

Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

**SHYGMA**

Expertise et conseils en hydrogéologie

**GURDEBEKE**

**Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive  
de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe  
de la craie.**

**Rapport**

Ref : RP

Janvier 2009

## SOMMAIRE

<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS .....</b>	<b>4</b>
<b>2. METHODOLOGIE.....</b>	<b>4</b>
2.1 DEFINITION DU MODELE CONCEPTUEL .....	4
2.2 CONSTRUCTION DU MODELE NUMERIQUE - DESCRIPTION.....	6
2.2.1 Hypothèses de base et logiciel utilisé.....	6
2.2.2 Extension, domaine représenté .....	7
2.2.3 Maillage en plan horizontal.....	7
2.2.4 Structure verticale.....	7
2.2.5 Limites conditions aux limites.....	7
2.2.6 Paramètres hydrodynamiques .....	7
2.2.7 Piézométrie .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.3 CALAGE .....	8
2.3.1 Démarche générale.....	8
2.3.2 <i>Estimation de la recharge et de ses fluctuations</i> .....	8
2.3.3 Résultats : piézométrie .....	8
2.3.4 Résultats : perméabilités .....	8
2.3.5 Résultats : bilans (p.m.).....	8
2.4 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRODISPERSIF ET SIMULATIONS .....	8
2.4.1 <i>Description du modèle et justification des paramètres retenus</i> .....	8
2.4.2 <i>Objectifs définition des simulations</i> .....	9
2.4.3 <i>Résultats : Concentrations</i> .....	9
2.4.4 <i>Résultats : bilans</i> .....	9
<b>3. CONCLUSION .....</b>	<b>10</b>

## FIGURES

Figure 1 : Carte de synthèse hydrogéologique (extraite du rapport Archambault Conseil.....	11
Figure 2 : Géologie et localisation des coupes .....	11
Figure 3 : Coupe géologique et hydrogéologique Est-Ouest de Hardivillers à Bretenil .....	11
Figure 4 : Coupe géologique et hydrogéologique Nord-Sud de Troussencourt à Villiers-Vicomte .....	11
Figure 5 : Coupe géologique et hydrogéologique en périphérie ouest de Bretenil.....	11
Figure 6 : Variations de niveau de la nappe de la craie sur les piézomètres de Crèvecoeur-le-Grand et Noiremont. ....	11
Figure 7 : Définition des limites du modèle hydrodynamique et du maillage .....	12

## TABLEAUX

Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

*Tableau 1 : Caractéristiques des piézomètres mis en place sur le site..... 7*

Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

## 1. Contexte et objectifs

La société GURDEBEKE a le projet de créer un CSDU sur le site d'une ancienne carrière situés à Hardivillers. (60).

Dans la cadre de l'instruction du dossier de demande d'autorisation d'exploitation déposé par le pétitionnaire la DIREN Artois Picardie a demandé que soit réalisée une étude par modélisation en vue d'évaluer l'impact de ce projet sur les captages de VENDEUIL –CAPLY alimentant la ville de BRETEUIL

Le cahier des charges de la prestation a été défini par H. DENUDT hydrogéologue agréé.

Le dossier de demande d'autorisation d'exploitation a été monté par le BET Archambault Conseil qui à ce titre a réalisé les chapitres géologie et hydrogéologie de ce dossier à parti d'un rapport d'étude de faisabilité consacré à ces deux sujets ( rapport CAP2188-V4-5)

C'est en tenant compte de cet acquis et après avoir pris connaissances des objectifs et contraintes du projet par le CCTP et du contexte géologique et hydrogéologique général par les données disponibles sur Internet et/ou résultant de son expérience de cas similaires que SHYGMA a réalisé la présente étude

## 2. Méthodologie

### 2.1 Définition du modèle conceptuel

#### 2.1.1 Données publiques régionales; définition du contexte hydrogéologique général

Le contexte géologique général est connu par la carte géologique au 1/50000 feuille de Saint Just en Chaussée et par les données des coupes de forages enregistrés dans la Banque de données du Sous-sol(BSS)

