
DEKRA Industrial

**Société TRANSPORTS SERVICES LAVAGES
aux Essarts (85)**

--

**Modélisation des effets hydrogéologiques du
projet de forage**

Rapport d'étude

Juillet 2018

Rapport R-2139



TERRE et HABITAT sas

Laurent LE BIDEAU - Docteur en hydrogéologie
16 rue de la Fraternité 44640 Saint Jean de Boiseau
Tél / Fax : 02.28.21.26.88

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	3
I.1. Localisation.....	3
II. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	5
II.1. Géologie	5
II.2. Hydrogéologie	5
III. CONSTRUCTION DU MODELE	7
III.1. Code de calcul – hypothèses numériques.....	7
III.2. Données utilisées	7
III.3. Lacunes d'informations et limites de la modélisation.....	7
III.4. Limite du modèle	8
III.5. Couche modélisée.....	8
III.6. Maillage	9
III.7. Caractéristiques hydrodynamiques / hydrodispersives	10
III.8. Conditions aux limites.....	10
IV. SIMULATIONS	11
IV.1. Hypothèses de calcul	11
IV.2. Simulation n° 1 – état de référence	11
IV.3. Simulation n° 2 – en pompage	12

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Localisation du site	4
Figure 2 – extrait de la carte géologique	5
Figure 3 – Vue des cotes du sol.....	9
Figure 4 – Piézométrie sans pompage.....	11
Figure 5 – Piézométrie avec pompage.....	12
Figure 6 – Zone d'appel du forage	13

Ce dossier a été réalisé par :

 TERRE ET HABITAT	TERRE et HABITAT sas Laurent LE BIDEAU - Docteur en hydrogéologie 16 rue de la Fraternité 44640 Saint Jean de Boiseau Tél / Fax : 02.28.21.26.88
---	---

Date d'émission	Numéro rapport	indice	Rédaction
23 juillet 2018	R-2139	0	L. LE BIDEAU

I. INTRODUCTION

La société TRANSPORTS SERVICES LAVAGES souhaite réaliser un forage sur son site industriel. Un volume de 18000 à 20000 m³/an y sera exploité.

Dans ce contexte, afin de fournir le maximum d'informations au service instructeur une modélisation hydrodynamique des futurs effets du forage a été réalisée.

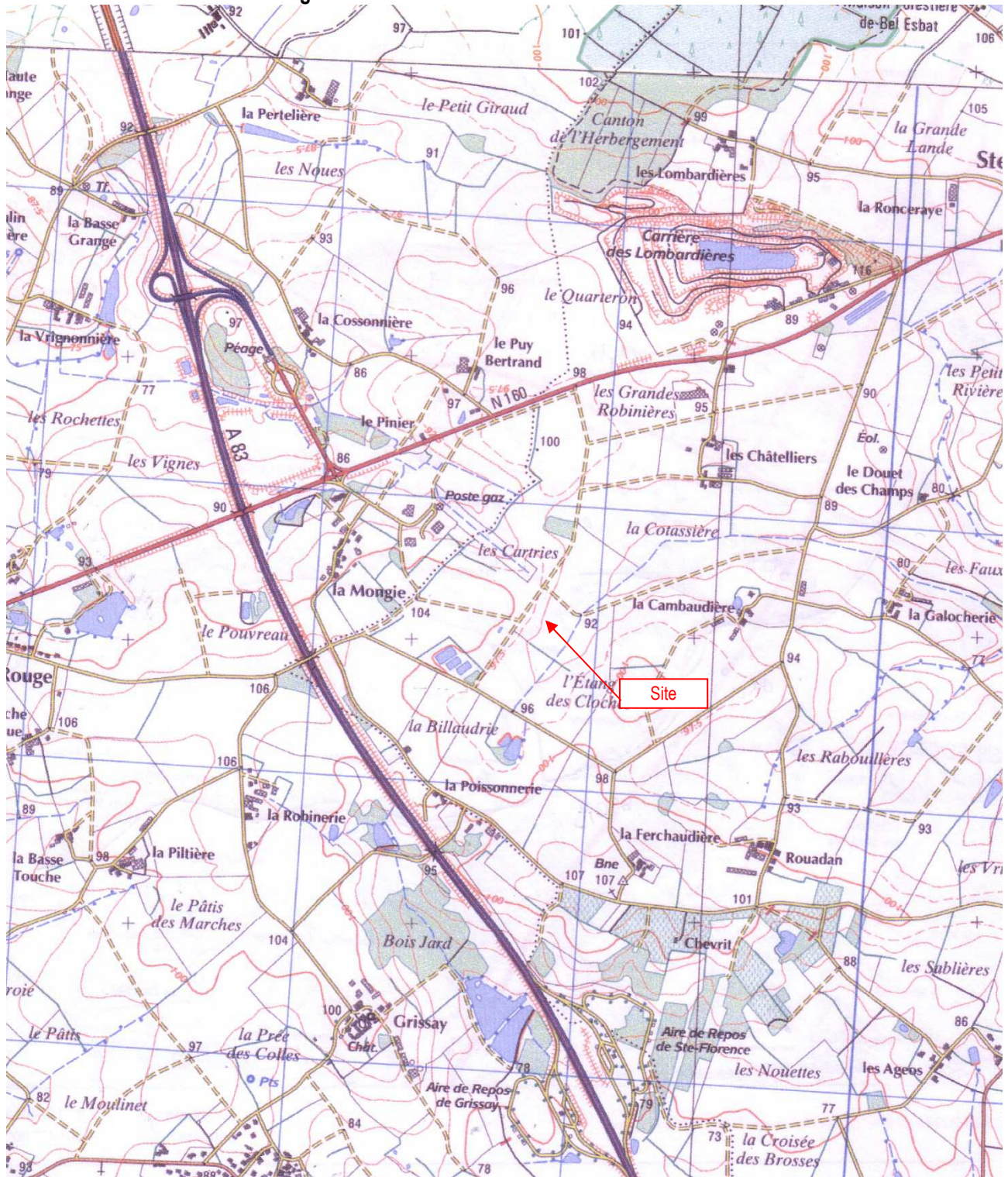
La société TERRE ET HABITAT a été mandatée par la société DEKRA Industrial afin d'effectuer cette modélisation.

