

# **GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE DE L'AUDOMAROIS**

EXPERTISE D'HYDROGEOLOGUE AGREE EN MATIERE D'HYGIENE  
PUBLIQUE

par Jacky MANIA

Hydrogéologue agréé par l'ARS pour le département du Pas de Calais

adr. Pers. 33 Le Coteau 25115 POUILLEY les VIGNES (FRANCE)

tel. Pers. 0381580375/ 0629735356

Courriel : [JackyMania@aol.com](mailto:JackyMania@aol.com)

27 JUILLET 2016

## **I- OBJET**

A la demande (du 11 février 2016) de Monsieur le Président du Syndicat mixte pour l'aménagement et la gestion des eaux de l'Aa (« SmageAa ») et de la Commission locale de l'eau (CLE) de l'Audomarois, Monsieur le Directeur de l'ARS du Nord-Pas de Calais (en date du 12 avril 2016) sur proposition de Monsieur Erick Carlier (Coordonnateur des hydrogéologues agréés pour le département du Pas-de-Calais), m'a désigné pour afin d'examiner les résultats de l'analyse du bilan hydrologique pour un accroissement éventuel du débit de la nappe de la craie à partir de nouveaux champs captants.

L'avis hydrogéologique demandé porte sur deux missions :

- un avis sur les résultats de l'étude de prospection sur le territoire du SAGE de l'Audomarois,
- une validation de la recherche en eau pour assurer les besoins des collectivités.

Les rapports des bureaux d'études suivants ont été utilisés :

-Aquatec « Prospection des ressources en eau potable- Estimation de l'impact sur l'habitat aquatique » du 24/11/2015 (A14-3/A),

-Amodiag Environnement « Prospection hydrogéologique dans la vallée de l'Aa- Reconnaissance qualitative de l'aquifère crayeux » de juillet 2015 (version 01), ont été fournis les CR des travaux de réalisation des piézomètres de reconnaissance et des forages destinés aux essais de pompage, les diagraphies, le suivi des essais de pompage, les analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux brutes, les résultats du modèle de simulation mathématique des écoulements des eaux souterraines et de l'extension des zones d'influence des pompages,

-Antea Groupe « Campagne de jaugeage sur l'Aa- Résultats des campagnes de jaugeage, courbes de tarage et évolutions des débits » de septembre 2015 (A81490/A).

## **II- SITUATION**

Le bassin versant de l'Aa (figure 2.1) s'étend de l'Artois crayeux à la lisière de la Flandre argileuse sur une surface d'environ 665 km<sup>2</sup> entre les bassins de la Liane à l'Ouest, la Canche au Sud, de la Hem au NW et de la Lys au SE.

Les altitudes varient d'un maximum de +199 mNGF ,en amont dans le secteur d'Herly (à l'interfluve Aa – Créquoise) , à un minimum de +20 mNGF à la jonction de l'Aa avec le marais d'Arques à Watten qui débouche sur la Flandre maritime (d'une altitude de +2 à +6 mNGF).

L'Audomarois est drainé par l'Aa qui reçoit le Bléquin à Lumbres. Ces rivières sont orientées selon une direction N30 guidée par l'inclinaison NE des couches géologiques. En aval ,dans le secteur d'Arques, l'Aa rejoint un réseau de marais et du canal de Neuffossé qui rejoindra le canal de Bourbourg pour atteindre la côte maritime de Calais à Dunkerque.

Le réseau hydrographique et les limites du bassin de l'Audomarois sont détaillés (figure 2.1).

### **III- GEOLOGIE**

Le sous-sol est caractérisé par les formations crayeuses du Crétacé supérieur (C4 : craie du Sénonien , C3c: craie du Turonien supérieur , C3b-a : marnes du Turonien moyen et inférieur, C2: craie marneuse du Cénomanién), recouvertes sur les sommets de l'Artois par les limons des plateaux (Lp) et les limons à silex (Ls) et des formations sableuses résiduelles en poches du Tertiaire. Vers le NE vers la région audomaroise le massif crayeux est recouvert par les formations tertiaires constitutives des Flandres marécageuses.

L'Artois crayeux constitue un vaste anticlinal de direction N120 et s'enfoncé régulièrement sous les terrains tertiaires en direction soit de l'E-NE soit du S-SW. Des failles de direction N120 décalent les formations géologiques .

Dans les vallées, le sol est tapissé de limons de lavage argilo-sableux et d'alluvions modernes (Fz). Sur les plateaux des limons d'origine éolienne (LP) se développent sur des épaisseurs atteignant une dizaine de mètres.

#### **3.1 - Contexte et structure géologique de la région**

Le secteur concerné est caractérisé par le passage des collines de l'Artois du bassin de l'Aa (secteurs de Bourthes, Verchocq, Fauquembergues, Wizernes, Arques , Saint-Omer) et de son affluent majeur le Bléquin (secteur de Nielles les Bléquin, Lumbres) à la plaine de Flandre (figure 2.1).

L'ossature morphologique est constituée par les assises du Crétacé supérieur reposant en transgression et discordance sur un substratum paléozoïque plissé, faillé et chevauchant visible à une trentaine de kilomètres plus à l'Ouest à la faveur de la boutonnière anticlinale du Boulonnais. La structure géologique d'ensemble correspond au flanc N.E. du horst-anticlinal de l'Artois dont les assises crayeuses s'enfoncent dans cette même direction avec un pendage de l'ordre de 10°. Des failles directionnelles (N 120 à 130 E), généralement à regard N .E., découpent les assises géologiques en marches d'escalier.

A l'approche de la plaine de Flandres dans la région audomaroise ,le substratum crayeux est recouvert par les formations argileuses et sableuses tertiaires qui couronnent notamment les collines encadrant la vallée de l'Aa de part et d'autre de Blendecques, Wisques et Longuenesse au Nord, Helfaut au Sud), en fond de vallée se déposent les alluvions de l'Aa.

#### **3. 2 - Lithostratigraphie**

##### **3.2.1-Le Crétacé**

La série crayeuse comprend :

- à sa base, des assises marneuses à marno-crayeuses passant localement à des craies marneuses, d'âges Cénomanién puis Turonien inférieur et moyen, pouvant atteindre une centaine de mètres d'épaisseur dans le secteur( 96 m au forage de Blendecques 12 -2x-042). Le substratum imperméable sous le Cénomanién est constitué par les argiles du Gault.

-une série où la craie devient prédominante au Turonien supérieur : craie grise à silex avec parfois des bancs de meule (craie indurée siliceuse) et de « tun » (craie à nodules phosphatés), passant vers le haut à une craie plus blanche à silex encore abondants et enfin à une craie blanche plus fine sans silex d'âge coniacien probable (Sénonien inférieur). Dans le secteur, cet ensemble crayeux qui constitue l'aquifère principal présente une épaisseur de 60 à 90 m, épaisseur qui décroît sensiblement vers le N.E. du fait de

l'érosion et lorsque la craie plonge sous le recouvrement tertiaire et quaternaire de la plaine de Flandre. L'érosion dans les vallées et sur les plateaux de l'Artois affecte principalement les affleurements de la craie blanche du Sénonien et parfois du Turonien supérieur. Des cartes de la variation des épaisseurs moyennes des niveaux du Turonien et du Cénomaniens ont été établies (Caulier,1974) et permettent de donner une évolution spatiale sur les secteurs du bassin de l'Aa (tableau 3.1 et figures 3.1 à 3.3). Le chapitre V (paragraphe 5.1) permettra de confronter ces synthèses régionales aux nouveaux résultats obtenus sur les piézomètres de reconnaissance en juillet et août 2013 (Pzc1,Pzc3, Pz4,Pz5, Pz6 et Pz7).

La prospection par diagraphies électriques a permis de localiser des faciès du Cénomaniens supérieur où la présence d'argile est la plus basse (résistivité>80 ohms/m).

Tableau III.1: variation des épaisseurs moyennes de craie dans le bassin de l'Aa

	Turonien supérieur crayeux C3c	Turonien moyen marno-crayeux C3b	Turonien inférieur marneux C3a	Cénomaniens C2 sup.+moy. +inférieur
Verchocq	15 m	40 m	24 m	51 m dont 20 m supérieurs crayeux
Fauquembergues	15 m	41 m	21 m	51 m dont 20 m supérieurs crayeux
Lumbres	12 m	37 m	22 m	42 m marneux
Blendecques	12 m	34 m	21 m	35 m marneux
Saint Omer	15 m	33 m	21 m	25 m marneux

Les niveaux crayeux et marneux du Turonien-Cénomaniens oscillent du Sud vers le Nord entre des épaisseurs de 130 m (Haute Aa) à 94 m (Saint Omer). En ôtant les niveaux marneux du Turonien inférieur et du Cénomaniens inférieur l'épaisseur de la craie passe de 109 m (Haute Aa) à 48 m (Basse Aa). A partir du cours moyen de l'Aa (à mi distance entre Fauquembergues et Lumbres) les formations du Cénomaniens sont marneuses et peu aquifères.

### 3.2.2 - Le Tertiaire

Il débute par des argiles plus ou moins sableuses (Argile de Louvil) passant localement à des sables argileux fins à ciment d'opale (Tuffeau de St Omer) du Thanétien inférieur (ex-Landénien dans la région).

Les argiles peuvent atteindre 20 à 30 m sous le marais audomarois. Leur faible perméabilité (de l'ordre de  $10^{-8}$  m /s) permet néanmoins des échanges verticaux par drainance.

