

## EVOLUTION PIEZOMETRIQUE ET HYDROCHIMIQUE DE LA NAPPE DE LA CRAIE DANS L'OUEST DOUAISIEN

Frédéric BARREZ<sup>1</sup>, Jacky MANIA<sup>1</sup>, Jean-Louis MANSY<sup>2</sup>, Bogdan PIWAKOWSKI<sup>3</sup>, Brigitte VAN VLIET-LANOË<sup>2</sup>, Francis MEILLIEZ<sup>2</sup>.

1 UMR CNRS 8107 (LML)

2 UMR CNRS 8110 (PBDS)

3 Groupe électronique acoustique IEMN-DOAE-UMR CNRS 8520.

**RÉSUMÉ** - Le secteur Carvin/Hénin-Beaumont/Douai est un secteur fortement industrialisé et urbanisé. L'arrêt des activités minières depuis le début des années 1970 a conduit à une remontée du niveau piézométrique de la nappe de la craie et probablement à une redistribution des polluants. Aujourd'hui ce secteur est marqué par une pollution importante en sulfate et nitrate qui semble s'accroître.

### 1. Introduction

Le bassin minier représente une zone géographique qui réunit un ensemble de points sensibles dont celui de montrer une forte dégradation de la qualité des eaux souterraines du réservoir crayeux et des eaux superficielles. Le but est d'établir une synthèse des problèmes liés à l'eau (notamment sa pollution) sur le secteur de Carvin/Hénin-Beaumont/Douai. De nombreux problèmes environnementaux sont rencontrés dans cette zone, liés particulièrement à une forte industrialisation et urbanisation. L'aquifère crayeux, utilisé comme principale ressource en eau, est souvent pollué par des nitrates, des sulfates ou par certains métaux lourds comme le nickel (Denimal et al., 2001 ; Vallée, 1999). L'implantation de la plate-forme multimodale de Dourges à proximité d'installations métallurgiques et d'anciens carreaux miniers vient confirmer la volonté régionale d'améliorer l'image d'un secteur en pleine restructuration.

### 2. Présentation du secteur d'étude

#### 2.1. Géologie générale Hydrogéologie

La structure géologique de la zone d'étude peut être simplifiée à deux ensembles anisotropes se superposant. La couverture Crétacé/Tertiaire contenant le réservoir crayeux possède une structure horizontale plane. Elle surmonte un massif Paléozoïque nettement plissé et faillé.

On distingue :

-L'aquifère de la craie du Sénonien/Turonien Supérieur. Il est limité au sommet par des argiles du Tertiaire progressivement vers le Nord-Est. A la base, les faciès marneux du Turonien moyen et inférieur surmontant le Cénomaniens constituent un niveau imperméable. La nappe superficielle des alluvions recouvre l'aquifère crayeux au Nord-Est.

-L'aquifère du calcaire carbonifère parfois profond de plus de 1000m dans la zone de Courrières, qui remonte vers le Nord du secteur où il est alimenté par drainage.

Entre ces deux niveaux, le houiller exploité se remplit progressivement à la fois par infiltration des eaux de la craie en amont pendage (probablement ainsi que par les anciens puits d'extraction), et par les eaux du calcaire carbonifère mises en charge dans les zones d'affleurement du Tournaisis.

L'aquifère exploité dans la zone Carvin/Hénin-Beaumont/Douai est celui de la craie. Les écoulements dans le massif crayeux sont facilités surtout par les fissures et secondairement par la matrice poreuse. La craie apparaît fortement productive sur les premiers mètres (largement fissurés par la décompaction actuelle et passée pour les niveaux situés sous le Tertiaire) ainsi que dans les zones fracturées et en fond de vallée. En profondeur, la porosité et la perméabilité diminuent significativement la caractérisant parfois comme un milieu aquiclude (Bracq, 1995).

L'un des objectifs de l'étude globale sera de cerner au mieux la structure de la craie. Elle régit une grande partie des orientations naturelles des écoulements. Il sera donc nécessaire d'établir une géologie fine du secteur et de repérer les failles drainantes de celles qui peuvent servir de barrage à l'écoulement (emploi de la sismique haute résolution, sondages, prospection électrique...). L'ensemble des informations de la structure sera à mettre en relation avec les autres paramètres comme les variations piézométriques caractérisant le comportement hydraulique de la nappe.