Le présent document rend compte des investigations et études réalisées sur modèle mathématique pour estimer les impacts potentiels de l'exploitation du forage.

I.1. LOCALISATION

Le site est localisé à deux kilomètres à l'est du centre des Essarts (Figure 1).

Figure 1 – Localisation du site



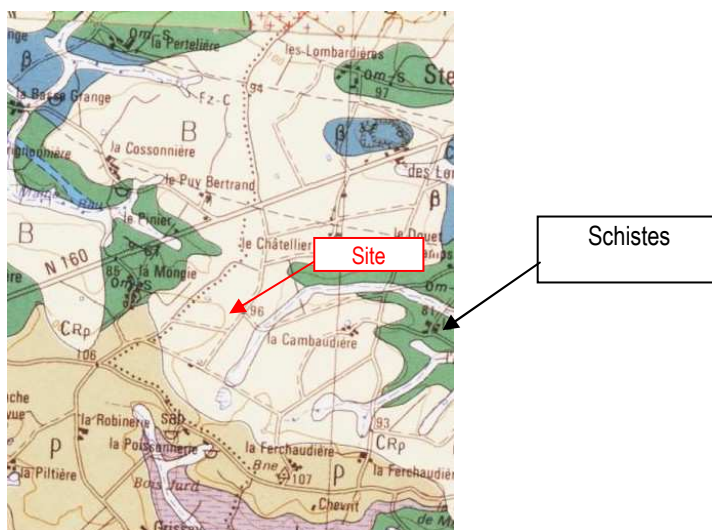
II.CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

II.1. GEOLOGIE

Géologiquement le site est localisé sur les formations schisteuses (Figure 2), ces schistes sont surmontés de limons de plateaux (d'âge quaternaire) d'épaisseur plus ou moins variable. De plus ces formations sont généralement altérées sur les premiers mètres.

En conséquence, la roche saine (schistes) peut être surmontée par plusieurs mètres d'altérites ou de limons, mais ces formations ne seront en principe pas captées par le forage.

Figure 2 – extrait de la carte géologique



Dans le cadre de la modélisation, seule la formation des schistes sains sera considérée.

II.2. HYDROGEOLOGIE

II.2.1. CONTEXTE

Hydrogéologiquement, deux formations aquifères sont présentes au droit du site :

- aquifère des altérites et limons de plateaux ;
- aquifère des schistes sains.

Les investigations réalisées sur site, et l'examen de la succession géologique, montrent que les deux aquifères sont hydrauliquement liés, aucune interface étanche ne vient les séparer. Aussi dans le cadre de la modélisation, un même niveau de nappe sera considéré pour les deux aquifères, celui des schistes sains.

II.2.2. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Du point de vue hydrodynamique, les données bibliographiques dont nous disposons permettent de supposer une transmissivité dans les gammes de valeurs de $5.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

L'aquifère des schistes sains étant semi-captif sous les formations altéritiques de nature argileuse, nous considérerons un coefficient d'emménagement proche de 10^{-4} , la porosité réelle des schistes sera supposée être de 3%. Notons toutefois que les calculs ayant lieu en régime permanent, ces paramètres ne sont pas influents sur le résultat.

II.2.3. PIEZOMETRIE

Aucune piézométrie précise n'est présente autour du site. Toutefois l'analyse du contexte hydrogéologique montre, que dans ce cas classique, la nappe épouse approximativement la morphologie topographique. Aussi, la modélisation intègre avec précision le modèle topographique local.

De plus, à 1,5 km au nord se situe la carrière des Lombardières, l'exploitation d'une carrière étant généralement associée à des pompages importants, la piézométrie locale est très certainement influencée par cette carrière.

Les écoulements au droit du site sont donc très certainement guidés par la carrière au nord-est ainsi que par les cours d'eau en présence.

III. CONSTRUCTION DU MODELE

III.1. CODE DE CALCUL – HYPOTHESES NUMERIQUES

Le code de calcul utilisé pour la présente modélisation est FEFLOW (version 6.0), utilisé sous environnement Windows et développé par la société DHI / WASY.

Ce code travaille en éléments finis et permet la modélisation des écoulements souterrains en zone saturée et non saturée avec prise en compte de polluants divers et de phénomènes d'adsorption/retard et de dégradation, mais également les phénomènes de dispersion de la chaleur. Les calculs hydrodynamiques ont été réalisés en méthode numérique convergente, ceci en régime permanent.