Le contexte hydrogéologique régional est décrit pour l'ensemble du département par l'atlas hydrogéologique de l'Oise au 1/100 000 publié en 1979

Il existe en outre un réseau de piézomètres d'observation mis en place et gérés par l'Agence de l'Eau Seine Normandie en reprenant le plus souvent des ouvrage déjà observés par le BRGM depuis l'époque des premiers inventaires de ressources hydraulique (IRH, dans les années 1960)

La carte de Synthèse hydrogéologique établie par Archambault conseil en complétant et actualisant certaines donnée de l'Atlas (mais non la carte piéziométrique) montre que le CSDU est implanté dans le bassin versant rive gauche de la Noye .dans des terrains d'age créacé au dessus de la nappe de la craie du Coniacien/Turonien.

On sait que cette nappe libre qui s'étend sur tout le domaine de craie du nord du bassin parisien (plus généralement de toute sa périphérie ) est constituée par la juxtaposition de bassins versants hydrogéologiques, coïncidant à très peu près avec les bassins versants superficiels des cours d'eau majeurs, Ceux-ci constituent des limites de drainage de la nappe qui est alimentée par infiltration des eaux météorique sur les zones de plateau., Sur ces zones le ruissellement es quasi nul . Il ne de vient significatif que sur les flancs des vallées sèches et en périodes de forte précipitations ce qui ne représente qu'une part infime de la précipitation efficace

Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

La nappe est exploitée par de nombreux ouvrages. Mais les plus productifs se situent dans les vallées où la perméabilité (de fissuration) est nettement plus élevée que sous les plateaux...

## **2.1.2 Synthèse de l'hydrogéologie locale d'après le rapport d'Archambault Conseil**

Le rapport d'Archambault Conseil rassemble des données et informations plus précises sur les points détaillés ci-dessous qui ont été pris en compte pour la construction et le calage du modèle.

### **2.1.2.1 Géomorphologie, topographie**

Le site du CSDU d'Hardivillers se trouve à l'est du bourg en bordure d'une zone de plateau qui s'étend en pente douce entre les cotes 186 m BNGF, en point culminant de limite de bassin versant (à l'est) et la cote 150 m qui passe immédiatement à l'ouest du site.

Vers l'ouest le plateau est entaillé par plusieurs vallées sèches globalement orientées Est-Ouest qui descendent vers la vallée humide de la Noye d'orientation nord-sud à une cote de l'ordre de 80 m.

Le site occupe l'emplacement d'une ancienne carrière de craie phosphatée implantée en tête d'une de ces vallées sèches. La cote du sol affectée par les creusements dus à l'exploitation varie de 148 m à l'ouest (piézomètre PZ1) à 126 m à l'ouest (en PZ3)

### **2.1.2.2 Hydrographie**

La Noye située à 14 km à l'ouest est le seul cours d'eau pérenne en périphérie est du plateau. Sa source est à la cote 83 m NGF à Vendeuil-Caply au nord et en amont du champ captant, à 79 m au nord du champ et s'abaisse régulièrement jusqu'à la cote 74 en aval du bourg de Breteuil.

### **2.1.2.3 Géologie, structure**

La Figure 2 illustre la géologie et le cadre structural autour du projet dans le bassin versant de la Noye (rive gauche, ouest).

La craie du Sénonien affleure sur toute l'étendue du domaine au sud de Breteuil. Elle a un pendage général vers le sud-ouest mais elle est affectée par de petites structures anticlinales et synclinales d'axe Nord-Ouest / Sud-Est.

Le projet se trouve au niveau d'un axe synclinal entre deux axes anticlinaux de Doneliers-Thieux au sud et Paillrt-Ferrières au nord. Le contact entre le Sénonien plus fracturé et aquifère et le Turonien qui débute par des horizons plus argileux (les « dièves »), formant substratum hydraulique, s'y trouve vers la cote 70.

Ce pendant l'affleurement du Turonien dans la vallée de la Noye au sud de Breteuil révèle une légère flexure anticlinale d'axe Nord-Est-Sud-Ouest qui recoupe les deux structures précédentes.

