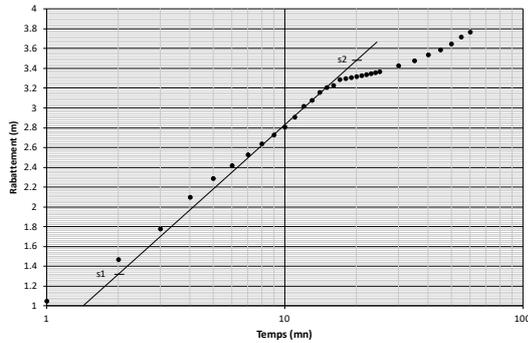


FIGURE 9. RABATTEMENTS AU COURS DU TEMPS MESURES AU FORAGE POUR UN DEBIT DE 44 M³/H

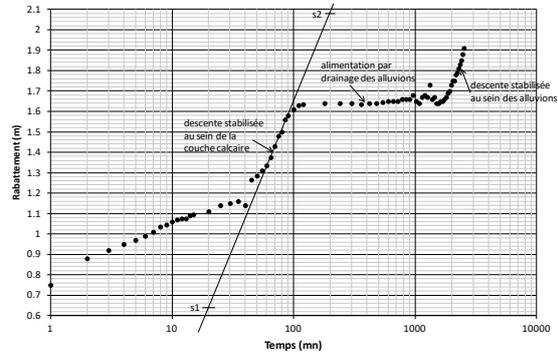


FIGURE 10. RABATTEMENTS AU COURS DU TEMPS MESURES AU FORAGE POUR UN DEBIT DE 39 M³/H

Si on regarde les rabattements pour des temps longs, la relation linéaire ne se poursuit pas, signe d'un milieu non homogène, non infini. On voit en effet sur la Figure 10 une stabilisation du rabattement entre 100 et 2000 mn, que l'on peut associer au fait que la couche des alluvions, qui n'est pas encore dénoyée au début du pompage, conduit à une réalimentation de la couche calcaire sous-jacente par drainage verticale entre les deux couches. Ce processus est limité dans le temps et est suivi par une remontée des rabattements, liée au fait que le cône de rabattement atteint ensuite la couche des alluvions (Figure 11). Si on pompait encore plus longtemps, on devrait voir une seconde stabilisation du rabattement, liée à la réalimentation de la nappe par la rivière.