III.2. DONNEES UTILISEES

Les données utilisées dans le modèle sont :

- Carte topographique locale ;
- extrait de la carte géologique locale 1/50000^{ème} ;
- données piézométrique bibliographiques ;

III.3. LACUNES D'INFORMATIONS ET LIMITES DE LA MODELISATION

La précision et la représentativité de la modélisation mathématique dépendent de la précision de la connaissance du contexte géologique, hydrologique, hydrogéologique.

Dans le problème ici posé, les données manquantes ou imprécises nuisant au réalisme de la modélisation, sont :

- les paramètres hydrodynamiques de l'ensemble des formations géologiques prises en compte ne sont pas connus sur l'ensemble du modèle (seule la perméabilité des altérites est connue sur Pz11). D'autre part, les données sur les porosités cinématique et porosité totale sont absentes ;
- les dépôts des aquifères concernés (altérites) sont de type lenticulaire ; des changements latéraux et verticaux de faciès sont probablement présents. Ce sont donc autant de variations possibles des paramètres hydrodynamiques et thermiques ;
- les paramètres hydrochimiques (porosité totale, dispersivité longitudinale et transversale, diffusion moléculaire) des formations géologiques sont également supposés ;
- les molécules simulées sont considérées comme stable dans le temps (pas de mécanisme d'adsorption ou de dégradation) ;
- des hypothèses ont été faites sur les volumes de fuite du panache de pollution.

Malgré l'aspect lacunaire de certaines informations, la modélisation a été réalisée de façon à être la plus représentative possible des conditions locales et elle tente de reconstituer les mouvements de l'eau ainsi que du panache de pollution. L'utilisateur de ce document voudra toutefois bien prendre en considération que les conclusions peuvent être entachées d'imprécision, la société Terre et Habitat ne dégage de toute responsabilités quand aux interprétations et dimensionnement qui peuvent être élaborés sur la base du présent document, dans la mesure où des informations cruciales n'ont pas pu lui être fournies.

III.4. LIMITE DU MODELE

Idéalement le modèle est circonscrit sur la base de limites géologiques, hydrogéologiques ou hydrauliques. Dans le cas présent, le modèle doit intégrer le site TRANSPORTS SERVICES LAVAGES, mais également les zones de drainage de la nappe.

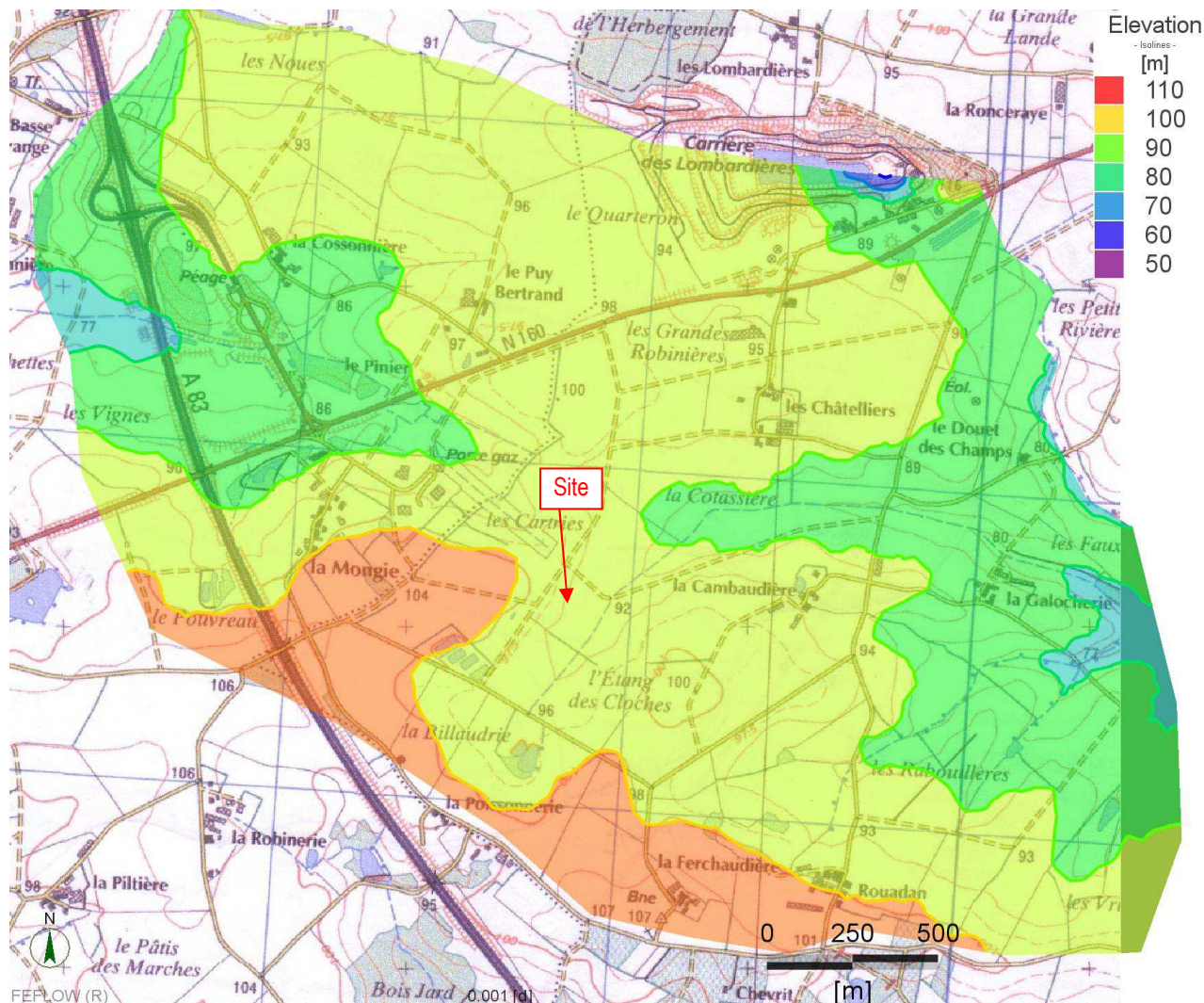
Ainsi, il a été décidé de limiter les bordures Ouest et sud au niveau d'une butte topographique (donc probablement aussi une limite de partage des eaux souterraines. La limite Est est représentée par les cours d'eau en présence, de même pour une partie de la limite nord.

