

Document public



# Etude des bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole (51) Acquisitions de données complémentaires et mise en œuvre d'un SIG

Rapport final

BRGM/RP-54978-FR

Décembre 2006



Direction régionale de l'agriculture  
et de la forêt de Champagne-Ardenne  
Direction Départementale de l'agriculture  
et de la forêt de la Marne



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Etude des bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole (51) Acquisitions de données complémentaires et mise en œuvre d'un SIG Rapport final

**BRGM/RP-54978-FR**  
Décembre 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2006-EAU-F20

**M. Chabart et P. Pannet**  
Avec la collaboration de  
**P. Stollsteiner et V. Mardhel**

**Vérificateur :**

Nom : WUILLEUMIER Arnaud

Date : 10 avril 2007

Original signé par

**Approbateur :**

Nom : MARTEAU Pascal

Date : 12 avril 2007

Original signé par

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

**Mots clés :**

Champagne-Ardenne, Département de la Marne, Bassin versant, Somme, Soude, Coole, gestion, vulnérabilité, sensibilité, ressource en eau, débit, piézométrie

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

CHABART M., PANNET P., STOLLSTEINER P. MARDHEL V. (2006) – Etude des bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole (51). Acquisitions de données complémentaires et mise en œuvre d'un SIG. Rapport BRGM RP-54978-FR. 62 p., 19 figures, 3 photos, 2 tableaux, 4 annexes.

© BRGM, 2006, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Suite à de nombreuses périodes d'assec dans les cours d'eau et à des difficultés d'approvisionnement sur certains forages d'alimentation en eau potable, il est apparu nécessaire de mettre en œuvre une gestion de la ressource en eau plus adaptée, qui prendrait à la fois en compte les besoins et le stock utilisable.

A la demande de la MISE de la Marne, le BRGM a réalisé une étude concernant l'élaboration de règles de gestion de la ressource en eau souterraine pour les bassins de la Somme-Soude et de la Coole (département de la Marne). L'étude est financée conjointement par la MISE et par le BRGM sur ses crédits de Service Public.

A l'issue d'un premier rapport portant sur la modélisation de la ressource en eau des bassins versants de la Somme Soude et de la Coole (*Schmidt et al., 2006, BRGM RP-54178-FR*), il avait été constaté un manque de données permettant la compréhension du fonctionnement hydrodynamique sur l'ensemble des bassins versants (notamment les échanges nappes-rivières).

Le programme de l'étude complémentaire a donc été établi en trois étapes : (1) collecte de nouvelles données (débits sur le cours d'eau et mesures piézométriques) ; (2) analyse des données et interprétation des résultats ; (3) recommandations.

Les premiers résultats sont satisfaisants car ils ont conduit à l'acquisition et l'interprétation d'informations indispensables à la réalisation de l'étude. Néanmoins il manque le recul en temps nécessaire à la compréhension du fonctionnement hydrodynamique des bassins versants étudiées. C'est pourquoi les recommandations suivantes ont été proposées :

- Réalisation de deux nouvelles campagnes de jaugeages différentiels ;
- Réalisation des mesures piézométriques sur un nombre plus important d'ouvrages, notamment en interfluve, avec l'aide des irrigants (accès aux forages cadénassés, identification de points supplémentaires non référencés en BSS) ;
- Mise en œuvre d'essais de pompage selon un protocole très précis afin de définir les paramètres hydrodynamiques et de mieux juger de l'impact des pompes agricoles sur le cours d'eau ;
- Equipement de quatre à cinq points d'eau afin de disposer d'un suivi piézométrique à un pas de temps régulier (y compris en période d'irrigation) ;
- Suivi des assecs et de la reprise des écoulements sur les cours d'eau en même temps que la piézométrie sur les points les plus proches (bonne coordination entre CSP, BRGM et DIREN) ;

- Etude des apports latéraux en eaux souterraines par les réseaux karstiques de la région de Vertus (cartographie du karst de surface entre Vertus et Montmort-Lucy – vallée du Surmelin – dans la perspective d'un traçage) ;
- Cartographie et caractérisation des formations superficielles qui doivent avoir un comportement différent de celui de la craie dans les processus d'infiltration et de recharge de la nappe (essais d'infiltrométrie).

## Sommaire

<b>1. Introduction.....</b>	<b>9</b>
1.1. RAPPELS SUR LA PREMIERE PHASE .....	9
1.2. OBJECTIFS DE LA DEUXIEME PHASE.....	10
<b>2. Description du secteur d'étude .....</b>	<b>13</b>
2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE.....	13
2.1.1.L'habitat.....	13
2.1.2.Les infrastructures .....	13
2.1.3.L'agriculture .....	13
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	16
2.2.1.La craie.....	16
2.2.2.Les formations tertiaires .....	18
2.3. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE.....	21
2.3.1.Les versants de la Cuesta d'Ile de France .....	21
2.3.2.Le plateau crayeux .....	21
2.4. LE CLIMAT .....	22
2.5. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE .....	23
2.5.1.Présentation .....	23
2.5.2.Origines .....	24
2.5.3.Caractéristiques.....	24
<b>3. Acquisition et analyse des données.....</b>	<b>27</b>
3.1. CAMPAGNE DE JAUGEAGE DU 11 ET 12 OCTOBRE 2006 .....	27
3.1.1.Présentation de la méthode.....	27
3.1.2.Le réseau de mesure.....	27
3.1.3.Les jaugeages différentiels.....	28
3.1.4.Les profils hydrologiques.....	29
3.1.5.Les profils des températures et des conductivités.....	32
3.1.6.La cartographie des rendements hydrologiques .....	33
3.2. CAMPAGNE DE LEVES PIEZOMETRIQUES.....	35
3.2.1.Objectifs de la campagne .....	35

3.2.2. Résultats de la campagne piézométrique .....	35
<b>4. Interprétation des résultats .....</b>	<b>37</b>
4.1. ORIGINE DES DISPARITES DES RENDEMENTS HYDROLOGIQUES.....	37
4.1.1. L'emplacement altitudinal du cours d'eau .....	37
4.1.2. Le transfert des eaux souterraines entre bassins versants .....	39
4.1.3. La structure de la craie .....	40
4.1.4. L'impact de la couverture tertiaire .....	40
4.1.5. La géométrie du champ alluvial.....	41
4.1.6. Les disparités climatiques .....	42
4.2. DIFFICULTEES RENCONTREES.....	43
4.2.1. Les ouvrages hydrauliques.....	43
4.2.2. L'accessibilité aux forages d'eau.....	43
4.3. CARTOGRAPHIE INTERPRETATIVE PRELIMINAIRE .....	44
4.4. PERSPECTIVE DE CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE AUX PRELEVEMENTS.....	45
4.4.1. Méthode de cartographie à index avec pondération des critères.....	45
4.4.2. Méthode IDPR (Indice de Développement et Persistance des Réseaux) 46	
<b>5. Conclusions et recommandations .....</b>	<b>49</b>
<b>6. Bibliographie.....</b>	<b>53</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Assolement d'un bassin versant crayeux type (Données de 1999) .....	14
Figure 2 : Evolution de la culture de pomme de terre sur sol de craie (d'après DIREN Champagne-Ardenne, plaquette observatoire de la craie n°8, décembre 2006) .....	15
Figure 3 : Axes de fissuration tectonique en Champagne crayeuse .....	17
Figure 4 : Coupe géologique type d'un versant du plateau d'Ile de France (Source Michel LAURAIN) .....	18
Figure 5 : Schéma de la hiérarchisation selon Horton du réseau hydrographique du bassin versant de la Somme-Soude et de la Coole (vallons secs et cours d'eau).....	25
Figure 6 : Carte de présentation du réseau de mesure (points de jaugeage en noir : ▼) .....	29
Figure 7 : Cartes de présentation des profils hydrologiques .....	30
Figure 8 : Profils hydrologiques de la Somme-Soude en débits bruts et en débits spécifiques .....	30

Figure 9 : Profils hydrologiques de la soude et de la Somme-Soude en aval de la confluence .....	31
Figure 10 : Profils de température et de conductivité de la Somme-Soude aux points de jaugeage.....	32
Figure 11 : Cartographie des rendements hydrologiques du secteur de l'étude .....	34
Figure 12 : Résultats de la campagne piézométrique sur les bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole .....	36
Figure 13 : Relations entre les débits du cours d'eau, et le compartimentage vertical de l'aquifère (Lejeune et Devos, 2004) .....	38
Figure 14 : Profils en long des cours d'eau de la zone d'étude .....	39
Figure 15 : Extrait de la carte géologique au millionième du secteur d'étude .....	41
Figure 16 : Schéma montrant les différences de cônes de drainage de la nappe, en fonction de la géométrie du champ alluvial.....	42
Figure 17 : Carte des ouvrages hydrauliques infranchissables en permanence (cette carte ne fait pas état des nombreux ouvrages abandonnés ou de petite taille) D'après le schéma départemental de vocation piscicole, département de la Marne, Synthèse 1999. ....	43
Figure 18 : 4.3. Cartographie interprétative préliminaire de la « sensibilité » au prélèvement d'eau 47	
Figure 19 : Carte des points de suivi proposés et des secteurs pour la recherche de points complémentaires .....	51

## Liste des photographies

Photo 1 : Exemple de fracturation de la craie .....	18
Photo 2 : Source karstique, centre-ville de Vertus.....	20
Photo 3 : Exemple de jaugeage à l'aide d'une perche à intégration.....	28

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des températures et précipitations moyennes à Reims de 1961 à 1999 (Source : Météo France) .....	22
Tableau 2: Exemple des paramètres pris en compte dans l'élaboration des cartes de vulnérabilité et de sensibilité du milieu souterrain à une pollution (Rouxel-David E., Baran N., 2004, d'après la méthode Ricour J., 1988).....	46

## Liste des annexes

Annexe 1 La craie champenoise.....	55
Annexe 2 Tableau récapitulatif des points de jaugeage .....	57
Annexe 3 Tableau récapitulatif des forages mesurés lors de la campagne piézométrique.....	59
Annexe 4 Liste des fichiers intégrés au « SIG SSC » .....	61

# 1. Introduction

## 1.1. RAPPELS SUR LA PREMIERE PHASE

Les données de prélèvement, de débits des cours d'eau, de niveaux piézométriques et les pratiques culturales ont été collectées sur les bassins de la Somme-Soude et de la Coole auprès de différents partenaires associés au comité de pilotage (DIREN Champagne-Ardenne, DDAF 51, Agence de l'eau Seine Normandie, DDASS 51, DRIRE, chambre d'agriculture de la Marne et profession agricole).

La phase de traitement a permis de juger de la qualité et de la pertinence des données et de préparer les chroniques nécessaires à la modélisation. La mise en œuvre du modèle global GARDENIA a été réalisée principalement sur le bassin versant de Soude qui dispose de la seule station hydrométrique en fonction sur le secteur. Les données hydrologiques concernant la Coole se sont avérées insuffisantes pour la mise en œuvre d'un modèle fiable (*Schmidt et al., 2006, BRGM RP-54178-FR*).

Sur le bassin versant de la Soude, les termes du bilan hydrologique ont été estimés. Des simulations spécifiques ont permis d'établir l'impact de l'augmentation des prélèvements sur la ressource en eau (nappe et débit de la rivière) ainsi que les prévisions statistiques des débits et des niveaux de nappe sur les 8 prochains mois.

La règle de gestion proposée au terme de la phase de modélisation repose sur la relation existant entre le niveau piézométrique enregistré aux Grandes-Loges le 15 avril de chaque année (*index représentatif de l'état de remplissage de l'aquifère en conditions non influencées*) et le nombre de jour où le débit de la Soude à Soudron est inférieur au QMNA<sub>5</sub> (*index représentatif du débit d'étiage constaté dans la rivière*).

La règle de gestion est valable uniquement pour le bassin de la Soude. Pour étendre cet index de gestion à l'ensemble du bassin de la Somme-Soude (*plus complexe et nettement plus grand que celui de la Soude - résultat de la confluence de la Somme, de la Soude et de la Berle*) et de la Coole (*plus sensible face à la pression liée aux prélèvements*), il faudrait disposer de campagnes de jaugeages différentiels (hautes et basses eaux) sur la Somme-Soude entre Soudron et l'aval du bassin ainsi que sur la Coole.

Il a donc été recommandé pour conforter les règles de gestion proposées et tenter de les étendre à l'ensemble des bassins de la Somme-Soude et de la Coole de :

- Remettre en service la station hydrométrique sur la Coole à Ecury-sur-Coole ;
- Réaliser des jaugeages différentiels d'amont en aval des cours d'eau des bassins versants étudiés ;
- Sélectionner un ou plusieurs ouvrages dans le secteur d'étude pour mettre en place un suivi régulier du niveau de la nappe ;
- Améliorer la connaissance des prélèvements (volumes sous forme de chronique et localisation).

## 1.2. OBJECTIFS DE LA DEUXIEME PHASE

L'objectif principal de cette deuxième phase est d'apporter des éléments de réponse concernant le fonctionnement hydrodynamique des bassins versants et l'impact de l'irrigation sur les cours d'eau.

Au vu du manque de données exploitables relevé précédemment (*Schmidt et al., BRGM RP-54178-FR*), une campagne de jaugeage différentiel couplée à une campagne piézométrique a été réalisée au mois d'octobre 2006 sur le secteur d'étude (Somme-Soude, Soude, Pisseleu et Coole). Les débits ont ainsi été relevés tous les 10 km de cours d'eau environ alors qu'en parallèle, dans tous les forages accessibles, le niveau d'eau était mesuré.

Par ailleurs, une collecte de données complémentaires venant des chroniques personnelles des agriculteurs (pluviométrie, jours de pluie, niveaux de rivière) a été initiée par l'intermédiaire de la chambre d'agriculture et du GEDA<sup>1</sup> de la vallée de la Coole. Ces données souvent prélevées sans protocole établi ne permettent pas une interprétation directe, mais donnent des indications utiles à l'analyse des autres données collectées. Cela permettra à terme une compréhension du comportement hydrodynamique de l'ensemble des bassins versants.

Les données géoréférencées collectées dans le cadre de l'étude ont été mises à disposition sur un système d'information géographique (SIG) au format **MapInfo®** et **ArcView®**. Un SIG fonctionnel est en effet indispensable à l'outil d'aide à la décision qui devra permettre de déterminer l'impact d'éventuels prélèvements dans le bassin d'étude.

Le logiciel **ArcView** est un produit **ESRI ArcGIS®**<sup>2</sup> qui constitue une suite intégrée de logiciels destinés à la conception du système d'information géographique (SIG). Les fonctions d'édition, d'analyse et de cartographie associées à des modèles de type hydrodynamique par exemple doivent permettre à terme le développement d'un outil d'aide à la décision adapté aux besoins des gestionnaires de la ressource en eau. Les produits ESRI ArcGIS sont néanmoins coûteux et nécessitent une parfaite connaissance dans le domaine des SIG. Il est donc proposé de développer dans un premier temps le « SIG SSC » (Somme-Soude-Coole) dans une version simplifiée et utilisable par les décideurs sans investissement lourd tant du point de vue financier que des moyens en personnel.

Les deux produits **ArcGIS Publisher** et **ArcReader** permettent aux utilisateurs de ArcGIS de partager facilement tous leurs documents cartographiques.

- ArcGIS Publisher donne la possibilité de distribuer facilement des cartes et des données SIG. Il convertit les cartes et les modèles d'ArcGIS en fichiers PMF (Published Map File). Les fichiers PMF contiennent des instructions sur la

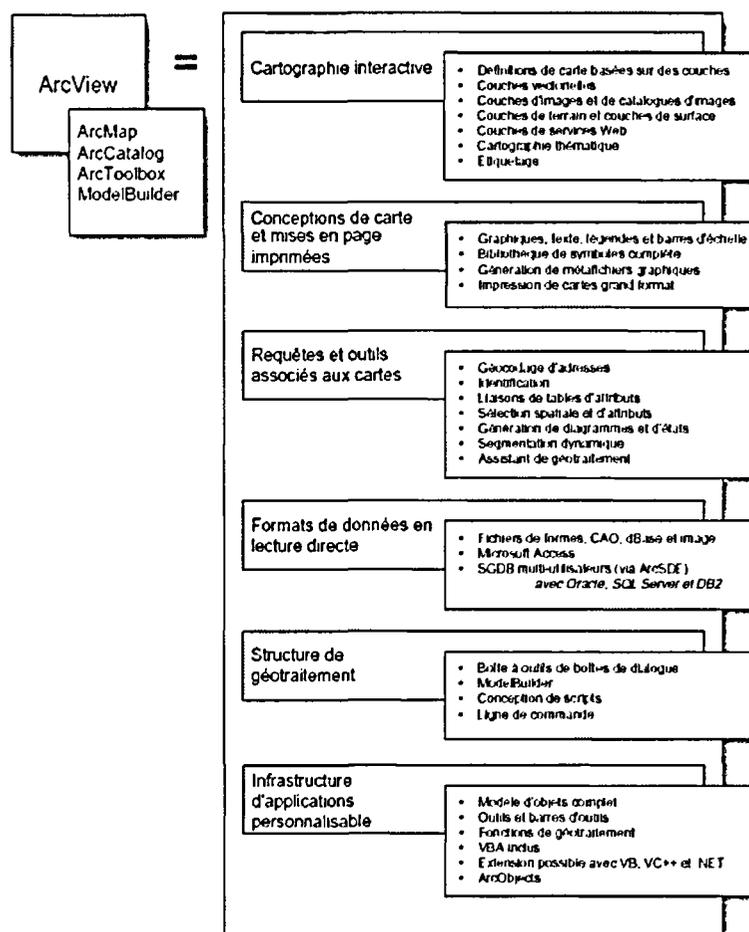
---

<sup>1</sup> Groupe d'Etude et de Développement Agricole

<sup>2</sup> <http://www.esrfrance.fr/>

localisation et la symbologie des couches de données ce qui permet de partager des cartes interactives répondant aux besoins des utilisateurs.