## 2.2. Evolution piézométrique

La carte piézométrique « hautes eaux 2001 » présentée en figure 1, a été obtenue par krigeage à partir des données fournies par le BRGM. Le sens général de l'écoulement de la nappe est dirigé du Sud-Ouest vers le Nord-Est. La surface de la nappe décrit un cône de rabattement dont le centre est localisé à proximité de La Neuville. Cette tendance a longtemps été amplifiée par les prélèvements d'une activité sucrière. Globalement, la nappe libre au Sud du canal de la Deûle passe progressivement à un état captif sous les formations du Tertiaire.

La zone d'étude présente une forte industrialisation dont parfois il ne reste plus que quelques traces (les terrils des exploitations houillères par exemple). Certaines des activités industrielles peuvent ou ont pu affecter la nappe lorsque sa protection était trop faible (absence de couverture argileuse). C'est aussi une zone fortement urbanisée, mais les principales zones d'affleurement ainsi que les grands champs captant (Flers-en-Escrebieux, Quiéry...) sont situés au Sud et donc en amont de ces sources de pollution (par rapport au sens d'écoulement).

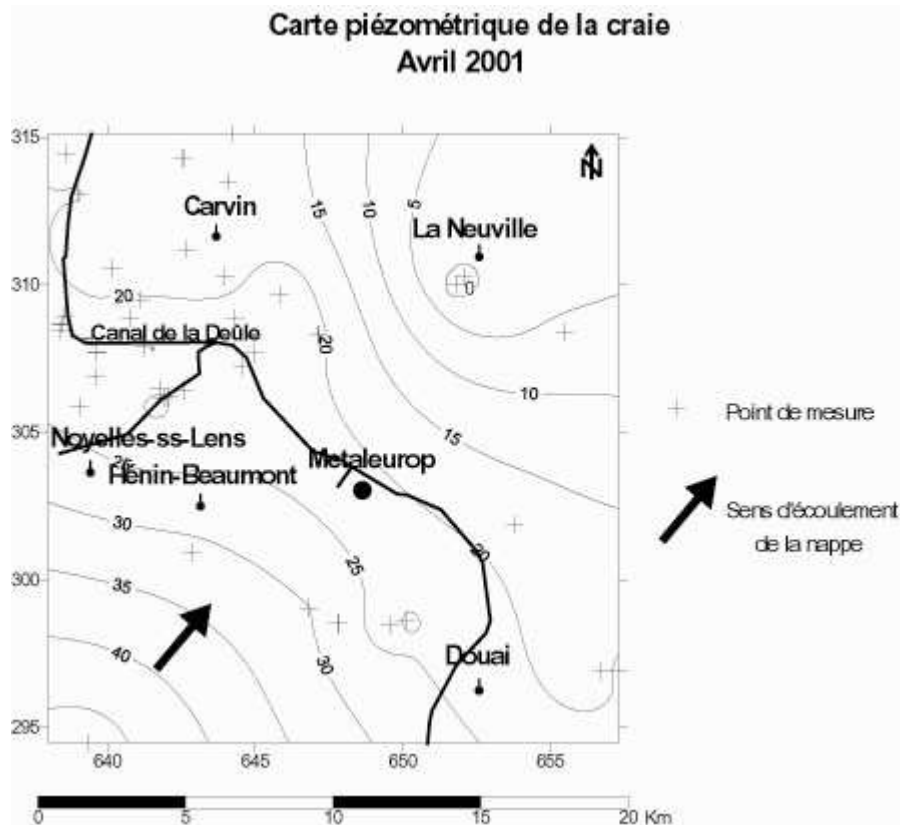


Figure 1. Carte piézométrique « hautes eaux 2001 » (données BRGM).

C'est depuis 1972 que les activités minières n'ont vraiment commencé à s'arrêter. La diminution des prélèvements dans la nappe a engendré une remontée importante du niveau piézométrique. La figure 2 présente l'évolution du niveau de la nappe depuis 1960 du forage d'Annay (Code B.R.G.M. : 00205X0001/F1, coordonnées en Lambert1 : X=639,603 ; Y=306,905). Le niveau piézométrique s'est relevé d'environ 6 mètres entre les années 1960 et les années 1970-80 (-17m par rapport au repère à -11m en moyenne). La nappe semble avoir été

en surexploitation en 1992 (période de sécheresse). Depuis, le niveau piézométrique apparaît globalement augmenter à nouveau (1 à 2m environ entre le milieu des années 90 et le début des années 2000).