III.5. COUCHE MODELISEE

Après analyse des données géologiques locales, et du contexte hydrogéologique, il a été choisi, de procéder à la réalisation d'un modèle bidimensionnel monocouche, intégrant la couche des schistes, soit une couche et donc deux interfaces :

1. interface 1 : cote du sol déduites de la carte IGN ;
2. interface 2 : base (artificiellement supposée) du schiste sain, de façon à supposer une épaisseur de 100m de schistes.

Figure 3 – Vue des cotes du sol



III.6. MAILLAGE

Le code de calcul utilise la méthode des éléments finis. Le maillage est de type triangulaire et les informations sont calculées au droit du centre des nœuds des triangles. Cette méthode autorise plus de souplesse dans l'adaptation du maillage selon les différents endroits du modèle.

Le maillage est généré automatiquement selon la méthode Triangle®, en fonction des contraintes géométriques imposées (limites du modèle, position des hypothétiques ouvrages d'exploitation, réseau hydrographique interne et externe).

Dans le présent modèle, dans son utilisation pour le calcul hydrodynamique, le nombre de nœuds est 14308 pour 13966 éléments (triangles) de calcul. Les mailles les plus petites font 10m de côté et sont situées autour du futur point de forage.

III.7. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES / HYDRODISPERSIVES

Du point de vue hydrodynamique, les données bibliographiques dont nous disposons permettent de supposer une transmissivité dans les gammes de valeurs de $5.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

L'aquifère des schistes sains étant semi-captif sous les formations altéritiques de nature argileuse, nous considérerons un coefficient d'emménagement proche de 10^{-4} , la porosité réelle des schistes sera supposée être de 3%. Notons toutefois que les calculs ayant lieu en régime permanent, ces paramètres ne sont pas influents sur le résultat.

III.8. CONDITIONS AUX LIMITES

Les cotes topographiques ayant été entrées sur l'ensemble du modèle, le modèle calcule les niveaux de nappe et lorsque celle-ci vient à atteindre la cote du sol (ex : fond de ruisseau), le niveau de nappe est limité au niveau de la cote du sol. Ceci permet de drainer naturellement la nappe par le sol (comme dans le cas d'un ruisseau).

Un niveau imposé de nappe a été fixé à 91m NGF, ceci le long de l'autoroute A83 qui limite globalement le modèle à l'Ouest. Cette limite correspondant à une ligne de partage des eaux. Les valeurs ont été appliquées de manière constante dans le temps.

Par ailleurs, concernant le forage, il a été considéré un volume moyen annuel de $19000 \text{ m}^3/\text{an}$, ce qui en régime fictif continu appliquée sur l'ensemble de l'année donne un débit de $52 \text{ m}^3/\text{j}$.

IV. SIMULATIONS

IV.1. HYPOTHESES DE CALCUL

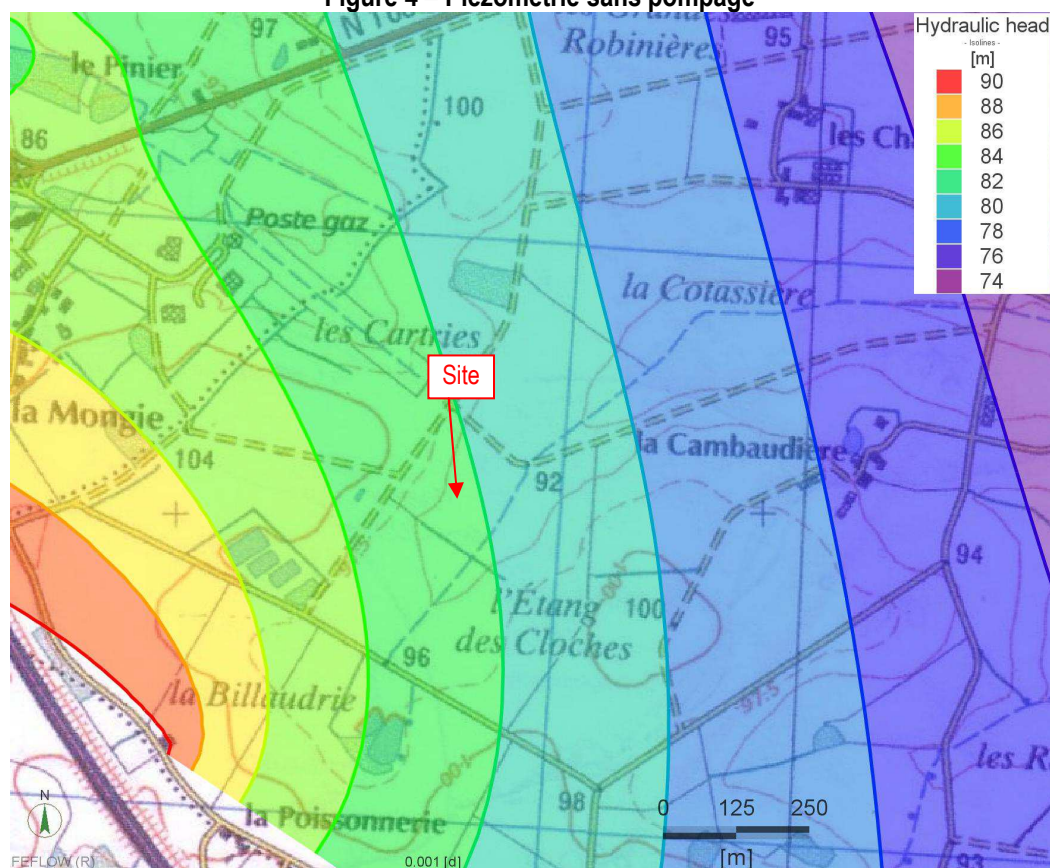
Deux simulations ont été réalisées tenant compte de la présence ou non du forage.