- ArcReader permet, quant à lui, d'accéder rapidement à tous les documents publiés à l'aide d'ArcGIS Publisher. C'est un produit téléchargeable gratuitement, d'usage facile, et qui permet à chaque utilisateur de consulter, explorer et imprimer des documents cartographiques publiés.





## 2. Description du secteur d'étude

### 2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Le secteur d'étude s'inscrit dans un quadrilatère allant de Châlons-en-Champagne au Nord-Est, à Fère-Champenoise au Sud-Ouest. A l'Ouest, dans la région de Vertus, la limite est constituée par les versants de la Cuesta d'Ile de France (limites de la couverture tertiaire) et à l'Est par la Marne (exutoire des bassins versants).

La superficie totale est de 765 km<sup>2</sup> : 485 km<sup>2</sup> pour la Somme-Soude, 171 km<sup>2</sup> pour la Coole, et 109 km<sup>2</sup> pour le Pisseleu.

#### 2.1.1. L'habitat

On dénombre 44 villages à l'intérieur des bassins versants étudiés pour un total de 12 770 habitants, soit une densité de population inférieure à 17 hab/km<sup>2</sup>. Ces villages sont généralement organisés en village-rue, suivant le cours d'eau ou l'axe de communication auquel ils se rattachent ; il s'agit de l'habitat rural moyennement peuplé typique de la Champagne crayeuse. On ne compte aucune ville majeure sur les bassins versants étudiés à l'exception de Vertus en limite ouest du secteur (2600 habitants).

#### 2.1.2. Les infrastructures

Le secteur d'étude est traversé par de nombreux axes de communication. On trouve l'autoroute A26 et cinq autres axes routiers majeurs centrés sur la ville de Châlons-en-Champagne avec du Nord au Sud, la N3, la D933, la D5, la N77, ainsi que la N4 qui délimite au Sud le secteur d'étude.

On trouve des voies ferrées mais qui ne concernent que des axes secondaires.

Un des principaux centres économiques de la région se trouve sur le secteur d'étude ; il s'agit de l'aéroport de Vatry qui est en pleine expansion.

Ces infrastructures occupent linéairement beaucoup d'espace, et leur construction et leur entretien ont engendré le remaniement du sol sur un espace important.

#### 2.1.3. L'agriculture

L'occupation du sol sur le secteur d'étude est majoritairement agricole. Le paysage est typique d'openfield constitués de grandes parcelles de forme géométrique.

L'agriculture constitue la principale ressource économique. En effet, la Champagne crayeuse, dont les bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole sont

représentatifs, est devenue depuis le 20<sup>e</sup> siècle un des greniers de la France (Radet, 1943).

On identifie deux types d'occupation agricole dans les bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole :

- A l'Ouest sur les versants de la côte de l'Île de France (formations tertiaires), l'espace est occupé par des terroirs viticoles destinés à la production du Champagne.
- Le reste du secteur d'étude est occupé par de grandes étendues cultivées intensivement se développant principalement sur la craie et réduisant la végétation sauvage à néant et les forêts au strict minimum. A l'origine les terres crayeuses pauvres étaient des savarts et des pelouses calcaires occupées par des élevages de moutons (Lesage, 1840 ; Husson, 1872 ; Lebrun et Guille, 1926). Ces terrains ont développé avec l'usage généralisé des engrais chimique une activité de grande culture.

Les cultures dominantes sur les bassins versants crayeux sont en général les céréales (blé, orges), les betteraves, les cultures protéagineuses (pois, vesces), les cultures oléagineuses (colza, tournesol), les plantes fourragère (ray-grass, luzerne), et depuis quelques années, la culture de la pomme de terre (Figure 1).

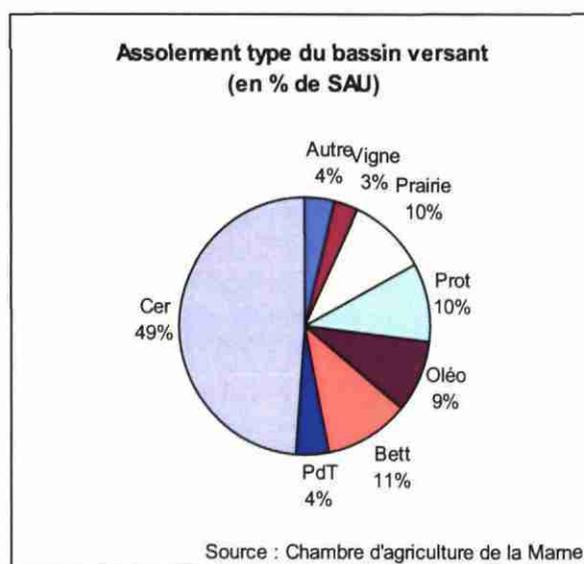


Figure 1 : Assolement d'un bassin versant crayeux type (Données de 1999)

La problématique de l'étude concerne essentiellement la culture de la pomme de terre puisque si la vigne joue un rôle important sur l'aspect qualitatif de l'eau, elle n'a aucun impact sur l'aspect quantitatif. La pomme de terre est en effet la seule plante de grande culture irriguée dans les bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole.

C'est principalement avec l'arrivée de la pomme de terre que se sont développés les réseaux destinés à l'irrigation. Aussi, l'exploitation de la ressource en eau n'a cessé de se développer depuis le début des années 90 (Figure 2), dans un souci de productivité, mais aussi pour des impératifs industriels et collectifs. Une importante usine de transformation de pomme de terre se trouve d'ailleurs dans le bassin versant du Pisseleu, sur la commune de Matougues.

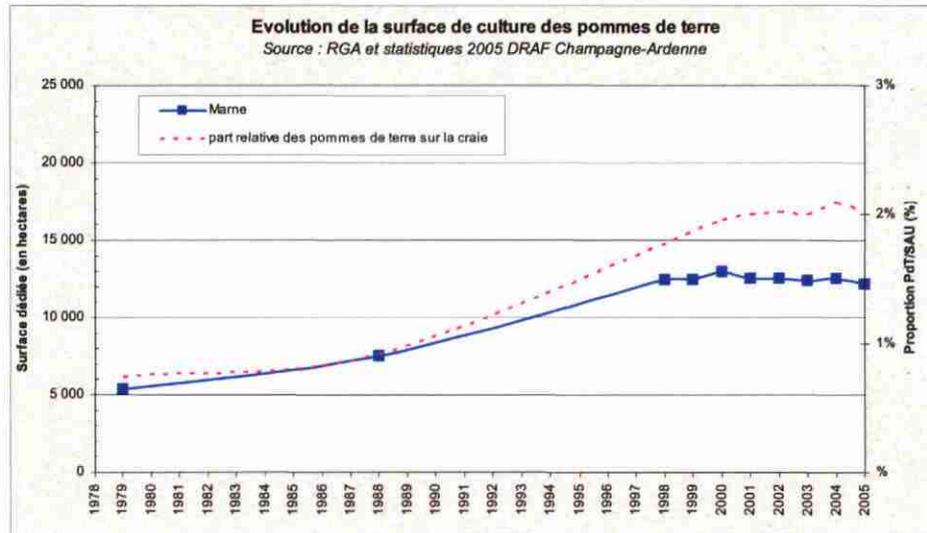


Figure 2 : Evolution de la culture de pomme de terre sur sol de craie (d'après DIREN Champagne-Ardenne, plaquette observatoire de la craie n°8, décembre 2006)

## 2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Le secteur étudié s'inscrit en grande partie dans la craie, même si à l'Ouest, la couverture tertiaire qui domine le plateau de la Champagne crayeuse va jouer un rôle non négligeable dans la construction des écoulements.

### 2.2.1. La craie

La majeure partie du secteur d'étude repose sur la craie blanche sénonienne (Campanien inférieur, Santonien et Coniacien), dont l'épaisseur totale approche les 300 mètres à l'Ouest de la région. C'est un calcaire très pur composé de près de 99% de carbonate de calcium. Les formations crayeuses sont inclinées vers le Nord-Ouest (en direction du centre du bassin parisien), selon un pendage faible de l'ordre de 0.5%. (Annexe 1). La géologie est uniforme, mais la craie possède de nombreuses caractéristiques qui conditionnent l'occupation du sol, ainsi que la dynamique hydrogéologique des bassins versants étudiés.

La craie contient une nappe libre majoritairement alimentée par les pluies efficaces et qui se vidange par le biais d'exutoires naturels que constituent les sources et les cours d'eau. La particularité de l'aquifère crayeux est le contraste important entre la **porosité totale**<sup>3</sup>, de l'ordre de 30 à 40 %, et la **porosité efficace**<sup>4</sup>, seulement de 1 à 5 %. L'ensemble de cette réserve n'est pas mobilisable de façon homogène car la craie est affectée par différents types de fissuration résultant soit d'effets tectoniques soit de phénomènes géomorphologiques :

- **La tectonique** : Elle marque les réseaux de fracturation majeurs sur lesquels se calent les cours d'eau et les vallons secs. Ainsi, la craie des bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole est marquée par les fractures selon deux orientations principales N 30 et N 120, liées à la mise en place des chaînes alpines et pyrénéennes (Figure 3) ;
- **Les phénomènes géomorphologiques de type « décompression »** : La craie est une roche très érodible, et son épaisseur a probablement fortement diminué depuis plusieurs millions d'années entraînant un phénomène de décompression à l'origine d'une fissuration notamment dans les vallées ;
- **Les phénomènes géomorphologiques de type « érosion »** : La craie est une roche gélive, et les nombreux cycles gel/dégel hivernaux accentuent la fissuration à l'approche de la surface (Photo 1).

Une fois ouvertes, les fissures ont pu s'agrandir et s'élargir sous l'action chimique (dissolution des carbonates) ou mécanique des eaux souterraines ; cette évolution

---

<sup>3</sup> La porosité totale est la quantité d'eau susceptible d'être contenue dans les pores de la roche.

<sup>4</sup> La porosité efficace est la quantité d'eau mobile contenue dans la roche, c'est-à-dire celle qui peut être prélevée.

peut atteindre localement un stade ultime qui correspond au développement d'un réseau karstique.

On considère généralement que le **réservoir efficace** correspond à une épaisseur moyenne (sous le niveau du sol) de 30 mètres sous les plateaux et de 40 mètres sous les vallées à cours d'eau pérenne. Les écoulements souterrains se font préférentiellement au gré des réseaux de failles et de fissures qui affectent la matrice crayeuse, principalement celles qui ont pu être élargies par dissolution.

La surface piézométrique de la nappe de la craie suit le relief en l'amortissant. La nappe est drainée par les cours d'eau et les vallées sèches, qui coïncident le plus souvent avec une zone particulièrement fissurée favorisant les écoulements souterrains. Dans les vallées, les circulations préférentielles permettent des débits d'exploitation considérables ce qui est loin d'être le cas sous les plateaux où la craie, restée compacte, ne fournit que débits faibles (de l'ordre de 5 à 10 m<sup>3</sup>/h).

Les gradients hydrauliques varient notablement entre les vallées et les plateaux ainsi qu'à proximité du recouvrement tertiaire. Ils traduisent l'influence de la topographie et surtout des variations de transmissivité de la craie.

Le niveau piézométrique varie donc de façon saisonnière et interannuelle. Les amplitudes des variations piézométriques, dépendantes de la quantité des précipitations, sont également très variables géographiquement : de quelques mètres dans les vallées à cours d'eau pérenne, elles peuvent dépasser 20 m en crête piézométrique.

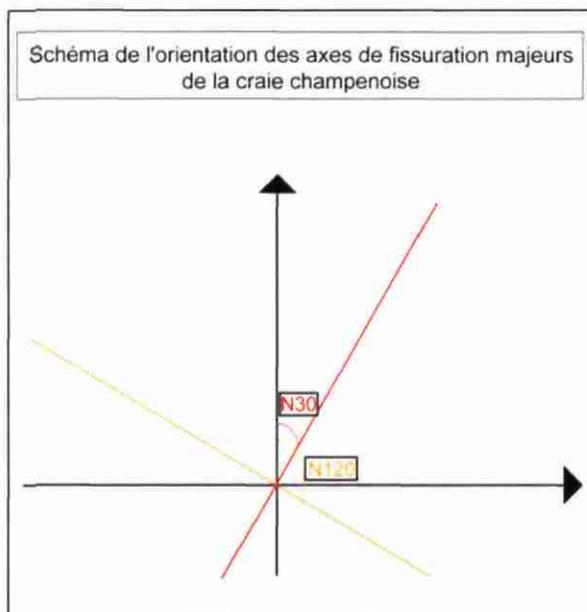


Figure 3 : Axes de fissuration tectonique en Champagne crayeuse



Photo 1 : Exemple de fracturation de la craie

### 2.2.2. Les formations tertiaires

La partie ouest du secteur d'étude est délimitée par des versants qui marquent la limite de la couverture tertiaire. Cette couverture tertiaire est généralement composée en limite de plateau de l'île de France d'une succession de formations calcaires, sableuses et argileuses. Ainsi, on retrouve généralement à l'Est du plateau d'île de France des traces de chaque transgression marine tertiaire comme l'indique la Figure 4 : Montien, Thanétien, Yprésien, Lutétien, Bartonien.

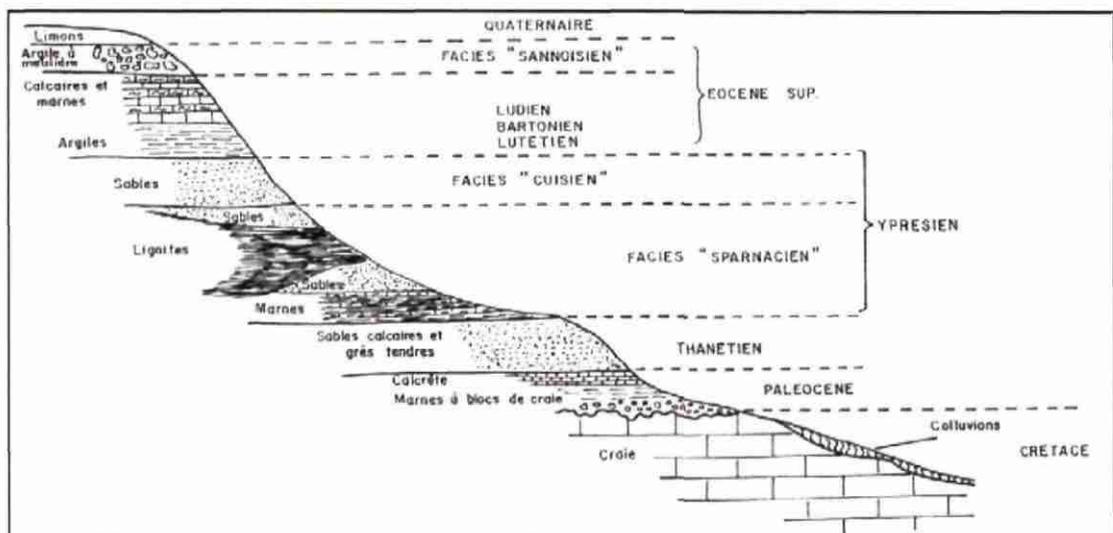


Figure 4 : Coupe géologique type d'un versant du plateau d'île de France (Source Michel LAURAIN)

Parmi ces formations deux referment localement des ressources en eau :

- **Les calcaires lacustres de l'Eocène moyen et supérieur** constituent un réservoir aquifère important, et donne naissance à d'importantes circulations d'eau, qui se manifestent par des sources à débit faible mais relativement constant. Un certain nombre de forages et de puits ont fourni des débits intéressants. Plusieurs observations et des études récentes font état de gouffres et de phénomènes karstiques.
- **Les niveaux sableux du Cuisien (Eocène inférieur) et du Thanétien (Paléocène supérieur)** renferment des nappes d'importance plutôt réduite. Les nombreuses sources de déversement émergeant de ces niveaux à dominante sableuse ont un débit compris entre 0,5 et 5 l/s. La présence localisée de réseaux karstiques dans les sables grésifiés du Thanétien se superposant au karst de la craie est reconnue. Ces deux éléments peuvent localement donner lieu à l'existence d'un karst mixte sables/craie (Montagne de Reims). Dans tous les cas, les eaux circulant à travers ces réseaux viennent directement alimenter la nappe de la craie.

Le secteur de Vertus, situé en limite sud-est du plateau d'Ile de France, ne présente pas la même succession géologique que celle décrite précédemment, beaucoup de transgressions marines du Tertiaire n'ayant pas atteint cette région. La craie est en effet surmontée uniquement des calcaires du Montien et de quelques dépôts continentaux récents. Les argiles du Sparnacien (limite nord du secteur d'étude) ne sont surmontées que par les formations continentales récentes (limons de plateau). Les sables du Thanétien et du Cuisien, ainsi que les calcaires lutétiens et bartoniens n'apparaissent que bien plus au Nord (région d'Epernay).