Au Thanétien supérieur se déposent des sables fins, localement grésifiés, souvent glauconieux, (Sables d'Ostricourt), avoisinant 10 à 15 m d'épaisseur dans le secteur de Saint-Omer, faiblement perméables ( $1$  à  $2 \cdot 10^{-5}$  m/s) ces sables constituent un aquifère secondaire d'intérêt local.

Au N.E. de Saint-Omer, la série se complète avec des argiles plastiques compactes d'âge Yprésien ou Argile des Flandres, très peu perméables (de l'ordre de  $10^{-12}$ m /s).

### 3.2.3 - Le Quaternaire

Les assises crayeuses et leur recouvrement tertiaire s'enfouissent au N.E. sous les alluvions du marais audomarois, constituées d'un horizon discontinu de graviers à la base, surmonté d'un niveau de tourbe reposant sur les argiles des Flandres et pouvant atteindre 9 m d'épaisseur.

Au S.O. du marais de Saint-Omer, les alluvions du fond de la vallée de l'Aa sont constituées de cailloutis à silex, de sables fins remaniés du Tertiaire et d'argiles. A Blendecques elles peuvent atteindre 14 m d'épaisseur (forage 12-2x-041).

Sur le versant et au pied des collines de l'Artois, la craie sub-affleurante est souvent recouverte, outre quelques lambeaux thanétiens, de limons des plateaux, pléistocènes et

d'origine éolienne de perméabilité faible mais non négligeable ( $10^{-7}$  à  $10^{-8}$  m/s).

## **IV- HYDROGEOLOGIE**

### **4.1 - Nappe de la craie**

La nappe de la craie est contenue dans les fissures, fractures et inter bancs des craies du Turonien supérieur et de la base du Sénonien. Ces craies, très poreuses mais à pores très petits (de l'ordre du  $\mu\text{m}$ ) sont en elles-mêmes très peu perméables. Elles ne deviennent aquifères, c'est-à-dire capables de laisser l'eau s'écouler par gravité, que si elles sont traversées par des fissures, fractures ou inter bancs suffisamment ouverts et interconnectés.

En bordure du recouvrement tertiaire de la plaine des Flandres, la nappe est contenue dans les horizons les plus élevés des craies franches du Turonien supérieur-Sénonien où elle est particulièrement productive, tant en nappe libre que captive sous l'Argile de Louvil (Thanétien inférieur) dès lors que la distance aux affleurements ne dépasse pas quelques kilomètres. La nappe devient même artésienne (du nom de l'Artois) sur presque toute la limite sud-est de la plaine des Flandres, au bénéfice notamment des maraîchers et des cressicultures. Mais au-delà de ces quelques kilomètres sous couverture de la plaine des Flandres, la productivité hydraulique de la craie diminue rapidement, la craie perdant son caractère aquifère.

Dans la partie amont du bassin de l'Aa (Fauquembergues à Verchocq) les émergences sont issues en partie de l'aquifère crayeux du Cénomaniens supérieur (en régime captif) se drainant au travers des marnes altérées du Turonien inférieur et moyen (Caulier, 1974 - Mania, 1978). Nous confirmeront à nouveau ce phénomène lors de l'examen des profil des diagraphies d'écoulement sur les piézomètres de reconnaissance réalisés (juillet 2013) à travers les limons, les alluvions, le Turonien et le Cénomaniens.

De part et d'autre de la vallée de l'Aa dans la craie affleurante ou sub-affleurante des coteaux, la nappe est libre et s'écoule dans le sens SW-NE. avec un gradient hydraulique de l'ordre de 1/1000. Elle devient normalement captive au niveau d'Arques. Mais à partir de Wizernes la surface piézométrique est rabattue par suite de l'intensité des pompages qui inversent les relations entre nappes et entre nappes et rivière.

L'alimentation de la nappe de la craie est assurée essentiellement par les précipitations efficaces sur les coteaux crayeux, mais aussi, au niveau de l'Aa, par des ré-alimentations induites à la suite des pompages.

La carte piézométrique de l'étiage 1981 (figure 4.1) montre un drainage de la nappe par l'Aa, le Bléquin, la Thiembronne avec un dôme très large aplati de cote +140 mNGF. Le gradient hydraulique faible (0,004 à 0,001) dans les vallées indique une bonne perméabilité de la craie fissurée et altérée sous les alluvions. Les flancs de vallée sont nettement moins perméables avec un gradient hydraulique plus important (0,01). A partir du recouvrement tertiaire dans le secteur sud de Saint Omer la nappe de la craie qui passe d'un régime libre à un régime captif. L'abaissement du niveau lié aux pompages en fond de vallée à Wizernes, Blendecques et Arques s'impose avec l'apparition d'un vaste cône d'abaissement de la nappe de cote +0 mNGF. Vers le NW, à 10 km environ, un autre cône de dépression à Eperlecques marque les pompages pour l'alimentation en eau de l'agglomération de Dunkerque.

Il ne semble pas qu'il y ait actuellement surexploitation de la nappe de la craie, les niveaux piézométriques restant stables, hormis les variations saisonnières. Cette situation serait due à une réduction des prélèvements industriels en nappe à l'incitation de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie. L'équilibre de la nappe semble également favorisé par une infiltration des eaux de l'Aa au travers des alluvions, même quand elles sont assez argileuses, que cette infiltration soit naturelle ou induite.

Les caractéristiques hydrodynamiques de ce secteur sont approximativement les suivantes :

- dans la partie élevée du plateau, entre Wizernes et Longuenesse, la transmissivité serait plutôt médiocre, de l'ordre de  $1 \text{ à } 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ,
- dans la vallée de l'Aa, avant son arrivée en plaine, on note des valeurs importantes de transmissivité :

$2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  à  $2 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$  à Wizernes et  $3 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$  à  $1 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}$  à Blendecques.

Dans l'Aa amont et jusqu'à Wizernes, la rivière draine la nappe de la craie, le plus souvent par l'intermédiaire des formations perméables contenues dans les alluvions (sables et graviers surtout) qui renferment alors une nappe alluviale, dite d'accompagnement de la rivière.

A partir de Hallines, à Wizernes et Blendecques, le niveau piézométrique de la nappe de la craie est rabattu de plusieurs mètres sous le niveau de la rivière par les pompages qui s'exercent dans l'aquifère crayeux directement sous les alluvions. La nappe de la craie est alors ré-alimentée directement par drainage à partir de la nappe alluviale et indirectement par la rivière qui ré-alimente alors ces alluvions.

#### **4.2- Bilans hydrologiques antérieurs connus de la nappe de la craie**

##### **-Cycle hydrologique 1964-1974**

Le débit de base inter-annuel d'une rivière peut constituer une estimation des apports de l'eau souterraine c'est ainsi que pour l'Aa (figure 4.2) à la station de jaugeage de Wizernes pour une superficie de bassin versant de  $392 \text{ km}^2$  (J. Mania.1978).

Pour les quatre rivières à bassins similaires sur le plan climatologique, géologique et hydrologique les moyennes mensuelles (MMA) du débit sont très proches en particulier pour la Lys et l'Aa avec un MMA proche de  $30 \text{ mm}$ . La limite des réserves en eau est matérialisée comme étant celle de la fin de tarissement du réservoir crayeux après une longue période sans pluies efficaces entre les mois d'août et d'octobre (années 1971 et 1972). La période des hautes eaux s'étend de janvier à mai. L'écart entre le débit total et la limite lissée des apports en eau souterraine correspond au ruissellement.

*Tableau IV.1 : rapport du débit de base par rapport au débit total d'écoulement des rivières de l'Artois*

Débit de base en %	La Canche à Brimeux	L'Authie à Dompierre	La Lys à Delettes	L'Aa à Wizernes
1962	83	-	60	-
1963	74	69	64	-
1964	79	84	67	82
1965	83	83	61	68
1966	84	80	57	63
1967	86	83	53	75
1968	86	75	68	74
1969	88	86	71	78
1970	90	92	77	85
1971	91	89	73	84
1972	92	86	63	82
Moyenne Interannuelle %	85,3	82,4	64,5	76,8

Les données disponibles (tableau IV.1) pour l'Aa de 1964 à 1972 oscillent entre 63% (1966) et 85% (1970) pour une moyenne du débit de base d'environ 76,8% du débit total mesuré, le ruissellement serait alors de 23,2%.

Le volume total moyen d'eau transitant à Wizernes était évalué à  $151,05 \text{ Mm}^3/\text{an}$  soit  $385 \text{ mm}$  ou  $12,2 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^2$ . Pour le débit de base et donc le volume d'eau souterrain moyen issu de la craie on aboutit au chiffre de  $116 \text{ Mm}^3/\text{an}$  soit  $295,6 \text{ mm}$  ou  $9,36 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^2$ . Le

volume d'eau lié au ruissellement moyen atteint 89,4 mm ou 2,84 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>2</sup>.

La limite des réserves d'eau souterraine en fin de tarissement (fin octobre 1972) correspond à une lame d'eau mensuelle de 12 mm soit 120 mm/an ou 3,8 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>2</sup>.

Dans les résultats de 1995 (figure 5) les lames d'eau des prélèvements anthropiques et la sortie des sources représentent un total de 190 mm et le ruissellement 86 mm.