Les coupes basées sur les forages existants données en Figure 3, Figure 4, Figure 5 illustrent cette situation. On remarque en particulier que le captage de Caply-Vendeuil se trouve dans des alluvions entaillant le Turonien en affleurement dans la vallée de la Noye et qu'il ne communique hydrauliquement avec le Sénonien que par une bande de Turonien sans doute relativement moins perméable. (que les alluvions et le Sénonien) Voir Figure 3.

Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

#### **2.1.2.4 Perméabilités**

#### **2.1.2.5 Piézométrie**

On ne dispose que d'une carte piézométrique d'ensemble du domaine : celle publiée dans l'Atlas de l'Oise qui est donnée en Figure 1, pour la partie de l'écoulement qui est centrée sur le site et intègre, à l'aval, le captage de Caply-Vendeuil.

#### **2.1.2.6 Prélèvements**

Trois captages pour AEP ont été identifiés

Voir tableau récapitulatif

**Tableau 1 : Captages AEP**

### **2.1.3 Données sur le site définition des caractéristiques du projet et de ses impacts sur le milieu**

On sait d'après le CCTP que les alvéoles de stockage du CSDU sont sus-jacentes à la nappe de la craie du Coniacien/Turonien.

Le site est équipé de 4 piézomètres d'auto-surveillance dont les données de base sont rappelées dans le tableau ci-dessous. Trois sont dans l'enceinte de l'ICPE. Un quatrième a été installé récemment (décembre 2008) à l'aval du site le long de la D930, dans l'axe de la vallée Saint Pierre, afin d'exercer un contrôle plus lointain de l'impact éventuel du CSD.

**Tableau 2 : caractéristiques des piézomètres de contrôle**

## **2.2 Construction du modèle numérique hydrodynamique, description**

### **2.2.1 Hypothèses de base et logiciels utilisés**

Les simulations de l'écoulement souterrain ont été réalisées avec le logiciel Talisman

Ce logiciel (dont notice de présentation en annexe) a été développé depuis 1990 sous la direction de Marc BONNET ancien chef du Département hydrogéologie du BRGM et spécialiste en modélisation hydrogéologique avec le concours du Laboratoire d'analyse numérique de l'Université d'Orsay (voir extrait de la revue Plein SUD..) par le moyen de deux thèses (N. RAMAROSY et M. VOHRALIK).

Son développement se poursuit actuellement pour la simulation des phénomènes hydrodispersifs dans le cadre d'un contrat de post-doctorat (avec M. Vohralik) cofinancé par HYDOEXPERT et le CNRS sous la conduite de D. HILHORST directrice du laboratoire d'analyse numérique d'Orsay et de L. DEMONGODIN directeur de l'unité de modélisation d'HYDOEXPERT

Talisman a été mis en œuvre pour de nombreuses études de systèmes hydrogéologies multicouches complexes comme :

- Astien de la région de Valras
- Système multicouche des nappes du crétacé inférieur du bassin parisien (nappe dite de l'Albien)
- Système de la nappe de Beauce

Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

Pour ce qui concerne les nappes (à surface libre) en milieu de craie ou de calcaire du secondaire citons :

- Bassin versant de l'Hallue
- Champ captant de la CAMY (vallée de la Seine près de Mantes
- Nappe du Dogger des environs de Caen (étude de l'impact des recharges exceptionnelles de l'hiver 2001).

Une liste de références est donnée en annexe

Comme demandé par le CCTP les simulations hydrodispersives ont été réalisées avec l'ensemble MODFLOW –MT3D ;

### **2.2.2 Extension, domaine représenté**

Le domaine pris en compte pour les simulation hydrodynamiques correspond au bassin versant hydrogéologique de rive gauche de la Noye qui est le bassin le plus réduit possible tout en étant délimité par des limites physiques stables

Il est représenté en Figure 7

### **2.2.3 Maillage en plan horizontal**

Le maillage de base est au pas régulier (mailles carrées) de 135 m.