On observe localement une ligne de source le long du versant, émergeant d'aquifères perchés très localisés, dont les réserves sont négligeables à l'échelle du bassin versant. Par contre les formations tertiaires et la craie étant karstifiées, on trouve également des réseaux qui ressortent sous formes de sources le long du versant, ou se perdent dans la craie par l'intermédiaire de gouffres parfois pénétrables par l'homme (>30 mètres de profondeur). Ces réseaux sont encore mal connus, mais on citera pour mémoire la source karstique du Puits Saint-Martin émergeant sous l'Eglise de Vertus (Photo 2), qui donne naissance à la Berle (débit en étiage supérieur à 100l/s). L'origine de cette source karstique est attribuée à une série de phénomènes exokarstiques entraînant des pertes dans la partie amont du Surlémin (région de Montmort-Lucy).

Les réseaux karstiques à l'Ouest du secteur d'étude développent donc un apport latéral assez conséquent, qui laisse à penser que le bassin versant hydrogéologique sur le secteur d'étude s'étend à l'Ouest au-delà du bassin versant topographique de la Somme-Soude.



*Photo 2 : Source karstique, centre-ville de Vertus*

## 2.3. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

### 2.3.1. Les versants de la Cuesta d'Ile de France

Les versants de la cuesta d'Ile de France qui joignent le plateau tertiaire au plateau crayeux présentent une forme concave avec des pentes assez fortes et une différence d'altitude d'environ 150 m. Ils sont entaillés par des vallons sub-actuels issus des nombreuses sources (origine karstique ou émergence au contact de formations imperméables). Ces vallons se caractérisent par de nombreux glissements de terrain (couches argileuses rendant le sol instable) qui ont pour conséquences une régulation des pentes et une érosion régressive du plateau d'Ile de France.

### 2.3.2. Le plateau crayeux

On distingue deux ensembles géomorphologiques majeurs sur le secteur d'étude, liés à deux dynamiques distinctes : d'une part le modelé lié aux **dynamiques de versants**, et d'autre part, le modelé lié à la **dynamique alluviale**.

#### *Les formes de versant*

Un **interfluve** est un relief compris entre deux **talwegs**. Il est constitué de **versants**, séparés ou non par une surface plane. La crête d'interfluve désigne la ligne où se partagent les eaux de pluie (source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Interfluve>). On distinguera les **interfluves majeurs** associés aux talwegs des cours d'eau « actifs » et les **interfluves mineurs** associés aux vallons secs.

Les **formes de versant** caractérisent la surface située entre les **interfluves majeurs** des cours d'eau (tels que la Marne, la Coole, la Soude, la Somme-Soude, le Pisseleu) et le champ alluvial.

Les **vallons secs** démarrent généralement proche d'un interfluve majeur, pour rallier le champ alluvial. Ils peuvent donc avoir une longueur dépassant plusieurs kilomètres, pour une incision qui est maximum dans sa partie amont, ne dépassant pas les 25 mètres. Leur largeur varie de l'amont à l'aval, de quelques centaines de mètres, à plus d'un kilomètre.

En ce qui concerne les **interfluves mineurs** séparant les vallons secs, ils engendrent des formes de glacis dépassant parfois plusieurs kilomètres de longueur, puis rejoignent la limite du champ alluvial par de grands versants de raccordement, avec des pentes peu marquées.

Les formations superficielles sont présentes dans les vallons secs et sur beaucoup de versants de raccordement, tandis que tous les interfluves, arasés par le vent et l'érosion laissent en général affleurer la craie.

### **Les champs alluviaux**

Les formations alluviales, qui se présentent sous forme de terrasses, sont constituées de cailloutis issus de la gélifraction de la craie, et qui ont été transportés puis déposés par les cours d'eau. Elles sont localement appelées graveluches (petits granules de craie dont la granulométrie varie de 1 mm à 2 cm). Ces formations peuvent jouer un rôle important, car en plus de la largeur de l'épanchement (plusieurs kilomètres en aval de la Somme-Soude), leur épaisseur peut atteindre 8.5 m sur des terrasses de la Somme-Soude. Elles jouent donc un rôle important dans le comportement hydrodynamique à l'approche du cours d'eau.

## **2.4. LE CLIMAT**

Le secteur d'étude se caractérise par un climat tempéré assez sec. Sur la période 1961-1999 (Tableau 1), les précipitations, bien que relativement faibles sont régulières tout au long de l'année avec un minimum de 40 mm/mois en février, et un maximum de 58.1 mm/mois au mois de juin. L'été est assez sec, mais connaît tout de même des précipitations importantes dues souvent à quelques orages estivaux.

On peut qualifier ce climat de semi-océanique à influence continentale. Il régit les dynamiques actuelles et aussi en partie, l'évolution du réseau hydrographique.

<b>Reims : récapitulatif des températures et précipitations moyennes de 1961 à 1999</b>													
	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	<b>Moyennes annuelles</b>
<b>T°C moyennes</b>	<b>2.5</b>	<b>3.4</b>	<b>6.3</b>	<b>9</b>	<b>12.9</b>	<b>15.9</b>	<b>18.1</b>	<b>17.9</b>	<b>14.9</b>	<b>10.9</b>	<b>6</b>	<b>3.3</b>	<b>10.1</b>
<b>P mm moyennes</b>	<b>45.2</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>45.1</b>	<b>57.1</b>	<b>58.1</b>	<b>51.4</b>	<b>50</b>	<b>51.6</b>	<b>51.1</b>	<b>53.3</b>	<b>55.2</b>	<b>606.1</b>

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des températures et précipitations moyennes à Reims de 1961 à 1999 (Source : Météo France)

Ces moyennes ne rendent pas compte des variabilités interannuelles assez importantes. Ainsi, au poste météorologique de l'INRA à Châlons-en-Champagne, on constate entre 1970 et 1997 une hauteur totale annuelle moyenne des précipitations de 615 mm, avec une valeur minimale de 429 mm en 1976, un premier quintile de 532 mm, une médiane de 622 mm, un quatrième quintile de 672 mm et une hauteur maximale de 798 mm en 1981 (Ballif, 1999). On peut observer également des phénomènes ponctuels. En effet, ont été constatées durant les trente dernières années plusieurs tempêtes, de nombreuses précipitations de grêle, et surtout de nombreux orages violents, qui peuvent apporter des précipitations allant jusqu'à 100 mm en quelques heures.

Du point de vue de la répartition spatiale, on constate une forte différence de précipitations moyennes entre l'amont et l'aval des bassins versants. Ainsi, en amont des bassins versants, soit le long de la RN4 se trouve un « dôme » pluviométrique, alors qu'à l'inverse, on a affaire à un « creux » pluviométrique le long de la vallée de la Marne. Ces variations peuvent atteindre 150 mm par an, ce qui est considérable, puisque c'est le quart des précipitations annuelles de la région de Châlons. Ainsi le bilan annuel moyen de précipitations efficaces est de 264.6 mm à Sommesous qui représente l'amont du bassin versant, alors qu'il est de 111.2 mm à Fagnières qui représente l'aval du bassin versant (*Données INRA*).

Les températures sont typiques d'un climat tempéré (Tableau 1) à la fois sous influence continentale et océanique, avec une amplitude thermique assez élevée (15.6°), un hiver assez froid (pouvant amener plus de 100 jours de gel), et un été doux. Ces moyennes ne vont pas sans effacer quelques disparités, avec des minima de température ayant ponctuellement approché les -25°C (janvier 1985), et des maxima ayant ponctuellement approché les 40°C (juillet 2003) (*source : météo France*).

## 2.5. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

### 2.5.1. Présentation

Le secteur d'étude est traversé par plusieurs cours d'eau. Il s'agit de la Coole, du Pisseleu, de la Somme et de la Soude (qui donnent naissance à la Somme-Soude après leur confluence) et de la Berle. La Coole, le Pisseleu et la Somme-Soude se jettent dans la Marne qui représente le niveau de base de la région. L'ensemble de ces cours d'eau et des vallons secs constituent la capacité de drainage du secteur d'étude.

Ces cours d'eau présentent des caractéristiques bien particulières. **La Berle** est issue des versants de la Cuesta d'Île de France (formations tertiaires) et connaît de fortes pentes dans sa partie amont. La Somme, la Soude, la Somme-Soude et la Coole connaissent un écoulement parallèle à la Marne dans leur partie amont. **La Somme** bifurque brutalement au niveau d'Ecury-le-Repos pour s'orienter vers la Soude (capture devenue célèbre - *Davis, 1895*). **La Somme-Soude** et **la Coole** font eux un coude à une dizaine de kilomètres de la Marne, et comme **le Pisseleu**, viennent se jeter perpendiculairement dans la Marne.

En amont du coude que les cours d'eau forment pour rejoindre la Marne, on observe une dissymétrie des vallées principales. De nombreux vallons secs, souvent de taille kilométrique incisent la craie, pour la majeure partie en rive droite des cours d'eau. Les cours d'eau actuels semblent saper le versant nord-est de leur vallée. On observe donc une topographie assez plate et un dépôt de formations alluviales au Sud-Ouest des cours d'eau, c'est-à-dire en rive gauche, formant des terrasses assez imposantes alors que la topographie remonte rapidement en altitude en rive droite des cours d'eau.

Il semblerait que la Marne ait un impact conséquent sur la forme du bassin versant de la Coole. Les deux rives du cours d'eau présentent en effet une forte dissymétrie. A certains endroits, l'amont des vallons secs se dirigeant vers la Marne est même à

moins de 500 mètres du cours d'eau. Il est à noter que cette dissymétrie se retrouve dans d'autres cours d'eau de l'interfluve Aube-Aisne (La Vesle, La Noblette, La Suipe... Cf. Devos et al., 2005 ; Pannet, 2006).

### **2.5.2. Origines**

Il apparaît que l'on peut donner deux origines à la structure du réseau hydrographique : la tectonique et l'influence du niveau de base qu'est la Marne :

#### ***La structure tectonique***

Les cours d'eau ont une orientation sud-est / nord-ouest (N120), puis sud-ouest / nord-est (N30) lorsqu'ils bifurquent vers la Marne. La plupart des vallons secs ont aussi cette orientation sud-ouest / nord-est. Réseau hydrographique et tectonique sont liés. En effet, il apparaît que les cours d'eau sont calés sur des synclinaux, alors que les vallons secs et affluents sont calés sur la fracturation.

#### ***Le niveau de base***

Le rôle du niveau de base qu'est la Marne semble prépondérant sur la morphologie des bassins versants, mais également sur les transferts d'eaux souterraines. La Coole et la Somme-Soude ont une orientation parallèle avant de former, à une dizaine de kilomètres en direction de la Marne, un virage à 90°. La Marne semble rendre totalement dissymétrique le bassin versant de la Coole par l'érosion régressive des vallons secs qui s'y rattachent.

### **2.5.3. Caractéristiques**

Afin de définir les caractéristiques du réseau hydrographique, il convient de calculer la densité de drainage et sa hiérarchisation.

Le secteur d'étude compte 177 talwegs (bonne densité de drainage) dont seulement 10 vallées drainantes, soit un ratio vallée drainantes / talwegs de 0.06, significatif d'une dynamique de drainage extrêmement faible.

La classification de Horton<sup>5</sup> appliquée sur les talwegs du secteur d'étude montre la prépondérance des talwegs de rang 1 ou 2 correspondant aux vallons secs (Figure 5). La Berle, la Somme, la Soude et le Pisseleu ne sont que des talwegs de rang 3. Tandis que la Somme-Soude coule dans un talweg de rang 4 jusqu'à l'exutoire, et que le Coole devient un rang 4 dans sa partie aval.

---

<sup>5</sup> Classification de Horton correspondant à la hiérarchisation des cours d'eau : cours d'eau sans affluent = rang 1 ; le rang s'accroît en rang n+1 lorsque deux cours d'eau de même rang confluent.

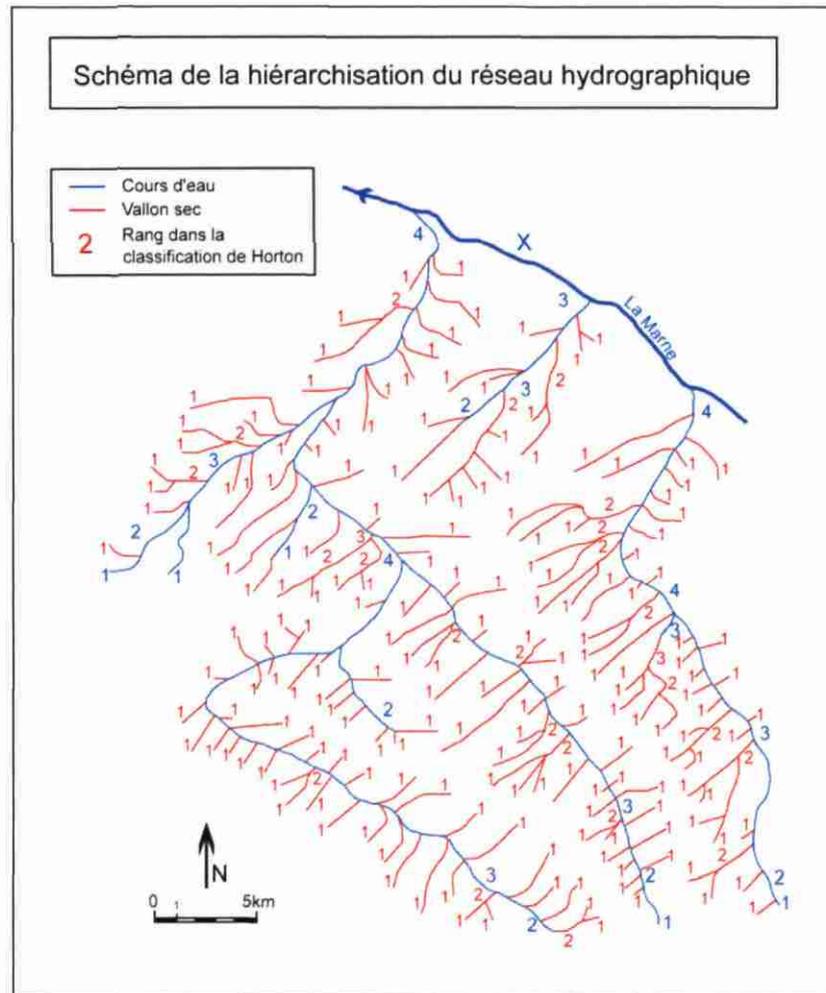


Figure 5 : Schéma de la hiérarchisation selon Horton du réseau hydrographique du bassin versant de la Somme-Soude et de la Coole (vallons secs et cours d'eau)

L'organisation du réseau hydrographique dite « en peigne » (Cosandey, 2002) témoigne d'une mauvaise hiérarchisation des talwegs certainement due à la faible pente des cours d'eau et d'une dynamique des écoulements actuels limitée. L'origine est également à rechercher durant les périodes froides du Quaternaire, avec une capacité moindre à transporter des éléments en aval qui pourrait expliquer les dépôts importants de graveluches alluviales sur tout le linéaire des cours d'eau.



## 3. Acquisition et analyse des données

En octobre 2006, ont été menées conjointement une campagne de relevés piézométriques sur la plupart des forages accessibles du secteur d'étude, et une campagne de jaugeage sur les différents cours d'eau.

### 3.1. CAMPAGNE DE JAUGEAGE DU 11 ET 12 OCTOBRE 2006

#### 3.1.1. Présentation de la méthode

L'étude et la compréhension des écoulements sur les bassins versants consistent en une analyse des données provenant de deux stations hydrométriques sur la Soude à Soudron et sur la Coole à Ecury-sur-Coole. La faible densité du réseau de mesure entraîne un lissage du comportement hydrodynamique des bassins versants étudiés (*Lejeune et Devos, 2005*).

L'Agence de l'eau Rhin-Meuse (AERM) (*Esteves, 1989 ; François et al., 1994*) a donc développé une méthode qui impose des campagnes de mesures de débits (en période d'étiage ou au moins stabilisées) et l'étude des paramètres physico-chimiques mesurés sur les eaux de surface permettant de mettre en place des corrélations et de confirmer les hypothèses qui découleraient de l'interprétation des jaugeages différentiels.

Cette méthode s'organise de la façon suivante :

- Découpage d'un **réseau de mesure** à partir d'une étude préliminaire de terrain ;
- Mise en œuvre des **jaugeages différentiels** sur les cours d'eau aux points prédéfinis ;
- Construction et lissage des **profils hydrologiques** ;
- Réalisation des **profils températures et conductivité** ;
- Cartographie des **rendements hydrologiques**.

#### 3.1.2. Le réseau de mesure

Afin de mieux faire apparaître d'éventuelles hétérogénéités dans les transferts d'eau, les bassins versants ont été découpé en bassins élémentaires (superficie comprise entre 20 et 35 km<sup>2</sup>). Le maillage, permettant une spatialisation des débits, est constitué d'environ un point de mesure pour 5 à 10 km de cours d'eau.