L'écart entre le débit de base moyen inter-annuel de 295,6 mm (période 1964-1972) et la valeur de 190 mm (lame d'eau infiltrée) obtenue en 1995 s'approche des réserves en eau souterraine de la craie disponibles dans le bassin de l'Aa soit au total 105 mm ou 41,2 Mm<sup>3</sup>/an. On constate une bonne convergence de ce dernier chiffre avec le cycle hydrologique de 1972 (120 mm).

Pour choisir la fraction des réserves minimum disponibles on pourrait prendre l'écart à la moyenne qui était pour le débit de base de l'Aa de 13,8% (entre 1966 [63%] et la moyenne de 76,8% sur 1964-1972 ).

Les réserves en eau souterraine de la nappe de la craie ,utilisables en période prolongée de basses eaux (au bout de 180 jours de juin à novembre), seraient alors de 14,5 mm soit 5,7 Mm<sup>3</sup> /étiage. Les forages d'exploitation pourraient utiliser ce volume qui soutient le débit de base de l'Aa pendant un minimum de 6 mois et utiliser un volume similaire d'un minimum de 5,7 Mm<sup>3</sup> en hautes eaux (pendant 6 mois de décembre à mai ) en fonction des réserves variables selon les saisons.

On peut ainsi en additionnant les 2 chiffres précédents aboutir à un volume d'exploitation possible de 11,4 Mm<sup>3</sup>.

#### **-Caractérisation du tarissement du débit des rivières (cycles 1969-70 et 1978-79)**

Les bassins crayeux possèdent (annexe 2) les meilleures caractéristiques de vidange et d'emmagasinement au niveau des vallées (coefficient du temps de tarissement 600 < t<sub>0</sub> < 930 jours , coefficient d'emmagasinement 8% < S < 12% ) en raison de l'association d'une bonne circulation de type fissural et d'une porosité de matrice importante (30 à 40%).

La craie de plateau plus massive voit chuter ces valeurs (coefficient du temps de tarissement t<sub>0</sub> = 50 jours avec 2,2% < S < 4%).

Remarque : pendant la durée de ce coefficient de temps de tarissement « t<sub>0</sub> » le débit du réservoir voit sa valeur chuter progressivement d'environ 1/3 (0,36).

#### **-Cycle hydrologique de la sécheresse 1971-1974**

Suite à un abaissement régulier des apports par les précipitations efficaces (d'un facteur 3) des automnes et des hivers couvrant la période 1971 -1974 une chute spectaculaire des niveaux de la nappe de la craie a été constatée sur l'Artois (une dizaine de mètres à Fauquembergues et à Blendecques). Aussi une modélisation (en 2D et régime permanent) de la gestion des bassins Hem- Aa et Lys (Ricour,1975) à partir des nouvelles informations de 1974 a permis d'évaluer pour l'aquifère crayeux du bassin de l'Aa (665 km<sup>2</sup> dont 167 km<sup>2</sup> en nappe captive):

##### Les entrées

- une alimentation verticale par les pluies efficaces de +551 L/s (dont 133 L/s issus du sous-bassin du Bléquin),
- une drainance verticale dans le secteur d'Arques de +60 L/s,
- une alimentation par la rivière Aa de +200 L/s.

Le total des flux entrants est estimé à **+811 L/s** (soit 38,45 mm pour le bassin total).

##### Les sorties

- un prélèvement par les captages d'Arques de -106 L/s et les captages de la vallée de l'Aa de -134 L/s,
- des échanges sortants sur les limites vers les bassins de la Hem et de la Lys de -249 L/s,

-une sortie par le dôme piézométrique de Fauquembergues de  $-5 \text{ L/s}$ .

Le total des flux sortants du bassin est de  $-494 \text{ L/s}$  (soit  $23,43 \text{ mm}$  pour le bassin total).

Le bilan hydrologique général de cette période fortement affectée par la sécheresse reste cependant positif avec un écart de  $+317 \text{ L/s}$  (soit  $15 \text{ mm}$  pour le bassin total) soit  $2739 \text{ m}^3/\text{j}$  ou  $999735 \text{ m}^3/\text{an}$  (environ  $1 \text{ Mm}^3/\text{an}$ ).

Remarque importante : dans ce type de simulation à régime permanent on n'a pas fait pas intervenir dans le calcul du bilan ni les variations de réserve ni le taux de restitution.

### **-Cycle hydrologique de 1995**

Des travaux de synthèse sur le bilan hydrologique moyen inter-annuel de la nappe de la craie du Nord Pas-de-Calais (Crampon et al., 2003) et utilisant les données de l'Atlas édité par l'Agence de l'Eau Artois - Picardie (1995) ont conduit à établir le premier bilan fiable.

L'organigramme suivant permet de suivre la distribution de l'eau météorique totale ( $775 \text{ mm}$  ou  $100\%$ ) jusqu'aux consommateurs (eau potable publique, industrie et agriculture) et aux rivières.

L'on constate (figure 4.3) que les prélèvements effectués en 1995 (forages et prises d'eau) sont faibles ( $39 \text{ mm}$  ou  $5\%$  de la précipitation totale) et que la proportion de l'eau souterraine de la craie assurant le débit des sources puis celui du réseau hydrographique est de l'ordre de  $151 \text{ mm}$  ( $19,5\%$ ) de la précipitation totale.

Le ruissellement ( $86 \text{ mm}$  ou  $11,1\%$  de la pluie) et la restitution des prélèvements après usage ( $32 \text{ mm}$  ou  $4,1\%$ ) rejoignant les rivières ( $269 \text{ mm}$  ou  $34,7\%$  de la pluie totale).

Pour un affleurement crayeux de  $498 \text{ km}^2$  et en reprenant les chiffres moyens précédents le bassin audomarois conduit aux estimations suivantes :

-infiltration:  $I=Q_s+Q_p = 3 \text{ m}^3/\text{s}$

-ruissellement:  $R= 1,36 \text{ m}^3/\text{s}$

-sources :  $2,38 \text{ m}^3/\text{s}$

-prélèvements :  $0,62 \text{ m}^3/\text{s}$  soit  $19,55 \text{ Mm}^3/\text{an}$

-consommation :  $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$

-restitution :  $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$

-écoulement de surface :  $4,24 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour le bassin de l'Aa les réserves en eau mobilisables ( $R_m$ ) :

-pour la nappe de la craie libre rapportée à une superficie de  $498 \text{ km}^2$  et compte-tenu d'une épaisseur moyenne aquifère de  $22 \text{ m}$  et d'une porosité efficace de  $1,9 \cdot 10^{-2}$  les  $R_m$  représentent  $209 \text{ Mm}^3/\text{an}$ ,

-pour la nappe de la craie captive rapportée à une superficie de  $167 \text{ km}^2$  et compte-tenu d'une épaisseur moyenne aquifère de  $21,5 \text{ m}$  et d'un emmagasinement de  $1,9 \cdot 10^{-3}$  les  $R_m$  représentent  $6,82 \text{ Mm}^3/\text{an}$ .

Le temps de renouvellement des ressources en eau souterraines dans la nappe libre de la craie oscille entre  $1,6$  et  $2,3$  années pour un taux moyen de renouvellement de  $44$  à  $64\%$ .

Cette valeur est corroborée par un coefficient de temps de tarissement oscillant entre  $600$  et  $900$  jours.

Les débits des rivières et des émergences avec l'écoulement souterrain des eaux de la nappe de la craie étaient avant l'ère de l'exploitation humaine soumises aux seules influences des cycles saisonniers des précipitations et de l'évapotranspiration (végétation et évaporation vers l'atmosphère). L'incidence actuelle des pompages en nappe se répercute sur l'écoulement souterrain et les émergences qui ont pour conséquence une baisse des niveaux piézométriques et du débit des rivières. Les relations hydrologiques entre la nappe alluviale (peu utilisée) et la nappe de la craie (très exploitée) induisent des phénomènes de drainance verticale.



## **V- AVIS SUR LES RESULTATS DES PROSPECTIONS DE JUILLET 2013 A NOVEMBRE 2014**

Analyse du Rapport Amodiag Environnement « Prospection hydrogéologique dans la vallée de l'Aa- Reconnaissance qualitative de l'aquifère crayeux » de juillet 2013 avec :

- réalisation des piézomètres de reconnaissance et des forages destinés aux essais de pompage, et les diagraphies des apports d'eau souterraine,
- le suivi des essais de pompage,
- les analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux brutes.

### **5.1 Les piézomètres de reconnaissance**

Six piézomètres de reconnaissance ont été réalisés pour décider de la position des forages destinés aux pompages à partir de tests de production et de diagraphies d'écoulement lors des pompages (vitesses de l'eau extrapolées aux débits cumulés).

- **PZC1** Le Ham Warnecques 62560 MERCK ST LIEVIN - Travaux réalisés du 08/07/2013 au 17/07/2013

Alluvions de 0 à 9 m, craie marneuse du Turonien Inférieur de 9 à 19 m, 21 m de craie blanche du Cénomaniens (entre 19 et 40 m).

Tube crépiné de 12 à 40 m, Nappe captive , niveau statique à 0,37 m/sol.

La diagraphie d'écoulement indique une zone active hydrauliquement de 14 à 15 m (32 % du débit) dans la craie du Turonien puis de 25 à 32 m (55 % du débit) dans la craie du Cénomaniens.

*R : On constate que la moitié du débit est issue des niveaux crayeux du Cénomaniens-Absence de Turonien moyen et supérieur (érosion)*

- **PZC3** Le Marais d'Hervare 62560 ST MARTIN D HARDINGHEM - Travaux réalisés du 19/07/2013 au 24/07/2013

Alluvions de 0 à 4,50 m, craie marneuse du Turonien moyen de 4,50 à 6,50 m, craie du Turonien inférieur (craie blanche à silex) de 6,50 à 35 m, craie du Cénomaniens moyen et supérieur de 35 à 52m, craie marneuse du Cénomaniens inférieur de 52 à 54 m.