- une première simulation sans le forage TRANSPORTS SERVICES LAVAGES afin d'obtenir un état de référence.
- une seconde simulation avec le forage TRANSPORTS SERVICES LAVAGES.
- .

IV.2. SIMULATION N° 1 – ETAT DE REFERENCE

La Figure 4 consigne la carte piézométrique autour du forage sans application du pompage.

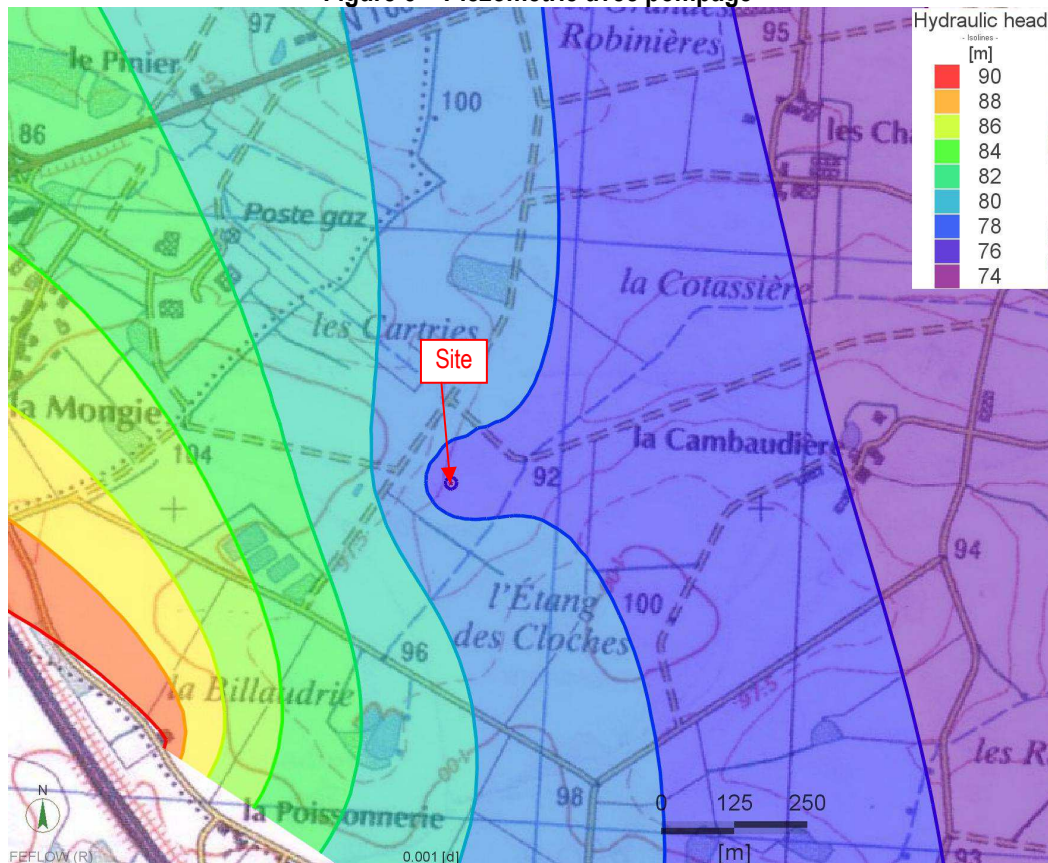
Figure 4 – Piézométrie sans pompage



IV.3. SIMULATION N° 2 – EN POMPAGE

La Figure 5 consigne la carte piézométrique autour du forage avec application du pompage. Ceci permet de visualiser le cône d'influence du forage.