Pour représenter plus précisément les phénomènes de transfert et l'impact des captages sur la piézométrie le maillage a été réduit au pas de 45 m dans un rectangle qui inclut le CSDU et les trois principaux captages identifiés dans le bassin ; en particulier celui qui a le plus fort débit et qui est le plus sensible à un risque de pollution : Vendeuil Caply.

### **2.2.4 Structure verticale**

Le modèle est monocouche à surface libre avec hypothèse de Dupuit.

C'est à dire que l'écoulement est admis strictement bi –dimensionnel (pas de composante verticale) . La transmissivité est prise comme le produit de la perméabilité (horizontale) par l'épaisseur mouillée au dessus du substratum ( supposé strictement imperméable) = niveau piézométrique –cote du substratum., tous deux exprimés en altitude NGF.

La surface du substratum a été imposée en admettant comme base de départ le cote de la base du Sénonien, estimée au droit du CSD à partir de coupes des piézomètres soit 80 m NGF

### **2.2.5 Limites conditions aux limites**

### **2.2.6 Paramètres hydrodynamiques**

### **2.2.7 Piézométrie**

**Tableau 3 : Caractéristiques des piézomètres mis en place sur le site**

Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

## **2.3 Calage**

### **2.3.1 Démarche générale**

Le calage a été réalisé en régime permanent

On admet que la piézométrie moyenne de chaque année dépend essentiellement de la recharge de la période humide immédiatement précédente.

Autrement dit la piézométrie moyenne est obtenue en imposant la recharge moyenne. Les piézométries extrêmes sont obtenues en imposant les recharges extrêmes.

Le calage se base d'abord sur la reproduction de la carte piézométrique donnée par l'atlas piézométrique de l'Oise qui d'après l'examen des hydrogrammes des piézomètres de Crèvecoeur-le-Grand et de Noiremont (voir Figure 6) correspond à une recharge légèrement inférieure à la moyenne.

Il se base également sur la reproduction de l'amplitude des variations piézométriques qui pour ces mêmes piézomètres est de l'ordre de 10 m entre les extrêmes observés sur la période de 40 ans 1963-2003 soit l'étiage de 1976 et le crue de 2001.

Les recharges qui sont donc le phénomène causal essentiel ont été estimées par l'algorithme Thornthwaite selon la méthodologie exposée ci après.

La recharge, exprimé en m<sup>3</sup>/s, est toujours supposée uniformément répartie sur tout le domaine.

### **2.3.2 Estimation de la recharge et de ses fluctuations**

#### **2.3.3 Résultats : piézométrie**

#### **2.3.4 Résultats : perméabilités**

#### **2.3.5 Résultats : bilans (p.m.)**

## **2.4 Construction du modèle hydrodispersif et simulations**

### **2.4.1 Description du modèle et justification des paramètres retenus**

Les simulations hydrodispersives ont été réalisées avec l'ensemble MODFLOW –MT3D sur la base des situations piézométriques déterminées par le modèle Talisman pour la zone rectangulaire divisée au pas de 45 m englobant le CSDU et le champ captant de Vendeuil-Caply

La démarche est la suivante :



Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

- Transfert du modèle TALISMAN sous MODFLOW au moyen du logiciel WINFLOW (cf. fiches descriptive en annexe) par export/import de fichiers d'échange au format GRD ou PM. Cette opération ne peut se faire sans perte d'information que si le maillage est régulier. Par ailleurs notre version de MT3D est limitée à 16200 mailles. On a donc travaillé sur un domaine limité du bassin versant considéré pour le modèle hydrodynamique. : un rectangle incluant à l'amont le CSDU et aboutissant en aval au captage de VENDEUIL-CAPLY et à la Noye..
- Reprise des calcul hydrodynamiques sous modflow96 et paramétrage des calculs en transport pour mt3d (mailles sources, diffusivité, dispersivité). Les sources, en l'occurrence les mailles correspondant aux casier du CSDU ou toute surface susceptible d'émettre une pollution sont représentées par une condition de concentration constante et unitaire.