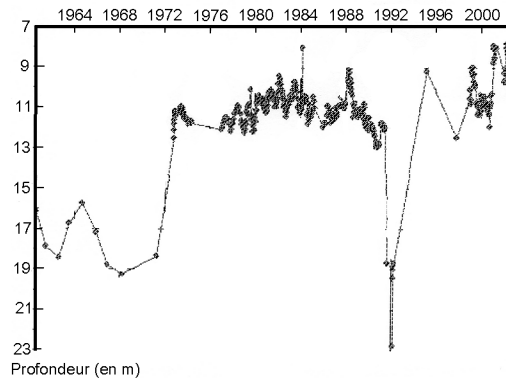


Figure 2 : Evolution du niveau piézométrique du forage d'Annay depuis 1960 (données ADES).

Ce forage est à proximité d'anciennes mines, c'est pourquoi la remontée de la nappe est si amplifiée. D'après l'étude 3H (Etude hydraulique, hydrogéologique et hydrochimique du bassin minier charbonnier du Nord-Pas-de-Calais, 1999), le relèvement du niveau de la nappe pourrait être sur l'ensemble du secteur compris entre 2 et 4 m. Cette remontée doit modifier les lignes d'écoulement et peut constituer de sérieux problèmes d'inondation dans les zones où la nappe est peu profonde.

### 3. Evolution de la concentration en nitrate et sulfate.

Les cartes ont été obtenues par krigeage sous le logiciel Surfer® à partir des données DDASS du Nord et du Pas-de-Calais. La date de 1985 a été retenue parce qu'elle correspond au moment où les données devenaient assez abondantes pour réaliser une étude comparative. La date de 2001 correspond à l'une des dernières campagnes piézométriques. Pour l'ensemble des cartes présentées, les forages pris en compte sont les mêmes entre 1985 et 2001. Lorsque les données n'étaient pas disponibles (certains forages sont entrés en exploitation après 1985, d'autres ont cessé de fonctionner avant 2001), les résultats ont été interpolés à partir de l'évolution des forages à proximité. Si les données étaient assez abondantes pour une même année, la moyenne sur l'année a été prise en compte. On fera attention de n'interpréter seulement et uniquement que les données des forages (marqués par des croix). Les concentrations immédiates autour des forages, interpolées par le logiciel, ne reflètent pas forcément la réalité de terrain.

La qualité des cartes dépend donc à la fois de la répartition spatiale des informations (limitée par la position des captages) et par le nombre de données à l'année (limité par les campagnes de mesures).

#### 3.1. Evolution de la concentration en nitrate.

Deux principales sources de pollution à l'azote peuvent être dégagées :

- Les activités agricoles : la fertilisation artificielle, l'épandage des résidus de l'élevage et le retournement des prairies en permanence sont autant de facteurs susceptibles de contribuer à augmenter la teneur en nitrate ;
- Les eaux usées des activités urbaines et industrielles lorsque l'assainissement est incomplet ou défectueux.