Tube crépiné de 8 à 52 m, Nappe captive , niveau statique à 1,20 m/sol.

La diagraphie d'écoulement indique une zone active hydrauliquement de 10 à 12 m (57% du débit) dans la craie du Turonien. De nombreuses petites venues d'eau apparaissent au contact de strates franches (35 m à la limite avec la craie à silex) mais aussi sans doute à la faveur de bancs indurés (meule gréseuse ou banc phosphaté) ou de fissures.

*R : Absence de Turonien supérieur et Turonien moyen restreint (érosion)*

- **PZC4** Le Val des Cagnes 62560 ST MARTIN D'HARDINGHEM - Travaux réalisés du 18/07/2013 au 23/07/2013

Limons à silex de 0 à 2,50 m, craie du Turonien inférieur (craie marneuse jaunâtre, à silex) de 2,50 à 36 m, craie du Cénomaniens moyen et supérieur (craie blanche dure) de 36 à 60 m.

Tube crépiné de 10 à 60 m, Nappe libre , niveau statique à 30,20 m/sol.

On ne dispose pas de profil diagraphique.

*R : Absence de Turonien moyen et supérieur (érosion)*

- **PZC5** Les Trinquettes 62560 FAUQUEMBERGUES - Travaux réalisés du 22/07/2013 au 30/07/2013

Limons de 0 à 2,50 m, alluvions de 2,50 à 4,80 m, Turonien inférieur (craie jaune) de 4,80 à 6,50 m, craie du Cénomaniens moyen et supérieur (craie blanche tendre) de 6,50 à 24 m, craie du Cénomaniens inférieur (craie blanche/grise dure) de 24 à 29 m, craie du Cénomaniens inférieur (craie blanche dure) de 29 à 37 m, Cénomaniens inférieur (craie blanche dure sableuse) de 37 à 40 m, Tourtia (argile sableuse verte) de 40 à 45 m, Tourtia (argile sableuse grise/verte) de 45 à 48 m.

Tube crépiné de 8 à 44 m, Nappe captive, niveau statique à 3,69 m/sol.

La diagraphie d'écoulement indique une zone active hydrauliquement de 11 à 18 m (40 % du débit), de 23 à 29 m (35 % du débit) puis de 33 à 39 m (25% du débit).

*R : On constate que la totalité du débit est issue des niveaux crayeux du Cénomaniens qui possède une nappe captive rarement exploitée*

*Absence de Turonien moyen et supérieur, Turonien inférieur restreint (érosion)*

- **PZC6** Champ de Saint-Laurent 62560 RENTY - Travaux réalisés du 23/07/2013 au 07/08/2013

Limons de 0 à 2,50 m, alluvions de 2,50 à 4,80 m, craie du Turonien inférieur (craie jaune à silex) de 4,80 à 12 m, craie du Turonien inférieur (craie blanche tendre, à silex) de 12 à 20 m, craie du Turonien inférieur (craie jaune très dure) de 20 à 24,80m, craie du Cénomaniens moyen et supérieur (craie blanche tendre, à silex) de 24,80 à 36 m, craie du Cénomaniens moyen et supérieur (craie blanche/grise) de 36 à 61, craie du Cénomaniens inférieur (craie marneuse) de 61 à 66m.

Tube crépiné de 8 à 65 m, Nappe captive, niveau statique à 0,75 m/sol.

La diagraphie d'écoulement indique une zone active hydrauliquement de 9 à 11 m (40 % du débit) puis dans les horizons crayeux du Cénomaniens de 23 à 35 m (40 % du débit) puis des faibles venues à 42 m, 50 m, 56 m et 62 m (d'environ 4% du débit chacune).

*R : On constate que 80% du débit sont issus des niveaux crayeux du Cénomaniens qui possède une nappe captive*

*Absence de Turonien moyen et supérieur (érosion)*

- **PZC7** Champ de Saint-Laurent 62560 RENTY - Travaux réalisés du 24/07/2013 au 05/08/2013

Limons et colluvions de 0 à 2,50 m, craie du Turonien moyen (craie jaune de 2,50 à 25 m, craie du Turonien inférieur (craie blanche puis jaune à silex) de 25 à 29 m, craie du Cénomaniens moyen et supérieur (craie blanche, à silex) de 29 à 68 m, craie du Cénomaniens inférieur (craie marneuse grise) de 68 à 73m.

Tube crépiné de 8 à 72 m, Nappe libre dans le Turonien, niveau statique à 3,64 m/sol.

La diagraphie d'écoulement indique une zone active hydrauliquement de 11 à 13 m (40 % du débit) puis vers 17 m, 28 m, 34 m, 48 m et 68 m (d'environ 10% du débit chacune).

*R : On constate que 60% du débit sont issus des niveaux crayeux du Cénomaniens qui possède une nappe captive rarement exploitée*

*Absence de Turonien supérieur (érosion)*

Les 6 piézomètres de reconnaissance, réalisés en juillet et août 2013, indiquent que la craie blanche du Cénomaniens supérieur et moyen a été traversée sur 27 à 36,4 m d'épaisseur lorsque le niveau marneux vert-gris ou le Tourtia du Cénomaniens inférieur (environ 5 m d'épaisseur minimum) a été rencontré (Pzc3, Pz5, Pz6, Pz7). Sur Pzc1 et Pz4 la craie blanche du Cénomaniens supérieur et moyen n'a été traversée que sur 21 et 27 m car les forages ont été stoppés avant la rencontre des marnes du Cénomaniens inférieur.

Ces chiffres sont proches de ceux donnés par P. Caulier (1974).

### 5.2 Rappels

L'exploitation de la nappe du Cénomanién supérieur et moyen n'est rendue possible régionalement que grâce à l'existence d'un faciès crayeux. Ces informations sur la présence d'un aquifère captif du Cénomanién étaient déjà signalées par P.Caulier en 1974. La carte (figure 3.1) de la qualité du réservoir crayeux du Cénomanién potentiellement aquifère (résistivité > 80 ohms.m) dans le secteur de la Haute-Aa (entre Fauquembergues à Verchocq) coïncide avec une épaisseur utile d'environ 20 mètres pour une épaisseur totale de Cénomanién proche de 40 m).

La superficie du réservoir utile du Cénomanién supérieur est d'environ 300 km<sup>2</sup> (15 x 20 km) ce qui conduit pour une épaisseur moyenne de 20 m à un volume rocheux de 6000 Mm<sup>3</sup> et pour une porosité utile de 5% à un stock d'eau souterraine d'environ 300 Mm<sup>3</sup>. Le phénomène de décompression en régime captif peut fournir pour un rabattement de 10 m et un coefficient d'emmagasinement de 10<sup>-4</sup> environ 300 000 m<sup>3</sup>/an.

Les valeurs moyennes de la transmissivité de l'aquifère cénomanién (1,5 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s) sont proches de celles des aquifères du Turonien moyen (tableau V.1). Cependant l'emmagasinement reste plus bas d'un facteur 2. Pour 17 forages examinés un débit moyen de 107 m<sup>3</sup>/h conduit à un débit spécifique de 12,8 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>. Nous verrons si ces chiffres correspondent à ceux issus des pompages d'essai réalisés en septembre 2014 par Amodiag.

Tableau V.1: données synthétiques des caractéristiques hydrauliques de l'aquifère crayeux du Crétacé (d'après P.Caulier, 1974)

Aquifère	Type de nappe	Transmissivité m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>			Coefficient d'emmagasinement			Epaisseur de nappe m			Débit m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>				Débit spécifique m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>		
		N	Mini-Max	Moy.	N	Mini-Max	Moy.	N	Mini-Max	Moy.	N	Mini-Max	Moy.	Q>100 m <sup>3</sup> /h	N	Mini-Max	Moy.
Sénonien /Turonien supérieur	libre	375	4,2.10 <sup>-5</sup> 2,8.10 <sup>-1</sup>	1,5.10 <sup>-2</sup>	37	1.10 <sup>-4</sup> 1,5.10 <sup>-1</sup>	1,9.10 <sup>-2</sup>	40	2 50	24,5	331	2,3 630	84	96/331 29 %	327	0,15 1000	44,8
	captif	256	1,5.10 <sup>-5</sup> 1,5.10 <sup>-1</sup>	1,1.10 <sup>-2</sup>	27	1.10 <sup>-4</sup> 1,5.10 <sup>-2</sup>	2,1.10 <sup>-3</sup>	14	3 87,5	26,4	233	1,7 640	115	103/233 44,2 %	231	0,19 437,5	34,1
	Total	631	1,5.10 <sup>-5</sup> 2,8.10 <sup>-1</sup>	1,3.10 <sup>-2</sup>	64			54	2 87,5	25	564	1,7 640	96,6	199/564 35,3 %	558	0,15 1000	40,3
Turonien moyen	libre	25	7.10 <sup>-5</sup> 6,7.10 <sup>-2</sup>	1,2.10 <sup>-2</sup>	1	1,5.10 <sup>-2</sup> 1,5.10 <sup>-2</sup>	1,5.10 <sup>-2</sup>	1	6	6	23	2,5 600	80	5/23 21,7 %	22	0,24 240	45,8
	captif	2	1,3.10 <sup>-3</sup> 1,5.10 <sup>-3</sup>	1,4.10 <sup>-3</sup>	1	2.10 <sup>-4</sup> 2.10 <sup>-4</sup>	2.10 <sup>-4</sup>	0			0				0		
	Total	27	7.10 <sup>-5</sup> 6,7.10 <sup>-2</sup>	1,1.10 <sup>-2</sup>	2			1	6	6	23	2,5 600	80	5/23 21,7 %	22	0,24 240	45,8
Cénomanién	libre	24	2.10 <sup>-4</sup> 7,5.10 <sup>-2</sup>	1.10 <sup>-2</sup>	0			24	5 29,2	17,3	14	10 307	78	2/14 14,3 %	14	4,17 275	39
	captif	4	3.10 <sup>-4</sup> 4,5.10 <sup>-2</sup>	1,5.10 <sup>-2</sup>	2	1.10 <sup>-5</sup> 2.10 <sup>-4</sup>	1.10 <sup>-4</sup>	4	8 31	20,2	3	31 190	107	2/3 66,6 %	3	1,2 23	12,8
	Total	28	2.10 <sup>-4</sup> 7,5.10 <sup>-2</sup>	1,1.10 <sup>-2</sup>	2			28	5 31	17,8	17	10 307	83	4/17 23,5 %	17	1,2 275	34,4
CRAIE	GLOBAL	686	1,5.10 <sup>-5</sup> 2,8.10 <sup>-1</sup>	1,3.10 <sup>-2</sup>	38	1.10 <sup>-4</sup> 1,5.10 <sup>-1</sup>	S = n <sub>e</sub> 1,9.10 <sup>-2</sup>	83	2 87,5	22,3	604	1,7 640	95,6	208/604 34,4 %	597	0,15 1000	40,4