Le rendu des résultats se fait par :

- Cartographie du panache stabilisé (temps infini)
- Historique des concentrations sur un réseau de mailles d'observation entre le point d'émission et la cible.

Sont conservées en archives informatiques pour contrôles et compléments de traitement éventuels :

- Fichiers d'entrée et de sortie exploitables sous MODFLOW (bas.dat ; bcf.dat ; rech.dat, head.dat, mt3d.flo....) et sous MT3D (bast.dat, ssm.dat, adv.fat, dsp.dat, mt3d.ucn ...)

#### **2.4.2 Objectifs définition des simulations**

(Voir conclusions)

#### **2.4.3 Résultats : Concentrations**

(Voir les figures en fichier joint)

#### **2.4.4 Résultats : bilans**

(Sans doute inutile à ce stade)

Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

### 3. CONCLUSIONS

Le calage du modèle hydrodynamique a été réalisé en se basant sur :

- le tracé de l'isopièze 80 m NGF qui se positionne à l'amont immédiat du captage de Vendeuil Caply
- le gradient existant entre le site et cette isopièze (pour différentes valeurs de la recharge).
- L'amplitude des variations de la nappe au droit du site et en général sur les piézomètres du réseau de l'Agence Seine Normandie les plus proches
- Les valeurs de perméabilité connues, en particulier au droit du site.

Pour tous ces critères le calage est

Le modèle hydrodynamique reproduit bien les écoulements entre le CSD et le captage de Caplu y Vendeuil et permet donc de déterminer le champ des vitesses dans ce domaine avec une précision et une représentativité fiable.

Le modèle hydrodispersif basé sur ce(s) champ(s) de vitesse considéré pour différentes conditions de recharge a permis de délimiter l'extension et l'évolution dans le temps d'un panache de pollution qui prendrait naissance au droit du CSD.

Plusieurs hypothèses ont été considérées sur la durée et l'extension de la source de pollution :

- Durée infinie : On n'identifie pas la source ou on ne peut pas la supprimer (cas extrême)
- Durée limitée, en l'occurrence à trois ans. On peut traiter et supprimer la source dans ce délai
- La source coïncide avec toute l'étendue du site (cas extrême)
- La source coïncide avec un casier (plus réaliste)

La source est imposée comme une concentration de référence prise égale à 1. Les résultats sont donnés sous la forme de courbe d'isovaleurs dans la gamme relative de 1 à  $10^{-6}$ .

Le modèle donne un résultat majorant car il ne tient pas compte de l'effet de dilution par l'apport d'eau non contaminée qui parvient par recharge directe au droit du panache. Et en atténue donc progressivement la concentration.

Il montre que dans tous les cas, même les plus pessimistes en ce qui concerne l'étendue et la durée de la source. Il n'y a aucun risque que le panache atteigne le captage de Caplu y Vendeuil.

Le piézomètre mis en place récemment à l'aval du site permet de toute façon de détecter la pollution dans un délai raisonnablement court.

Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

**Figure 1 : Carte de synthèse hydrogéologique** (extrait du rapport Archambault Conseil )

**Figure 2 : Géologie et localisation des coupes** (extrait du rapport Archambault Conseil )

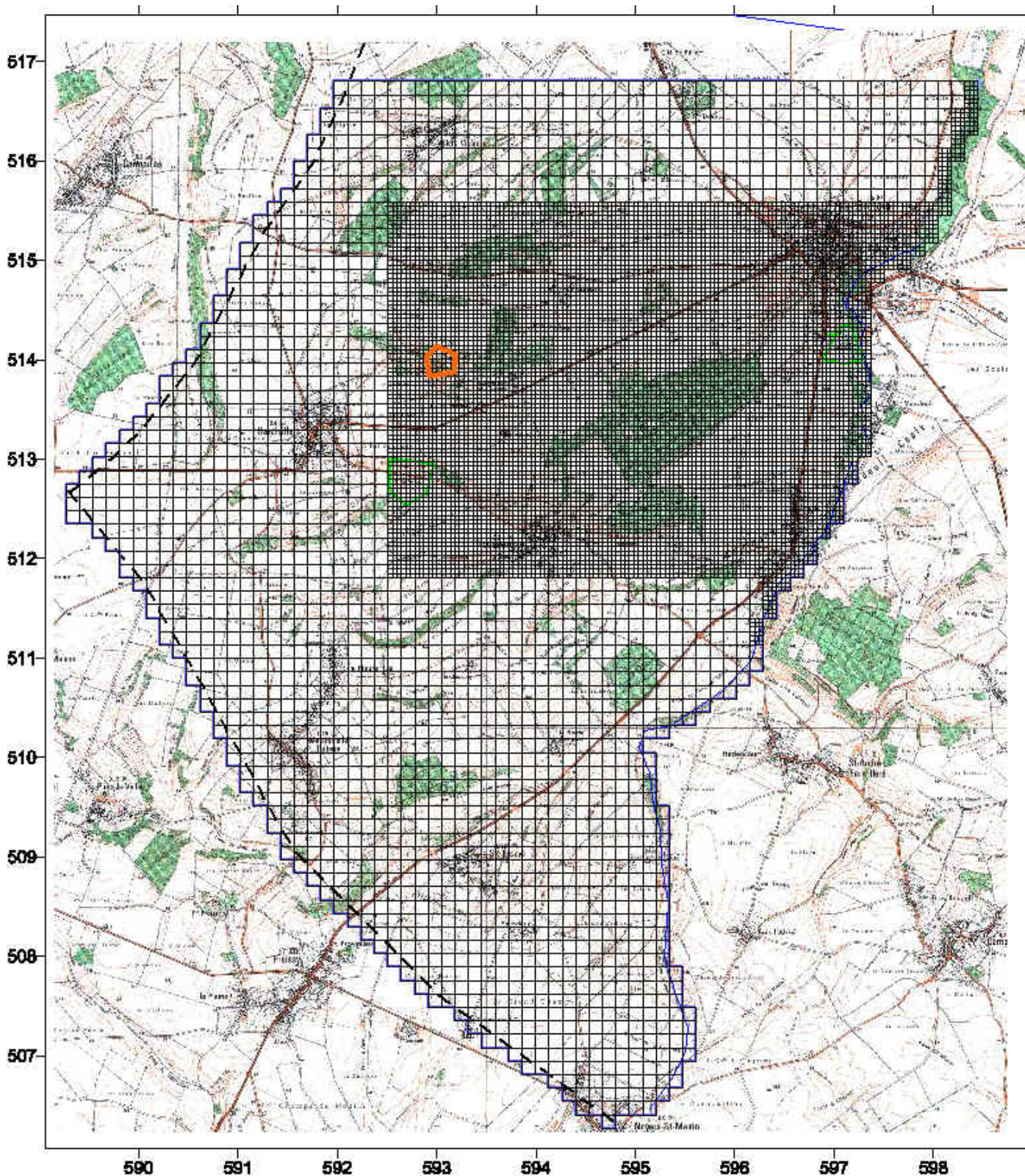
**Figure 3 : Coupe géologique et hydrogéologique Est-Ouest de Hardivillers à Breteuil**  
(extrait du rapport Archambault Conseil )

**Figure 4 : Coupe géologique et hydrogéologique Nord-Sud de Troussencourt à Villiers-Vicomte** (extrait du rapport Archambault Conseil )

**Figure 5 : Coupe géologique et hydrogéologique en périphérie ouest de Breteuil**  
(extrait du rapport Archambault Conseil )

