

# **Bilan des activités de recherche sur la connaissance des modalités d'introduction et de circulation des eaux dans la zone vadose et de restitution des eaux dans le bassin-versant de la Vesle**

A. Devos, O. Lejeune

EA 3795 G.E.G.E.N.A. (Groupe d'Etude sur les Géomatériaux et les Environnements Naturels et Anthropiques), UFR Lettres et Sciences Humaines, 57 rue Pierre Taittinger, 51096 Reims Cedex, [alain.devos@univ-reims.fr](mailto:alain.devos@univ-reims.fr), [olivier.lejeune3@libertysurf.fr](mailto:olivier.lejeune3@libertysurf.fr)

La craie champenoise est considérée comme une roche d'une grande homogénéité. Ceci implique des transmissivités généralement comprise entre  $10^{-3}$  à  $10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s. Pourtant les pollutions ponctuelles semblent apparaître ponctuellement mais très rapidement dans les captages d'eau potable de la ville de Reims situés dans le bassin-versant de la Vesle ; laissant penser à des arrivées d'eau ayant de fortes vitesses de transit.

Afin d'expliquer la présence ponctuelle de ces polluants, les membres du G.E.G.E.N.A. ont été mandatés depuis 2004, afin d'étudier les modalités d'infiltration et de restitution des eaux dans le bassin-versant de la Vesle et en Montagne de Reims.

Ainsi, ce rapport, réalisé le cadre du programme AQUAL et PIREN-Seine, doit faire le bilan des dernière années de recherches sur le modalités d'infiltration et de circulation des eaux dans la zone vadose. Nous ferons aussi le point sur les modalités de restitution de eaux via la zone noyée. Nous établirons aussi un bilan de l'année 2006, sur les dernières avancées sur la connaissance de la géométrie des formations superficielles sur les versants et les formations du fond de la vallée de la Vesle.

## **1. Modalités d'infiltrations en zone crayeuse**

Les caractéristiques hydrodynamiques de la craie campanienne lui confèrent en général une modélisation de ses écoulements relativement simple à un, voire à deux réservoirs. Les 20 à 30 m de la partie supérieure de la craie proche de la surface constituent une zone à forte détente mécanique correspondant à un réservoir à porosité efficace et à forte productivité. A l'ouest du bassin Vesle, elle a connu plusieurs épisodes régressifs et transgressifs à l'Eocène (Thanétien) qui lui donnent une surface irrégulière (dénivelée inférieure à 5 m) et fissurée à blocs de marnes durcies. Durant le Pléistocène, de nombreux cycles cryoclastiques ont produits des grèzes remaniées par la déflation éolienne (graveluches) propices à l'infiltration rapide et bien représentées dans l'est du bassin (Laurain et *al.*, 1995).

A l'inverse, en profondeur, la craie peu fissurée détermine un autre réservoir à faible productivité (micro-porosité) dont la porosité efficace dépend directement du degré de fissuration. Sans fissures, les caractéristiques intrinsèques des craies du bassin de la Vesle déterminent une forte porosité totale (43%) qui cache une porosité efficace très faible comprise entre 2% et 6% (mesurées en laboratoire et sur le terrain). Les vitesses d'infiltration potentielles sont alors très faibles, de l'ordre de 0,5 m/an (Barbin V. et *al.*, 1993) ce qui pose un sérieux problème de résilience de l'aquifère. La transmissivité est généralement comprise entre  $10^{-3}$  à  $10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s et le coefficient d'emmagasinement est compris entre 1 et 5%.

Les modalités d'infiltration sont donc largement inféodées à la fissuration de la craie qui détermine le type de porosité et les écoulements souterrains préférentiels.

Les linéaments observés sur le terrain, sur les cartes et les photographies aériennes témoignent d'orientations préférentielles NNW (320 à 330°) et NNE (25 à 35°) qui ont manifestement calé l'installation du réseau de talweg (Laurain, 1980, Laurain et *al.*, 1981). Moins de 25% de ce réseau est drainé par un cours d'eau intermittent ou pérenne, ce qui souligne d'une part l'héritage pléistocène de ces formes d'incision et d'autre part l'importance de l'infiltration généralisée dans le bassin.

Les vallées et les vallons affluents sont donc en général des secteurs à forte productivité et à plus grande perméabilité à la différence des interfluves.

Le toit de la nappe épouse globalement la surface topographique sur les cartes piézométriques (Schmidt C., Chabart M., 2005). On assimile alors les talwegs à des secteurs avec un temps de résidence court et vulnérables à la pollution de surface mais correspondant à des secteurs productifs utilisés pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. Les cartes de vulnérabilité à la pollution et des délais de transfert ont donc tendance à paraphraser les cartes topographiques et à homogénéiser le comportement hydrodynamique de l'aquifère crayeux. A la différence des craies de Normandie et de Picardie, les craies de Champagne sont affleurantes ou subaffleurantes et dénuées de formations superficielles favorables au ruissellement. L'infiltration généralisée prédomine, déterminant ainsi une large part aux débits de base souterrains qui constituent plus de 80% des écoulements des cours d'eau indigènes à la craie.

### A. Modalités d'infiltration et front de karstification

Durant ces trois années, un front de karstification a été mis en évidence sur le flanc nord de la Montagne de Reims sur le front de la cuesta d'Ile de France correspondant au versant sud du bassin Vesle à l'aval de Sept-Saulx (figure 1).

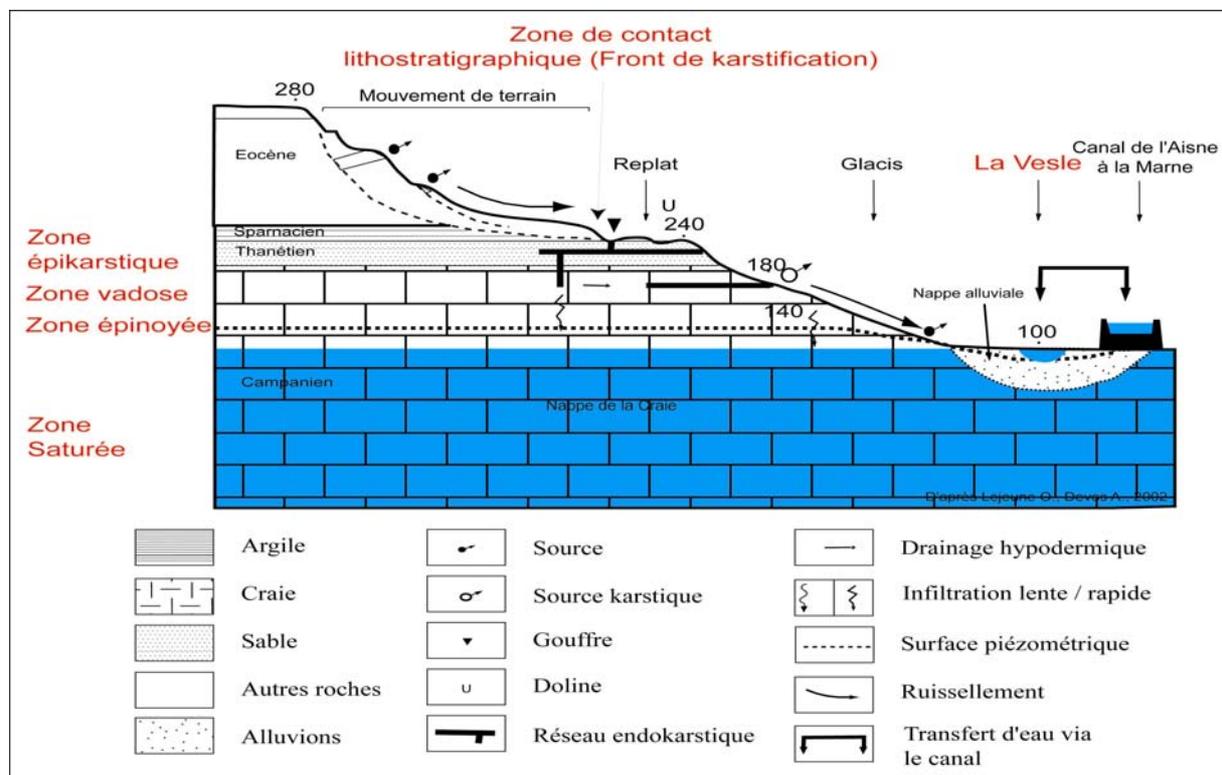


Figure 1 : Schéma fonctionnel du karst du bassin-versant de la Vesle

Celui-ci présente toutes les caractéristiques des karsts de bas plateaux de l'Est de la France (figure 2) :