Tableau - Caractéristiques et productivité des aquifères de Craie (principalement d'après des données de P. Caulier, 1974) (N : nombre de valeurs)

### 5.3 Résultats des pompages d'essai de 2013-2014

Les pompages d'essai ont été réalisés dans les sous-bassins de l'Aa (figure V.1) aux points de fermeture de Verchocq, Fauquembergues et de Ouve-Wirquin dans la vallée de l'Aa sur cinq forages (FE1, FE3, FE5, FE6 et FE7) en période d'étiage. Les perturbations liées à des pluies ont été signalées.

L'examen des pompages d'essai des annexes du rapport de la société Picardie Forages -de novembre 2013 pour les sites de Marck St Liévin (FE1), de Saint Martin d'Hardingham (FE3), de Fauquembergues (FE5), de Renty (FE7), -de juillet 2014 pour le site de Renty (FE7) conduit aux valeurs reportées au tableau V.2 pour les forages principaux puis sur les

piézomètres de contrôle.

Le forage FE5 a été abandonné en raison de sa faible productivité malgré plusieurs acidifications. Le débit critique, estimé à 93 m<sup>3</sup>/h, a été dépassé et les pertes de charges quadratiques deviennent prépondérantes.

Les tests de longue durée ont conduit à de très bons résultats de production sur FE1 et FE3 avec des débits de pompage importants de l'ordre de 400 m<sup>3</sup>/h et des rabattements faibles (3,3 à 5,7 m) car les horizons crayeux aquifères à la fois du Turonien et du Cénomaniens sont sollicités.

Les forages FE6 et FE7, malgré de bons débits issus essentiellement de la craie du Cénomaniens, sont en raison d'une épaisseur d'aquifère plus faible donc d'une transmissivité plus basse affectés de rabattements de nappe plus importants (18 à 22 m).

Les caractéristiques hydrauliques sont globalement bonnes avec des valeurs de transmissivité oscillant entre  $2,35 \cdot 10^{-2}$  et  $1,65 \cdot 10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s. Ces données sont proches de celles évoquées au paragraphe 5.2 compte-tenu de la méconnaissance de l'existence des opérations d'acidification (sur les anciens forages) qui entraînent une diminution des pertes de charges sur les ouvrages (dé-colmatage des fissures).

Tableau V.2 : synthèse des résultats des pompes d'essai de longue durée en 2013-2014

Forage principal	Débit m <sup>3</sup> /h – durée (h)	Rabattement final (m)- débit spécifique m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>	Transmissivité (en m <sup>2</sup> /s)
FE1	414 – 168h	3,33 m - 124,3 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>	$1,32 \cdot 10^{-1}$
FE3	400 – 96h	5,74 m - 69,7 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>	$9,93 \cdot 10^{-2}$
FE5	200 – 1h	28,43 m - 7 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>	abandon
FE6	300 – 168h	22,0 m - 13,6 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>	$1,9 \cdot 10^{-2}$
FE7	400 – 168h	18,0 m - 22,2 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>	$2,47 \cdot 10^{-2}$

Contrôle près de FE1	Distance à FE1	Rabattement final ( en m)	Transmissivité (en m <sup>2</sup> /s)
Forage agricole	545 m	0,36	$1,24 \cdot 10^{-1}$
Pzc1	18,5 m	1,4	$1,50 \cdot 10^{-1}$

Contrôle près de FE3	Distance à FE3	Rabattement final ( en m)	Transmissivité (en m <sup>2</sup> /s)
Forage Dewulder	383 m	0,7	$1,14 \cdot 10^{-1}$
Forage Dhalleine	545 m	0,325	$1,65 \cdot 10^{-1}$
Pzc3	15,3 m	2,0	$1,07 \cdot 10^{-1}$

Contrôle près de FE6	Distance à FE6	Rabattement final ( en m)	Transmissivité (en m <sup>2</sup> /s)
Point 1	581 m	0,9	$9,8 \cdot 10^{-2}$
Point 2	439 m	0,6	$1,24 \cdot 10^{-1}$
Point 3 . Pzc6	16,6 m	8,0	$2,6 \cdot 10^{-2}$
Point 4. Pzc7	317 m	0,9	$9,4 \cdot 10^{-2}$
Point5	303 m	1,1	$7,0 \cdot 10^{-2}$
Point 6. Duvauchel riv.	489 m	0,9	$1,24 \cdot 10^{-1}$

Contrôle près de FE7	Distance à FE7	Rabattement final ( en m)	Transmissivité (en m <sup>2</sup> /s)
Point 1. Pzc7	14 m	9,0	$2,35 \cdot 10^{-2}$
Point 2. F Duvauchel	520 m	1,9	$2,86 \cdot 10^{-2}$
Point 3. Duvauchel riv.	558 m	0,9	$6,77 \cdot 10^{-2}$
Point 4. Pzc6	317 m	1,1	$6,6 \cdot 10^{-2}$
Forage FE6	304 m	1,1	$7,07 \cdot 10^{-2}$

Pour le BE Amodiag la valeur calculée du coefficient d'emmagasinement « S » n'est pas représentative de la porosité locale. Cela peut s'expliquer par l'existence soit :

- d'une double porosité (matrice et fissure) non prise en compte dans l'hypothèse de Theis utilisée dans l'interprétation des essais,
- du captage partiel de l'aquifère lors de forts rabattements,
- d'une forte anisotropie de transmissivité de l'aquifère.

La valeur de S sera déterminée par le biais de la modélisation (chapitre VI).

### **Influence des pompages**

On retiendra , en dehors des effets sur les points de contrôle (tableau V.2) , les influences les plus fortes ou visibles (plan d'eau, source).

Des relations nappe-rivière peuvent s'établir soit latéralement entre le réservoir crayeux et l'Aa soit par drainance verticale de la nappe alluviale vers le réservoir crayeux. Des stabilisations du rabattement sont alors discernables (cas de FE1).

L'impact des pompages sur le cours d'eau est le plus important en basses eaux de la nappe de la craie. Les prélèvements sur FE1 représentent environ 13% (0,11 m<sup>3</sup>/s) du débit du cours d'eau Aa (0,83 m<sup>3</sup>/s) au niveau de la station de jaugeage située en amont du forage FE1 sur la période 16/08/2014 au 16/11/2014. Le prélèvement sur FE3 (0,11m<sup>3</sup>/s) représente 15% du débit de 0,73 m<sup>3</sup>/s de l'Aa.

L'évolution du débit de l'Aa en étiage au droit des stations de jaugeages encadrant le site accueillant les forages FE6 et FE7 permet un calcul approché. Les prélèvements (0,11 m<sup>3</sup>/s) représentent environ 14% du débit du cours d'eau (0,76 m<sup>3</sup>/s).

Le pompage longue durée effectué au droit du forage FE1 au débit moyen de 415 m<sup>3</sup>/h au bout de 168h de pompage n'a pas d'incidence sur les étangs situés à 260 m en aval écoulement.

Le pompage longue durée effectué au droit du forage FE3 au débit moyen de 402 m<sup>3</sup>/h au bout de 107h de pompage conduit à :

- Un rabattement de 0,10 m au droit du forage d'eau potable de Saint- Martin- d'Hardinghem 00118X0095 situé à environ 840 mètres en amont du forage FE3;
- Un impact sur le débit de la source alimentant les étangs Tellier située à environ 321 mètres en amont du forage FE3 ;
- Un impact sur le débit de la source alimentant l'étang de Monsieur Degrémont situé à environ 551 mètres en aval du forage FE3 et une baisse de l'ordre de 8 cm dans le fossé alimentant l'étang ;
- Un impact sur l'étang appartenant à Monsieur Dewulder situé à environ 170 mètres en amont du forage FE3 avec une baisse progressive du niveau d'eau dans l'étang de 0,20 m.

