

*Première analyse des composantes
des écoulements souterrains du bassin versant
de la Somme en période de crues*

juillet 2001
BRGM/RP-51030-FR



*Première analyse des composantes
des écoulements souterrains du bassin versant
de la Somme en période de crues*

V. Mardhel, Ph. Negrel, T. Pointet

juillet 2001
BRGM/RP-51030-FR



Mots clés :

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

Mardhel V., Negrel Ph., Pointet T. (2001) - Première analyse des composantes des écoulements souterrains du bassin versant de la Somme en période de crues. BRGM/RC-51030-RP ? X p., 26 fig., 1 tabl.

Synthèse

Les crues observées dans le bassin de la Somme, au printemps 2001, ont fait apparaître le rôle important que pouvaient jouer les eaux souterraines si certaines conditions se trouvaient réunies, à savoir un contexte géologique et des conditions climatiques particulières pendant l'hiver et le printemps.

Dans le cadre de la mission d'enquête conduite par M. C. Lefrou qui a été mise en place, le BRGM a fourni des éléments permettant de caractériser le comportement des nappes au vu des dispositifs d'observation existants, bien que ceux-ci ne fussent pas à priori dédiés à la surveillance des hautes eaux et des risques induits. L'exploitation de ces données et des données disponibles sur l'occupation du sol et l'activité agricole ont été remises à la Commission d'enquête. Des analyses chimiques et isotopiques ont été exploitées depuis. C'est l'ensemble de ces éléments qui constitue le présent rapport.

Il apparaît que le fonctionnement hydraulique du bassin doit beaucoup au comportement des aquifères de la craie qui occupent le volume de terrain des plateaux, de la surface du sol jusqu'à environ 200 m de profondeur. Ces aquifères sont particulièrement puissants, réactifs, l'infiltration y est prépondérante ce qui contribue à grossir la masse d'eau stockée pendant la période hivernale. Le mode de vidange est particulier avec un effet lent et semble-t-il un effet rapide, la coïncidence des deux conduisant à la situation de crise.

Le travail conduit à des propositions en matière d'équipement du bassin, en vue du suivi sur les années à venir, en distinguant les zones à comportement lent, désignées pour un suivi permanent, et les zones à réactions rapides qui devront faire l'objet d'une attention particulière en périodes de fortes pluies.

Sommaire

1. Introduction.....	7
2. Informations collectées à ce jour	9
3. Analyse descriptive des données recueillies.....	11
3.1. Hydrogéologie.....	11
3.2. Occupation du sol.....	12
3.3. Densités de drainage	12
3.4. La piézométrie en situation moyenne	12
3.5. Carte des directions d'écoulement.....	12
3.6. Carte du recouvrement.....	13
3.7. Les gradients	13
3.8. Hydrochimie.....	13
3.8.1. Mode opératoire	13
3.8.2. Interprétation des analyses.....	14
3.9. Approche comparée des données relatives aux eaux superficielles et souterraines	15
3.10. Zonage de la recharge observée sur la période de juin 2000 à avril 2001	17
3.11. Contribution de la zone non saturée.....	17

4. Recommandations et conclusions	19
4.1. Zones contributives.....	19
4.2. Estimation des débits	20
4.3. Déroulement possible des actions	22

Liste des illustrations

- Carte 1 - Département de la Somme, altimétrie et hydrographie.
- Carte 2 - Occupation des terres (source de données Corine LandCover IFEN).
- Carte 3 - Hydrographie (source : BD CARTHAGE).
- Carte 4 - Localisation des points inventoriés en BSS au 01/05/2001.
- Carte 4bis -: Localisation des sources inventoriées en BSS au 01/05/2001.
- Carte 5 - Localisation des points de suivi quantitatif des eaux souterraines et superficielles.
- Carte 6 - Entités hydrogéologiques - Référentiel version 1.
- Carte 7 - Piézométrie Basses Eaux.
- Carte 8 - Direction d'écoulement des eaux souterraines déduites de la carte piézométrique en situation moyenne.
- Carte 9 - Epaisseur du recouvrement de la nappe.
- Carte 10 - Gradient hydraulique des eaux souterraines déduit de la carte piézométrique en situation moyenne.
- Carte 11 - Gradients piézométriques des eaux souterraines déduits de la carte piézométrique en situation moyenne.
- Carte 12 - Réseau de drainage des eaux superficielles (BD Carthage), densité de drainage.
- Carte 13 - Localisation des stations de jaugeage de l'Avre (fonds : topographie/courbes isopiézes).
- Carte 14 - Localisation de la station de jaugeage de la Selle (fonds : topographie/courbes isopiézes).
- Carte 15 - Localisation de la station de jaugeage de l'Allue (fonds : topographie/courbes isopiézes).