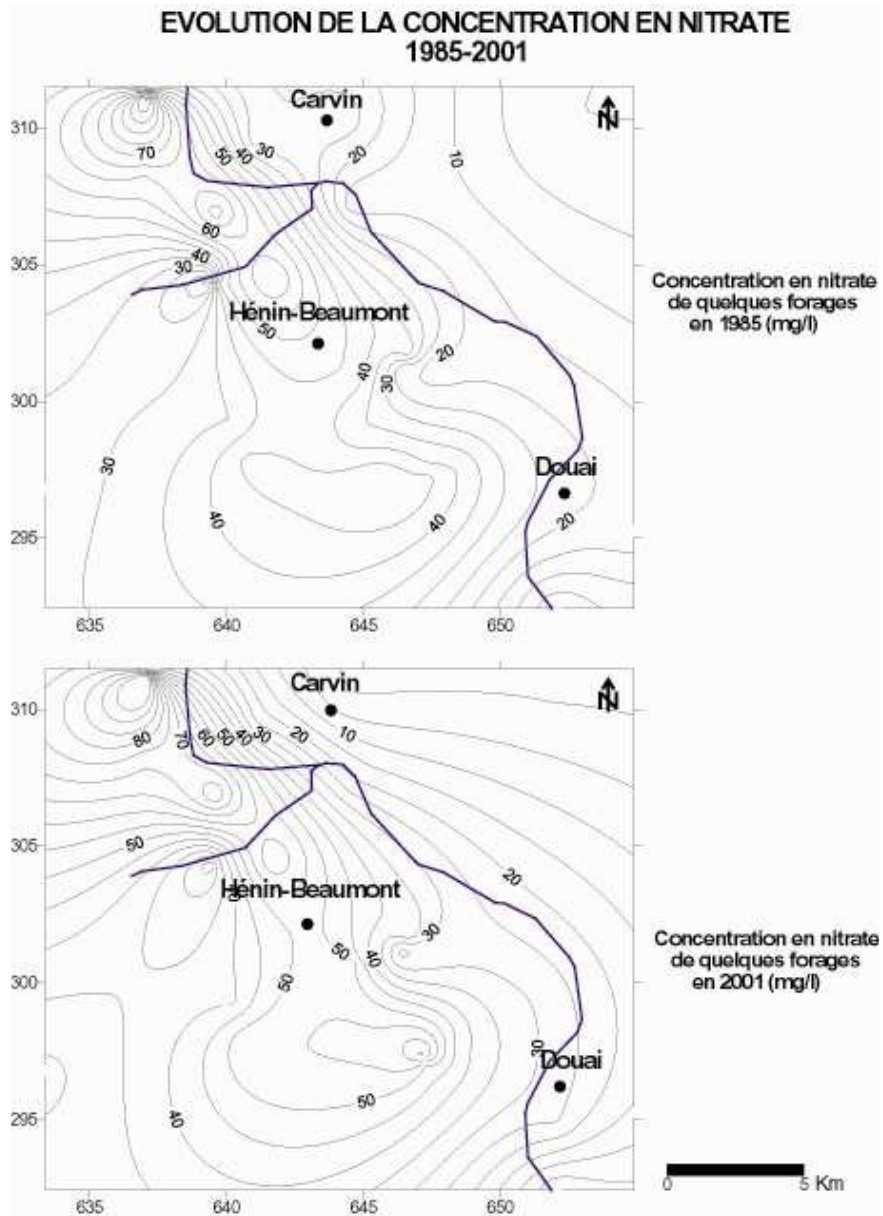


Figure 3 : Cartes synthétiques de l'évolution des concentrations en nitrate 1985-2001.

Pour affiner la carte présentée en figure 3, de nombreux facteurs peuvent être pris en compte : le flux spécifique d'azote émis à la surface du sol, la nature des formations superficielles, la dilution par la pluie...(Préaux, 1990). Mais notre démarche consiste ici à ne représenter que les données brutes.

En France, la Concentration Maximale Admissible (C.M.A.) est fixée à 50 mg/l.

Les teneurs en nitrate les plus élevées sont situées au Sud du Canal de la Deûle où affleure la craie, ce qui la rend plus vulnérable. Ces terrains sont largement cultivés au Sud d'Hénin-Beaumont et très urbanisés dans le triangle Carvin/Hénin-Beaumont/Douai.

Au Nord et à l'Est du Canal de la Deûle une réaction de dénitrification se produit sous le recouvrement du Tertiaire. Il est possible que la réaction puisse être en partie hétérotrophe en utilisant la matière organique (comme nutriment) et l'oxygène des nitrates, ou autotrophe en utilisant la pyrite (Bernard et Caulier, 1990).

Ces réactions expliquent les très faibles concentrations en nitrates dans le secteur de La Neuville (<0,25 mg/l).

Entre 1985 et 2001, la dégradation de l'eau de la nappe est assez remarquable à l'Ouest et au Sud du canal de la Deûle. En moyenne, la concentration en nitrate a augmenté d'environ 10 mg/l, ce qui a conduit le secteur Sud d'Hénin-Beaumont (zone agricole) à dépasser la C.M.A..