Le pompage longue durée effectué au droit du forage FE6 au débit moyen de 300 m<sup>3</sup>/h au bout de 168h de pompage) provoque :

- Un rabattement de quelques centimètres au droit du petit affluent de l'Aa s'écoulant à proximité du forage FE6 (le capteur était positionné à une cinquantaine de mètres du forage FE6);
- Un rabattement de quelques centimètres au droit de la mare appartenant à Monsieur Grare située à environ 308 mètres du forage FE6;
- Un assèchement de la source « Fontaine -Saint-Laurent » référencée 00173X0029/SO1 située à 111 m du forage FE6.

Le pompage longue durée effectué au droit du forage FE7 au débit moyen de 406 m<sup>3</sup>/h au bout de 168h de pompage) entraîne :

- Un rabattement de quelques centimètres au droit du petit affluent de l'Aa s'écoulant à proximité du forage FE6;
- Un rabattement de quelques centimètres au droit de la mare appartenant à Monsieur Grare située à environ 423 mètres du forage FE7;
- Un assèchement de la source « Fontaine-Saint-Laurent » référencée 00173X0029/SO1 située à 356 m du forage FE7.

Les débits futurs d'exploitation à long terme ont été fixés dans la simulation numérique pour proposer une gestion optimale de la ressource en eau souterraine (tableau V.3).

Tableau V.3: coordonnées des forages d'essai

Forage	Coordonnées Lambert 2		Débit d'exploitation projeté (m <sup>3</sup> /h) 20h/24	Débit Simulé (m <sup>3</sup> /j)	Volume annuel (m <sup>3</sup> )	Débit équivalent du modèle (m <sup>3</sup> /h) 24h/24
	X (m)	Y (m)				
FE6	580 109	2 620 041	200	4 000	1 460 000	167
FE7	579 874	2 620 234	200	4 000	1 460 000	167
FE3	584 023	2 624 768	400	8 000	2 920 000	333
FE1	585 459	2 627 733	500	11 000	4 015 000	458

Principales caractéristiques des points de prélèvements du scénario d'exploitation

Six forages existants exploités (tableau V.4) ont été pris en compte dans la modélisation.

Tableau V.4: coordonnées des forages existants en amont du bassin

Numéro BSS	Type	Coordonnées Lambert 2		Volumes autorisés	Débit du modèle (m <sup>3</sup> /j)
		X (m)	Y (m)		
00116X0001/P1	EDCH Bourthes	571 691	2 623 901	400 000 m <sup>3</sup> /an (80 m <sup>3</sup> /h - 1200 m <sup>3</sup> /j)	1 096
00173X0001/P1	EDCH Verchocq	578 156	2 618 802	620 500 (195 m <sup>3</sup> /h - 1700 m <sup>3</sup> /j)	1 700
00117X0001/P1	EDCH Thiembronne	580 409	2 625 305	non autorisé (pompage à 50 m <sup>3</sup> /h)	Chronique historique reprise
00118X0095/F1	EDCH St-Martin-d'Hardinghem	583 305	2 624 254	685 000 m <sup>3</sup> /an (120 m <sup>3</sup> /h - 2300 m <sup>3</sup> /j)	1 877
00118X0109/F	Agricole - Merck-St-Liévin	584 617	2 628 573	1200 m <sup>3</sup> /an	Chronique historique reprise
00113X0090/P1	EDCH - Nielles-les-Bléquin	577 923	2 631 508	220 000 m <sup>3</sup> /an	603

Principales caractéristiques des points de prélèvements historiques sur la partie amont

#### **5.4 La qualité des eaux brutes en fin de pompage**

A l'issue des pompages de longue durée, les forages testés ont fait l'objet d'un prélèvement pour analyse complète de type RP (annexes 10 & 11 du rapport Amodiag). Les résultats d'analyse mettent en évidence une eau présentant un faciès bicarbonaté calcique, faiblement sodique, caractéristique de la nappe de la craie.

Une première campagne de prélèvement a été effectuée en septembre et octobre 2014.

#### **EVOLUTION DES TENEURS EN PESTICIDES**

Ont été mises en évidence :

- Des teneurs en atrazine inférieures à la limite de qualité (0,1 µg/l) sur l'ensemble des forages testés pendant les tests de pompage;
- Des teneurs en déséthylatrazine supérieures à la limite de qualité dans les eaux brutes de FE7 où les teneurs oscillent entre 0,228 µg/l et 0,264 µg/l (>limite de qualité de 0,1 µg/l).

Un prélèvement d'eau a été effectué dans l'Aa le 11/09/2014 à hauteur du forage FE6 afin d'apprécier les concentrations en pesticides. Les résultats montrent :

- Une concentration en atrazine déséthyl de 0,107 µg/l (>limite de qualité de 0,1 µg/L);

- Une concentration en atrazine déséthyl déisopropyl de 0,069 µg/l ;
- Une concentration en atrazine de 0,037 µg/l .

### **EVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES**

Ont été mises en évidence:

- Des teneurs comprises entre 20 et 30 mg/l (<limite de qualité de 50 mg/L) sur l'ensemble des forages testés à l'issue des pompages de longue durée ;
- Des teneurs en nitrates en légère diminution au droit du forage FE1 au cours du pompage de longue durée (chute de 0,03 mg/l/h) ;
- Des teneurs en nitrates globalement stables au droit du forage FE7 au cours du pompage de longue durée ;
- Des teneurs en nitrates en légère augmentation (de 0,01 mg/l/h) au droit du forage FE6 au cours du pompage de longue durée.

### **DIVERS ELEMENTS CHIMIQUES**

Détection des perchlorates à des concentrations comprises entre 0,67 et 1,98 µg/l. Ces concentrations sont donc faibles inférieures au seuil de 4 µg/l.

Absence de métaux lourds ;

Absence de PCB ;

Absence de COHV ;

Absence de contaminations bactériologiques sur les forages FE1, FE6 et FE7. Deux Entérocoques ont été détectés sur les eaux du forage FE3.

Une seconde campagne de prélèvement a été effectuée en juin 2015.

Les résultats des analyses de type RP mettent en évidence :

- Des teneurs en nitrates moyennes comprises entre 19,3 et 30,4 mg/l sur les 4 forages ;
- Une turbidité faible sur les 4 forages;
- Les très faibles teneurs en bore sur les forages semblent traduire l'absence d'impact d'éventuels défauts de systèmes d'assainissement individuel ;
- L'absence de contaminations bactériologiques sur les forages FE1, FE6 et FE7;
- L'absence de métaux lourds;
- L'absence de PCB;
- L'absence de COHV;
- La présence de plusieurs molécules phytosanitaires détectées à des concentrations inférieures à la limite de qualité excepté pour le forage FE7 où la déséthylatrazine a été détectée à une teneur de 0,278 µg/l (>limite de qualité de 0,1 µg/l).
- La détection des perchlorates à des concentrations comprises entre 0,90 et 2,34 µg/l donc inférieures au seuil de 4 µg/l.

### **5.5 Campagnes de jaugeage**

L'impact réel des pompages sur le régime hydraulique du cours d'eau au droit des prélèvements a été suivi par la mise en place de stations de jaugeage sur l'Aa . Ces stations temporaires ont fait l'objet d'une étude de faisabilité, de mise en place de matériel, de jaugeages ponctuels en vue de l'élaboration de courbes de tarage. En parallèle, des campagnes de jaugeages sur 20 stations réparties sur l'Aa (figure 5.2 et tableau V.5) et ses affluents (ruisseaux de la Thiembronne, de la Villaine, de Fourdebecques, du Bléquin, de l'Urne à l'eau, d'Acquin), ont permis de réaliser des profils en long du débit de la rivière Aa (figure 5.3) et des ruisseaux affluents (figure 5.4). Les dates de jaugeage encadrent les basses eaux (12/09/2014), moyennes eaux (9/06/2014 et 19-20/06/2014) et hautes eaux (28/05/2015). Les croissances des débits de l'Aa vers l'aval passent respectivement de 12825 à 16659 et 19544 m<sup>3</sup>/h.





suivis piézométriques proches de la limite de mise en captivité de la craie et ceux au droit du marais).

Tous les calculs de bilans hydrologiques sont effectués au pas de temps journalier, puis intégrés au pas de temps décadaire calendaire.

Les chroniques de pompage et de l'alimentation artificielle de la nappe de la craie concernent l'inventaire suivant :

- 16 forages appartenant au SED ou à la CASO
- 2 points de l'alimentation artificielle (usine de Houlle et de Moulle)
- 72 autres forages destinés à l'alimentation en eau potable, industrielle, agricole ou de loisir.

Pour la période de 1973 à 1999, les volumes annuels disponibles sur l'ensemble des forages ont été répartis de manière homogène sur chaque année ; sur cette période, es volumes de 1982 à 1999 sont issus de la base de données de l'Agence de l'Eau. Lorsque des données de prélèvements à une fréquence d'acquisition infra annuelle étaient disponibles (et conformes aux données de l'Agence), celles-ci étaient utilisées.

Les volumes infiltrés au niveau des deux bassins de l'usine de Houlle Moulle sont disponibles au pas de temps mensuel sur l'intégralité de la période simulée (du 1er septembre 1973 au 31 décembre 2012).