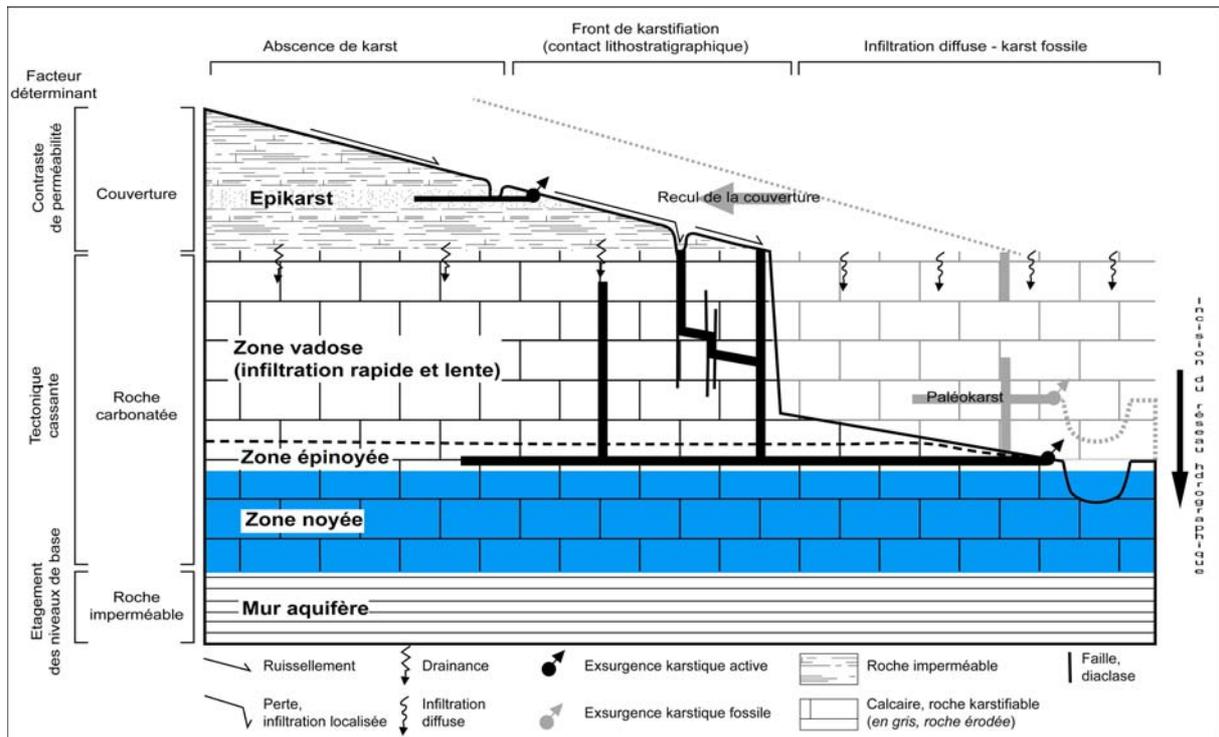


Figure 2 : Schéma conceptuel des karsts de bas plateaux

✓ **un karst de contact lithostratigraphique perché dans l'Eocène.**

C'est sur les replats structuraux des sables grésifiés du Thanétien que la karstification s'opère car ils correspondent à un contact lithostratigraphique majeur à perméabilités contrastées. Ils constituent une zone d'infiltration des eaux ruisselantes sur les formations imperméables de l'Eocène au contact des roches perméables (grès et craie) vers 220 m d'altitude soit 60 m au-dessus de la surface piézométrique de la nappe de la craie.

Le liséré exokarstique est représenté par des dolines métriques et décamétriques en cuvette et en entonnoir, des gouffres et de rares vallées aveugles aux pieds d'un versant réglé développé dans les formations éocènes argileuses favorables aux ruissellements concentrés. Ces derniers s'organisent dans des ravins qui ont pour exutoire les dolines ou des gouffres formant ainsi des vallons aveugles.

✓ **un karst étagé.**

On observe deux niveaux de karstification : d'une part au niveau du contact litho-stratigraphique de l'Eocène et d'autre part dans la craie sous-jacente.

Le premier a pour vocation de recueillir et de concentrer les écoulements de surface par des collecteurs horizontaux alors que le second est un karst d'infiltration verticale et concentrée.

Les réseaux endokarstiques dentritiques ou méandriiformes à collecteur unique (Fontaine Pleureuse, Creusin) se développent horizontalement sur plusieurs centaines de mètres dans les grès thanétiens. Les collecteurs pénétrables recrutent des affluents à accès difficile mais l'ensemble correspondre à des galeries ovoïdes de petite taille (1,5 m de diamètre) localement retouchés par l'homme. Ces collecteurs concentrent les écoulements vers des puits et gouffres de la craie tout en drainant l'aquifère perché des sables grésifiés.

De rares collecteurs reconnus spéléologiquement affectent la craie (systèmes de Trépail sur le versant Marne et de la Fontaine de Verzy sur le versant Vesle). Leur accès difficile (AEP, effondrement) limite considérablement leur connaissance.

Les descriptions faites par les spéléologues ainsi que les premières reconnaissances effectuées par nos soins témoignent de galeries méandriiformes, callées sur fractures, de belle facture (hauteur atteignant

20 m de hauteur) avec des développements importants pour le secteur (plus de 500 m pour le système de Trépail et 540 m pour la Grande Fontaine). Le déficit en endokarst crayeux constaté s'expliquerait davantage par le manque d'information et la faible anthropisation du plateau forestier. Les deux grands systèmes karstiques sont explorés qu'après des travaux importants ou des effondrements de voûtes (Rodet J., 1991). le G.E.G.E.N.A. mène des travaux de recherche (en cours) sur le collecteur que depuis octobre 2006 en collaboration avec le conseil Municipal de Trépail.

✓ **un karst couvert.**

Le karst de la craie qui présente les plus gros conduits est sous couverture de type *cap-rock* sablo-gréseux (gouffres-aveugles). Celle-ci peut s'effondrer brutalement sous son propre poids trépanant ainsi le toit voire le plancher des collecteurs des sables grésifiés (Creusin) ouvrant béant des gouffres en surface et laissant apparaître toutes les formations concernées (craie, sables et argiles sus-jacentes) comme à la Fosse martin Godard. Ce phénomène illustre l'importance de la macro-porosité efficace de type karstique au niveau du front de karstification dans le bassin Vesle.

**B. Des données nouvelles sur le karst de Trépail : un karst vert connu et un karst « occulte » sous vignoble**

L'intégralité des formes exokarstiques du bassin Vesle sont observées sous couverture forestière (« karst vert ») alors que le niveau de base représenté par la zone saturée et la Vesle se situe largement en contrebas sous couverture viticole et agricole.

Les observations faites à Trépail en 2006 et 2007 témoignent :

- de l'existence de collecteur imposant dans la craie et à l'aplomb du vignoble alors que le front de karstification est sous forêt.
- d'écoulements souterrains diffluent dont le plancher est largement trépané par des nombreux puits infiltrants.
- de l'étagement des niveaux de base dans la craie avec des émergences superposées pour un même système karstique (travaux en cours).

Ces données nouvelles militent en faveur d'écoulements concentrés, non filtrés et rapides en zone non saturée non seulement au niveau du front de karstification mais aussi en contrebas à l'aplomb du vignoble. Mais l'anthropisation du milieu viticole perturbe considérablement la lisibilité des écoulements.

Le comportement hydrodynamique des systèmes karstiques observés n'a pu être étudié par un suivi continu hydrométrique et physico-chimique compte tenu des sites (instrumentation et accès difficiles). Dans le cadre du programme Transpoll, un projet d'instrumentation de la source des Mal-Fosses était prévu pour connaître le comportement hydrodynamique de cet exutoire. Mais la situation hydrologique de ces deux dernières années (2004-2005) fut exceptionnellement sèche, déterminant un assec quasi-continu du chenal. Les observations faites en 2006 témoignent davantage d'un regard de trop plein de la zone saturée que de l'exutoire d'un système karstique.

Néanmoins, les traçages réalisés par le G.E.G.E.N.A., les mesures et observations morphologiques faites au fond nous permettent d'affirmer que :

- les circulations sont rapides et concentrées avec des vitesses de transit de 58 à 85 m/h (Lejeune, 2000) mais aussi d'écoulements plus diffus et plus lents en fonction du degré de grésification des sables dans l'épikarst thanétien.
- en surface, la dynamique d'infiltration karstique est en partie, conditionnée par la dynamique de versant (mouvements de terrain, glissements, coulées) qui limite l'infiltration (obstruction des gouffres) ou accentue la concentration des écoulements (imperméabilisation des fonds de vallon) (Lejeune, 1999).

- les infiltrations sont verticales, en système vadose, concentrées et hiérarchisées, souvent calées sur fracture avec des vitesses horaires entre la surface et la zone saturée (système du Creusin).
- la réactivité aux précipitations est forte avec des temps de réponse horaires augmentant considérablement la vulnérabilité à la pollution hydrique au droit du front de karstification.
- les micro-morphologies endokarstiques (coups de gouge, cascades) en collecteur témoignent d'une dynamique horizontale en régime libre, forte et rapide et du transport des formations de l'Eocène par des écoulements turbulents non filtrés.
- le mode d'alimentation de l'aquifère crayeux est de type ternaire avec des eaux infiltrées provenant du ruissellement de surface ou d'exutoires de « l'épikarst » thanétien (gouffres-perthes, vallées aveugles), des infiltrations lentes et diffuses et enfin la drainance de la couverture éocène.

Les écoulements karstiques s'organisent généralement en « systèmes » avec un bassin d'alimentation d'une exsurgence au bout d'un collecteur et des drains souterrains hiérarchisés. Les bassins d'alimentation présentent des surfaces de l'ordre de 10 à 20 km<sup>2</sup> dans le cas de karst de revers de cuesta (Lejeune O., Devos A., 2001). Dans le bassin Vesle, compte tenu du contexte morphostructural du front de karstification (front de côte), la surface des bassins est beaucoup plus restreinte (travaux en cours à Trépail). De plus, les collecteurs sont trépanés dans leur cours aval par des gouffres mettant en évidence l'étagement des écoulements souterrains dans la zone saturée du bassin Vesle.

En sachant que la zone d'épandage des produits phytosanitaire correspondant aux vignes est comprise entre le front de karstification et la Vesle considérée comme exutoire des systèmes, des circulations souterraines rapides et concentrées sont donc probables d'autant plus que le secteur du vignoble est affecté de nombreuses pertes diffuses assistées par des faisceaux de diaclases.

L'analyse des données hydrométriques aux stations de la Vesle ne témoigne pas d'un comportement karstique de la zone saturée. Mais compte tenu des débits de la Vesle, ce dernier risque d'être lissé d'autant plus que le réseau de mesure ne permet pas de spatialiser précisément les modalités de vidange aquifère.