Les différents points de jaugeage ont été choisis préalablement à partir de cartes et de visites de terrain (Figure 6). Leur choix répond à la méthodologie développée par l'AERM et aux observations de terrain faites sur l'accessibilité et les facteurs pouvant expliquer les éventuelles hétérogénéités de débit (topographie, géométrie du champ alluvial, géologie des formations superficielles, repérage des sources et des confluences, zones de pertes ou de gains visibles dans le cours d'eau).

Chaque point choisi a été répertorié et géoréférencé (Annexe 2), afin de réaliser d'autres campagnes de jaugeage qui se feront impérativement aux mêmes points. En effet, il est prévu au minimum trois campagnes de mesures (en période de basses eaux en octobre 2006, période de hautes eaux en avril 2007 et période intermédiaire en juin ou juillet 2007). Il convient à terme d'être en mesure de savoir si le comportement hydrodynamique des bassins versants est le même quelle que soit la situation hydrologique.

### 3.1.3. Les jaugeages différentiels

Une fois le choix des points arrêté, les mesures de débits ont été effectuées grâce à une perche de jaugeage à intégration sur laquelle se trouve un micro-moulinet de taille variable en fonction du débit (Photo 3).

Le choix de jauger en période d'étiage (basses eaux) et en période stabilisée (lorsque le débit du cours d'eau n'est plus affecté directement par la pluviométrie) permet d'éviter les situations transitoires consécutives aux événements pluviométriques et le mélange d'eau de ruissellement à celle issue de la vidange de l'aquifère. C'est la garantie d'une bonne représentativité des mesures de débits. Les jaugeages doivent se dérouler le plus rapidement possible afin d'éviter les effets anthropiques tels que les pompages ou les lâchers d'eau, qui pourraient influencer les débits.



*Photo 3 : Exemple de jaugeage à l'aide d'une perche à intégration*

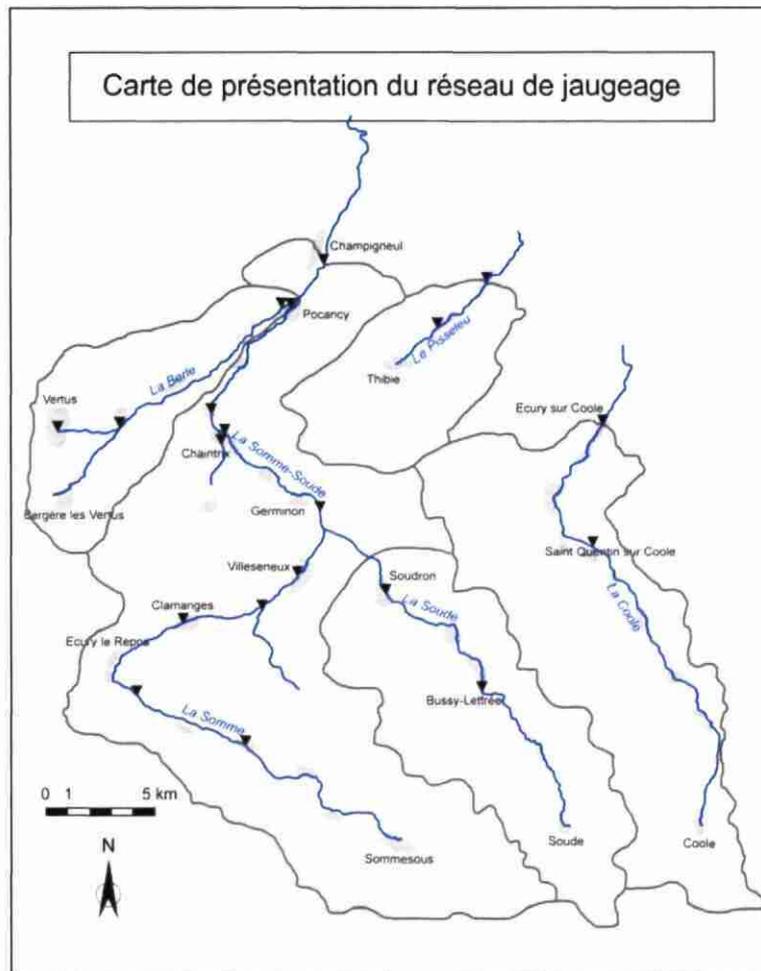


Figure 6 : Carte de présentation du réseau de mesure (points de jaugeage en noir : ▼)

### 3.1.4. Les profils hydrologiques

Les données acquises lors des jaugeages différentiels ont été analysées par un logiciel spécialisé (JO3 ©) puis valorisées par la création de profils hydrologiques.

Les profils hydrologiques (Figure 7, Figure 8, Figure 9) permettent de visualiser l'évolution des débits bruts ( $Q_b$ ) et des débits spécifiques ( $Q_s$ )<sup>6</sup> du cours d'eau de l'amont vers l'aval selon la surface cumulée du bassin ou le « point kilométrique hydrologique » (PKH).

<sup>6</sup>  $Q_s$  : Débit brut / surface cumulée.

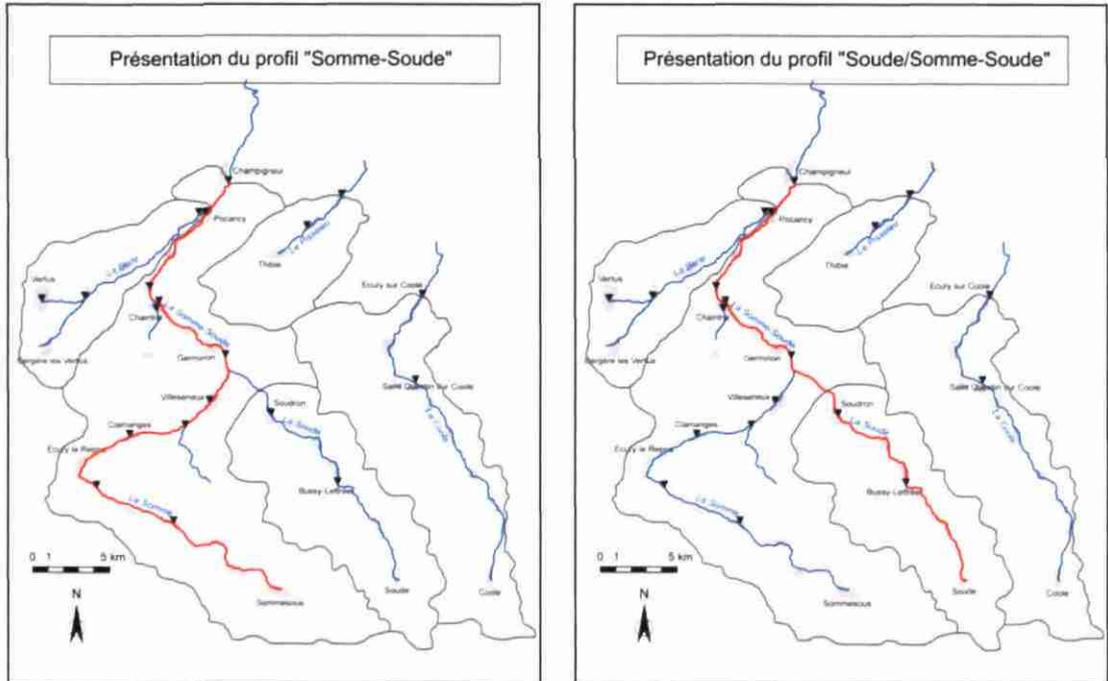


Figure 7 : Cartes de présentation des profils hydrologiques

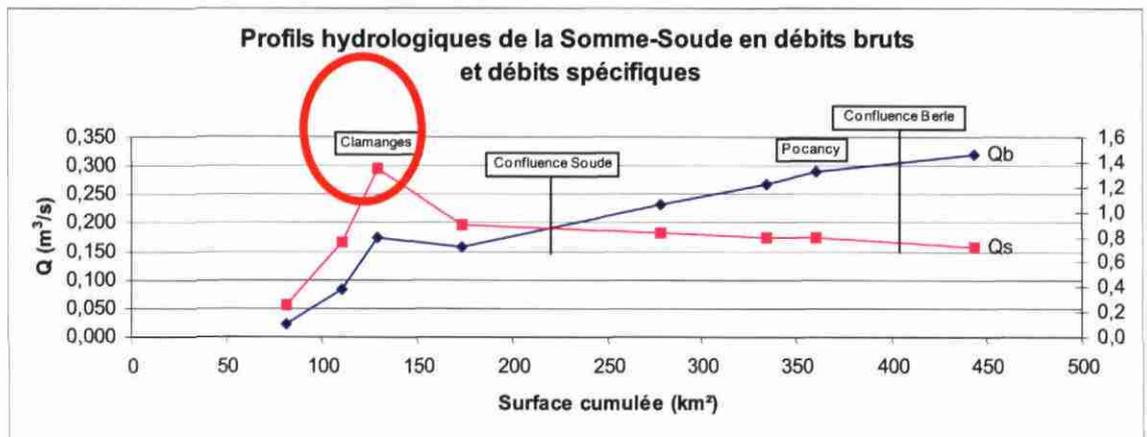


Figure 8 : Profils hydrologiques de la Somme-Soude en débits bruts et en débits spécifiques

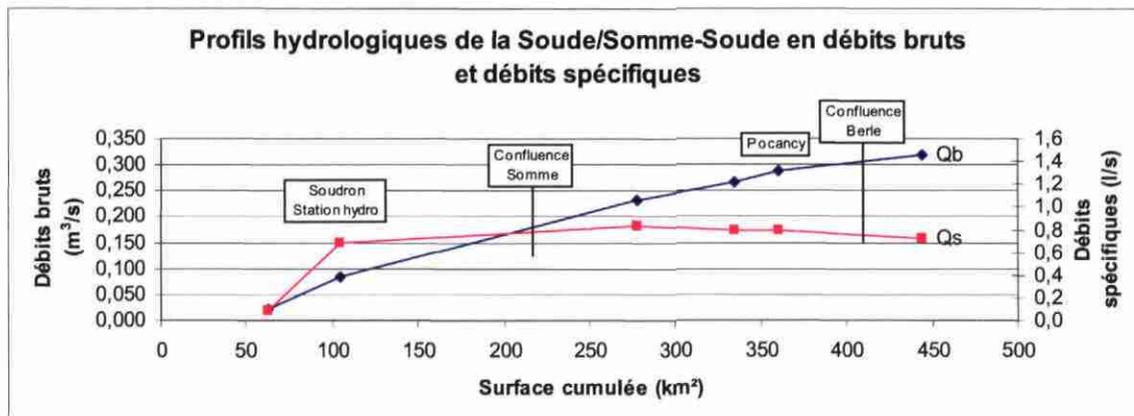


Figure 9 : Profils hydrologiques de la soude et de la Somme-Soude en aval de la confluence

Ces profils reflètent le comportement des bassins versants, puisque les augmentations du débit brut sont confirmées ou pondérées grâce à la courbe du débit spécifique. On peut donc apprécier l'importance des affluents, des sources, mais aussi la part de drainage de la nappe par le cours d'eau.

On observe sur les profils que les plus forts gains ramenés au km<sup>2</sup> se trouvent en amont du bassin versant dans le cas de la Somme (Figure 8) ou de la Soude (Figure 9). Vers l'aval, on observe à partir de la confluence des deux cours d'eau une diminution régulière des débits spécifiques qui peut s'expliquer par la proximité du niveau de base et l'existence probable de transferts d'eau souterraine vers la Marne.

Il est à noter que la forte augmentation du débit à Clamanges (SS4), puis la forte diminution qui s'ensuit (même si l'on se trouve dans une zone de forts gains) laisse penser à une anomalie. Si c'est le cas, elle peut être due soit à un problème de matériel, soit à une manœuvre sur un ouvrage hydraulique situé en amont. Ce doute est d'ailleurs accentué par la lecture du profil des températures qui montre une augmentation de la température de l'eau à cet endroit.

### 3.1.5. Les profils des températures et des conductivités

Conjointement aux mesures de débits, des mesures de température et de conductivité ont été réalisées aux mêmes points d'observation. Le suivi de ces deux paramètres (Figure 10) permet de dissocier les écoulements souterrains (homothermie et conductivité élevée) des écoulements superficiels (forte variabilité thermique et faible conductivité).

On observe en amont du bassin versant des températures assez basses (<12.5°C) qui correspondent à un apport d'eau de nappe. Généralement, aux basses températures est associée une conductivité assez forte (eau chargée en carbonates). Ce phénomène s'atténue en aval sur la craie, puisqu'à plusieurs endroits du cours d'eau, la rivière décape le fond de son lit chargeant l'eau en carbonates.

Au centre du bassin versant (aval confluence), ainsi qu'au point le plus en aval, on observe des températures assez élevées. Il s'agit d'une eau de surface qui a atteint l'équilibre avec la température ambiante ; les apports en eaux souterraines provenant de la nappe de la craie sont négligeables. Sur la Figure 10, on observe une augmentation de la température au point SS13, après la confluence avec la Berle.

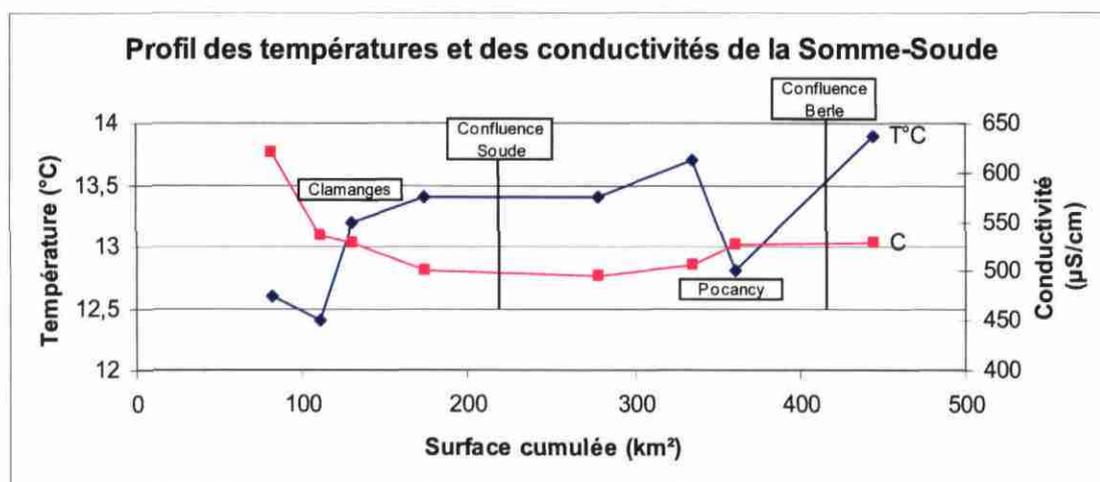


Figure 10 : Profils de température et de conductivité de la Somme-Soude aux points de jaugeage

### 3.1.6. La cartographie des rendements hydrologiques

La cartographie des rendements hydrologiques consiste à représenter pour chaque sous-bassin versant élémentaire les apports ou les pertes en eau en soustrayant les volumes d'eau entrants aux volumes d'eau sortants, ainsi qu'en faisant abstraction du poids des apports latéraux.

Cette cartographie est intéressante car l'interprétation des profils cache en partie le rôle des affluents dans la construction des écoulements. C'est pourquoi, une cartographie des rendements hydrologiques par sous-bassin versant élémentaire est nécessaire, surtout en ce qui concerne le bassin de la Somme-Soude qui compte deux affluents importants que sont la Soude et la Berle.

La Figure 11 met en évidence une certaine hétérogénéité spatiale des écoulements sur le secteur d'étude non-conforme au comportement habituel des cours d'eau dans la craie :

- La Somme connaît de forts rendements hydrologiques au niveau du coude de capture situé aux environs d'Ecury-le-Repos, tandis qu'elle connaît des pertes directement en aval ;
- La Berle fait état d'un développement important dans sa partie amont, pour ensuite connaître des pertes certainement diffuses mais néanmoins assez importantes sur toute sa partie aval ;
- L'aval de la Somme-Soude, de la Coole, et l'ensemble du Pisseleu sont des secteurs de pertes diffuses.