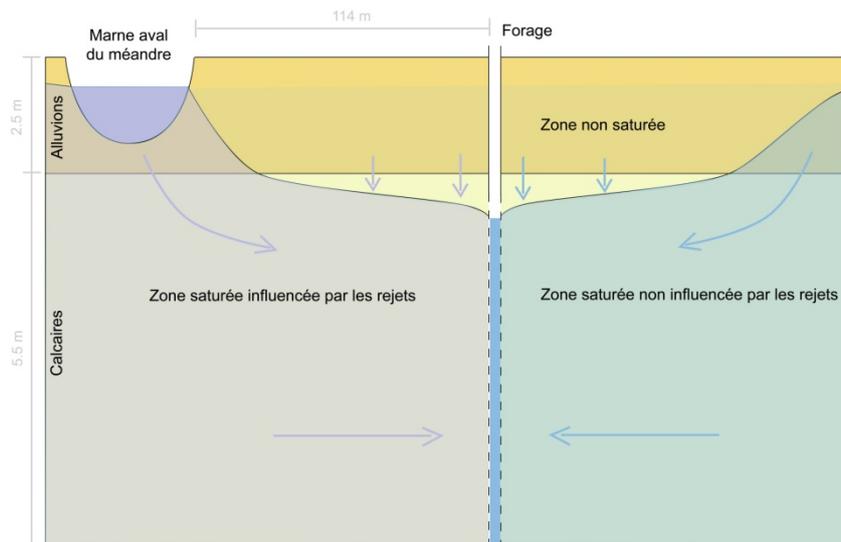


FIGURE 11. SCHEMA DU POMPAGE DANS LE FORAGE

C. MODELE HYDROGEOLOGIQUE

Afin de valider ces hypothèses de fonctionnement, un modèle hydrogéologique maillé en deux couches a été construit à l'aide du logiciel PMWin (qui utilise le code source MODFLOW) pour simuler cet essai par pompage. La grille du modèle, présentée en Figure 12, prend en compte la position de la rivière en tant que niveau imposé (mailles en bleu foncé) dans la couche des alluvions, et le pompage dans la couche de calcaires sous-jacente. Les mailles font en général 4 m de côté, et sont raffinées à 40 cm au niveau du forage, pour reproduire au plus près la taille de l'ouvrage. La géométrie est supposée plane, ainsi que le niveau de la Marne supposé à 179 mNGF. Afin de reproduire un fonctionnement qui correspond à peu près à celui du méandre, on impose également un niveau d'eau de l'autre côté de la Marne, choisi arbitrairement à 179,2 m.

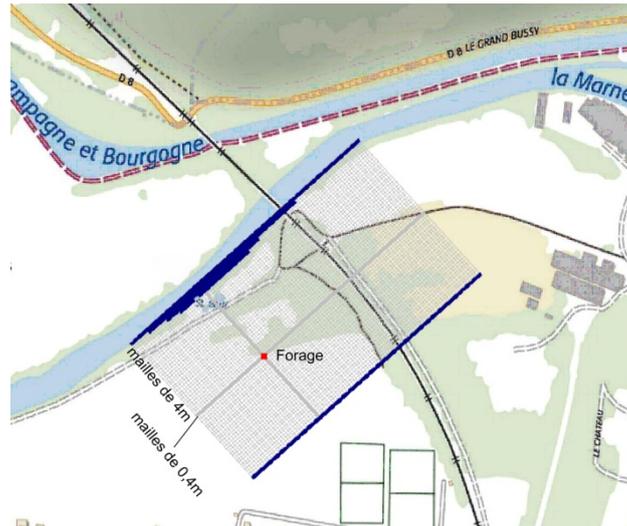


FIGURE 12. EMPLACEMENT DE LA GRILLE DU MODELE PAR RAPPORT A LA MARNE ET AU FORAGE

Le modèle est paramétré pour tourner en régime transitoire, et fournir ainsi des rabattements au cours du temps. Les résultats sont comparés aux observations de rabattement au niveau du forage (Figure 13). Le modèle de référence a été obtenu par ajustement manuel des paramètres pour que la courbe obtenue soit proche des mesures. Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- perméabilité horizontale de la couche des alluvions : $K1=5.10^{-4}$ m/s;
- perméabilité horizontale de la couche des calcaires : $K2=1,8.10^{-4}$ m/s;
- porosité de drainage des alluvions : $wd1=0,2$
- coefficient d'emménagement des calcaires : $S2=5.10^{-3}$
- rapport de la perméabilité verticale sur la perméabilité horizontale =0,1

On note que le modèle reproduit bien le comportement attendu, avec deux paliers après des périodes d'augmentation de rabattement : le second palier est esquissé en augmentant le temps de pompage par rapport au test de terrain.

Afin de donner une idée de la sensibilité des différents paramètres utilisés, on a fait varier alternativement chacun des paramètres et ajouté la courbe simulée obtenue aux résultats de la Figure 13. On note ainsi, dans l'ordre de présentation de la légende sur la figure :

- Une augmentation de la perméabilité des calcaires conduit à diminuer fortement les rabattements, de manière irréaliste par rapport aux mesures. $K2$ est donc estimé à $1,8.10^{-4} \pm 0,1.10^{-4}$ m/s.
- Une diminution de la perméabilité des alluvions conduit à augmenter la seconde pente et la position du palier final ; ceci correspond plus aux mesures qui montrent une pente très forte sur la deuxième partie de la courbe, mais moins à ce qui est attendu d'une perméabilité d'alluvions, sensée être plus

forte que celle des calcaires. Il est difficile de conclure sur une valeur précise de $K1$, cette partie de courbe pouvant également être influencée par d'autres paramètres, tels que la porosité de drainage ou les perméabilités verticales, rendant le calage compliqué.