## 2. Les modalités de vidange aquifère par la Vesle

Les travaux de ces trois années ont permis de montrer que la vidange de la zone saturée s'effectuait quasi uniquement par la Vesle dont le volume écoulé est assuré à 80% par drainage, laissant une part très faible au ruissellement. Cette vidange s'effectue de manière homogène, en général en milieu isotrope, le long du cours d'eau. Les profils hydrologiques réalisés sur la Suippe témoignent effectivement d'une augmentation régulière des débits d'étiage, corrélativement à l'augmentation de la surface du bassin d'alimentation (Devos et *al.*, 2005 et 2006). Les profils hydrologiques (Tableau 1 ; figure 3) réalisés à partir de 4 campagnes de mesures de débits par le G.E.G.E.N.A. dans le cadre du programme AQUAL mettent en évidence :

- l'hétérogénéité spatiale de la vidange aquifère
- un comportement hydrodynamique identique quelque soit la situation hydrologique de basses-eaux, puisque les campagnes ont été réalisées pour des sévérités d'étiage contrastées (tableau 1).
- un tronçon à faibles écoulements en amont (secteur de Courtisol).
- un tronçon affecté par des pertes et un assec annuel dans la partie médiane (secteur de Bouy) assimilé à un tronçon caractérisé par de forts rendements hydrologiques amputé par le prélèvement du barrage de prise d'eau alimentant le canal de la Marne à l'Aisne (secteur de Sept-Saulx). Ce tronçon est assimilé à un recoupement aquifère (cours d'eau drainant la zone saturée).
- un secteur aval marqué par des débits stabilisés, caractéristiques de drainage aquifère généralisé (cours d'eau drainant avec faible rabattement piézométrique).

L'hétérogénéité spatiale de la vidange aquifère s'explique essentiellement par le compartimentage structural qui détermine l'étagement des réservoirs (cours d'eau, aquifères).

Tableau 1 : Situations hydrologiques des 4 campagnes de mesures à la station de Beaumont-sur-Vesle (période 1985-1999)

Date	16/06/2004	22/09/2004	30/04/2005	07/02/2006
Débit en m <sup>3</sup> /s	0,884	0,233	1,155	0,751
Débit en l/s/km <sup>2</sup>	2	0,5	2,6	1,8
Indice de sévérité (Sn%)	21	6	28	18
Fréquence (QMNA) %	82	25	89	75

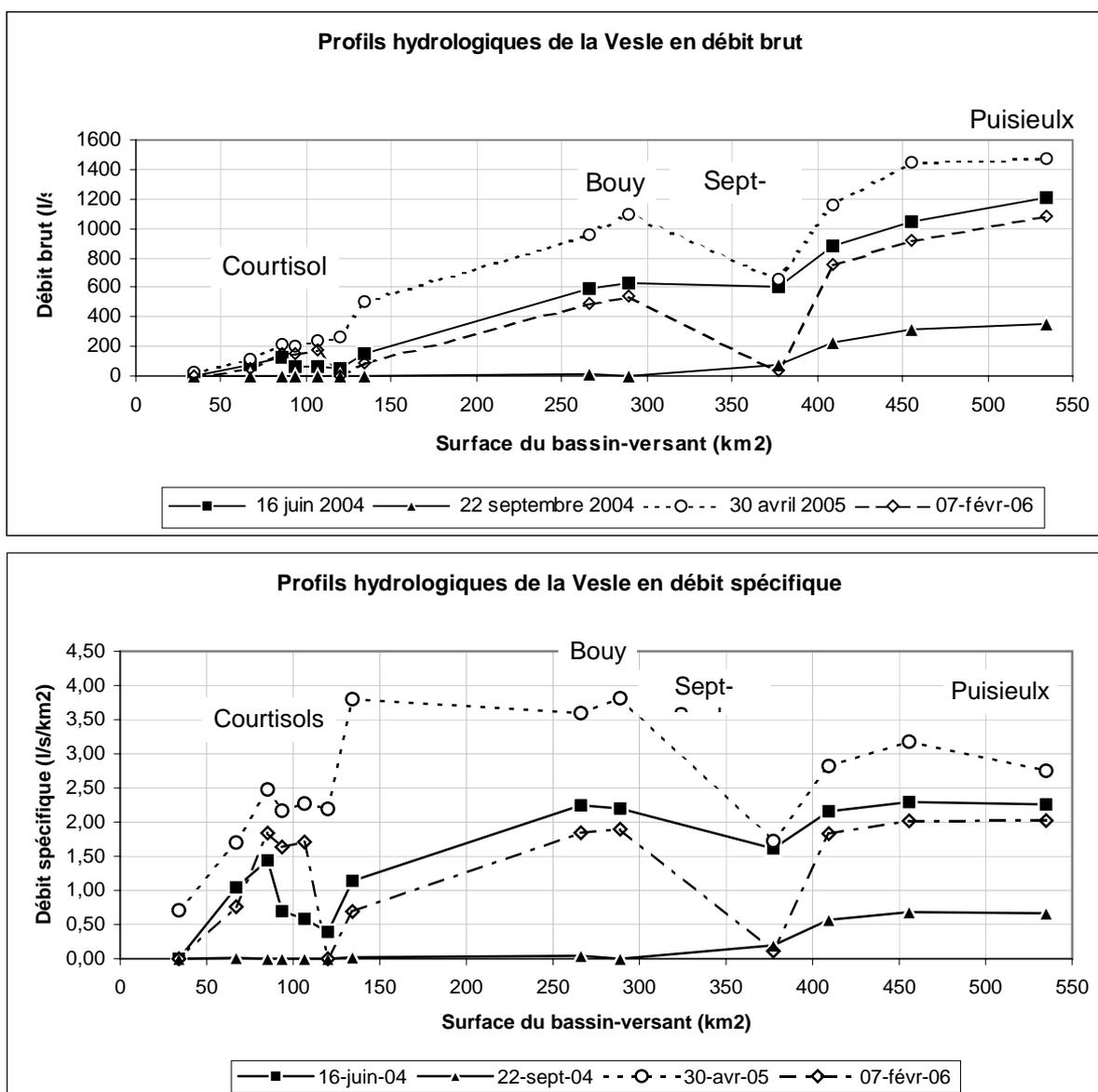


Figure 3 : Profils hydrologiques de la Vesle lors de trois campagnes de mesures

Les profils physico-chimiques montrent l'évolution spatiale des concentrations pour quelques paramètres caractéristiques. Les conductivités témoignent de la charge totale en solution. Les températures permettent également de dissocier les écoulements souterrains (homothermie et forte minéralité) du transit aérien (forte variabilité thermique et faible conductivité). Les profils de températures et de conductivités (figure 4) s'organisant selon la même organisation spatiale que les tronçons hydrologiques (Devos et al., 2006) témoignent d'échanges nappe-rivière contrastés dans l'espace.

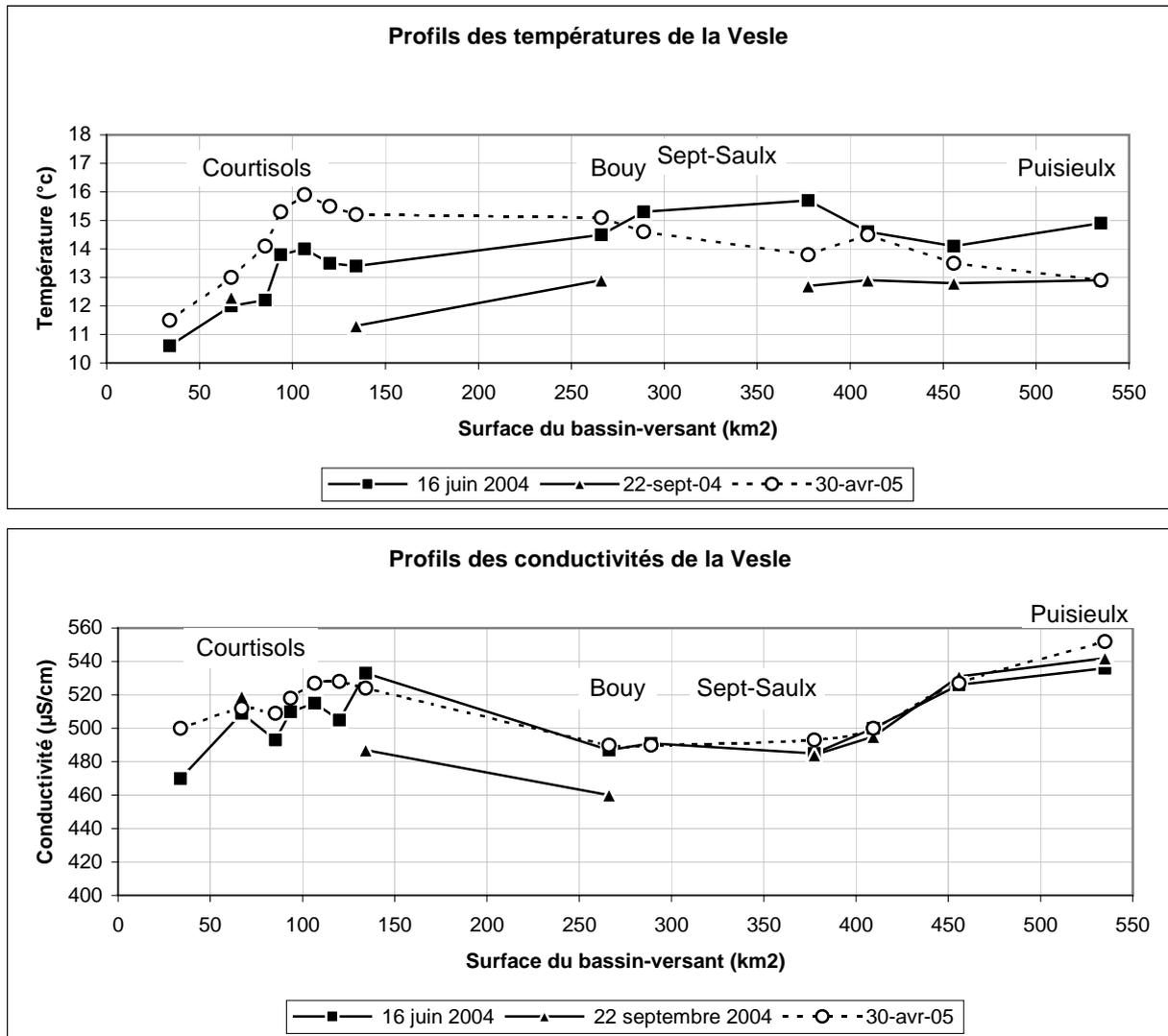


Figure 4 : Profils des températures et des conductivités de la Vesle lors de trois campagnes de mesures

Des profils géochimiques de quelques éléments majeurs ont été réalisés pour 5 points caractéristiques le long de la Vesle le 16 juin 2004. Les analyses ont été réalisées par le laboratoire municipal de la ville de Reims.