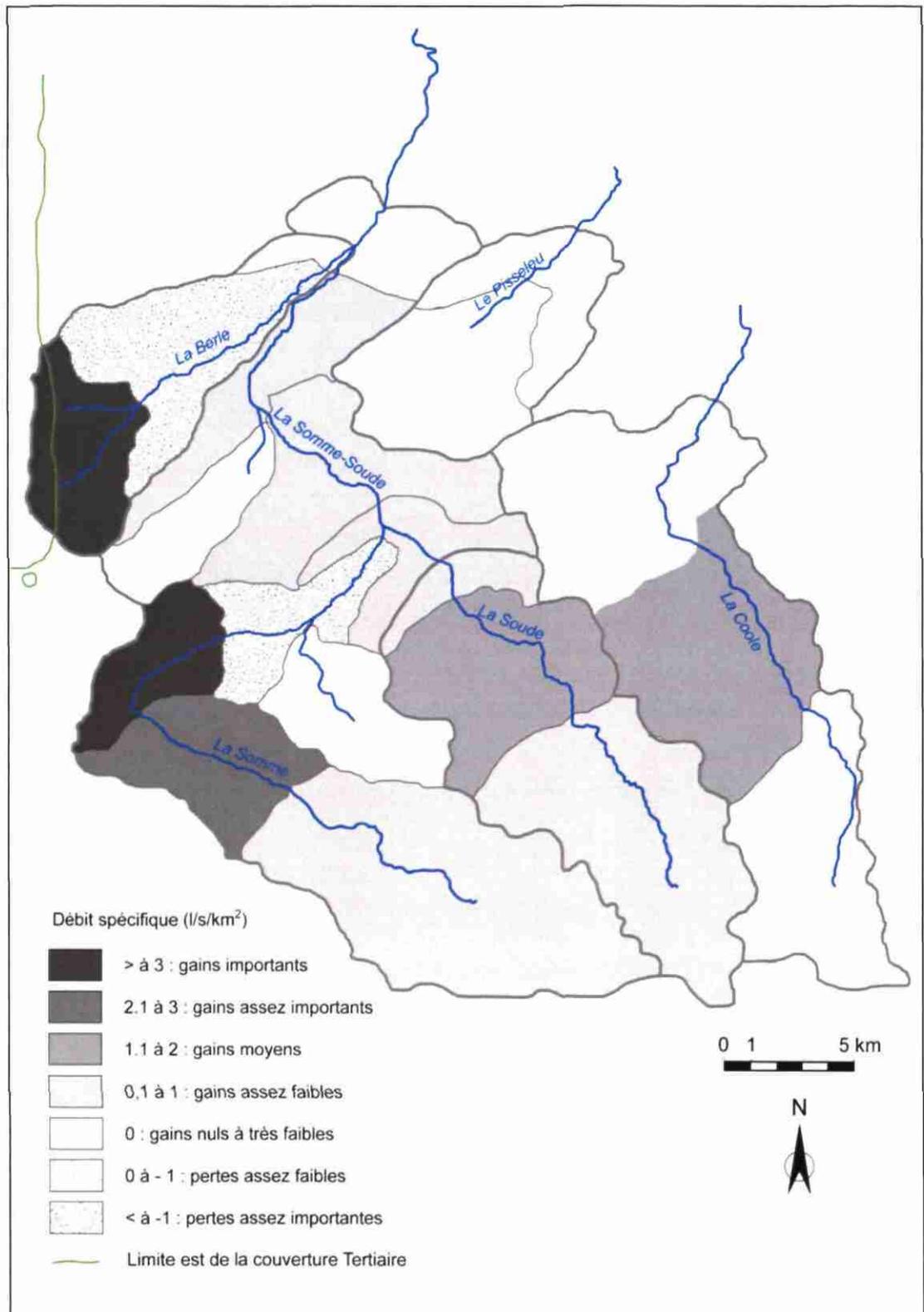


Figure 11 : Cartographie des rendements hydrologiques du secteur de l'étude

## **3.2. CAMPAGNE DE LEVES PIEZOMETRIQUES**

### **3.2.1. Objectifs de la campagne**

Une campagne de relevés piézométriques a été menée conjointement à la campagne de jaugeage différentiel, le but étant d'établir des corrélations entre les niveaux de nappe et les niveaux des cours d'eau. De nombreux points de mesure ont été choisis proches des rivières tandis que d'autres points de mesure se trouvent plus éloignés des cours d'eau notamment en interfluve.

### **3.2.2. Résultats de la campagne piézométrique**

Lors de la campagne piézométrique le niveau d'eau a été relevé sur 42 forages (Annexe 3) contre 110 forages pré-sélectionnés à partir de la base de données des forages agricoles fournie par la DDAF51 et de la Banque du Sous-Sol (BRGM). 2/3 des ouvrages se sont en effet avérés inexploitable (détruits ou rebouchés, cadénassés, introuvables...).

Cette campagne piézométrique montre tout d'abord un état de nappe relativement bas puisque 3 ouvrages étaient dénoyés et beaucoup étaient proches de l'assec.

Même si quelques forages manquent en interfluve, le maillage proche du cours d'eau est plutôt bon et a permis de dresser la cartographie relative de l'altitude de la nappe et de la rivière (Figure 12). On constate que :

- le niveau d'eau des puits se trouvant à moins de 15 km de la Marne est en dessous de l'altitude du cours d'eau auquel ils se rattachent. Cela montre des transferts d'eau souterraine importants de la partie aval des bassins versants étudiés vers la Marne ;
- les mesures piézométriques mettent en évidence une certaine hétérogénéité de l'aquifère crayeux qui se traduit par une dissymétrie piézométrique de part et d'autre des cours d'eau et localement quelques discontinuités assez franches du niveau de la nappe de la craie.

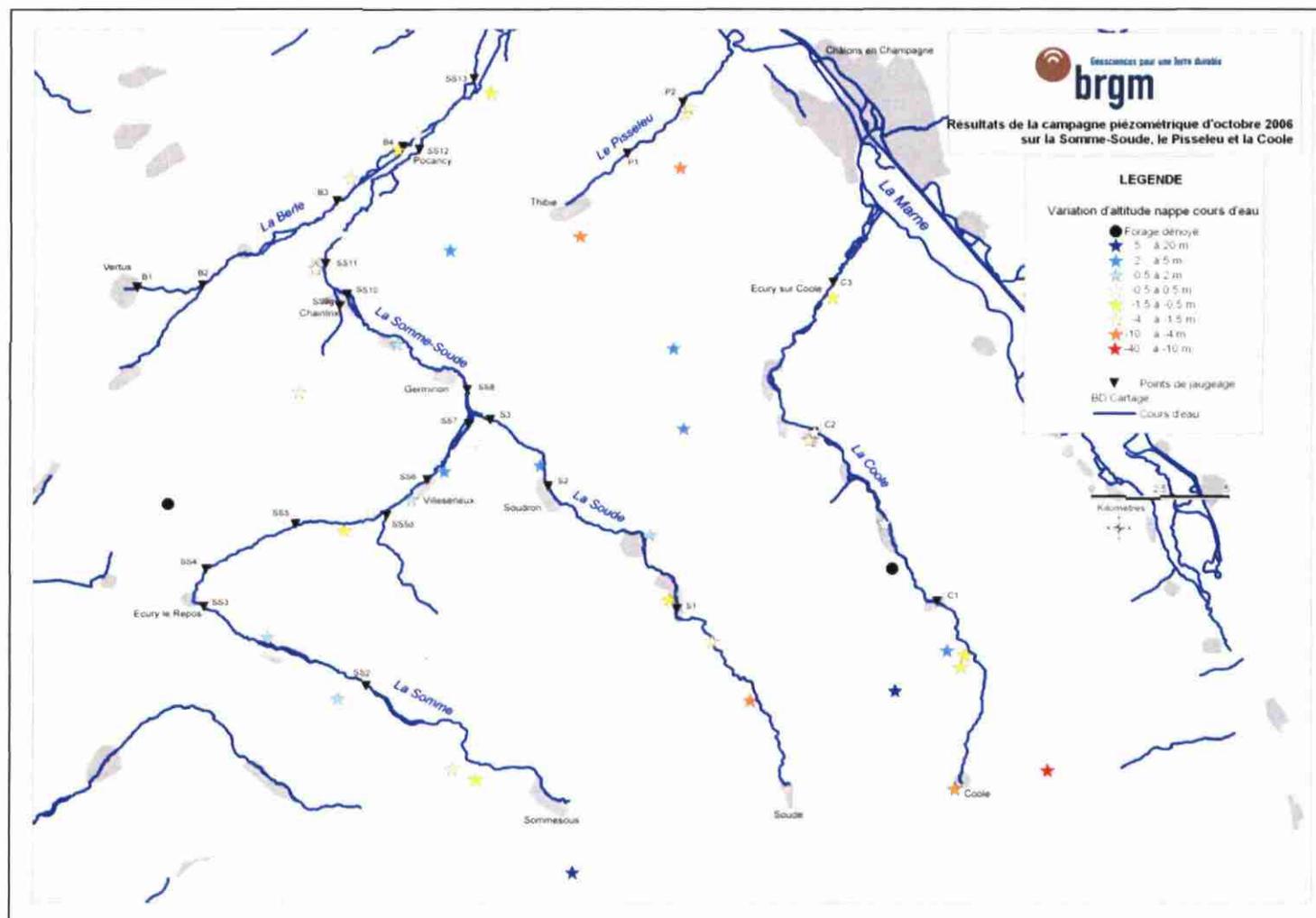


Figure 12 : Résultats de la campagne piézométrique sur les bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole

## 4. Interprétation des résultats

### 4.1. ORIGINE DES DISPARITES DES RENDEMENTS HYDROLOGIQUES

Dans la craie, les écoulements sont essentiellement construits grâce à la vidange de la nappe (80%) et peu aux écoulements (20%) (*Devos et al., 2005*). La nappe de la craie étant théoriquement libre, la construction des écoulements devrait être progressive et homogène. Or, la cartographie des rendements hydrologiques d'étiage, établie à partir des campagnes de jaugeage d'octobre 2006, montre une certaine hétérogénéité.

On compte 6 hypothèses, toutes compatibles les unes avec les autres, qui peuvent expliquer cette hétérogénéité :

- L'emplacement altitudinal du cours d'eau ;
- Le transfert des eaux souterraines entre bassins versants ;
- La structure de la craie ;
- L'impact de la couverture tertiaire ;
- La géométrie du champ alluvial ;
- Les disparités climatiques.

#### 4.1.1. L'emplacement altitudinal du cours d'eau

La première hypothèse qui pourrait expliquer l'hétérogénéité de la cartographie des rendements hydrologiques d'étiage est l'**emplacement altitudinal du cours d'eau par rapport à la nappe** ou au « compartimentage vertical de l'aquifère » (Figure 13). En effet selon Mangin chaque tronçon du profil hydrologique reflète des conditions d'écoulement homogène représentatif de la position du cours d'eau dans l'aquifère (*François et al., 1994 ; Lejeune et Devos, 2004 ; Devos et al., 2005*) :

- Un tronçon marqué par une diminution conjointe des débits bruts et des débits spécifiques peut être interprété comme une **zone de pertes diffuses**, c'est-à-dire que **la zone d'infiltration ou zone vadose draine le cours d'eau**. Le cours d'eau est altitudinalement perché par rapport à la nappe quelque soit la saison (cas A – Figure 13).
- A l'inverse une augmentation des débits bruts et spécifiques s'interprète comme une **zone de gain** (forts rendements hydrologiques), c'est-à-dire que **le cours d'eau draine la nappe**. Il y a recoupement de la zone noyée par le cours d'eau, la

nappe est altitudinalement perchée par rapport au cours d'eau quelque soit la saison (cas C - Figure 13).

- L'aval des bassins versants est généralement caractérisé par une augmentation des débits bruts et une stabilité du débit spécifique (ni gain, ni perte). Cette situation correspond sur la Figure 13 au cas B : il y a recoupement de la zone de battement piézométrique par le cours d'eau ; en fonction de la période de basses ou hautes eaux (régime des eaux souterraines) le cours d'eau alimente ou draine la nappe.
- Dans le cas D, le cours d'eau recoupe le mur de l'aquifère ; cette situation n'est pas possible dans la craie et correspond plus à un aquifère de type jurassique comme ceux rencontrés en Haute-Marne.

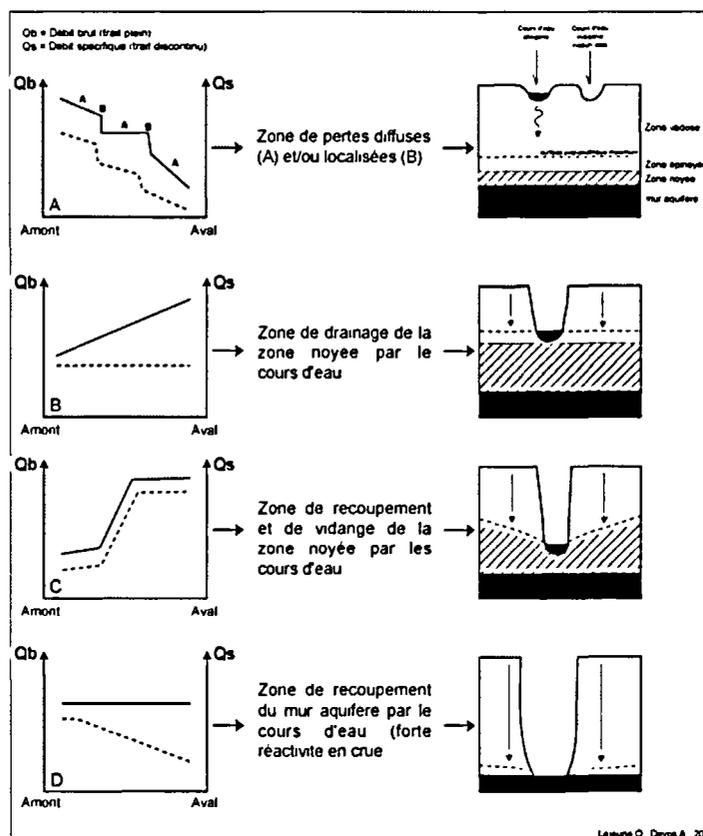


Figure 13 : Relations entre les débits du cours d'eau, et le compartimentage vertical de l'aquifère (Lejeune et Devos, 2004)

Sur le secteur d'étude, la comparaison entre l'altitude relative<sup>7</sup> du niveau de nappe et celle du cours d'eau semble indiquer une hétérogénéité des situations (drainage ou alimentation du cours d'eau par la nappe), avec des sortes de dômes et de creux aquifères au niveau du fond des vallées concernées.

Il pourrait donc exister une discordance entre les observations et la bibliographie (Tricart, 1952 ; Rodet, 1992 ; David et al., 2002). La nappe de la craie, présentée comme une nappe homogène à grande échelle et épousant la topographie, s'avère connaître des discontinuités à un maillage plus fin, et admet des différences de niveau localement assez fortes.

Ces observations devront être validées par des campagnes complémentaires de piézométrie et de jaugeages différentiels. Il apparaît indispensable de procéder à une campagne de nivellement afin de disposer de l'altitude référencée en côte NGF de tous les points de mesure afin de pouvoir établir une comparaison la plus fiable possible.

#### 4.1.2. Le transfert des eaux souterraines entre bassins versants

On observe topographiquement sur la zone d'étude un étagement des cours d'eau du Sud-Ouest au Nord-Est (Figure 14), la Soude ayant une altitude plus élevée que la Somme-Soude, la Coole, le Pisseleu et finalement la Marne (non représentée sur le graphique).

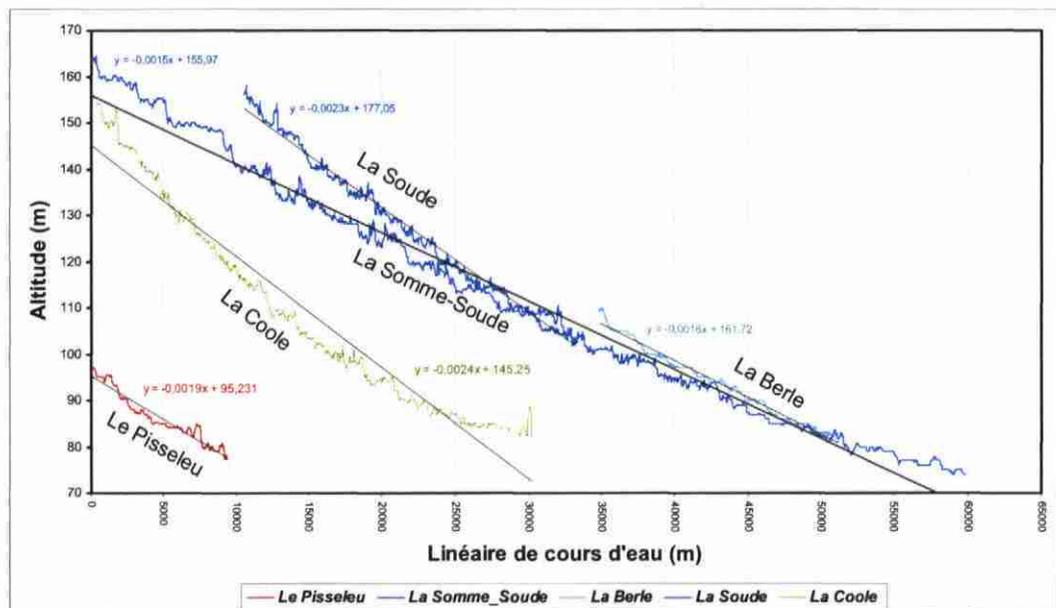


Figure 14 : Profils en long des cours d'eau de la zone d'étude

<sup>7</sup> Le nivellement des points de mesure en côte NGF n'a pas encore été effectué, d'où une certaine imprécision sur la mesure qui n'a pas été quantifiée.

- **Dans le cas de la Coole**, les pertes relevées sur le cours d'eau se traduisent par la disparité des rendements hydrologiques et la dissymétrie du réseau hydrographique sur le bassin versant de part et d'autre du cours d'eau. L'origine de ces phénomènes est probablement à attribuer à la proximité de la Marne et aux transferts d'eaux souterraines qui s'établissent dans sa direction.
- **Pour l'aval de la Somme-Soude et l'ensemble du Pisseleu**, les pertes et les assecs constatés sont certainement imputables à l'impact du niveau de base.
- **En amont du secteur d'étude, la Somme** subit des pertes au profit de la Soude en période d'étiage d'après une étude menée sur quelques forages (*Fradet, 1997*). Ce phénomène n'est plus observé en hautes eaux, ce qui montre bien la complexité de la dynamique hydrologique de l'auréole crayeuse.
- **La Berle** subit de nombreuses pertes dans sa partie aval au profit de la Somme-Soude. La carte des niveaux piézométriques laisse penser que ces pertes de la Berle constituent les seuls apports en eau pour la Somme-Soude à cet endroit.