- Une diminution de la porosité de drainage des alluvions conduit à atteindre la valeur du second palier plus rapidement (décalage temporel pour la seconde partie de la courbe, premier palier plus court) ; ceci ne correspond pas vraiment aux données, qui montrent un palier franc qui dure assez longtemps : la valeur proposée de 0,2 pour w_{d1} est plutôt une valeur minimum à considérer.
- Une augmentation du coefficient d'emmagasinement des calcaires conduit à un décalage de la première partie de la courbe : le premier palier est atteint plus tard que pour le modèle de référence, un peu trop tard par rapport aux mesures : la valeur proposée de $5 \cdot 10^{-3}$ pour $S2$ est donc plutôt une valeur maximum à considérer, assez sensible (la valeur choisie s'approche du comportement réel et ne doit pas trop être modifiée).

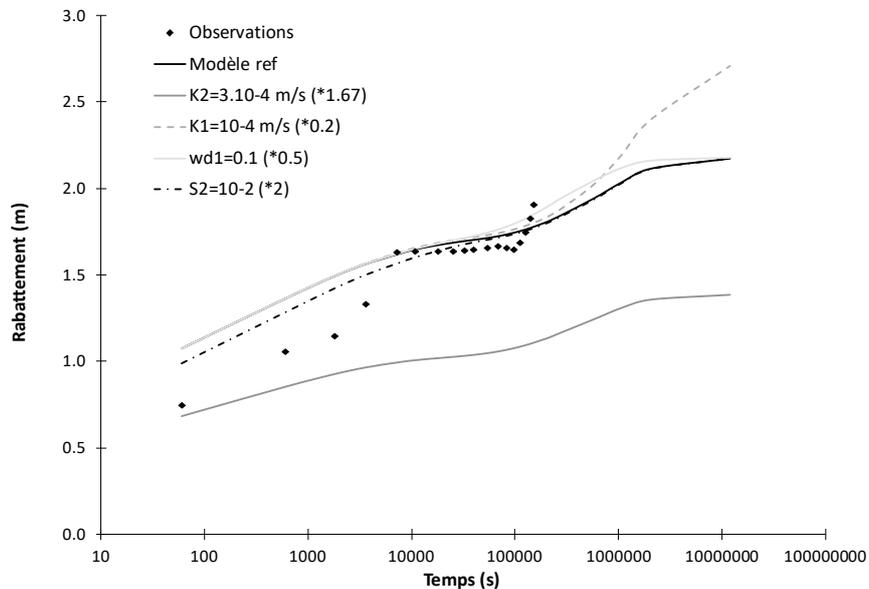


FIGURE 13. RABATTEMENTS AU COURS DU TEMPS OBSERVES ET SIMULES AU FORAGE POUR DIFFERENTS JEUX DE PARAMETRES

Une fois les paramètres du modèle ajustés au mieux, on peut utiliser le modèle pour calculer des trajectoires d'écoulement vers le captage, avec des temps de transfert associés (Figure 14). Ces temps de transfert dépendent, en plus des paramètres déjà calés, de la porosité cinématique. Celle-ci, forcément supérieure à la valeur de porosité de drainage, a été choisie à 0,25 (valeur standard). Les lignes d'écoulement montrent qu'à peu près la moitié du flux arrivant au forage provient de la Marne sous influence du rejet, l'autre moitié provenant également de la Marne, mais de l'autre côté du méandre, en amont de l'emplacement du rejet d'effluents. Notons au passage que cette proportion donnée ici dépend des paramètres entrés dans le modèle, et notamment des conditions aux limites et du débit de pompage, qui ne correspondent pas aux conditions de terrain d'aujourd'hui. Concernant le débit de pompage actuellement appliqué au champ captant, Artélia s'est informé auprès de la commune de Vecqueville, et la valeur de celui-ci serait de $90 \text{ m}^3/\text{j}$ pour les deux ouvrages ensemble, soit $1,04 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. Ce débit de pompage annoncé ne semble pas réaliste compte tenu des études réalisées à la création des ouvrages, avec la démonstration que les débits pouvant être produits sont bien supérieurs (autour de 80 à $90 \text{ m}^3/\text{h}$ en ajoutant les débits des deux ouvrages, soit 24 fois plus). Cela paraît étrange d'avoir construit deux ouvrages, dont le deuxième avec des drains horizontaux pouvant capter de grands volumes d'eau, pour ne pomper finalement qu'une petite fraction du débit exploitable. Les ouvrages seraient-ils dégradés avec le temps ?