Les concentrations de type « azote » témoignant de pollutions agricoles diffuses sont importantes sur l'intégralité du cours d'eau mais diminuent fortement dans la partie aval, ce qui peut s'expliquer par un effet « dilution » lié au recouplement aquifère.

Par contre, les teneurs en élément marqueurs du temps de résidence dans l'aquifère crayeux comme les carbonates de calcium et de magnésium croissent de manière toute relative, en aval militant en faveur d'un recouplement aquifère.

On peut également noter l'augmentation des teneurs en Fer et en Silice dans la partie inférieure du bassin caractérisée par le versant nord de la Montagne de Reims, riche en formations siliceuses (sables du Thanétien, argiles à Meulières) et ferrugineuse (sols ferralithiques). Ces profils témoignent ainsi

d'une alimentation de la Vesle par des écoulements issus des formations tertiaires dans la partie aval du bassin.

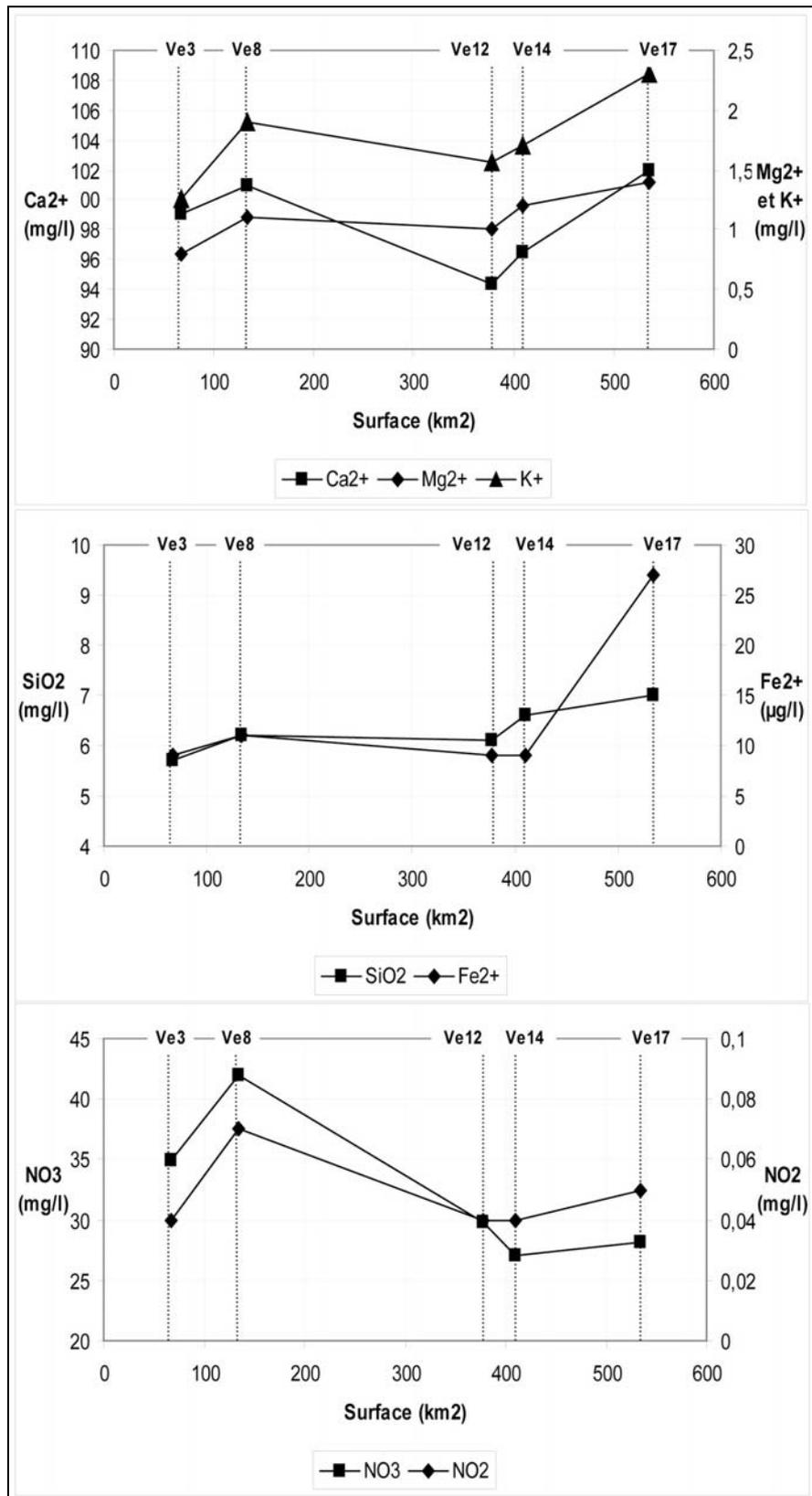


Figure 5 : Profils géochimiques du Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sup>2+</sup>.

## - Transferts de masses d'eau via les voies navigables

Le G.E.G.E.N.A. a montré durant les précédents rapports, les échanges entre la Vesle et le canal de l'Aisne à la Marne. Via le bief de partage du Mont de Billy, des transferts de masse d'eau s'effectuent entre les bassins de la Marne et de la Vesle aux bénéfices de la Marne en hautes-eaux et inversement en basses-eaux (Devos *et al.* 2005 et 2006). Le canal de l'Aisne à la Marne restitue ensuite à la Vesle via les déversoirs et les fuites diffuses ses eaux de manière hétérogène dans l'espace. En effet, certains biefs du canal sont caractérisés par de fortes pertes dépassant 200 l/s/km (amont Sillery) et d'autres par des gains de l'ordre de 50 l/s/km de bief à l'aval.

Ces échanges hydrologiques perturbent la lisibilité des échanges nappe-rivière analysés par les profils hydrologiques et témoignent de transferts de masses d'eau dont le spectre physico-chimique est sensiblement différent.

## - Transferts de masses d'eau via les écoulements souterrains

Ces transferts beaucoup plus importants en volume concernent d'une part, la zone saturée et d'autre part, la zone vadose.

Dans la zone saturée, ils s'effectuent essentiellement en basses-eaux lorsque le dôme piézométrique disparaît au niveau de l'interfluve Marne-Vesle (cf travaux G.E.G.E.N.A., BRGM). Ce dôme de hautes-eaux détermine un bassin d'alimentation de la Vesle quasiment identique au bassin topographique.

En basses-eaux, on constate en effet, une pente piézométrique importante vers la Marne qui milite en faveur d'écoulements souterrains importants aux dépens du bassin Vesle qui devrait être théoriquement déficitaire dans son bilan hydrologique.

Ces circulations basées sur les cartes piézométriques du BRGM sont corroborées par les observations faites dans le forage de Bouy où les orientations des venues d'eau diffèrent selon l'état des réserves. Elles s'intègrent dans un schéma d'écoulement beaucoup plus vaste à l'échelle de l'interfluve « Aisne-Marne » drainée par la Retourne, la Suipe et la Vesle (figure 6).

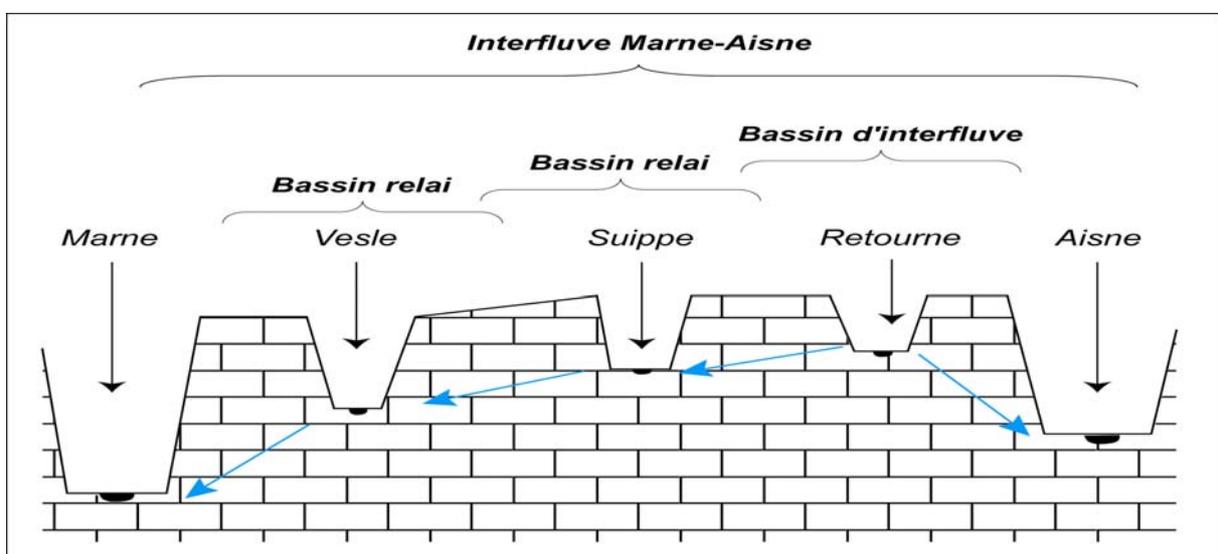


Figure 6 : Schéma d'écoulement en zone noyée entre l'Aisne et la Marne dans la traversée du plateau crayeux (d'après Lejeune et Devos, 2004 modifié).