#### 4.1.3. La structure de la craie

La craie est très fracturée de part les différentes contraintes tectoniques tertiaires (N30 et N120) liées à la création des chaînes alpines et pyrénéennes, ainsi que par la décompression et le gel. Les fractures les plus importantes peuvent favoriser l'infiltration rapide (*Allouc et al., 2000*). Au cours du temps, il est probable que certaines de ces fractures aient subi une calcification et une imperméabilisation des parois, interdisant ainsi l'écoulement latéral dans les pores de la craie. Il est possible aussi que cette craie en décompression ait subi une « bréchification » par fracturation hydraulique (*Coulon et al., 1988*), ayant pour même résultat d'imperméabiliser certaines fractures de la craie.

Il est ainsi envisageable d'observer de part et d'autre de la fracture un niveau aquifère différent, la fracture agissant comme un barrage et créant une sorte de « marche d'escalier » dans la piézométrie. Cette hypothèse pourrait contribuer à expliquer les disparités de comportement hydrodynamique observées dans le bassin versant amont de la Somme.

Liée à la structure intrinsèque de la craie, les phénomènes « d'ondulation » (alternance de zones fissurées et très perméables en fond de vallée et de zones moins fissurées et moins perméables en crête) jouent également un rôle important dans la construction des écoulements.

#### 4.1.4. L'impact de la couverture tertiaire

Un autre élément à ne pas négliger, notamment à l'Ouest du secteur d'étude, dans la région de Vertus, est l'impact de la couverture tertiaire (Figure 15). En effet il peut y avoir des apports latéraux souterrains pouvant influencer sur les profils hydrologiques sur la Berle et la Somme-Soude.

En effet, on constate actuellement sur la Cuesta d'Ile de France (formations tertiaires affleurant à l'Ouest du secteur d'étude) un front de karstification important : Il s'agit à la fois d'un karst de couverture et d'un karst de contact lithostratigraphique. Les réseaux karstiques se présentent sous forme de puits assez profonds (souvent > à 30 m) qui débouchent sur des galeries dans la craie, souvent impénétrables. Les relations entre le karst et la zone noyée de la nappe de la craie sont encore mal connues, mais des études sont actuellement en cours sur la zone épinoyée et les résurgences (secteur de Trépail). Le bassin d'alimentation du karst de Vertus semble s'étendre bien à l'Ouest sur le plateau tertiaire, dans la vallée du Surlélin. Cette hypothèse, qui devra être confirmée par un traçage, impliquerait pour la Berle un bassin versant hydrogéologique bien plus grand que le bassin versant topographique.

La présence de buttes témoins tertiaire (Mont Aimé, Monts de Champagne) jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres à l'Est de la limite entre la Cuesta d'Ile de France et la craie de Champagne témoigne du recul progressif des formations tertiaires, qui auraient pu laisser dans la craie des paléo-réseaux karstiques encore actifs pour les plus récents.

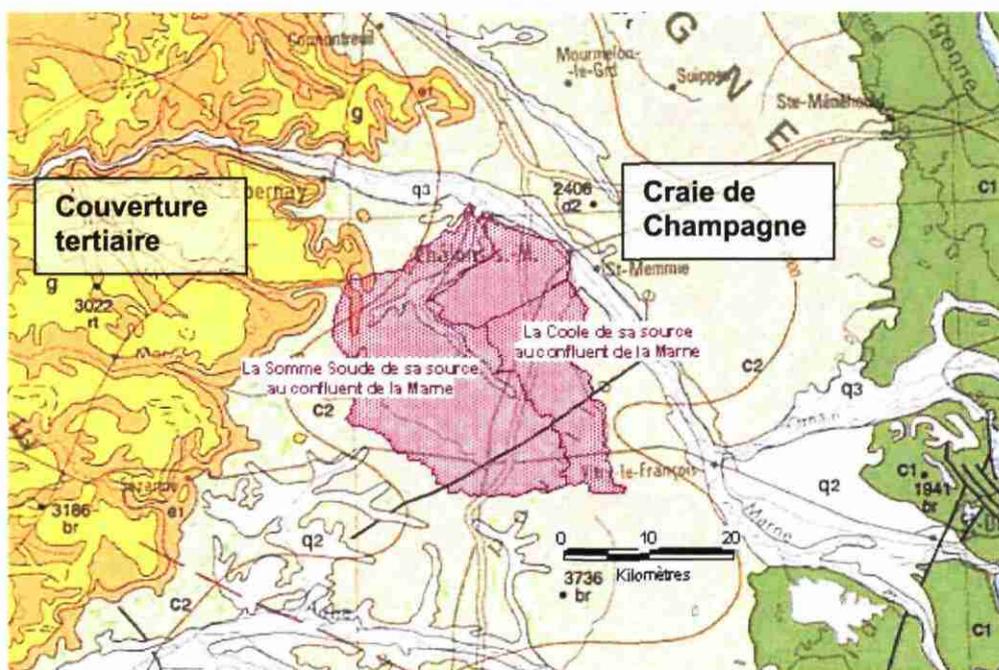


Figure 15 : Extrait de la carte géologique au millionième du secteur d'étude

#### 4.1.5. La géométrie du champ alluvial

L'hétérogénéité spatiale des rendements hydrologiques peut également s'expliquer par la géométrie du champ alluvial. On constate par exemple, un champ alluvial exigu et encaissé au niveau du coude de capture d'Ecury-le-Repos correspondant à une zone de forts gains. En aval la zone de perte est associée à l'élargissement de la vallée.

Deux facteurs peuvent être évoqués pour expliquer la concordance entre la géométrie du champ alluvial et la construction des écoulements :

### ***Le gradient hydraulique de la nappe au voisinage du cours d'eau***

Un champ alluvial étroit et encaissé (Figure 16 ①) conduit à un fort gradient hydraulique amenant un débit conséquent au cours d'eau tandis qu'un champ alluvial large et peu encaissé (Figure 16 ②) correspond à un gradient faible amenant moins de débit au cours d'eau.

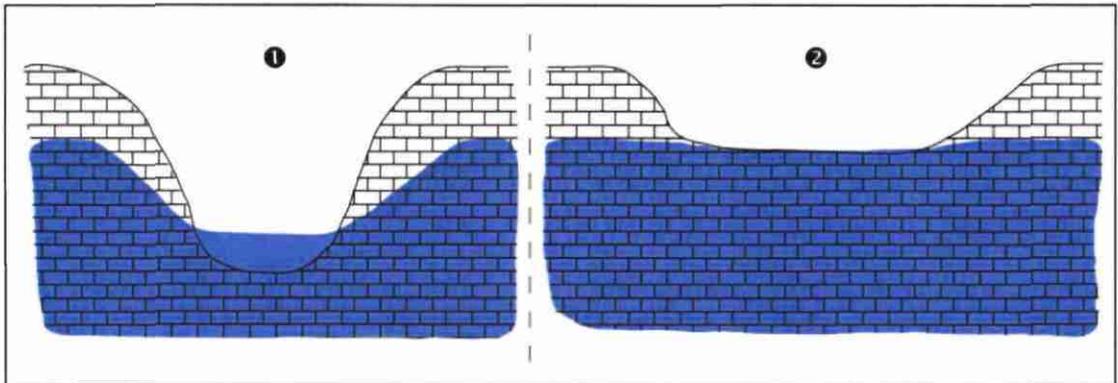


Figure 16 : Schéma montrant les différences de cônes de drainage de la nappe, en fonction de la géométrie du champ alluvial

### ***La nature des formations superficielles***

Un cours d'eau dans un champ alluvial large va perdre de la vitesse et déposer des formations superficielles parfois imperméables, alors qu'un cours d'eau dans un champ alluvial étroit et encaissé aura, pour un même débit, tendance à éroder le fond de son lit. Trois critères interviennent :

- **La géologie**, qui favorisera un encaissement dans le cas d'une texture tendre ou un épanchement dans le cas d'une texture plus dure ;
- **La fracturation**, qui favorisera un écoulement linéaire et un encaissement ;
- **Le débit** du cours d'eau, qui engendrera une dynamique d'incision.

#### **4.1.6. Les disparités climatiques**

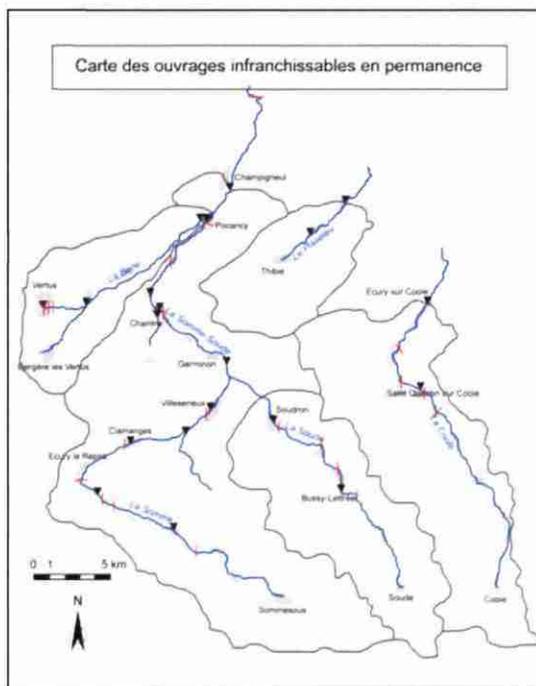
Il a été vu que les moyennes annuelles de précipitations efficaces variaient de plus de 150 mm d'amont en aval du bassin versant, entraînant un déficit hydrique notamment en aval de la Coole et du Pisseleu.

## 4.2. DIFFICULTÉES RENCONTRÉES

### 4.2.1. Les ouvrages hydrauliques

Il existe sur toute la longueur des cours d'eau, notamment sur la Somme-Soude, de nombreux ouvrages hydrauliques (moulins, barrages, seuils - Figure 17), dont certains sont encore en activité. Deux phénomènes peuvent avoir un impact sur l'étude du débit des cours d'eau et poser des problèmes de représentativité de la mesure des débits.

- **Les « lâchers » d'eau**, qui ont pu avoir lieu peu avant ou pendant la campagne de mesure de débits. Leur influence est parfois non négligeable ;
- **Le nombre important d'ouvrages hydrauliques** (actifs ou abandonnés), qui a un impact sur le niveau du cours d'eau et sa vitesse. En effet, on constate l'existence d'une zone d'accumulation en amont des ouvrages, qui se forme avec la diminution de la vitesse de l'eau, tandis qu'à l'aval la chute et l'accélération de la vitesse de l'eau entraîne une zone d'érosion. Les conséquences sont en amont de l'ouvrage hydraulique un colmatage du cours d'eau (parfois sur plusieurs centaines de mètres) et une limitation des échanges nappe-rivière tandis qu'à l'aval les échanges sont facilités.



*Figure 17 : Carte des ouvrages hydrauliques infranchissables en permanence (cette carte ne fait pas état des nombreux ouvrages abandonnés ou de petite taille)  
D'après le schéma départemental de vocation piscicole, département de la Marne, Synthèse 1999.*

### 4.2.2. L'accessibilité aux forages d'eau

De nombreux forages sélectionnés pour la campagne piézométrique n'ont pas été prélevés car ils étaient fermés ou introuvables. Ils devront faire l'objet d'une identification auprès des exploitants agricoles (irrigants) afin d'en obtenir l'accès et l'ouverture à la date de la prochaine campagne de mesure.

### 4.3. CARTOGRAPHIE INTERPRETATIVE PRELIMINAIRE

A partir des résultats de l'étude, une première cartographie interprétative montrant la « sensibilité » du milieu au prélèvement a été dressée sur la zone d'étude (Figure 18). Il s'agit d'une cartographie préliminaire qui nécessitera la réalisation de mesures complémentaires (débits et niveaux de nappe en période de hautes eaux et en situation intermédiaire) pour valider et affiner l'information.

Plusieurs éléments ont été pris en compte :

- Les **résultats de la campagne de jaugeage** qui ont permis de définir, à l'échelle de chaque sous bassin versant élémentaire, **des zones de gain (peu sensible), des zones de pertes en eau (très sensible), des zones sans perte ni gain** en aval de la Somme-Soude où le débit est généralement suffisant (moyennement sensible) ;
- La **proximité du cours d'eau**, qui s'avère être un facteur déterminant. Dans un premier temps, un **tampon d'1 km de large** a été pris en compte de part et d'autre du cours d'eau ;
- Les **résultats de la campagne piézométrique**, qui ont permis de localiser des disparités dans la piézométrie à l'échelle de chaque sous bassin versant élémentaire ;
- **L'impact de la Marne**, qui a été pris en compte, notamment en ce qui concerne la Coole.

Pour réaliser cette première carte interprétative de la sensibilité au prélèvement sur les bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole, on a distingué arbitrairement 6 classes :

Critères de sensibilité au prélèvement	
Sensibilité très forte	Proximité du cours d'eau Débits du cours d'eau très faibles Zone de pertes importantes Piézométrie très basse Forte proximité du niveau de base
Sensibilité forte	Proximité du cours d'eau Débits du cours d'eau très faibles Zone de pertes Piézométrie basse Proximité du niveau de base
Sensibilité assez forte	Proximité du cours d'eau Piézométrie relativement basse Zone de faibles pertes ou sans gains
Sensibilité moyenne	Proximité du cours d'eau Zone de gains assez faibles Qmna5 soutenus
Sensibilité faible	Zone de gains Piézométrie assez haute Qmna5 soutenus
Sensibilité nulle à faible	Zone de forts gains Piézométrie haute

## **4.4. PERSPECTIVE DE CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE AUX PRELEVEMENTS**

### **4.4.1. Méthode de cartographie à index avec pondération des critères**

Une étude est actuellement menée par le BRGM pour la DIREN Champagne-Ardenne et porte sur la détermination des vitesses de circulation et l'estimation des stocks de nitrates présents dans la zone non saturée crayeuse pour comprendre et prévoir l'évolution de la qualité de la nappe de la craie.

Dans le cadre de cette étude, une approche de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère a donc été menée (Rouxel-David E., Baran N., 2004) pour caractériser de manière globale la vulnérabilité et la sensibilité des eaux souterraines aux contaminations générées par l'activité humaine. Elle prend en considération les caractéristiques géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques du milieu naturel.

Pour qualifier cette vulnérabilité, la méthode élaborée par J. Ricour (1988) dans le cadre d'une application à la nappe de la craie dans le secteur de Guines (Pas-de-Calais) a été utilisée et adaptée. Chaque critère pris en compte (Tableau 2) est cartographié avec un indice - ou note (n) - traduisant des degrés de vulnérabilité vis-à-vis d'une pollution. Un facteur de pondération est ensuite appliqué aux différents critères afin de relativiser leur importance respective en termes de vulnérabilité. L'indice de vulnérabilité final est la somme pondérée des quatre paramètres. La carte ainsi obtenue permettra de visualiser le degré relatif de vulnérabilité d'un secteur de la zone étudiée, la vulnérabilité augmentant dans le même sens que l'indice. Cette méthode présente l'avantage d'associer des poids relatifs à chaque paramètre adapté au contexte crayeux.

Il est envisagé d'utiliser cette méthode pour définir la vulnérabilité des eaux souterraines aux prélèvements (risque quantitatif) dans les principales vallées du secteur d'étude (Somme-Soude, Coole, Berle, Pisseleu). Son application devrait conduire à quelques adaptations notamment concernant les paramètres qui ont fait ou feront l'objet d'une cartographie de détail :

- Lithologie et recouvrement (nature du recouvrement et épaisseur) ;
- Profondeur du niveau d'eau sous le sol (niveaux piézométriques à différentes périodes de l'année, épaisseur de la zone non saturée...) ;
- Perméabilité ;
- Zone fracturée ;
- Nature des relations nappe-rivière (rendements hydrologiques, colmatage des berges...) ;
- Prélèvement (localisation des ouvrages et volumes pompés)...

Paramètre	Poids global	Vulnérabilité croissante et poids relatif de chaque paramètre			
		-	→	+	
Lithologie et recouvrement	1	Argile sur craie	Alluvions sur craie	Limons sur craie	Craie en affleurement
		0	1	2	3
Topographie	0,5	Pente >10%	5 < pentes ≤ 10%	1 < pentes ≤ 5%	pentés ≤ 1%
		1	2	3	4
Profondeur du niveau d'eau sous le sol	0,5	Profondeur >30m	15 < profondeur ≤ 30m	5 < profondeur ≤ 15m	profondeur ≤ 5m
		1	2	3	4
Zone fracturée	1	Zone linéamentaire susceptible de correspondre à des zones fracturées			
		1			
Typologie de l'occupation du sol	Superposition par classe à la carte de vulnérabilité	<u>Classe 1</u>	<u>Classe 2</u>	<u>Classe 3</u>	
		Forêts, friches	Milieu agricole et marécageux	Milieu urbain et industriel, routes, carrières, décharges,...	