### 3.2. Evolution de la concentration en sulfate.

Dans ce secteur, les travaux antérieurs de Bernard (1979) et Droz (1985) supposent plusieurs sources de sulfates possibles dans l'origine de la minéralisation de l'aquifère de la craie :

- la dissolution des minéraux évaporitiques présents dans la formation des Calcaires carbonifères qui est à l'origine d'eaux fortement minéralisées pouvant localement contaminer l'aquifère de la craie par drainance *per ascensum* ;
- l'infiltration d'eaux sulfatées issues de la mise en solution du gypse contenu dans la couverture cénozoïque (argiles de Louvil et sables d'Ostricourt) par drainance *per descensum* ;
- les ions sulfate d'origine anthropique provenant des rejets et traitement d'eaux usées et/ou des pratiques agricoles ; les pluies polluées de la région urbaine (foyers domestiques ou fumées industrielles) avec 180 mg/l dans la pluie d'octobre 1988 !.
- l'altération météoritique des terrils pour lesquels l'oxydation de la pyrite contenue dans les schistes houillers peut conduire à un transfert d'ions sulfates vers la nappe (Denimal et al. ; 2001).

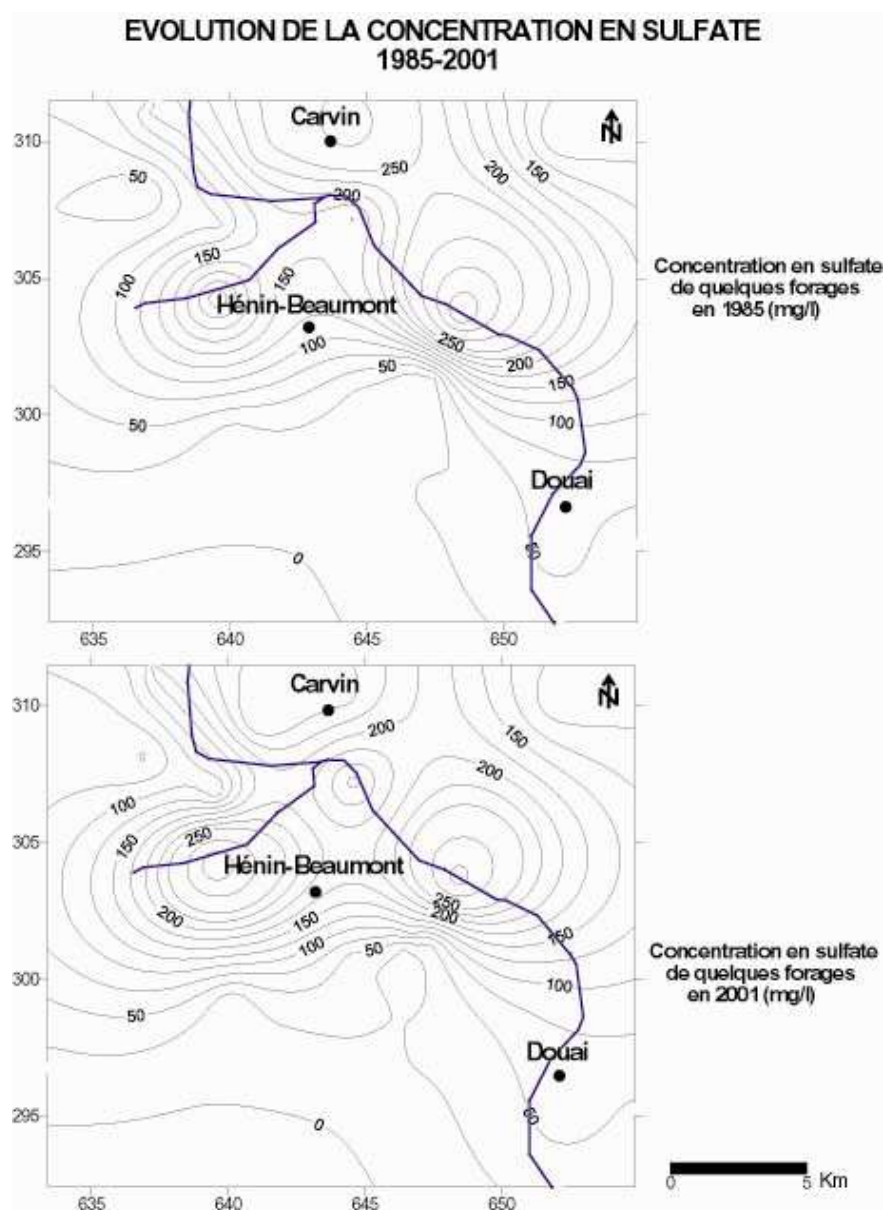


Figure 4 : Cartes synthétiques de l'évolution des concentrations en sulfate 1985-2001

Le passage de la nappe en captivité conduit à un milieu réducteur, permettant à l'action des bactéries sulfato-réductrices de diminuer en grande partie la concentration en sulfate.