Les temps de transfert depuis la Marne jusqu'au forage sont d'un peu plus d'un an pour les lignes les plus directes, et d'une dizaine d'année voire plus pour les lignes provenant de l'amont (Figure 14). Cela semble correspondre à des temps de transfert réalistes pour ce type de formations.

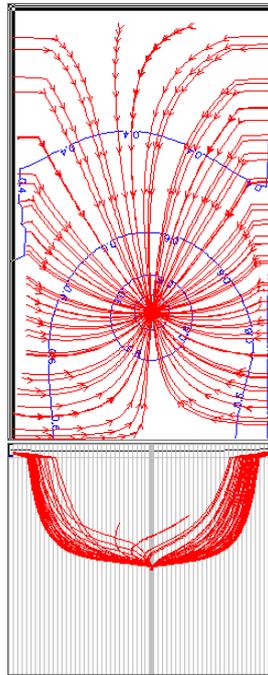


FIGURE 14. COURBES DE RABATTEMENT SIMULEES AUTOUR DU FORAGE ET LIGNES D'ECOULEMENT ASSOCIEES (MARQUES DE TEMPS DE TRANSFERT INDIQUEES TOUS LES ANS)

V. ESTIMATIONS DES CONCENTRATIONS D'ELEMENTS RETROUVEES AU CHAMP CAPTANT

Dans cette dernière partie du rapport, des concentrations en éléments apportées par les effluents vont être estimées au niveau du champ captant. Pour ceci, on partira d'abord sur une hypothèse de transfert sans rétention dans le milieu, puis on abordera la question de la rétention pour les éléments radioactifs. Dans le premier paragraphe, aucun détail n'est donné pour les éléments considérés. En effet, si on part de l'hypothèse que les éléments ne sont pas retenus dans le milieu, les calculs de bilans de masse sont les mêmes pour tous les éléments ; il suffit après de considérer la concentration particulière d'un des éléments fournie en rivière pour retrouver la concentration de l'élément au captage.

A. BILANS DE MASSE SANS RETENTION

Pour une dérivation du flux de rivière à travers la nappe, la concentration de l'élément est conservée dans l'hypothèse de transport de l'élément sans rétention ni retard.

Dans le cas hypothétique où le captage ne pomperait que de l'eau de la Marne du côté ouest, pollué par les effluents, on se retrouverait exactement avec la même concentration de l'élément i au sein du débit pompé que dans la Marne.

Néanmoins, l'hypothèse que 100% de l'eau pompée vient du côté ouest de la Marne est fautive a priori. Pour le forage, on a vu que c'est plutôt autour de 50% environ, mais le modèle effectué n'est pas très précis, et nous n'avons pas d'information sur la part d'eau de Marne captée par le puits, avec ses deux drains dans les alluvions. Une modélisation plus aboutie pourrait conduire à des estimations de cette fraction, mais on peut considérer un facteur global de 3/4 de l'eau de Marne captée par l'ensemble du champ captant du côté ouest.

Dans le cas où seulement une fraction du débit provient du tronçon de la Marne impacté, il faut corriger la concentration donnée dans la Marne par la part de débit pompé qui provient effectivement de la Marne côté ouest, soit entre 3/4 et 1, pour donner un coefficient dans le sens de la sécurité.