Le second mode de transfert observé concerne, la zone non saturée ou vadose. Il est assisté par le karst mais à ce jour qu'observable sur le site de Trépail. En effet, les écoulements de surface de tête de bassin de la Livre (rattachée à la Marne) sont capturés par le système karstique de la rivière souterraine de Trépail. Mais, ce type de réorganisation des écoulements aériens par le karst est peu probable coté Vesle compte tenu du contexte morphostructural.

### **3. Les résultats de l'année 2006.**

#### **A. Les nouvelles données hydrométriques sur la Vesle**

Une nouvelle campagne de mesure de débit a été effectuée le 7 février 2006 sur la Vesle. Elle s'inscrit dans une situation hydrologique intermédiaire entre les campagnes du 16 juin et du 22 septembre 2004. L'objectif était de retrouver une situation d'étiage biennale, donc la plus représentative, mais force est de constater qu'elle présente une fréquence en QMNA trop élevée (75%). L'intérêt est également d'étudier le mode de gestion des ouvrages de prise d'eau du canal de l'Aisne à la Marne différent en hiver.

Cependant, elle nous a permis de mettre en évidence plusieurs observations :

- la saison froide connaît des débits faibles lorsque les types de temps anticycloniques prédominent en automne (2005) et en hiver (2005-2006) ne permettant pas une recharge de l'aquifère crayeux.
- le comportement hydrodynamique naturel de la vidange aquifère est identique quelque soit la situation hydrologique d'étiage, puisque le parallélisme des profils hydrologiques est grossièrement respecté ainsi que le découpage en tronçons de cours d'eau définis plus haut.
- la partie amont du bassin (secteur de Courtisol) présente des débits bruts et spécifiques plus élevés que pour la campagne du 16 juin 2004 pourtant moins sévère mettant en exergue des vitesses de tarissement contrastées dans le bassin entre l'amont et l'aval.
- on retrouve un assec du cours d'eau observée en campagne sévère à l'aval de Courtisol ce qui souligne une fois de plus les différences de comportement hydrodynamiques entre l'amont et l'aval.
- le prélèvement au niveau du barrage de Sept-Saulx (pour alimenter le canal de l'Aisne à la Marne) est largement supérieur à toutes les autres campagnes puisqu'il correspond à 92 % du débit de la Vesle (505 l/s) laissant au cours d'eau un débit minimum de 43 l/s seulement à l'aval du barrage de prise d'eau.
- à l'aval, les rejets du canal vers la Vesle semblent bien fonctionnés (système sous la cunette du canal à l'aval de Sept-Saulx au Château Mignot) et le recouplement aquifère paraît important puisque le débit de la Vesle est même supérieur à celui mesuré en amont du barrage de prise d'eau.

Cette nouvelle campagne de jaugeage, à laquelle on peut regretter l'absence de mesures de températures et de conductivité est donc riche de renseignements puisqu'elle met en exergue deux modes de comportement hydrodynamiques entre l'amont du bassin (amont confluence Noblette) et l'aval.

L'amont se caractérise manifestement par un « perchement » du cours d'eau au-dessus de la zone saturée avec une alimentation assurée par vidange de nappe alluviale étroite ou un ressuyage des formations superficielles. Par contre l'aval est marqué par des écoulements importants, pondérés par un recouplement de la zone saturée de l'aquifère crayeux à l'aval immédiat de Sept-Saulx puis un drainage plus ou moins généralisé à l'aval via une zone tampon, le champ alluvial. Les échanges nappes-rivières y sont complexes, sous la dominante de la fissuration et de la géométrie du champ alluvial.

#### **B. Typologie et cartographie des formations superficielles**

La vulnérabilité de l'aquifère à la pollution hydrique est conditionnée essentiellement par les données structurales et les caractéristiques hydrogéologiques des roches en place.

Cette dernière est, néanmoins, rarement en affleurement car recouverte de formations superficielles sur lesquelles s'effectue la pédogenèse. La caractérisation des formations superficielles est donc primordiale dans la compréhension des modalités d'infiltration diffuses.

Le G.E.G.E.N.A. s'est proposé non seulement de définir ces formations et de les cartographier. Après caractérisation hydrogéologique de ces formations (porosité, perméabilité, transmissivité) en laboratoire et sur le terrain, l'objectif est à terme de fournir une cartographie de vulnérabilité relative des sols à la pollution voire de résilience du milieu.

De nombreuses sorties de terrain (sondages à la tarière, observations en carrière) ont permis de proposer la typologie suivante. Nous dissociions les formations indigènes à la craie (amont du bassin) aux formations allogènes issues de démantèlement de la couverture éocène (aval du bassin) dont l'étude est en cours.

Les formations indigènes à la craie de Champagne (travaux de Michel Laurain) s'organisent généralement selon la « toposéquence » suivante (figure 7).

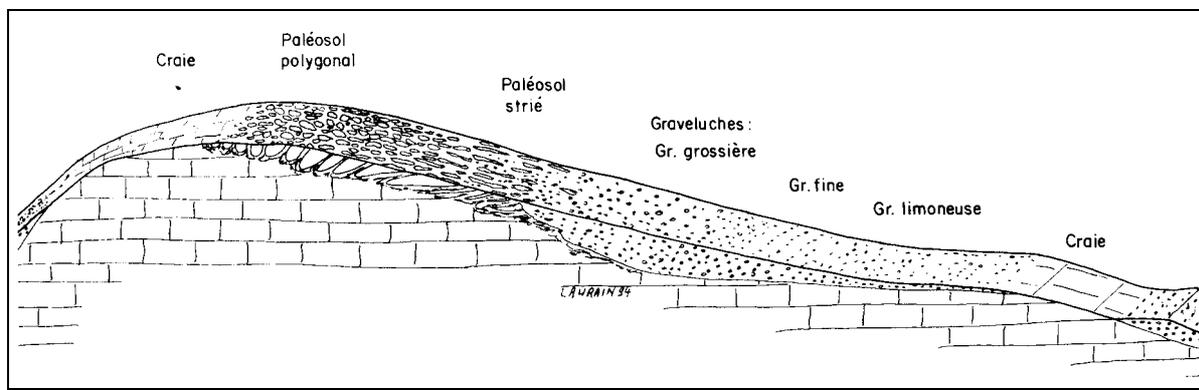


Figure 7 : Toposéquence des formations indigènes à la craie (M. Laurain, H. Guérin, A. Marre, J. Richard, 1995)

#### ✓ sols polygonaux

Les sols polygonaux sont localisés en tête de vallon ou au sommet des interfluves où la craie affleure localement. Hérités des périodes froides du Pléistocène, ils sont soit « flottants » en sub-surface sur les 15 à 30 cm du sol soit « enracinés » dans la craie. Leur genèse est bien connue assistée par cryoturbation, cryosuction, réseaux de fente en coin et figures de charge. Leurs caractéristiques « hydriques » étudiés par Ballif J-L (1998) diffèrent selon les poches de cryoturbation (remontées d'eau par les cheminées entre les poches, porosité totale et capacité au champs moindres dans les poches).

#### ✓ sols striés

Les sols polygonaux se déforment par fluage sur les pentes donnant des sols striés où l'ouverture des cloisons permet de libérer les formations limoneuses des poches vers l'aval.

#### ✓ Graveluches

Les graveluches correspondent à des graviers de craie qui feutrent une grande partie la craie du bassin de la Vesle (Laurain et al., 1997). Selon Ballif J-L (1998), l'état hydrique de ces formations est davantage sous la dominante des conditions climatiques que dans un sol de craie. La RU y est moindre que dans la craie qui reste propice aux remontées capillaires.

Selon leur genèse, on peut proposer cette typologie :

### ▪ Graveluches éoliennes

Sur le versant au vent, la déflation éolienne affecte les cloisons des sols polygonaux fragmentées par gélifraction. Leur déplacement par le vent donne un piquetage caractéristique des particules que la précipitation de calcite assistée par cryosuction enrobe, limitant ainsi considérablement leur destruction totale par le gel.

Sur le versant sous le vent, l'accumulation de graveluches éoliennes détermine une accumulation pouvant être importante (plusieurs mètres). Localement, le sommet des interfluves ne correspond plus à la roche en place mais à l'accumulation de graveluches.

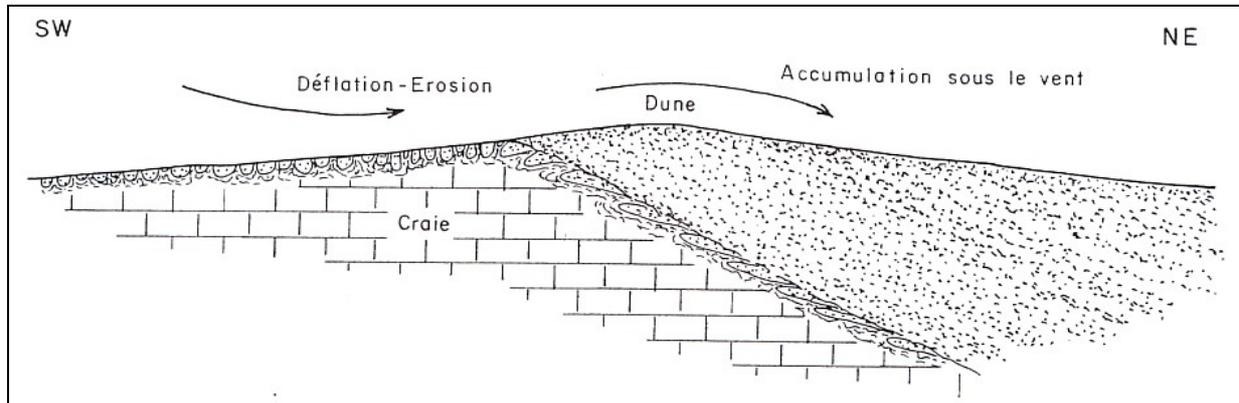


Figure 8 : rôle de la déflation éolienne sur l'épaisseur des graveluches (sources Laurain et al., 1994)

### ▪ Graveluches gravitaires

Des graveluches plus claires, assistées par gravité tapissent localement en lits gras et maigres, les versants à pente forte (grèzes litées). Leur genèse semble récente et contemporaines d'un climat tempéré.