En France, la C.M.A. pour les sulfates est fixée à 250 mg/l. On fera attention ici à la mauvaise répartition des données, qui peut donner une vision faussée sur l'extension des panaches de pollution.

Trois zones à forte concentration sont observées sur la carte :

- la zone de Carvin : la concentration en sulfate pourrait être rattachée à la mise en solution du gypse de la couverture cénozoïque ;
- la zone industrielle de METALEUROP à l'Est d'Hénin-Beaumont qui possède son propre terriil mais composé ici de scories ;
- la zone Ouest d'Hénin-Beaumont (forages de Noyelles-sous-Lens). Les concentrations observées pourraient être dues au lessivage des terrils de stériles du houiller.

Entre 1985 et 2001, les concentrations en sulfates des deux premières zones semblent stables voir diminuer pour la zone de METALEUROP (à vérifier pour celle-ci par plus de données). La zone située à l'Ouest d'Hénin-Beaumont montre une augmentation sensible de la concentration en sulfate. Mais les données utilisées ont été interpolées à partir des concentrations observées entre 1980 et 1995 qui montraient une progression marquée. Le niveau de la nappe, la quantité et la fréquence des pluies, les remobilisations naturelles (glissements) ou anthropiques (nivellement) des terrils... sont autant de facteurs qu'il faudrait prendre en compte. Ici, la quantité des données ne permet pas d'apprécier justement l'évolution des sulfates sur ce secteur.

#### 4. Influence des terrils sur les sulfates et nitrates

Les données de quatre captages ont été analysées (données DDASS). Deux forages sont en amont d'un terriil (F1 et F2, amont du terriil Ouest) et deux autres sont en aval hydraulique d'un autre terriil (F3 et F4 en aval du terriil Est). Leur localisation est donnée en figure 5.

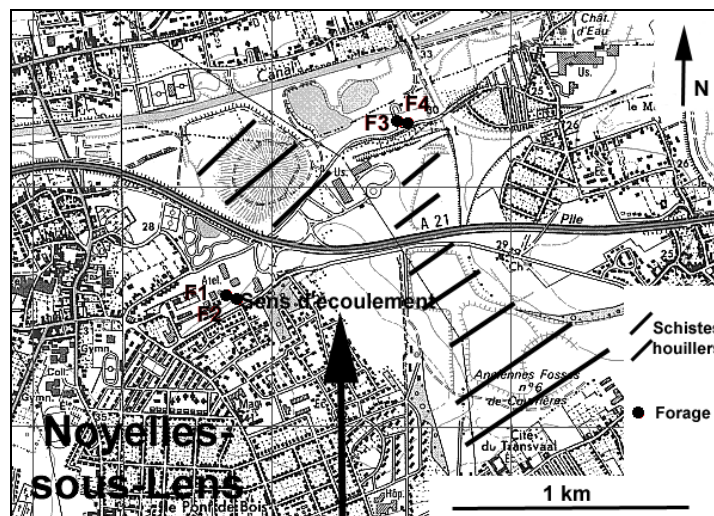


Figure 5 : Localisation des captages à Noyelles-sous-Lens (carte IGN au 1/25000 modifiée).

Les données en sulfate et nitrate de ces captages sont représentées en figure 6. On note que les forages situés à l'amont hydraulique du premier terriil ont une forte concentration en nitrate (de l'ordre de la centaine de mg/l) mais faible en sulfate (50mg/l environ). Les forages situés en aval hydraulique du terriil plus à l'Est ont une eau nettement plus chargée en sulfate (très souvent supérieur à la C.M.A.) mais beaucoup moins riche en nitrate (souvent inférieur à la C.M.A.). Il semble y avoir un lien entre la concentration en sulfate et celle en nitrate : il apparaît graphiquement pour les forages F3 et F4 que plus la concentration en sulfate est élevée, plus celle en nitrate est faible. Si l'on considère que l'eau qui serait en amont hydraulique du terriil Est aurait à peu près la même composition chimique en sulfate et nitrate que celle en amont hydraulique du terriil Ouest, il y aurait alors une dénitrification. La nappe est libre dans ce secteur et la craie est subaffleurante. La couverture Cénozoïque ne devrait donc

pas être invoquée dans un tel processus (voir le paragraphe sur les nitrates). Existerait-il un lien entre les terrils et la dénitrification ?