Des scénarios de pompage ont été simulés et confrontés aux résultats réels obtenus sur des sites d'exploitation futurs :FE1 à Merck St Liévin, FE3 à St Martin d'Hardinghem, FE6 et FE7 à Renty (figure 6.2). Certains paramètres ont été améliorés pour optimiser les résultats de la simulation (tableau VI.1).

Tableau VI.1: valeurs des paramètres hydrauliques du modèle suite aux essais de pompage

Ouvrage	Paramètres originaux du modèle 1973-2012		Paramètres recalés localement suite aux essais par pompage	
	Conductivité hydraulique (m/s)	Coefficient d'emménagement	Conductivité hydraulique (m/s)	Coefficient d'emménagement
FE7	$10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$3.4 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$
FE6	$10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$1.75 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3}$
FE3	$10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$10^{-3}$	0.2
FE1	$10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	0.2

**Modifications locales des paramètres hydrodynamiques**

On remarquera des écarts des valeurs de la conductivité hydraulique et du coefficient d'emménagement entre les informations initiales au début de la simulation numérique (figure 6.4) puis après l'obtention des résultats des pompes d'essai.

Le coefficient d'emménagement sur FE1 et FE2 passe de 1,5% à 20%.

La conductivité hydraulique s'accroît d'un facteur 3 pour FE7 et de 50 pour FE1 mais diminue d'un facteur 5,5 pour FE6.

Ces modifications sont nécessaires en raison de hypothèses utilisées au démarrage de la simulation numérique (échanges nappe/ rivière et limites physiques imposées à la périphérie du modèle). L'ajustement des valeurs piézométriques calculées sur les chroniques disponibles doit tenir compte des hétérogénéités du réservoir aquifère.

La simulation à partir de la configuration des écoulements sur le secteur des forages, en conditions de hautes (février 1994) et basses eaux (janvier 2004), pour les scénarios historiques et SmageAa a permis de montrer que :

-l'exploitation des forages FE6 et FE7 rabat localement les niveaux piézométriques sous le niveau de l'Aa, diminuant de fait les apports au cours d'eau. La zone d'alimentation du

forage FE7 ne concerne que la partie de l'aquifère située en rive gauche de l'Aa, alors que l'alimentation du forage FE6 apparaît partagée de part et d'autre du cours d'eau.

-l'exploitation des forages FE3 et FE1 sollicite l'aquifère en rives gauche et droite de l'Aa, rabattant localement les niveaux piézométriques sous le niveau de l'Aa, diminuant de fait les apports au cours d'eau.

L'impact des nouveaux pompages sur le débit des cours d'eau est important en période de basses eaux. Dans la configuration des prélèvements envisagée (pompages à proximité des cours d'eau), les pompages interceptent des volumes qui en temps normal alimentent le cours d'eau et rabattent localement les niveaux de nappe sous le fond de l'Aa.

Une technique du suivi du cheminement de particules chimiques (conservatrices et donc sans dégradation) a permis le traçage de courbes isochrones 50 jours centrées sur les forages d'exploitation. Ces dernières délimitent une zone autour de chaque captage au-delà de laquelle toute pollution mettra plus de 50 jours à rejoindre le captage par convection. Cette simulation est particulièrement pessimiste car les effets d'adsorption (argiles, matières organique) des éléments chimiques et leur dégradation (par oxydation, par attaque des bactéries ou par réaction chimique dans le milieu) n'a pas été prise en charge par la modélisation.

## **6.2- Bilan hydrologique 1973-2012 calculé**

Les résultats de la modélisation sur les sous-bassins (figure 6.3) à partir de 1972 sont les suivants :

### **6.2.1 bassin associé à VERCHOCQ**

avec les caractéristiques suivantes :

Superficie du bassin versant topographique : 116,90 km<sup>2</sup>

Superficie du bassin hydrogéologique en période de hautes eaux : 97,66 km<sup>2</sup>

Superficie du bassin hydrogéologique en période de basses eaux : 79,30 km<sup>2</sup>

Les pluies efficaces présentent une valeur moyenne de 47,5 Mm<sup>3</sup> (pour une médiane de 48,1 Mm<sup>3</sup>) sur la période de 1975 à 2012. Les prélèvements annuels du scénario SmageAa s'élevant à 1,020 Mm<sup>3</sup> (volumes maxima autorisés pour les captages EDCH de Bourthes et Verchocq) représentent en moyenne inter-annuelle 2,4 % des pluies efficaces (avec un minimum de 1,3 % et un maximum de 4 %).

### **6.2.2 1 bassin associé à FAUQUEMBERGUES**

avec les caractéristiques suivantes :

Superficie du bassin versant topographique : 142,2 km<sup>2</sup>

Superficie du bassin hydrogéologique en période de hautes eaux : 130,9 km<sup>2</sup>

Superficie du bassin hydrogéologique en période de basses eaux : 129,2 km<sup>2</sup>

Les pluies efficaces présentent une valeur moyenne de 62 M m<sup>3</sup> (pour une médiane de 63,3 Mm<sup>3</sup>) sur la période de 1975 à 2012. Les prélèvements annuels du scénario SmageAa s'élevant à 4 Mm<sup>3</sup> (volumes maxima autorisés pour les captages EDCH de Bourthes et Verchocq additionnés des prélèvements sur les forages FE6 et FE7) représentent en moyenne inter-annuelle 7 % des pluies efficaces (avec un minimum de 3,9 % et un maximum de 12,1 %).

### **6.2.3 1 bassin associé à OUVÉ-WIRQUIN**

avec les caractéristiques suivantes :

Superficie du bassin versant topographique : 195,8 km<sup>2</sup>

Superficie du bassin hydrogéologique en période de hautes eaux : 189,9 km<sup>2</sup>

Superficie du bassin hydrogéologique en période de basses eaux : 182,4 km<sup>2</sup>

Les pluies efficaces présentent une valeur moyenne de 86,2 Mm<sup>3</sup> (pour une médiane de 88,8 Mm<sup>3</sup>) sur la période de 1975 à 2012. Les prélèvements annuels du scénario SmageAa s'élevant à 11,8 Mm<sup>3</sup> (volumes historiques conservés, volumes maxima autorisés pour d'autres ouvrages et prélèvements projetés sur les forages FE6, FE7, FE3 et FE1) représentent en moyenne inter-annuelle 15 % des pluies efficaces (avec un minimum de 8,6 % et un maximum de 26,7 %).

#### 6.2.4 1 bassin associé à **LUMBRES**

avec les caractéristiques suivantes :

Superficie du bassin versant topographique : 247,6 km<sup>2</sup>

Superficie du bassin hydrogéologique en période de hautes eaux : 222,2 km<sup>2</sup>

Les pluies efficaces présentent une valeur moyenne de 97,2 Mm<sup>3</sup> (pour une médiane de 99,9 Mm<sup>3</sup>) sur la période de 1975 à 2012. Les prélèvements annuels du scénario SmageAa s'élevant à 12,8 Mm<sup>3</sup> (volumes historiques conservés, volumes maxima autorisés pour d'autres ouvrages et prélèvements projetés sur les forages FE6, FE7, FE3 et FE1) représentent en moyenne inter-annuelle 14,5 % des pluies efficaces (avec un minimum de 8,1 % et un maximum de 25,4 %).

#### 6.2.5 1 bassin associé à **SETQUES**

avec les caractéristiques suivantes :

Superficie du bassin versant topographique : 363,4 km<sup>2</sup>

Superficie du bassin hydrogéologique en période de hautes eaux : 342,9 km<sup>2</sup>

Les pluies efficaces présentent une valeur moyenne de 142,8 Mm<sup>3</sup> (pour une médiane de 147,5 Mm<sup>3</sup>) sur la période de 1975 à 2012. Les prélèvements annuels du scénario SmageAa s'élevant à 13,8 Mm<sup>3</sup> (volumes historiques conservés, volumes maxima autorisés pour d'autres ouvrages et prélèvements projetés sur les forages (FE6, FE7, FE3 et FE1) représentent en moyenne inter-annuelle 10,7 % des pluies efficaces (avec un minimum de 5,9 % et un maximum de 18,7 %).

### **Comparaison des 5 sous-bassins**

Les variations en hautes eaux des transferts eau souterraine (ES) vers la rivière Aa sur les différents sous-bassins de l'Aa (Figure 6.5) indiquent un accroissement de l'amont (Verchocq, SBV=97,66 km<sup>2</sup>) vers l'aval (Setques, SBV=342,9 km<sup>2</sup>) correspondant à une augmentation de la superficie du bassin d'alimentation de l'Aa.

Les variations de la pluie efficace sur les sous-bassins de l'Aa (Figure 6.6) sont cycliques avec des pics liés aux fortes précipitations toutes les 7 années environ (1979, 1986, 1992, 1999, 2005).

Les variations du rapport prélèvements/pluie efficace sur les différents sous-bassins (Figure 6.7) sont régulières de l'amont vers l'aval mais avec une superposition entre Lumbres et Ouve-Wirquin puisque le dernier champ captant FE1 est à l'amont de ce dernier.

Dans le chapitre IV nous avons estimé la limite des réserves d'eau souterraine en fin de tarissement (fin octobre 1972) correspond à une lame d'eau mensuelle de 12 mm soit 120 mm/an ou 3,8 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>2</sup>.

L'écart entre le débit de base moyen inter-annuel de 295,6 mm (période 1964-1972) et la valeur de 190 mm (lame d'eau infiltrée) obtenue en 1995 s'approche des réserves en eau

souterraine de la craie disponibles dans le bassin de l'Aa soit au total 105 mm ou 41,2 Mm<sup>3</sup>/an. On constate une bonne convergence de ce dernier chiffre avec le cycle hydrologique de 1972 (120 mm).