### ▪ Graveluches à solifluxion

Sur les versants exposés au sud, les sols striés sont parallèles à la pente. Le ruissellement et le lavage des graveluches assistés par solifluxion déterminent un litage caractéristique.

### ▪ Graveluches limoneuses et limons

Dans les fonds de vallon, le ruissellement a trié et apporté des éléments fins retrouvé en sondage à la tarière systématiquement. Dans les vallons les plus bas ou proches du remblaiement alluvial de la vallée de la Vesle, la zone épinoyée recoupe la surface déterminant la mise en charge du vallon.

Malgré l'uniformité lithologique du bassin amont de la Vesle, l'hétérogénéité spatiale des caractéristiques hydriques des formations superficielles déterminent une vulnérabilité à la pollution très contrastée dans l'espace selon la nature des matériaux, leur exposition et leur genèse.

## C. La cartographie des formations superficielles de la craie.

En fonction de la typologie définie plus haut, une légende et une cartographie a été dressée en amont de la confluence Noblette-Vesle. L'aval est en cours de réalisation.

Les cartes témoignent du rôle fondamental de l'exposition dans l'épaisseur des graveluches (Figure 9 et 10). L'infiltration diffuse sera donc potentiellement contrastée dans l'espace avec des versants au vent dénué de formations, à forte capillarité et des versants sous le vent tapissés de graveluches à moindre capacité au champs.

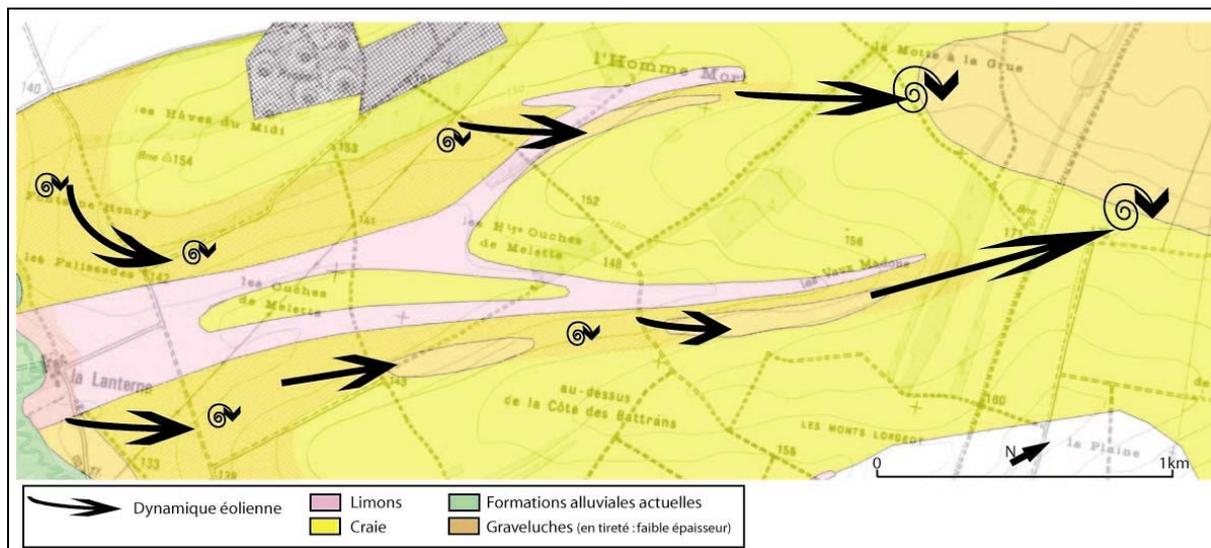


Figure 9 : Schéma de la dynamique éolienne de mise en place de certaines graveluches : exemple du Vaux Madon (P. Pannet, 2006)

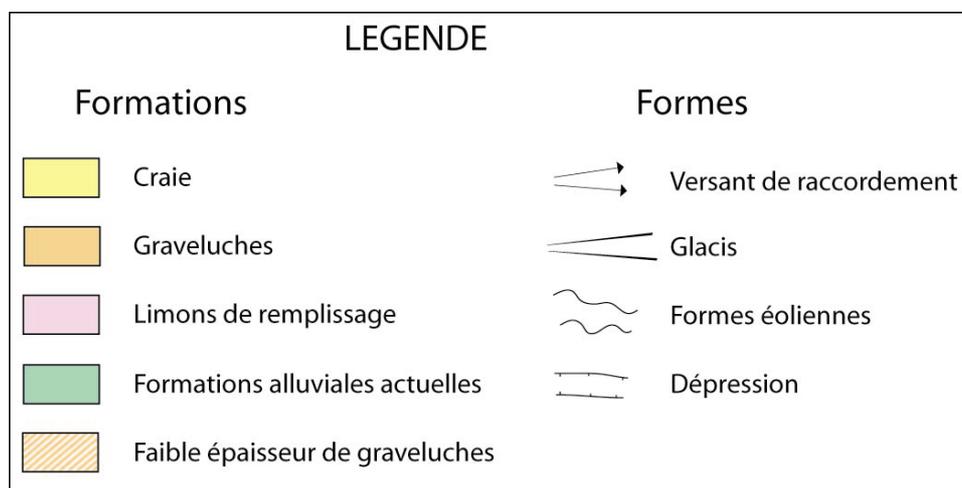


Figure 10 : légende des cartes des formations superficielles

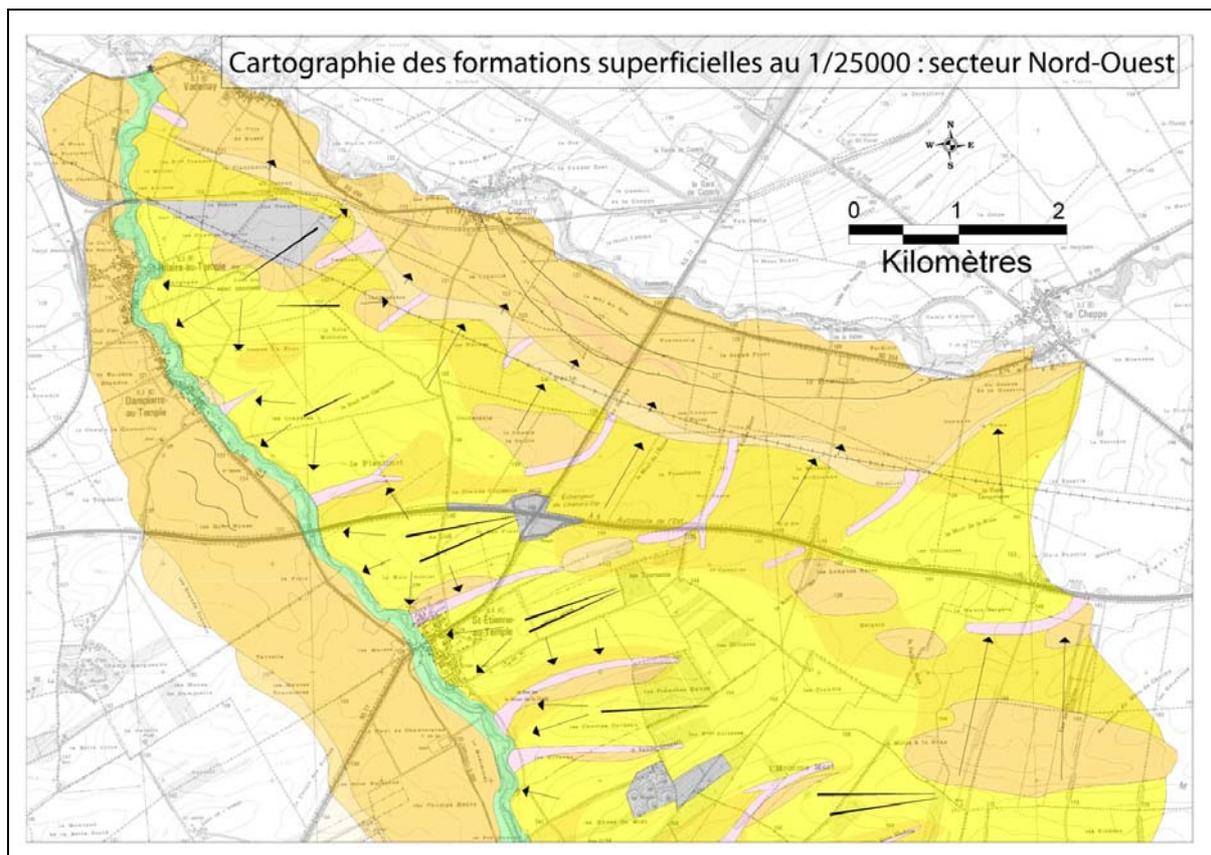


Figure 11 : Secteur Nord-Ouest (P. Pannet, 2006)