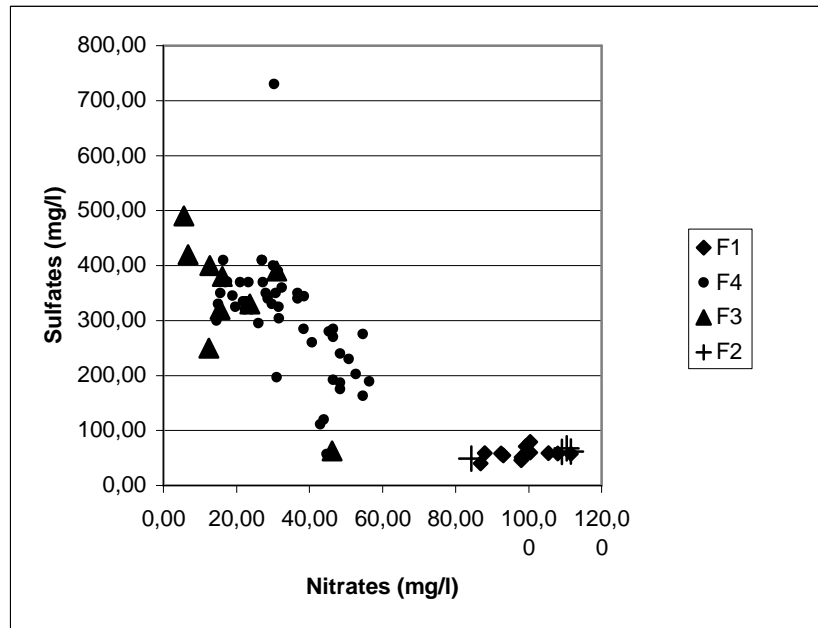
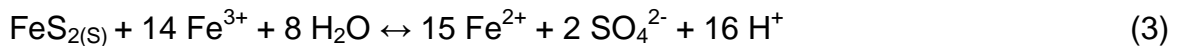
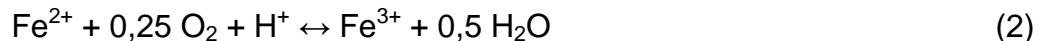
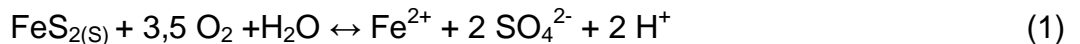
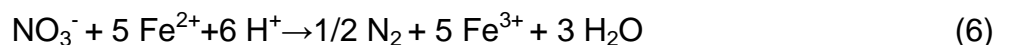
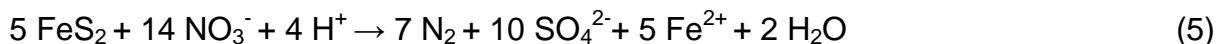


Figure 6 : Concentrations en sulfate et nitrate de quelques forages de Noyelles-sous-Lens (données DDASS de 1980 à 2001).

Le drainage acide minier résulte de l'oxydation des sulfures. L'oxydation de la pyrite est une réaction exothermique qui conduit à la formation d'ions sulfates. Les réactions suivantes correspondent à différents stades de la réaction complète (Rose and Cravotta, 1998) :



Les réactions (2) et (3) peuvent être catalysées par différentes espèces de bactéries (*Thiobacillus*). Denimal et al. (2001) ont mis en évidence un départ de sulfates dans la nappe de la craie à partir des terrils dû à l'oxydation de la pyrite contenue dans les stériles houillers. La pyrite peut aussi conduire à une dénitrification en milieu acide. La réaction peut de même que celles précédemment vues être catalysée par différentes bactéries telles que *Thiobacillus*. Elle s'écrit alors (Pauwels and Talbo, 2004):



On peut alors imaginer l'hypothèse suivante:

- L'oxydation de la pyrite conduit à la formation de sulfate ainsi que de protons (exemple réaction 1).
- Les protons issus de cette réaction sont récupérés et, associés aux nitrates et à la pyrite conduisent à la formation de  $\text{N}_2$  et donc à une forme de dénitrification, ainsi que la formation de sulfates (réaction 5).