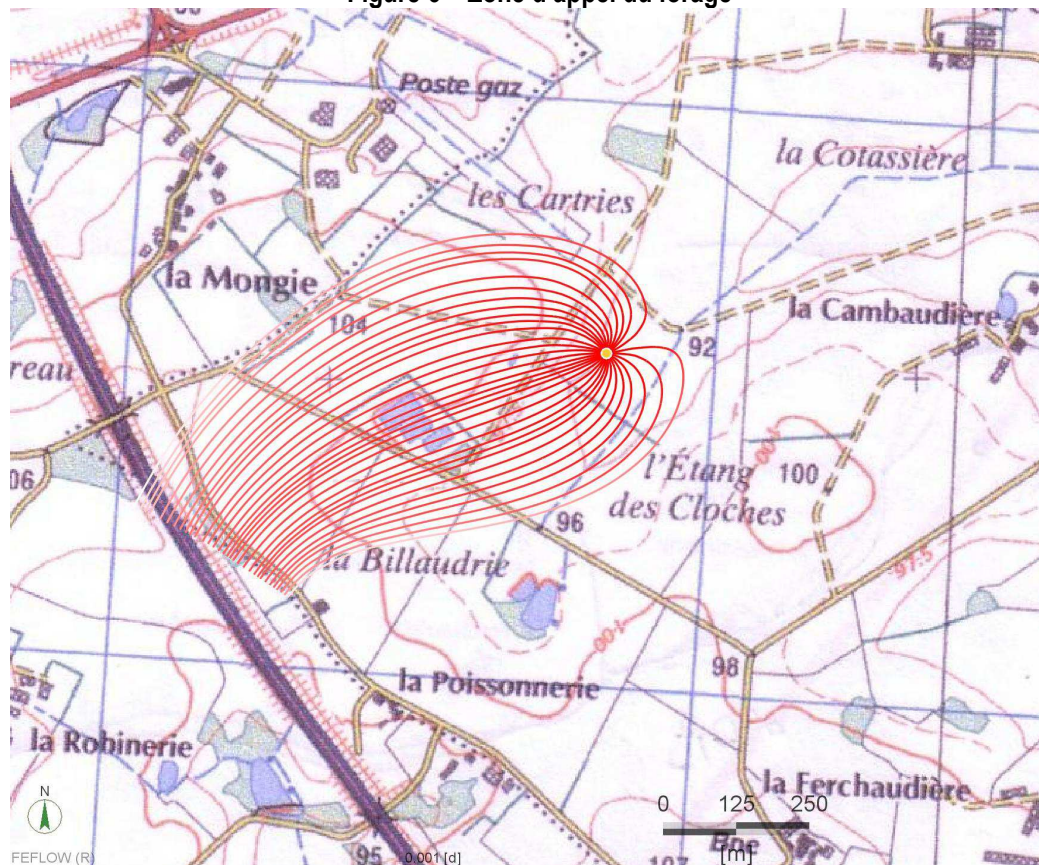
Figure 5 – Piézométrie avec pompage



La Figure 6 consigne la zone d'appel des eaux allant au pompage.

Ceci permet de constater que le forage ne touche pas de forages déclarés à la banque du sous-sol.

Figure 6 – Zone d'appel du forage



ANNEXE - ETUDES HYDROGEOLOGIQUES

CONDITIONS D'APPLICATION DES RAPPORTS D'ETUDES

Les conditions d'application suivantes sont valables dans la mesure où elles ne sont pas contraires aux prestations et conditions définies dans le devis du bureau d'études, en cas de contradiction entre le devis et ces conditions, les prestations et/ou conditions décrites dans le devis font foi.

1. Conditions Générales d'applications (CGA) des rapports d'études hydrogéologiques

1. Les études hydrogéologiques sont soumises à une obligation de moyens par le bureau d'études, et non à une obligation de résultats ;
2. les conclusions et interprétations du rapport d'études sont applicables à sa date de rédaction, tout changement ultérieur, notamment d'ordre réglementaire, annule l'application et la validité du rapport ;
3. les interprétations du rapport d'études sont valables dans les conditions environnementales (pluviométrie, hydrométrie, piézométrie,...) au moment des acquisitions ou des périodes concernées par les calculs. Sauf précision indiquée dans le rapport, les résultats ne peuvent être extrapolables dans des conditions environnementales différentes, mais également dans le cas où des actions anthropiques notables sont intervenues ultérieurement à l'étude ;
4. le rapport d'études ne peut être utilisé hors de son contexte ou dans un autre lieu ;
5. une étude hydrogéologique, telle que définie dans les conditions particulières d'application ci-après a pour seul objectif de renseigner sur les caractéristiques hydrodynamiques ou qualité du sol et du sous-sol et/ou qualité des eaux souterraines, ou caractéristiques thermiques. Toute utilisation en dehors de ce contexte, dans un but géotechnique par exemple, ne saurait engager la responsabilité du bureau d'études ;
6. le rapport d'études est applicable dans sa totalité, y compris ses annexes. Toute utilisation d'un extrait, tiré du contexte général du rapport, annule l'application et la validité du rapport.

2. Conditions Particulières d'applications (CPA) des rapports d'études hydrogéologiques

CPA.1 – Etudes liées à la protection de la ressource en eau souterraine publique ou privée

Ces études concernent notamment les investigations préalables à la mise en place des périmètres de protection. Elles font appel à la réalisation d'enquêtes sur le terrain (sources de pollutions ponctuelles et/ou chroniques).

- Le client intégrera que certaines de ces informations ne peuvent être acquises dans le cas où des propriétaires, soit s'opposent à la pénétration du bureau d'études dans les parcelles, soit restent injoignables dans le cadre des enquêtes. De même des parcelles d'études peuvent être rendues inaccessibles. Le bureau d'études ne peut alors être tenu pour responsable des imprécisions qui en résultent.