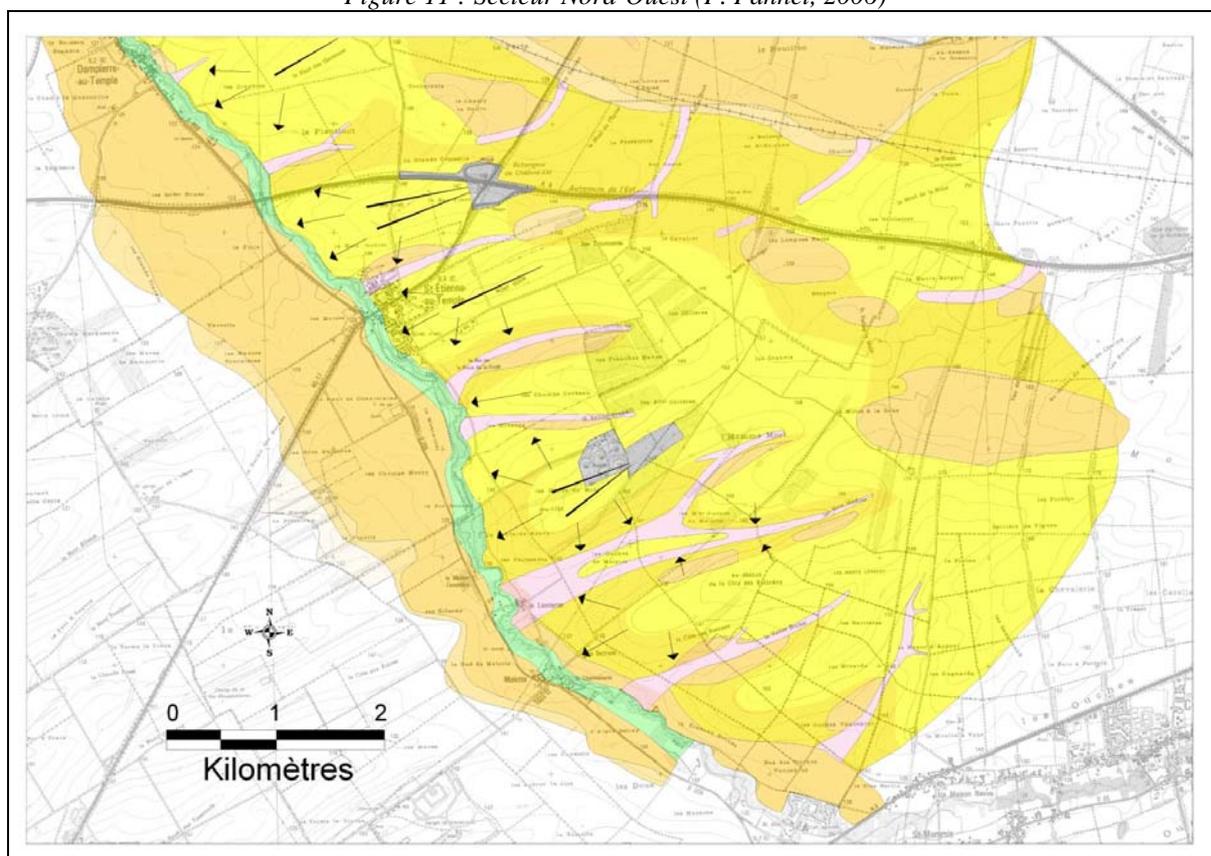


Figure 12 : Secteur Sud-Est (P. Pannet, 2006)

## D. Les formations alluviales

Les formations alluviales correspondent aux graveluches roulées, arrondies par les eaux courantes à faible proportion de limons et aux formations de fond de vallée de la Vesle ou de la Noblette. Elle sont étagées en 5 niveaux (Pannet, 2006).

le niveau 5 (Ve 5) à une altitude relative de +15 m est ponctuel avec des alluvions résiduelles et est représenté en hachuré sur la carte. Assimilée à une terrasse d'ablation ou d'accumulation elles constitue l'interfluve Marne-Vesle entre Saint Etienne au Temple, l'Epine et Châlons-en-Champagne.

Le niveau 4 (+10m) est un niveau discontinu d'un mètre maximum, de graveluches alluviales, qui compte tenu de sa faible extension semble partiellement constitué du démantèlement du niveau 5.

Le niveau 3 (+7 m) est omniprésent le long de la vallée de la Vesle avec une extension latérale maximale dépassant le kilomètre (secteur de La Cheppe et de Livry-Louvercy) et des épaisseurs souvent supérieures à 5 m (figure 13). Les paléoformes alluviales foisonnent avec des chenaux en tresse, un grano-classement de lit gras et maigres caractéristiques de dynamiques de crue successives de type nival en contexte péri-glaciaire.



*Figure 13 : Remplissage périglaciaire d'un vallon dans la craie (Carrière de la Cheppe, photo Lejeune, 2005)*

Enfin, les niveaux 1 et 2 correspondent au lit majeur actuel du cours d'eau. Le niveau 1 correspondant aux crues à courte durée de retour, le niveau 2 correspondant aux crues exceptionnelles à longue durée de retour (2001). Ces niveaux essentiellement limoneux, recouvrent le remplissage de fond de vallée constitué de graveluches alluviales (figure 14 et 15).

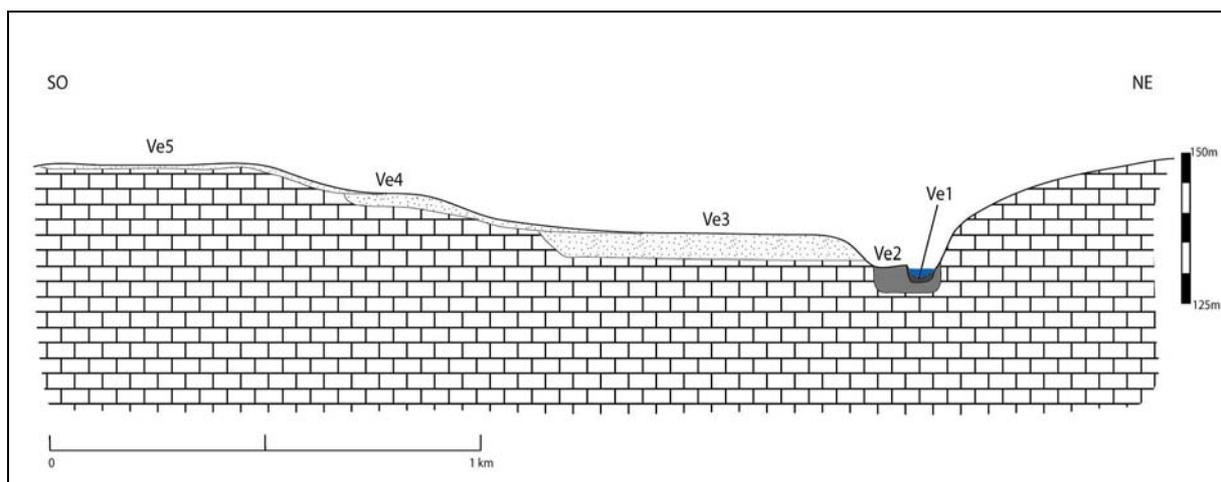


Figure 14 : Transect schématisé des terrasses de la Vesle à Saint Estienne au Temple (Pannet, 2006)

Des sondages à la carrière réalisés par le G.E.G.E.N.A. à la hauteur de Livry-Louvercy ainsi qu'en amont permettent de mieux comprendre la géométrie du champ alluvial actif (lit majeur).

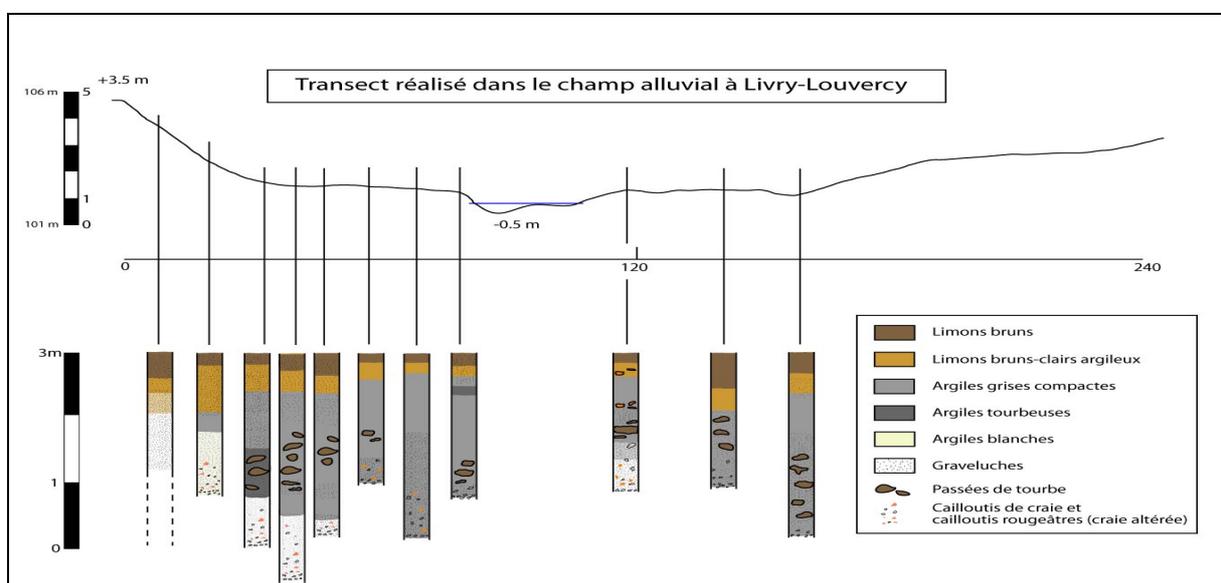


Figure 15 : Transect dans le champ alluvial de la Vesle à Livry-Louvercy (Pannet, 2006)

Le lit majeur présente systématiquement des limons de débordement subactuels reposant sur des argiles grises compactes d'une épaisseur pouvant dépasser le mètre. Des niveaux de tourbe discontinus datés par corrélation avec des travaux réalisés à Beaumont-sur-Vesle (Monrozier, 1973) pour le niveau inférieur à 8600 ans +/- 100 ans BP (Boréal) à 950 ans +/- 50 ans BP (Sub-atlantique).

Ces observations permettent de mettre en évidence des comportements hydrodynamiques contrastés dans le champ alluvial selon la géométrie alluviale et le creusement de lit mineur. En effet, lorsque la Vesle s'incise uniquement dans la partie supérieure des formations alluviales (limons et argiles), elle ne draine pas l'aquifère de la craie (nappe alluviale captive). Par contre lorsqu'elle perce l'écran argileux, elle vidange la zone saturée de l'aquifère crayeux (drainage de la nappe) déterminant des débits spécifiques élevés de la Vesle. Lors des sondages réalisés à la carrière, l'eau remontait dans le trou après avoir percé les niveaux argileux accréditant l'hypothèse d'une nappe captive.