Cet ensemble de réactions expliquerait l'importance des concentrations en sulfate (plusieurs réactions s'ajoutent pour aboutir à une mise en solution massive des sulfates) et la diminution de la quantité de nitrate (mais relativement moindre que le départ de sulfate).

Cette hypothèse demanderait à être vérifiée sur le terrain par un ensemble d'expériences amont/aval hydraulique de part et d'autre d'un terril en nappe libre et non influencée par des terrains autres que les schistes houillers contenant de la pyrite.

## 5. Conclusions

L'arrêt des prélèvements dus aux activités minières a permis un relèvement du niveau de la nappe non négligeable. Ceci aboutit directement à une redistribution des écoulements et des zones inondables particulièrement à proximité du Canal de la Deûle, secteur marécageux. Mais le triangle Carvin/Hénin-Beaumont/Douai est aussi marqué par une dégradation des eaux de la nappe due à une forte industrialisation et urbanisation. L'augmentation des concentrations en nitrate serait à rattacher aux rejets agricoles et urbains. Plusieurs sources de sulfate ont pu être mises en évidence par le passé : les industries, les terrils, l'oxydation de la pyrite des terrains du Cénozoïque... En même temps, des processus naturels de dépollution apparaissent : en passant en captivité les concentrations en sulfate de la nappe de la craie diminuent sous l'impulsion des bactéries sulfato-réductrices et l'oxydation de la pyrite contenue dans les terrains du Tertiaire conduit à une dénitrification. Ces phénomènes sont assez complexes dans le détail dépendant des paramètres physico-chimiques tels que le potentiel d'oxydo-réduction. Enfin, il est possible que les terrils, conduisent à un processus de dénitrification. La prochaine étape consistera à vérifier cette hypothèse en nappe libre, avec absence de recouvrement tertiaire, par des mesures en amont et aval hydraulique de part et d'autre d'un terril.

## Remerciements :

Cette recherche a été financée par les fonds européens (contrat n°105/2638 et a bénéficié du concours des DDASS du Nord et du Pas de Calais.

## 6. Références Bibliographiques

- Bernard D. (1979).- Contribution à l'étude hydrogéochimique de la nappe de la craie dans le Nord de la France. Etat et acquisition du chimisme de l'eau. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Lille.
- Bernard D., Caulier P. (1990).- Exploitation d'eau souterraine potable dans la nappe de la craie en position captive dans le Nord-Pas-de-Calais. *Ann. Soc. Géol. Nord* CIX, 121-124.
- Bracq P. (1995).- « L'effet d'échelle sur le comportement hydrodynamique et hydrodispersif de l'aquifère crayeux : apports de l'analyse morphostructurale ». *Ann. Soc. Géol. Nord*, t.4 (2<sup>ème</sup> série), p. 21-29
- BURGEAP-ISEP-IFP (1999).- Etude hydraulique, hydrogéologique et hydrochimique du bassin minier charbonnier. Rapport pour Charbonnages de France. 50 p.
- Denimal S., Barbecot F., Dever L., Tribovillard N., Meilliez F. (2001).- Traçage chimique et isotopique des eaux souterraines en relation avec les eaux de lixiviation de terrils, bassin minier du Nord-Pas-de-Calais (France). *Bull. Soc. Géol. France*, t. 172, 111-120.
- Droz B. (1985).- Influence de la structure et de la nature des terrains du Valenciennois sur la qualité de la nappe de la craie (Nord de la France) : apport du krigeage à l'hydrochimie régionale, gestion qualitative des eaux souterraines. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Lille.
- Pauwels H, Talbo H. (2004).- Nitrate concentration in wetlands : assessing the contribution of deeper groundwater from anions. *Water Research*, 38, 1019-1025.
- Préaux C. (1990).- Pollution des eaux souterraines par les nitrates d'origines agricoles et urbaines. Bilan sur l'arrondissement de Cambrai (Nord-France). *Ann. Soc. Géol. Nord*. CIX, 107-112.
- Rose A.W., Cravotta III C.A. (1998). Geochemistry of coal mine drainage. In: The Pennsylvania Department of Environmental Protection (ed.), *Coal mine drainage prediction and pollution prevention in Pennsylvania*, 1-22.
- Vallée K. (1999). Le nickel dans les eaux alimentaires. Application à des champs captants du bassin Artois-Picardie. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Lille.