- La définition des aires d'appel et des isochrones du ou des captages objet(s) de l'étude est dépendante de l'obtention de paramètres hydrodynamiques (perméabilité, porosité...). Le client intégrera que certains de ces paramètres sont parfois non déterminés en l'absence d'investigations hydrogéologiques adaptées (pompages d'essai avec suivi sur des piézomètres). Le bureau d'études ne peut alors être tenu pour responsable des imprécisions qui en résultent si le client n'a pas souhaité mettre en œuvre les prestations nécessaires.

CPA.2 – Opérations de recherche en eau souterraine

- Aucun débit minimum ne pourra être garanti à l'avance lors de la réalisation du ou des forages de recherche d'eau préconisé par le bureau d'études, de même aucune garantie n'est fournie à l'avance sur la qualité des eaux qui pourraient être rencontrées.

- Les avis et études de faisabilité réalisés par le bureau d'études ne sauraient engager sa responsabilité quant aux différences pouvant apparaître entre les données acquises lors des phases de reconnaissance et essais, et la réalité rencontrée lors des travaux ultérieurs au rapport d'études. En effet, la géologie ne pouvant être considérée comme une science exacte et la morphologie des terrains pouvant varier latéralement rapidement au gré de phénomènes géologiques non visibles de la surface, de plus les conditions environnementales sont susceptibles d'évoluer entre les travaux de reconnaissance et les phases d'exploitation.

Sauf demande expresse du client, la responsabilité du bureau d'étude ne saurait être recherchée et poursuivie pour tous dégâts résultant des travaux réalisés dans le cadre de l'étude, aussi bien vis-à-vis des tiers que du client. Notamment les dégâts résultant de la rencontre de mines, câbles, canalisations diverses, etc... sont du ressort exclusif du client ou de la société de forage qui doivent prendre impérativement toutes précautions et assurances à cet égard ;

- La responsabilité du bureau d'études ne saurait être recherchée si le pétitionnaire ou les différents prestataires intervenants pour lui sont responsables d'une inobservation des textes légaux applicables au client ou à ses sous-traitants ;

CPA.3 – Interprétation hydrogéologique des pompages d'essai

- Dans les cas où les interprétations des pompages d'essai sont réalisées sur la base d'enregistrements (débits, niveaux piézométriques) fournis par le client ou par une tierce entreprise, ces enregistrements sont supposés comme exacts et réalisés avec des appareils étalonnés et fiables. Le bureau d'études ne saurait être reconnu pour responsable d'une mauvaise interprétation induite par l'altération de la qualité des données fournies par le client.

- Le client intégrera que les interprétations des pompages sont soumises à des incertitudes d'interprétation résultant des imprécisions inhérentes aux instruments d'acquisition. Les incertitudes de ces instruments sont généralement au minimum 0,1% et 1% de la valeur mesurée lorsque les bonnes gammes d'appareils ont été utilisées. L'incertitude totale résultante de l'intégration des différentes peut être supérieure.

- Les interprétations des pompages d'essai sont effectuées selon les méthodes en vigueur (Theis, Boulton, Hantush, etc...) et les mieux adaptées au contexte hydrogéologique. Elles ne sont cependant que des formules analytiques applicables dans des conditions particulières, qui ne peuvent être intégralement rencontrées dans le milieu naturel, aussi le client intégrera que des imprécisions d'interprétations sont présentes dans le rapport d'études.

CPA.4 – Modélisation mathématique

- La représentativité d'une modélisation mathématique dépend de la précision de la connaissance du contexte géomorphologique, géologique, hydrologique, hydrogéologique physico-chimique et éventuellement géothermique ;

- a. notamment les paramètres hydrodynamiques (perméabilité, emmagasinement libre et captif), et hydrodispersifs (dispersivité transversale, longitudinale et moléculaire) de l'ensemble des formations géologiques prises en compte sont sujets à des variations verticales et/ou latérales en raison des variations lenticulaires ou de la fracturation locale des terrains ;
- b. dans le cas de modélisation en zone non saturée, les incertitudes portent sur les teneurs en eau (à saturation et résiduelle), courbes de succion capillaire et perméabilité en fonction de la teneur en eau ;
- c. de même, les cotes topographiques, lorsqu'elles n'ont pas fait l'objet d'un nivellement précis sont seulement connues avec la précision de la cartographie fournie par l'IGN, ainsi des erreurs d'approximation de l'altitude sont possibles en des endroits sensibles telles que les fonds de vallée, où des relations nappe-rivière sont présentes

- Ces incertitudes précédemment citées génèrent des imprécisions dans les résultats de la modélisation, que l'utilisateur devra en permanence prendre en considération pour l'utilisation des résultats.

- Enfin, les informations fournies par le client dans le cadre de l'élaboration du modèle (ex : volumes ou débits pompés sur les ouvrages, etc...) sont réputées et considérées comme exactes par le bureau d'études et sont utilisées dans l'état, la responsabilité du bureau d'études ne saurait être engagée si ces données de base ne sont pas respectées ultérieurement à l'émission du rapport d'études ou si elles s'avéraient volontairement fausses dans le cadre de sa rédaction.