Tableau 2: Exemple des paramètres pris en compte dans l'élaboration des cartes de vulnérabilité et de sensibilité du milieu souterrain à une pollution (Rouxel-David E., Baran N., 2004, d'après la méthode Ricour J., 1988)

#### 4.4.2. Méthode IDPR (Indice de Développement et Persistance des Réseaux)

Le BRGM a développé une méthode dite IDPR (Indice de Développement et Persistance des Réseaux) pour estimer de façon globale la vulnérabilité du premier niveau d'aquifères. La méthodologie IDPR a notamment été appliquée sur l'ensemble du bassin Seine Normandie pour réaliser une carte numérique de vulnérabilité simplifiée des nappes permettant d'évaluer globalement le risque de migration de polluants à partir de n'importe quel point de pression (Mardhel V., Gravier A., 2005). Il s'agit d'une méthodologie permettant d'évaluer la vulnérabilité, à partir d'un ensemble d'informations (topographie, réseau des cours d'eau,...) et de leur traitement numérique.

La double approche « Méthode à index avec pondération des critères » et « Méthode IDPR » devrait permettre de disposer d'une cartographie précise de la vulnérabilité de la ressource en eau aux prélèvements selon un nombre limité de classe. L'outil d'aide à la décision sera défini sur la base de cette cartographie et du SIG mis en place à partir des données déjà collectées dans le cadre de l'étude (Annexe 4).

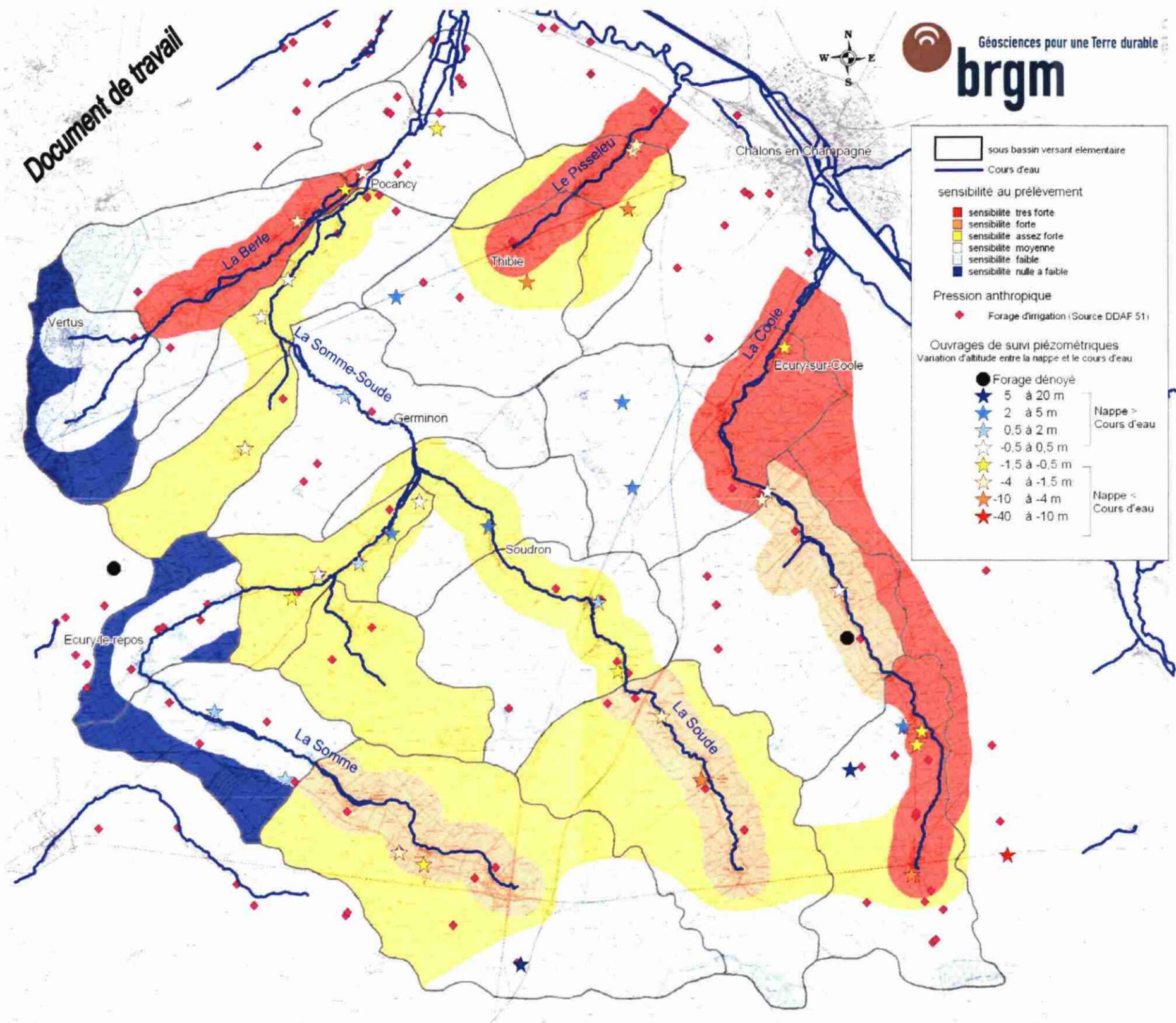


Figure 18 : 4.3. Cartographie interprétative préliminaire de la « sensibilité » au prélèvement d'eau



## 5. Conclusions et recommandations

### **Conclusions**

Une première phase d'étude avait conduit en 2005 à la modélisation hydrodynamique globale des bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole. L'étude avait permis de dresser le bilan hydrologique sur le bassin versant de la Soude et de proposer une règle de gestion. L'extension et la validation du modèle à l'ensemble de la zone d'étude n'ont pas pu être réalisées faute de connaissances suffisantes. Les données disponibles étaient en effet insuffisantes pour parvenir à un outil spatialisé correspondant aux attentes du comité de pilotage.

L'étude complémentaire réalisée en 2006 a permis l'acquisition de nouvelles données de niveaux d'eau (eaux superficielles et eaux souterraines) indispensables à la compréhension du fonctionnement hydrodynamique des bassins versants étudiés et à la mise en œuvre d'un outil de gestion géoréférencé.

La méthode de jaugeage différentiel employée sur un maillage fin a permis d'appréhender à l'échelle des trois bassins versants étudiés (Somme-Soude, Coole et Pisseleu) les disparités de la ressource en eau. Une carte provisoire de sensibilité au prélèvement a été établie sur la base des résultats de cette étude, notamment la localisation des zones de pertes et des zones de gains.

Différentes hypothèses pour comprendre les disparités de ressource en eau ont été avancées. Des campagnes complémentaires de suivi des niveaux d'eau en rivière et en nappe permettraient d'approfondir le raisonnement et de mieux appréhender la problématique de la sensibilité au prélèvement.

### **Recommandations**

Afin de mieux comprendre le comportement hydrodynamique des trois bassins versants étudiés, de réaliser une carte de vulnérabilité aux prélèvements et de caler l'outil de gestion qui doit résulter de l'étude, le BRGM propose de poursuivre l'étude dans une troisième phase en 2007 comprenant différentes opérations destinées à recueillir les données complémentaires :

- Réaliser deux nouvelles campagnes de jaugeages différentiels en période de hautes eaux et situation intermédiaire afin de minimiser les erreurs et d'avoir le recul en temps nécessaire pour émettre des conclusions définitives ;
- Réaliser en parallèle des mesures piézométriques sur un nombre plus important d'ouvrages, notamment en interfluve, avec l'aide des irrigants (accès aux forages cadencés, identification de points supplémentaires non référencés en BSS) ;

- Mettre en œuvre des essais de pompage selon un protocole très précis afin de définir les paramètres hydrodynamiques et de mieux juger de l'impact des pompes agricoles sur le cours d'eau ;
- Equiper certains forages afin de disposer d'un suivi piézométrique à un pas de temps régulier (y compris en période d'irrigation). 4 points ont été présélectionnés : SS2, SS16, C5, qui se trouvent à proximité de plusieurs forages en activité et permettraient de définir l'impact local des pompes et C11, qui se situe dans un endroit isolé en dehors de la zone d'impact des pompes ou du niveau de base de la Marne ;
- Suivre les assecs et la reprise des écoulements sur les cours d'eau en même temps que la piézométrie sur les ouvrages les plus proches du cours d'eau (bonne coordination entre CSP, BRGM et DIREN) ;
- Etude des apports latéraux en eaux souterraines par les réseaux karstiques de la région de Vertus (cartographie du karst de surface entre Vertus et Montmort-Lucy – vallée du Surmelin – dans la perspective d'un traçage) ;
- Cartographier et caractériser les formations superficielles qui doivent avoir un comportement différent de celui de la craie dans les processus d'infiltration et de recharge de la nappe (essais d'infiltrométrie).

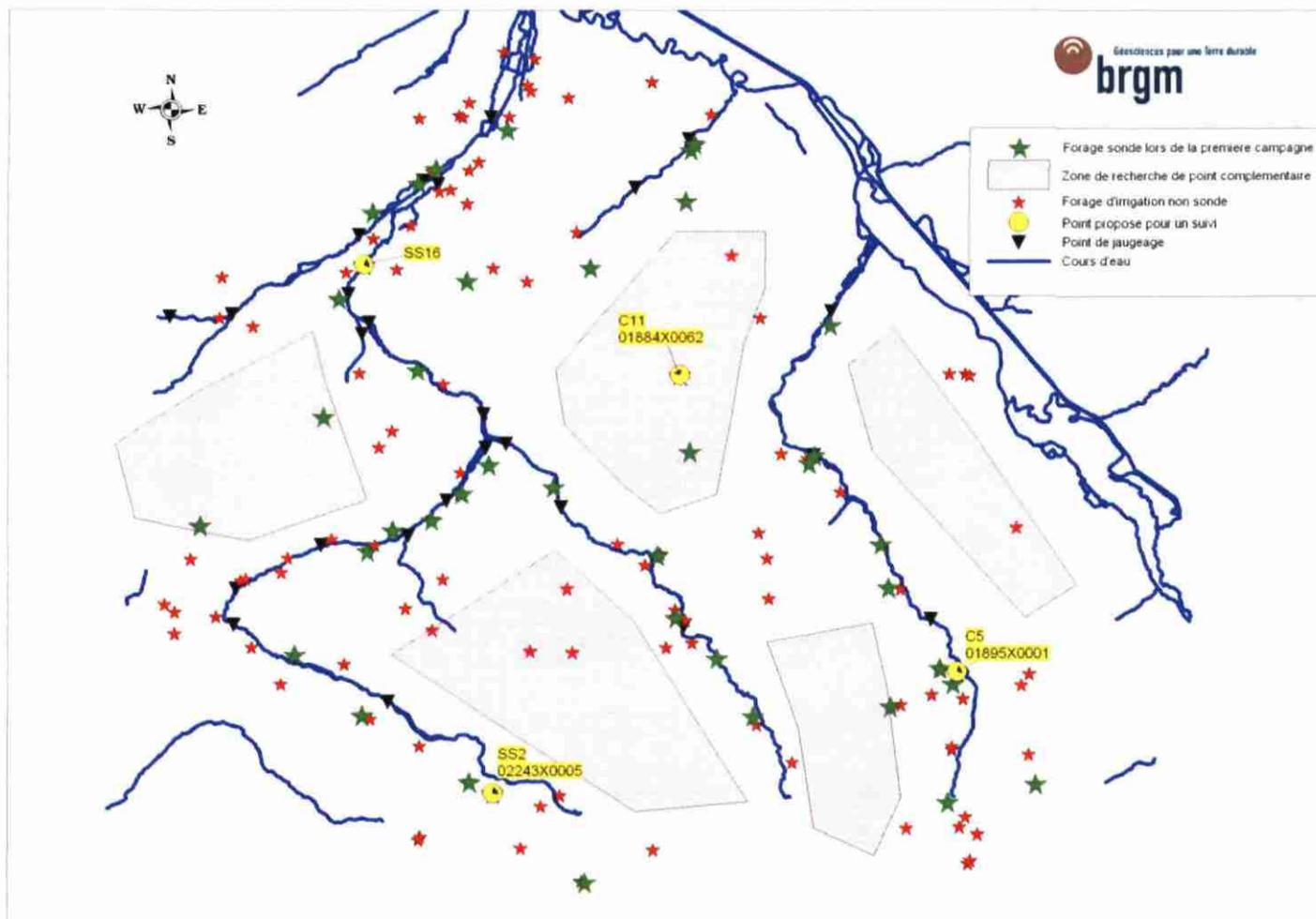


Figure 19 : Carte des points de suivi proposés et des secteurs pour la recherche de points complémentaires



## 6. Bibliographie

- ALCAYDE G., JUIGNET P., MONCIARDINI C, MANIVIT J., ROBASZINSKY F., SORNAY J., (1980) : Crétacé supérieur In C. Mégnien, F. Mégnien (coords) : *Synthèse géologique du bassin de Paris* ; vol.1 : stratigraphie et paléogéographie. Mém. BRGM, n°101, pp. 283-326.
- ALLOUC J., LE ROUX J., (2000) : Carte géologique de Suippes à 1/50000 et sa notice, BRGM, Orléans, 73p.
- AMOROS C., PETTS G.E., (1993) : *Hydrosystèmes fluviaux*. Ed. Masson, Paris, 300p.
- BALLIF J.L., (1978) : Porosité de la craie. Appréciation de la taille et de la répartition des pores. *Ann. Agron.*, 29, 123-131.
- BALLIF J.L., (1999) : *Ruissellement et érosion en Champagne sur sols de vignes et de cultures. Observations, mesures, préventions et remèdes*. Ed. Johanet, 158p.
- BARBIN V., LAURAIN M. (coords), (1993) : *La craie au cœur de la Champagne*. Coll. Culture Scientifique, Technique et Industrielle en Champagne-Ardenne, Ed. D. GUENIOT, Langres, 32p.
- COSANDEY C., (2002) : *les eaux courantes*. Ed. Armand Colin, PARIS, 250 p.
- COULON M, FRIZON DE LAMOTTE D. (1988) : Les craies éclatées du secteur d'Omey (Marne, France) : le résultat d'une bréchification par fracturation hydraulique en contexte extensif. *Bull. Soc. Géol. Fr*, (8), t.IV, 1, pp.177-185.
- ROUXEL-DAVID E., BATKOWSKI D., BAUDOUIN V., CORDONNIER G., CUBIZOLLES J., HERROUIN J.P., IZAC J.L., JEGOU J.P., KIEFFER C., MARDHEL V., PAYA H. (2002) – *Cartographie de la piézométrie de la nappe de la craie en Champagne-Ardenne – Rapport final - Rapport BRGM/RP-52332-FR*, 29 p, 8 figures et annexe.
- DAVIS W.M., (1895) : La Seine, la Meuse et la Moselle. *Annales de géographie*, n°19, pp.25-49.
- DE GROSSOUVRE A., (1901) : Recherches sur la craie supérieure. Première partie, stratigraphie générale. *Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France*, Fascicule 1, Ministère des travaux publics, Imp. Nat., Paris.
- DEVOS A., BUTAYE D., LEJEUNE O., PANNET P., LAURAIN M., BARBIN V., MARIN B., MARRE A., PASCAL A., (2004) : Compréhension des modalités de la vidange aquifère de la nappe de la craie par la spatialisation des débits d'étiage de la Vesle en amont de Reims. *Compte rendu du séminaire EUROPOL'AGRO, 16 septembre 2004, CREA*, Reims.
- DEVOS A., LEJEUNE O., BUTAYE D., PANNET P., CORDONNEIR G., BARBIN V., MARRE A., PASCAL A., (2005) : Analyse des modalités d'écoulement des eaux dans le bassin versant de la Vesle. *Rapport PIREN-SEINE*, Paris.
- DUTIL P., (1970) : Caractères généraux des sols de la Champagne crayeuse. 95<sup>e</sup> Congr. Nat. Soc. Sav., 1, pp 215-222

- ESTEVE M., (1989) : Mesure des débits par intégration des cours d'eau normalisation des méthodes de traitement des données, Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Mission déléguée de bassin Rhin-Meuse, 15p.
- FRADET P., (1997) : *Détermination des périmètres de protection de l'alimentation en eau potable de la base de Vatry (projet Europort) sis sur la commune de Vassimont.*
- FRANCOIS D., SARY M., AUER J-C., ZUMSTEIN J-F., (1994) : *Etude méthodologique des débits d'étiage*, rapport AERM/CEGUM.
- GAILLARD S., (1999) : *L'aube ; dynamique morphosédimentaire holocène et fonctionnement actuel d'un hydrosystème à faible énergie.* Thèse de doctorat de géographie de l'université de paris IV (dir. M. Bravard), Septentrion, presses universitaires, 237p.
- GARNOTEL J., (1985) : *L'ascension d'une grande culture. Champagne pouilleuse. Champagne crayeuse.* Economica ed. PARIS.
- HILLY J., HAGUENAUER B (1979) : *Guides géologiques régionaux : Lorraine Champagne*, ed MASSON
- LEJEUNE O., DEVOS A., (2005) : Apports des méthodes hydrologiques dans la compréhension des écoulements en pays calcaire, *Karstologia*, n°44, pp. 15-24.
- MARDHEL V., GRAVIER A. (2005) - Carte de vulnérabilité intrinsèque simplifiée des eaux souterraines du Bassin Seine-Normandie. Rapport BRGM/RP-54148-FR.
- NOEL D., (1970) : *Coccolithes crétacés. La craie campanienne du bassin de Paris.* Ed. CNRS, pp.1-129.
- PANNET P. (2006) : *Les formations superficielles du bassin versant de la Vesle : Cartographie, formes et dynamiques associées.* Mémoire de Master de géographie. GEGENA. Université de Reims
- RADET E., (1943) : Notes sur la Champagne crayeuse. *Ann. Agron.*, pp.136-176.
- RADET E., (1964) : La Champagne crayeuse. *Mém. Soc. Agr. Comm. Sci. Arts Marne*, LXXIX, pp. 155-189.
- RICOUR J. (1988) – Elaboration de cartes de vulnérabilité et de sensibilité à la pollution de la nappe de la craie dans le secteur de Guines (Pas-de-Calais) à l'aide du logiciel SYNERGIE. Essai méthodologique. Rapport BRGM 88 NPC 101.
- RODET J. (1992) : *La craie et ses karsts.* Thèse de doctorat d'état. Université Aix-Marseille 2. 560p.
- ROUXEL-DAVID E., BARAN N. (2004) – Détermination de la vitesse de transfert des nitrates dans la zone non saturée crayeuse. Phase 1 : identification des différents contextes hydrogéologiques. Rapport BRGM RP-53357-FR.
- SCHMIDT C., CHABART M., NORMAND M. (2005) - Elaboration de règles de gestion volumique de la ressource en eau pour les bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole (51). Rapport BRGM RP-54178-FR, 148 p., 69 figures, 29 tableaux, 16 annexes.
- TRICART J., (1952) : *La partie orientale du bassin de Paris*, tomes 1 et 2, SEDES, Paris.