## **VII- VALIDATION DE LA RECHERCHE EN EAU POUR ASSURER LES BESOINS DES COLLECTIVITES**

La prospection hydrogéologique dans la vallée de l'Aa et la reconnaissance qualitative de l'aquifère crayeux (rapport Amodiag de juillet 2015), a été fructueuse en mettant en évidence des apports des aquifères crayeux du Turonien moyen et du Cénomaniens supérieur et moyen. Les informations tirées des diagraphies d'écoulement ont permis de localiser les venues par fissure des eaux souterraines et montrer la bonne perméabilité de la craie sous recouvrement alluvionnaire.

La superficie du réservoir utile du Cénomaniens supérieur est d'environ 300 km<sup>2</sup> (15 x 20 km) ce qui conduit pour une épaisseur moyenne de 20 m à un volume rocheux de 6000 Mm<sup>3</sup> et pour une porosité utile de 5% à un stock d'eau souterraine d'environ 300 Mm<sup>3</sup>.

Les incidences des pompages de longue durée sur les 4 sites FE1,FE3,FE6 et FE7 ont affecté très sensiblement quelques sources et quelques niveaux d'étangs en période d'étiage.

Les résultats du modèle de simulation numérique des écoulements des eaux souterraines a permis de reconstituer les niveaux de la nappe et de préciser l'extension des zones d'influence des pompages. Par ailleurs les zones d'influence des futurs captages ont permis de localiser les flux d'écoulement de polluants éventuels.

La qualité des eaux souterraine est bonne mais une surveillance de l'évolution des concentrations en pesticides (en particulier sur FE7 et FE6) et nitrates devra être menée.

Dans le chapitre IV (paragraphe 4.2) par une autre méthode que celle utilisée dans le rapport AMODIAG les réserves en eau souterraine de la nappe de la craie ,utilisables en période prolongée de basses eaux (180 jours de juin à novembre), seraient de 14,5 mm soit 5,7 Mm<sup>3</sup> /étiage. Afin de conserver un débit minimum de 10% à la rivière Aa le volume des réserves utilisable pourrait être ramené à 5,13 Mm<sup>3</sup> (lame d'eau équivalente de 13 mm). Les forages d'exploitation pourraient utiliser ce volume pendant un minimum de 6 mois et utiliser un volume au moins égal en hautes eaux (pendant 6 mois de décembre à mai).

On peut ainsi en additionnant les 2 chiffres précédents aboutir à un volume d'exploitation possible de 10 Mm<sup>3</sup> qui couvrirait les besoins futurs de l'Audomarois.

Ces besoins déterminés en fonction des futurs usagers sont de 2 Mm<sup>3</sup>/an effectifs pour Noréade, 2 Mm<sup>3</sup>/an en cas de besoins nouveaux domestiques ou industriels pour la CASO, 5 Mm<sup>3</sup>/an pour le SED qui ne dispose d'aucune ressource sécuritaire en cas de pollution du champ-captant et 0,855 Mm<sup>3</sup>/an pour les Syndicats d'eau de Dohem et Fauquembergues.

*On peut signaler ici que le renforcement du débit d'étiage des cours d'eau par une sur-exploitation saisonnière temporaire des eaux souterraines en amont est sans doute possible dans le cas de l'Aa. Une étude méthodologique proposée par Margat et Ramon (1971) avait ainsi débouché sur un projet de faisabilité du renforcement du débit du bassin de la Haute Lys ,situé dans un cadre hydrogéologique similaire à celui de l'Aa. Une autorisation de prélèvement de 450 L/s pompée à l'aide de 5 forages (entre mi-juin et mi-*

décembre) avait été retenue et réalisée pendant la période de sécheresse de 1989-1991.

### **VIII- CONCLUSIONS**

On retiendra que trois sites de captages de reconnaissance ont été investigués avec succès sur la Haute Aa:

- deux sites FE6 et FE7 sur la commune de Renty ;
- le site FE3 sur la commune de Saint-Martin-d'Hardinghem ;
- le site FE1 sur la commune de Merck-Saint-Liévin.

La simulation hydrogéologique a montré que le projet des prélèvements d'eau souterraine a un impact sur le flux d'eau de la rivière avec une baisse sensible du débit de l'Aa qui sera surtout visible en période d'étiage et qui influence l'habitat aquatique. Cependant l'appel à des ressources nouvelles comme celles de la craie du Cénomaniens permet de répartir les contraintes qui s'exercent déjà sur les niveaux aquifères exploités du Turonien dans la Moyenne Aa.

L'examen de nombreuses analyses hydrologiques faisant appel à des méthodes différentes rejoignent les conclusions des rapports Amodiag et Antea.

Il est en effet souhaitable de ne jamais prélever un volume d'eau souterraine supérieur au flux d'alimentation inter-annuel moyen. La démonstration de la simulation numérique aboutit à ce constat.

Dans le cadre du futur scénario d'exploitation, les débits retenus et imposés sur ces derniers sites de prélèvement correspondent aux volumes maximaux autorisés par arrêté préfectoral soit 10 Mm<sup>3</sup>/an.

Après examen des informations mises à ma disposition dans les rapports techniques et de la bibliographie connue je donne un avis favorable au projet d'exploitation des ressources en eau souterraine de la nappe de la craie des niveaux du Turonien et du Cénomaniens supérieur et moyen entre Ouve-Wirquin et Verchocq.

Fait à Besançon le 27 juillet 2016

J. Mania, hydrogéologue agréé par l'ARS pour le département du Pas de Calais

## Références bibliographiques

- (1)BRGM,1974- *Etude des ressources en eau du Bassin Versant Audomarois. Modèle mathématique de la nappe de la craie. Rapport 74 SGN 434 NPA,16 p. , annexes*
- (2)BRGM,1975- *Inventaire des ressources en eau dans l'interfluve Aa- Lys. Modèle mathématique de gestion de la région comprise entre la Hem et la Lys. Rapport 75 SGN 039 NPA,30 p. , annexes*
- (3)Caulier P. (1974) - *Etude des faciès de la Craie et de leurs caractéristiques hydrauliques dans la région du Nord – Thèse de Doctorat de 3è Cycle.Université des Sciences et Techniques de Lille.*
- (4) Caous J.Y, Crampon N., Leplat, Mania J., 2006- *Aquifères et Eaux Souterraines en France: les aquifères du Nord-Pas de Calais - Collection Scientifique et Technique,Ed. BRGM,Orléans,France, Direction Jean-Claude Roux-Editions BRGM ,Tomes 1 & 2, 984 pages*
- (5)Caous J.Y, Crampon N., Leplat, Mania J., 2002- *Numéro Spécial Belgique-Nord de la France- Revue Officielle de l'Union Française des Géologues, N°133-134,septembre 2002- Les réservoirs aquifères du Nord de la France et Sud de la Belgique p.94-,104*
- (6)Crampon N., Roux J.C . et Bracq P.,1993- *Hydrogéologie de la Craie en France- Hydrogéologie n°2,1993,p.81-123*
- (7)Crampon N., Mania J . et Caous Y.- *Aquifères et ressources en eau souterraine du Nord Pas-de-Calais- Ann Soc. Geol. du Nord. f. 10 (2emes érie),p . 219-232J.juillet 2003*
- (8)Mania. J,1978 - *Gestion des systèmes aquifères . Application au Nord de la France . Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. des Sc. & Tech. de Lille –Mémoires de la Soc.Géol. Nord France , Tome XV,1978,228 pages.*
- (9) Mania J, Focquenoy E., Ramon S. et Verbeke B.,1982 - *Caractérisation de la réponse des diverses unités hydrogéologiques calcaires du Nord de la France - Annales Scientifiques de l'Université de Besançon,Géologie, fasc.4, 4<sup>ème</sup> série,1982, p.27- 36)*
- (10)Margat J., 2006- *Aquifères et Eaux Souterraines en France : Aquifères et eaux souterraines- Précipitations totales et précipitations efficaces- Collection Scientifique et Technique,Ed. BRGM,Orléans,France, Direction Jean-Claude Roux-Editions BRGM ,Tomes 1 & 2, 984 pages*
- (11)Margat J. et Ramon S., 1970- *Renforcement du débit d'étiage des cours d'eau par sur exploitation temporaire des eaux souterraines – Etude méthodologique et application au bassin de la Haute Lys (Pas de Calais) -Rapport BRGM,71 SGN 102 HYD*
- (12) Ricour J., 1975 – *Inventaire des ressources en eau dans l'interfluve Aa-Lys. Modèle mathématique de gestion de la région comprise entre la Hem et la Lys. Rapport BRGM, 75 SGN 039 NPA*

## Rapports des bureaux d'études

- Aquatec « *Prospection des ressources en eau potable- Estimation de l'impact sur l'habitat aquatique* » du 24/11/2015 (A14-3/A)
- Amodiag Environnement « *Prospection hydrogéologique dans la vallée de l'Aa- Reconnaissance qualitative de l'aquifère crayeux* » de juillet 2015 (version 01)
- Antea Groupe « *Campagne de jaugeage sur l'Aa- Résultats des campagnes de jaugeage, courbes de tarage et évolutions des débits* » de septembre 2015 (A81490/A)
- Otech « *Rapport d'avancement d'Etude- SMAGE de l'Aa -Prospection de ressources en eau potable- Suivis hydrologiques* » de décembre 2015