CPA.5 – Dossiers réglementaires liés à l'exploitation de la ressource en eau souterraine

Ces études concernent les dossiers réalisés au titre du code de l'environnement (rubriques 1.... de l'article R.214-1 du code de l'environnement, ou au titre du code de la santé publique.

- Les informations fournies par le client (volumes et débits demandés, position des ouvrages) sont réputées et considérées comme exactes par le bureau d'études et sont utilisées dans l'état. La responsabilité du bureau d'études ne peut être engagée si ces données de base ne sont pas respectées ultérieurement à l'émission du rapport d'études ou si elles s'avéraient volontairement fausses dans le cadre de sa rédaction.

- Sauf cas particulier, le rapport fourni n'inclut pas la conception ou le dimensionnement de l'ouvrage de recherche des eaux souterraines. La prestation du bureau d'études consistant dans la vérification de la compatibilité des travaux envisagés avec la réglementation en vigueur (lois, décrets, arrêtés) à la date de rédaction du présent document, sans considération des pratiques des règles de l'art (incombant à la société de forage). Le bureau d'études ne saurait endosser aucune responsabilité quant à des dysfonctionnements de l'ouvrage pouvant intervenir durant ou ultérieurement aux travaux. Enfin, les informations fournies par la société de forage, ou le client, et relatives à la conception du forage (méthode et diamètre de foration, d'équipement, profondeur...) sont réputées et considérées comme exactes par le bureau d'études et sont utilisées dans l'état. La responsabilité du bureau d'études ne peut être engagée si ces données de base ne sont pas respectées ultérieurement à l'émission du présent document ou si elles s'avéraient volontairement fausses dans le cadre de sa rédaction.

La réalisation du dossier par le bureau d'études ne garantit pas l'obtention de l'autorisation souhaitée auprès des services instructeurs.

CPA.6 – Hydrogéologie des infrastructures

Ces études sont relatives aux prestations hydrogéologiques associées aux projets enterrés (canalisations, drains, parkings souterrains,...).

- Les avis et études de faisabilité réalisés par le bureau d'études ne sauraient engager sa responsabilité quant aux différences pouvant apparaître entre les données prévisionnelles et la réalité rencontrée lors des travaux ultérieurs au présent document, la géologie ne pouvant être considérée comme une science exacte et la morphologie des terrains pouvant varier latéralement rapidement au gré de phénomènes géologiques non visibles de la surface.

- De même, le client intégrera que le bureau d'étude ne peut être tenu pour responsable des découvertes souterraines fortuites ou imprévues pouvant être faites dans le cadre des travaux présentés dans ce document et qui ne pouvaient être décelables lors de l'étude (ex : cavités...).

- La responsabilité du bureau d'études ne saurait être recherchée si le pétitionnaire ou les différents prestataires intervenants pour lui sont responsables d'une inobservation des textes légaux applicables au client ou à ses sous-traitants.

- Enfin, les résultats d'études sont valables dans la condition où l'infrastructure étudiée ne subit pas de modification par rapport au projet ayant fait l'objet des prestations hydrogéologiques.

CPA.7 – Identification / recherche des pollutions souterraines

Ces études concernent la recherche et l'identification des polluants inclus dans le sous-sol et les nappes sous-jacentes.

- Ces recherches sont basées sur la réalisation de sondages réalisés soit selon un maillage régulier, soit en fonction des présomptions de pollutions résultant de l'analyse historique du site, enfin soit en fonction des contraintes d'accessibilité (des zones peuvent être techniquement inaccessibles).

- Le client intégrera que la pertinence de la disposition des sondages est soumise à des aléas par rapport à l'extension potentielle de la pollution recherchée, aussi l'ensemble de la pollution ne peut être systématiquement caractérisé du fait de l'hétérogénéité du milieu naturel et des pollutions. Le bureau d'études ne peut être tenu pour responsable des conséquences de ces aléas.

- Le bureau d'études ne peut être tenu pour responsable des découvertes souterraines fortuites ou imprévues pouvant être faites dans le cadre des travaux présentés dans ce document et qui ne pouvaient être décelables lors de l'étude (ex : cavités, tuyaux...).

- Sauf demande expresse du client, la responsabilité du bureau d'étude ne saurait être recherchée et poursuivie pour tous dégâts résultant des travaux réalisés dans le cadre du présent document, aussi bien vis-à-vis des tiers que du client. Notamment les dégâts résultant de la rencontre de mines, câbles, canalisations diverses, etc... sont du ressort exclusif du client ou de la société de forage qui doivent prendre impérativement toutes précautions et assurances à cet égard.

- La responsabilité du bureau d'études ne saurait être recherchée si le pétitionnaire ou les différents prestataires intervenants pour lui sont responsables d'une inobservation des textes légaux applicables au client ou à ses sous-traitants.

CPA.8 – Etudes liées à la géothermie

Ces études concernent les investigations hydrogéologiques ayant rapport avec la recherche ou l'exploitation de la chaleur de la terre.

- Aucune garantie n'est fournie sur les capacités calorifiques qui peuvent être extraites des dispositifs d'extraction ou de rejet de chaleur.

- De même, sauf demande particulière, le bureau d'études n'a pas vocation à fournir des indications sur le dimensionnement des dispositifs de récupération de chaleur, il appartient aux sociétés spécialisées d'effectuer les calculs de rendements, ainsi que de vérifier la compatibilité entre le matériel mis en place hors forage pour l'extraction de la chaleur et la chimie des eaux