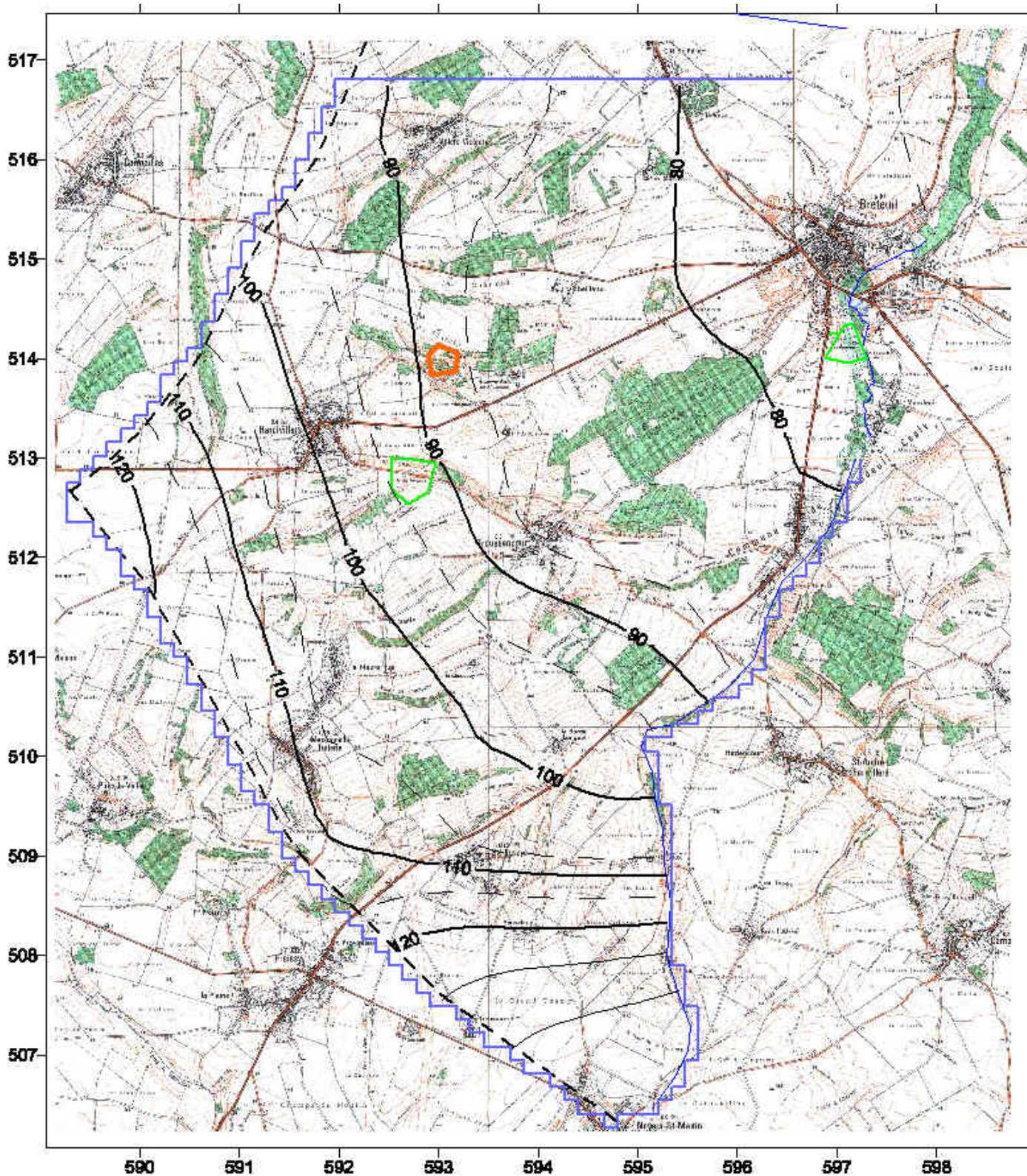
**Figure 6 : Variations de niveau de la nappe de la craie sur les piézomètres de Crèvecœur-le-Grand et Noiremont.** (extrait du rapport Archambault Conseil )

**Figure 7 : Définition des limites du modèle hydrodynamique et du maillage**



Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

Figure 8 : Piézométrie simulée pour une recharge de 100 mm (calage)



Client - Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive de l'impact du CSDU de Hardivillers sur la nappe de la craie.

Figure 9 : Variations de la piézométrie pour des recharges de 80 ,150 et 220 mm

(Vert 80 , bleu 150, rouge 220)