## Annexe 1

### La craie champenoise

Cette craie coniacienne, santonienne et campanienne du secteur d'étude est composée de presque 100% (entre 98 et 99%) de  $\text{CaCO}_3$  : c'est un calcaire très pur, constitué de débris d'organismes. Ces organismes sont des algues unicellulaires, qui sécrétaient des petites plaques de calcite (entre 2 et 5  $\mu\text{m}$ ).

Ces algues qui vivaient dans la tranche d'eau supérieure de la mer de la craie, sont des oolithes. Elles ont été sédimentées sur une épaisseur d'environ 350 mètres.

La craie ici sur sa couche supérieure a environ 75 millions d'années.

On peut également trouver dans la craie des macro-fossiles visibles à l'œil nu : on trouve des foraminifères, des bélemnites, des ammonites, des tests de poissons carnivores (arrêtes, écailles), oursins... On trouve peu d'organismes capables de vivre sur le sédiment (huîtres, lamellibranches). On peut aussi trouver des terriers.

On peut grâce à ces macro-fossiles établir des zonations de la craie en observant les formes de vie. C'est pour cela que l'on appelle la craie du secteur d'étude craie à Micraster à l'Est, et craie à Bélemnites à l'Ouest.

Les oolithes ne sont pas soudés entre eux. Au moment du dépôt, la craie était très fluide, puis elle s'est compactée (environ 20 fois).

La cohésion de la craie est uniquement due au frittage, c'est-à-dire à l'interpénétration des particules les unes dans les autres à cause de la pression. La craie ne possède pas de ciment : il y a donc du vide entre les particules. Ces vides sont extrêmement abondants : jusqu'à 43% du volume.

Le vide fait que la densité de la craie est de 1.6, contre 2.6 pour de la calcite pure.

On a donc en volume une porosité très importante et extrêmement fine (0.2 à 0.5  $\mu\text{m}$ ). Le diamètre des pores est donc 10 fois inférieur au diamètre des grains.

Dans ces pores, l'eau est fixée par capillarité, ce qui fait que la craie est un aquifère énorme. Mais il n'y a presque pas de mobilité possible de l'eau dans la craie une fois qu'elle est saturée.

En effet, malgré les 43% possibles de porosité totale, seule une partie de l'eau est disponible. Les essais en laboratoire et des calculs sur la géologie en place (vidange d'une tranche de roche aquifère) montrent tous une porosité efficace dans les craies campaniennes et santoniennes comprise entre 2% et 6% !

L'eau peut sortir de la craie soit par évaporation directe à la surface du sol (l'eau remonte à la surface par capillarité), soit par effet de mise en pression par les précipitations sur les stocks d'eau.

Cette difficulté de mouvement de l'eau dans la craie, fait que sa vitesse de circulation est de 40 à 50 cm par an. Cela permet de calculer la vitesse d'alimentation des aquifères. Ainsi, en interfluve, il faut 70 ans pour faire les 35 mètres qui séparent le sol de la nappe dans une craie non fracturée. Cela pose un problème au niveau de la résilience de ce milieu, en cas de pollution de la nappe.

Mais, les blocs de craie sont toujours atteints par la fracturation. L'eau excédentaire par forte pluie va s'infiltrer rapidement par cette fracturation.

La porosité de la craie est une porosité ouverte : les pores communiquent entre eux. Cela permet l'infiltration lente, mais aussi la remontée de l'eau. En effet, la porosité ne peut pas rester vide. La capillarité fait remonter l'eau dans la craie. Cette remontée capillaire vient réalimenter la craie de surface.

La craie a donc un comportement vis à vis de l'eau extrêmement favorable à toutes les cultures. De plus, la cryoclastie formant de tous petits granulats en surface, la craie est très facile à travailler.

Par contre, la craie est un milieu chimiquement très pauvre, avec l'arrivée des engrais chimiques, la craie est devenue une grande terre de culture ; elle a aussi été exploitée pour la construction, car c'est une roche facile à exploiter et peu abrasive.

En général, dans la craie, il existe aujourd'hui une forte productivité et une forte rentabilité.

C'est pour cela que la craie forme l'identité de la champagne crayeuse.

Mais, la craie de Champagne crayeuse connaît en général une fracturation importante, qui va conditionner de nombreuses dynamiques, ainsi que la morphologie des bassins versants. Cela joue un grand rôle dans le comportement hydrodynamique de ses bassins versants.

## **Annexe 2**

# **Tableau récapitulatif des points de jaugeage**

N° Point	Commune	Localisation	Surf BV elem	Surf cumulée	Q brut (m3/s)	Q elem (m3/s)	Qs (l/s/km²)	Rendements (l/s/km²)	Km CE elem	Km CE Tot	Q" (l/s/km)
<b>Bassin versant de la Soude</b>											
S1	Bussy-Lettée		62,7697	62,7697	0,005	0,005	0,080	0,080	10,292	10,292	0,486
S2	Soudron	Station hydro, près de l'église	41,6615	104,4312	0,071	0,066	0,680	1,381	8,158	18,450	2,092
S3											
Point annulé : section impraticable											
<b>Bassin versant de la Somme-Soude</b>											
SS1	Lenharae	20m amont pont	81,8943	81,8943	0,021	0,021	0,256	0,256	10,078	10,078	2,084
SS2	Ecuy le Repos	Amont capture	26,4675	110,3618	0,083	0,062	0,752	2,179	7,211	17,289	8,769
SS3	Ecuy le Repos										
Pas fait : fenêtre météo insuffisante											
SS4	Clamanges	Pont village	19,098	129,4598	0,174	0,091	1,344	4,763	5,575	22,864	16,373
SS5d	Villeseneux	Pont route de Paris	24,5522	24,5522	0	0	0,000	0,000	5,122	5,122	0,000
SS6											
Point annulé : section impraticable											
SS7	Villeseneux	Pont amont confluence Soude	19,4488	173,4608	0,156	-0,018	0,899	-0,926	5,669	33,656	-3,179
		Aval confluence ; chemin ; 200m après retenue									
SS8	Germinon		26,7001	277,892	0,231	0,004	0,831	0,150	6,213	58,318	0,644
SS9g			17,1743	17,1743	0	0	0,000	0,000	2,678	2,678	0,000
SS10	Chaintrix	Pont village	39,4789	334,5452	0,267	0,036	0,798	0,912	7,080	68,076	5,065
SS11	Vouzy										
Pas fait : fenêtre météo insuffisante											
SS12	Pocancy	Pont aval moulin	25,9079	360,4531	0,288	0,021	0,799	0,811	9,055	77,131	2,319
SS13	Champigneul	Pont 2 arches	21,9294	443,766	0,319	-0,005	0,719	-0,228	5,068	99,948	-0,987
<b>Bassin versant de la Berle</b>											
Pas jaugeable : déversoir de la source karstique											
B1	Vertus										
B2	Voipreux	Sous le pont	24,9856	24,9856	0,098	0,098	3,922	3,922	7,618	7,618	12,881
B3	Saint-Mard										
Pas fait : fenêtre météo insuffisante											
B4	Pocancy	Pont D37/D337	36,3979	61,3835	0,036	-0,062	0,586	-1,703	10,131	17,749	-6,120
<b>Bassin versant de la Coole</b>											
C1	Faux Coole		44,702	44,702	0	0	0,000	0,000	8,077	8,077	0,000
C2	St Quentin Coole		53,5222	98,2242	0,062	0,062	0,631	1,158	9,748	17,825	6,360
C3	Ecuy Coole		51,0556	149,2798	0,039	-0,023	0,261	-0,450	8,141	25,966	-2,825

## **Annexe 3**

# **Tableau récapitulatif des forages mesurés lors de la campagne piézométrique**

Indice	Commune	BV	BSS	Profondeur oct-2006 (m)	H repère / sol (m)	Zsol	Zeau	Différence piézo/rivière (m)	coordonnée X Lambert 2E	coordonnée Y Lambert 2E	Usage	Présence Pompe	Propriétaire
C1	COOLE	Coole		35,1	0,2	149	114,10	-38	754489	2418105	Inutilisé	Non	
C2	COOLE	Coole		7,45	0,5	155	146,05	-1,5	751239	2417438	Irrigation	Oui	GROUPEMENT COOLE
C3	FAUX_VESIGNEUL	Coole	02251X0012	16,32	0	154	137,68	19	749138	2420953	Irrigation	Oui	EARL DU BUISSON BLAN
C4	FAUX_VESIGNEUL	Coole		15,6	0,5	141	125,90	-1	751430	2421800	Irrigation	Oui	EARL de la CANTINETT
C5	FAUX_VESIGNEUL	Coole	01895X0001	15,45	0	141	125,55	-1	751581	2422256	Inutilisé	Non	Gallois
C6	FAUX_VESIGNEUL	Coole		5,23	0,5	135	136,27	4	750952	2422406	Irrigation	Oui	
C8	COUPETZ	Coole	01895X0038	10,27	0	120	109,73	0	748760	2426977	Inutilisé	Non	Hubert Person
C9	SABIT_QUEINTIN_SUR_CO	Coole	01895X0017	10,98	0	107,5	96,50	-4	746197	2430036	Domestique	Oui	GAEC de Vaugency (mr JOLY)
C10	SABIT_QUEINTIN_SUR_CO	Coole		3,4	0,83	106	103,43	0	746312	2430279	Inutilisé	Non	
C11	CHEIERS	Coole	01884X0062	23,94	0	120	96,06	2	741377	2433279	Inutilisé	Non	
C12	HUSEMEHT_SUR_COOLE	Coole		20,18	0,86	118	98,68	3,4	741741	2430412	Irrigation	Oui	EARL PREVOST LONGUEV
C13	ECURY_SUR_COOLE	Coole	01891X0096	4,59	0	90	85,41	-0,8	746917	2435132	Domestique	Oui	
P1	THIBIE	Coole	01883X0015	17,21	0,5	104	87,29	-10	738080	2437320	Inutilisé	Non	
P2	VILLERS-LE-CHATEAU	Pisseleu		15,5	-1,3	98	81,20	-1,5	741583	2439777	Irrigation	Oui	ANSEELW WERNER
P3	VILLERS-LE-CHATEAU	Pisseleu		5,89	0	84,5	78,61	-4	741752	2441707	Domestique	Oui	Silo de Villers
P4	VILLERS-LE-CHATEAU	Puisseleu		6,1	-0,2	85,5	79,20	-2,8	741924	2441968	Irrigation	Oui	SCEA DE SAINT GEORGE
S1	DOMMARTIN_LETTREE	Soude		14,94	0,8	152	137,86	-6	744075	2420601	Irrigation	Oui	LALLEMENT PATRICE
S2	BUSSY-LETTREE	Soude	01886X0069	2,98	0,4	136	133,42	-2	742737	2422746	Inutilisé	Non	
S3	BUSSY-LETTREE	Soude	01888X0037	12,16	0,5	136,5	124,84	-1	741220	2424260	Irrigation	Oui	
S4	VATRY	Soude		5,72	0	125,5	119,78	1	740542	2426561	Irrigation	Oui	GAEC PIERME
S5	SOUDRON	Soude	01887X0088	2,79	0	112	109,21	2,4	736730	2429090	Domestique	Non	
SS1	SOMMESOUS	Somme		11,37	0	188	176,63	13	737880	2414451	Irrigation	Oui	EARL COURTIER
SS2	HAUSSIMONT	Somme	02243X0005	10,5	1	162	152,50	-1,5	734508	2417767	Inutilisé	Non	le propriétaire de l'ancienne
SS3	HAUSSIMONT	Somme		11,82	0,4	161	149,58	-2	733666	2418171	Irrigation	Oui	EARL LES USAGES
SS4	LEIHAREE	Somme	02242X0059	12,3	0,3	150	138,00	0,5	729711	2420643	Irrigation	Oui	GAEC DES BERGERIES
SS5	HORMEE	Somme	01886X0022	14,8	0,5	146	131,70	0,5	727253	2422678	Irrigation	Oui	GAEC DE LA MANNE
SS6	PIERRE-MORAINS	Petit Morain	01885X0088	A sec	0	150	?	A sec	723771	2427688	Inutilisé	Non	
SS7	CLAMAIGES	Somme		3,84	0,5	119	115,66	-1,4	729928	2426718	Irrigation	Oui	EARL FRIQUOT LEBLANC
SS8	VILLESENEUX	Somme		11,57	0	123	111,43	0	730842	2427485	Irrigation	Oui	GAEC du Fosse Blanc
SS9	VILLESENEUX	Somme		7,33	0,2	118	110,87	0,8	732245	2427655	Irrigation	Oui	EARL MAURER Daniel
SS10	VILLESENEUX	Somme		7,58	0,2	115	107,62	2,4	733385	2428871	Irrigation	Oui	EARL MAURER Daniel
SS11	VILLESENEUX	Somme		10,35	0,5	112,5	102,65	0,15	734365	2429935	Irrigation	Oui	GAEC HENRIET DELMAS
SS12	TRECOH	Somme-Soude	01882X0046	9,27	-2,73	109	97,00	-4	728308	2431716		Oui	
SS13	VELYE	Somme-Soude	01882X0017	7,43	0,1	102,5	95,17	1	731752	2433454	Inutilisé	Non	Gervais Masset
SS14	POCAHCY	Somme-Soude	01883X0005	18,68	0	117	98,32	3	733556	2436814	Inutilisé	Non	Benjamin MOLLE
SS15	VOUZY	Somme-Soude	01882X0013	3,93	0	93,5	89,57	-0,5	728863	2436148	Inutilisé	Non	
SS16	VOUZY	Somme-Soude		1,33	0	88	86,67	0	729790	2437400	Inutilisé	Non	
SS17	SABIT-MARD-LES-ROUFF	Somme-Soude		4,88	0,4	89	84,52	-2	730115	2439370	Irrigation	Oui	EARL BERTRAND RAVILL
SS18	POCAHCY	Somme-Soude		2,12	0,15	83,5	81,53	-1,5	731762	2440434	Irrigation	Oui	GAEC LE BAS BURLU
SS19	POCAHCY	Somme-Soude	01883X0022	1,91	0,2	83,5	81,79	0	732374	2441002	Irrigation	Oui	EARL DES DEUX RIVIER
SS20	CHAMPIGNEUL	Somme-Soude		2,85	0,2	80,5	77,85	-0,9	734985	2442458	Irrigation	Oui	EARL DES COURS BRULE

## Annexe 4

### Liste des fichiers intégrés au « SIG SSC »

Nom fichier *.SHP	Thématique	Contenu
Axes_BD Carthage	Jaugeage	Cours d'eau
bv_des_pts_jaugeage	Jaugeage	Bassins versants élémentaires
Points_jaugeage	Jaugeage	Liste et emplacement des points de jaugeage
Résultats_CampagnePiezo_point	Piézo	Forages sondés lors de la campagne d'Octobre 2006
PiezoNappeCraie_2002-Extract_point	Piézo	Forages de la campagne 2002 qui ont servi en 2006
Axes_strahler	Jaugeage	Tous les axes de drainage selon la classification de Strahler
Points_suivi_point	Piézo	points sélectionnés pour un suivi piézo
Piezo_Irrig_valides_point	Piézo	Forages d'irrigation connus
Isoligne_piezo3_polyline	Piézo	Essai de traçage MapInfo des isopièzes après la campagne piézo





**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service géologique régional Champagne-Ardenne**  
12, rue Clément Ader  
BP137  
51685 – Reims Cedex 2 - France  
Tél. : 03 26 84 47 70