B. HYPOTHESES DE RETENTION DANS LE MILIEU

Dans le cas où l'on suppose que les éléments ne migrent pas de la même manière que l'eau, mais peuvent être retenus dans le milieu, deux hypothèses peuvent être considérées :

- Soit un simple coefficient de retard est appliqué, considérant un trajet de l'élément un peu plus long que celui de l'eau : dans ce cas, on retrouvera en situation d'équilibre exactement les mêmes concentrations que celles données précédemment.
- Soit le fait de migrer de la rivière vers la nappe provoque un changement de conditions physico-chimiques, conduisant à une adsorption de l'élément sur la matrice solide (surtout pour les métaux). L'élément en question peut alors s'accumuler dans le milieu avec le temps. Ce processus a très peu de chance d'être réversible, sauf si les conditions physico-chimiques dans la rivière ou dans la nappe changent de manière à changer le coefficient d'adsorption. L'élément le plus sensible à ce genre de changements est l'Uranium, dont le coefficient d'adsorption change avec la quantité de carbonates présents dans le milieu (Bond et al., 2008).

Si on considère que la deuxième hypothèse présente un risque pour l'environnement, il faudrait faire une étude géochimique approfondie pour étudier le risque d'accumuler de l'Uranium dans l'aquifère, puis un jour de le voir être dé-sorbé soudainement au risque de dépasser des seuils acceptables de concentration dans le captage.

VI. CONCLUSION

Pour conclure, les conditions hydrodynamiques au niveau du point de rejet et du champ captant conduisent à une alimentation du champ captant par la Marne, des deux côtés du méandre. Seul le côté ouest étant impacté par le rejet d'effluents, les polluants retrouvés au champ captant se retrouveront à des concentrations égales à celles de la Marne, corrigées de la fraction de débit capté qui provient du côté de la Marne impacté par le rejet, soit entre 3/4 et 1. Une modélisation hydrodynamique plus aboutie pourrait conduire à affiner ce coefficient. Si les facteurs multiplicatifs appliqués conduisent à des concentrations en éléments polluants qui respectent encore les normes de rejet et celles pour l'Alimentation en Eau Potable, il faudra tout de même étudier la question de la rétention de l'Uranium dans le milieu et du risque que celui-ci soit un jour relâché par modification des conditions physico-chimiques. Il faudra entre autre envisager la possibilité que l'ouvrage soit nettoyé avec injection de produits agressifs, ou que la position de celui-ci soit déplacée, impliquant un déplacement du cône de rabattement. Cette étude devra être réalisée par quelqu'un dont la géochimie est la spécialité, ce qui n'est pas mon cas.

VII. REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier ici les étudiants du Master 2 "Hydrologie, Hydrogéologie et Sols", pour leur participation active à la mise en route de cette étude. Ils m'ont aidée à comprendre le contexte général en hydrologie, géologie et hydrogéologie, ont fait les figures sur le contexte géologique, et ont construit le modèle hydrogéologique. Je remercie également Christelle Courbet (INTERA), pour son avis sur la rétention des éléments radioactifs.

VIII. REFERENCES

Artélia (2018). Implantation en Haute-Marne d'une blanchisserie industrielle destinée au secteur nucléaire. Autorisation environnementale unique. Etude de dispersion des effluents dans la Marne - Pré-dimensionnement d'une solution de protection. Ref : 8 71 3882-R5

Bond, Deborah L.; Davis, James A.; Zachara, John M. (2008). Uranium(VI) Release from Contaminated Vadose Zone Sediments: Estimation of Potential Contributions from Dissolution and Desorption. ADSORPTION OF METALS BY GEOMEDIA II: VARIABLES, MECHANISMS, AND MODEL APPLICATIONS. Book Series: Developments in Earth and Environmental Sciences, Volume: 7, Pages: 375-416

BRGM (1965a). Notice de la carte géologique de Doulaincourt, échelle 1/80 000, 729032-1-65

BRGM (1965b). Notice de la carte géologique de Joinville, échelle 1/80 000

Jacob C. E. (1949). Flow of ground water. ENGINEERING HYDRAULICS HUNTER ROUSE édit. chap. V