En outre, lorsque les argiles sont peu épaisses ou largement traversées par des niveaux tourbeux, la nappe est semi-captive déterminant des rendements hydrologiques modérés mais soutenus.

Les échanges nappe-rivière sont donc conditionnés non seulement par le gradient hydraulique entre ces deux entités hydrologiques mais également par la géométrie du champ alluvial. On peut

maintenant assimiler les contrastes de débit observés en amont du bassin, sur les profils hydrologiques à la discontinuité des horizons argileux. Une série de transect (en cours) nous permettra d'affiner le rôle des formations alluviales dans les modalités de vidange de l'aquifère crayeux.

## 4. Conclusion

Les trois années durant lesquelles nous avons mené des recherches dans le bassin de la Vesle ont permis d'acquérir un certain nombre de connaissances sur les modalités d'infiltration et de restitution des eaux via la Vesle. Ainsi, nos études ont montré l'importance du karst dans ce bassin-versant. Les conditions d'infiltration des eaux en Montagne de Reims sont dorénavant bien connues. Les études lancées sur Trépail (étude en cours) permet de montrer clairement l'existence de collecteurs souterrains de grande dimension non seulement sous le massif boisé mais aussi sous la partie en vigne. Les pertes d'eau, souvent diffuses dans la craie mais potentiellement vecteur de polluants, sont susceptibles d'alimenter directement ces réseaux de la zone vadose où les vitesses de transit des eaux sont très rapides (plusieurs dizaines de mètres par heure).

En ce qui concerne les modalités de vidange de la zone de restitution, l'influence du karst n'est pour l'instant pas nettement établi en raison du réseau de mesure encore trop lâche. Des travaux visant à montrer l'existence de circulation karstique jusqu'à la Vesle sont envisagés en trouvant des traceurs fossiles (type *Microcodium*).

Enfin des travaux menés sur la connaissance des formations superficielles a permis d'établir une typologie de ces formations ainsi que leur répartition spatiale et leur épaisseur dans le bassin-versant.

Les travaux envisagés pour les années à venir vont s'orienter vers l'acquisition de données nouvelles et chiffrées sur les formations superficielles. Il s'agit ici de caractériser leurs paramètres physiques et hydriques en laboratoire et sur le terrain. L'objectif est maintenant de cartographier la vulnérabilité du bassin de la Vesle à la pollution hydrique en fonction de caractéristiques hydrodynamiques des formations superficielles.

Il s'agit aussi de poursuivre l'étude du karst afin d'en déterminer les caractéristiques dans la zone noyée (ampleur, vitesse de transit...) mais aussi de connaître les modalités de mise en place de ces réseaux souterrains au cours du Quaternaire.

## 5. Bibliographie

- BARBIN V., LAURAIN M. BALLIF J-L., COULON M., GUERIN M., JACQUEMIN F., MARRE A., MULLER J-C., POMEROL B., RAMBAUD D., ROBILLON G., ROUX M., THEVENIN S., TOURTEBATTE P., (1993). *La craie au cœur de la Champagne*, coll. Culture Scientifique, Technique et Industrielle en Champagne-Ardenne, ed. ORCCA, 32p.
- BALLIF J-L, 1998, *Ruissellement et érosion en Champagne sur sols de vignes et de cultures. Observations, mesures, préventions et remèdes*. Ed. Johanet, 158p.
- DEVOS A, LEJEUNE O, BUTAEYE D, PANNET P, CORDONNIER G, BARBIN V, MARRE A ET PASCAL A (2005). *Analyse des modalités d'écoulement des eaux dans le bassin-versant de la Vesle*. Colloque Piren-Seine, Paris : Rapport annuel Piren-Seine, [www.sisyphes.jussieu.fr/internet/piren](http://www.sisyphes.jussieu.fr/internet/piren)
- DEVOS A., LEJEUNE O., BUTAEYE D., BARBIN V., 2006, *Front de karstification et spatialisation des écoulements en pays calcaire : l'exemple du bassin de la Vesle (Marne/France)*, Rapport annuel Piren-Seine, [www.sisyphes.jussieu.fr/internet/piren](http://www.sisyphes.jussieu.fr/internet/piren).
- LAURAIN.M. et al, (1981). *Carte géologique de la France au 1 :50000, feuille de Reims et sa notice explicative*, BRGM, Orléans, 34p.
- LAURAIN.M., (1980). *Données structurales sur la feuille de Reims (1 :50 000) à partir d'observations cartographiques, stratigraphiques et morphologiques* », Vol.17, n°4, *Bull. Inf. Bass. Paris*, pp. 55-59.

- LAURAIN M., GUERIN H., RICHARD J., (1994) : Sortie sur le thème de la graveluche à Menil-Lepinois (Ardennes), le 21/11/1992. *Bull. Soc. Et. Sc. Nat. Reims*, n°8, pp. 52-57.
- LAURAIN M., MARRE A., GUERIN H., (1997). La cryosuccion ; un des mécanismes de formation des poches de cryoturbation sur substrats crayeux, *Annales de la société géologique du Nord*, t.5, 2<sup>ème</sup> séries, pp. 373-379.
- LAURAIN M., GUERIN H., MARRE A., RICHARD J., (1995). Processus génétiques à l'origine des formations de pente à graviers de craie de Champagne, *Permafrost and periglacial processes*, vol.6, pp. 103-108.
- LEJEUNE.O., (2000). *Le karst et les mouvements de terrain sur le versant nord de la Montagne de Reims de Villers-Allerand au Mont Tournant*, mémoire de D.E.A., Université de Lille 1, 140p.
- LEJEUNE.O., (1999). *Les Mouvements de terrain sur le flanc septentrional de la Montagne de Reims entre la commune de Verzenay et le lieu-dit le Mont Tournant*, Mémoire de maîtrise, Université de Reims, 129p.
- LEJEUNE O., DEVOS A., (2001). Caractéristiques et spécificités du karst de la Montagne de Reims – comparaison avec les autres karsts de contacts lithostratigraphiques de l'Est du Bassin parisien, *Revue Géographique de l'Est*, tome XLI, n°4, pp. 165-175.
- LEJEUNE O., DEVOS A. (2004). Apports des méthodes hydrologiques dans la compréhension des écoulements en pays calcaires, *Karstologia* N°44 – 2/2004, pp. 15-24.
- MONROZIER L., (1973) : *Etude de la pédogenèse initiale sur matériaux résiduaire des industries de la soude*. Thèse Nancy, ronéo, 109p.
- PANNET P., 2006, Les formations superficielles du bassin versant de la Vesle : cartographie, forme et dynamiques associées, Mémoire de master 2, Université de Reims, 142p.
- RODET.J., (1991). *La craie et ses karsts*, thèse de troisième cycle, Elboeuf, 560p.
- SCHMITT C., CHABART M., (2005). *Contribution au programme AQUAL 2005. Amélioration des connaissances sur les transferts et l'écoulement des eaux souterraines dans le bassin de la Vesle. Phase 1 : définition d'un réseau de suivi piézométrique sur le bassin de la Vesle*. BRGM/RP-54267-FR, 52p.

## Sommaire et tables des figures et tableau

1.	Modalités d'infiltrations en zone crayeuse.....	1
A.	Modalités d'infiltration et front de karstification.....	2
B.	Des données nouvelles sur le karst de Trépail : un karst vert connu et un karst « occulte » sous vignoble .....	4
2.	Les modalités de vidange aquifère par la Vesle.....	5
3.	Les résultats de l'année 2006. ....	10
A.	Les nouvelles données hydrométriques sur la Vesle.....	10
B.	Typologie et cartographie des formations superficielles.....	10
C.	La cartographie des formations superficielles de la craie. ....	12
D.	Les formations alluviales .....	15
4.	Conclusion.....	17
5.	Bibliographie.....	17

Figure 1 :	Schéma fonctionnel du karst du bassin-versant de la Vesle .....	2
Figure 2 :	Schéma conceptuel des karsts de bas plateaux .....	3
Figure 3 :	Profils hydrologiques de la Vesle lors de trois campagnes de mesures .....	6
Figure 4 :	Profils des températures et des conductivités de la Vesle lors de trois campagnes de mesures.....	7
Figure 5 :	Profils géochimiques du $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{NO}_3$ , $\text{NO}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{Fe}^{2+}$ .....	8
Figure 6 :	Schéma d'écoulement en zone noyée entre l'Aisne et la Marne dans la traversée du plateau crayeux (d'après Lejeune et Devos, 2004 modifié).....	9
Figure 7 :	Toposéquence des formations indigènes à la craie (M. Laurain, H. Guérin, A. Marre, J. Richard, 1995) .....	11
Figure 8 :	rôle de la déflation éolienne sur l'épaisseur des graveluches (sources Laurain et al., 1994).....	12
Figure 9 :	Schéma de la dynamique éolienne de mise en place de certaines graveluches : exemple du Vaux Madon (P. Pannet, 2006).....	13
Figure 10 :	légende des cartes des formations superficielles .....	13
Figure 11 :	Secteur Nord-Ouest (P. Pannet, 2006).....	14
Figure 12 :	Secteur Sud-Est (P. Pannet, 2006).....	14
Figure 13 :	Remplissage périglaciaire d'un vallon dans la craie (Carrière de la Cheppe, photo Lejeune, 2005).....	15
Figure 14 :	Transect schématique des terrasses de la Vesle à Saint Estienne au Temple (Pannet, 2006) .....	16
Figure 15 :	Transect dans le champ alluvial de la Vesle à Livry-Louvercy (Pannet, 2006) ....	16

Tableau 1 :	Situations hydrologiques des 4 campagnes de mesures à la station de Beaumont-sur-Vesle .....	6
-------------	--	---