- Carte 16 - Localisation de la station de jaugeage de la Nièvre (fonds : topographie/courbes isopiézes).
- Carte 17 - Estimation des niveaux piézométriques : 63 points de référence - interpolation simple.
- Carte 18 - Evolution de la piézométrie par rapport aux basses eaux établies à la fin du mois de septembre 2000.
- Fig. 19 - L'Avre (station de jaugeage de Moreuil et de l'Echelle Saint-Aurin).
- Fig. 20 - La Selle (station de jaugeage de Plachy-Buyon).
- Fig. 21 - L'Hallue (station de jaugeage de Blavencourt).
- Fig. 22 - La Nièvre (station de jaugeage de l'Etoile).
- Fig. 23 - Amplitude des variations observées (1994-05/2001).
- Fig. 24 - Relations nappes-rivières : sources et mélange.
- Fig. 25 - Relations nappes-rivières : origine des eaux.
- Fig. 26 - Relations nappes-rivières : apports naturels, apports anthropiques.

1. Introduction

Le substratum du département de la Somme est principalement crayeux dans le secteur d'étude. La craie y constitue le principal réservoir aquifère dont le mur est formé par des niveaux argilo-marneux. La nappe est libre et fluctue en fonction de la recharge naturelle de l'aquifère. Cette recharge est assurée principalement par les pluies efficaces d'hiver et d'automne qui interviennent lorsque le couvert végétal est réduit.

Les exutoires naturels visibles de ces nappes sont constitués par les sources alimentant les cours d'eau. Il s'agit de sources dites de dépressions qui apparaissent lorsque la surface de la nappe est recoupée par le relief. Elles se concentrent dans les vallées du secteur de l'étude. Des échanges entre la nappe de la craie et les eaux de surface, par mode «per ascensum», constituent des exutoires invisibles tout au long de l'année.

Dans le département de la Somme, le ruissellement hivernal, hors périodes exceptionnelles, demeure faible (20 % environ), 80 % du débit moyen des cours d'eau est assuré par la contribution des eaux souterraines. Hors circonstances exceptionnelles toujours, les crues des cours d'eau devancent en moyenne d'un mois les hautes eaux des nappes que l'on observe vers la fin du mois de mai.

2. Informations collectées à ce jour

- Fonds cartographiques du SIG, altimétrie issue du modèle numérique de terrain au pas de 5 mètres (carte n° 1).
- Occupation des terres : fond cartographique Corine LandCover (carte n° 2).
- Réseau hydrographique du département de la Somme : BD-CARTHAGE (carte n° 3) et localisation des points de prélèvement d'eau qui ont donné lieu à des analyses chimiques et isotopiques.
- Ouvrages recensés en Banque des données du Sous-Sol (BSS) : parmi 7 471 points recensés en banque de données du sous-sol, 2 339 points mentionnent un niveau statique des eaux pour une date donnée (carte n° 4) et sources inventoriées (carte n° 4bis).
- Mesures saisonnières sur les points des réseaux quantitatifs de suivi des eaux souterraines (carte n° 5).
- Inventaire des données piézométriques disponibles (tabl. 1).

3. Analyse descriptive des données recueillies

3.1. HYDROGÉOLOGIE

On aura recours aux données du référentiel hydrogéologique national conçu dans le cadre du RNDE (Réseau national des données sur l'eau (carte n° 6)

Les entités hydrogéologiques (cartes 6 à 6-i) (au sens référentiel hydrogéologique national établi en 2000) sur le territoire de la Somme, sont présentées dans le tableau suivant. Il s'agit d'aquifères mono-couche. Trois entités principales se distinguent :

- 004 a,b,c,d, 005 c,d, en rive droite de la Somme,
- 007a, pour le plateau du Santerre,
- 008 a et b, en rive gauche de la Somme.

Code	Nom	Nature	Type	Définition
004a (fiche)	PONTHIEU/SUD DE L'AUTHIE	Libre et captif	Monocouche	Système aquifère constitué des formations crayeuses s'étendant au sud de la vallée de l'Authie.
004b (fiche)	PONTHIEU/NORD D'ABBEVILLE	Libre et captif	Monocouche	Système aquifère constitué des formations crayeuses situées au nord d'Abbeville.
004c (fiche)	PONTHIEU/AMIENOIS NORD OUEST	Libre et captif	Monocouche	Système aquifère constitué des formations crayeuses situées au nord-ouest d'Amiens.
004d (fiche)	PONTHIEU/AMIENOIS NORD	Libre et captif	Monocouche	Système aquifère constitué des formations crayeuses situées au nord d'Amiens et à l'ouest de l'Ancre.
005c (fiche)	CAMBRESIS/SUD DE BAPAUME	Libre et captif	Monocouche	Système aquifère constitué des formations crayeuses situées au sud de Bapaume, entre l'Ancre, la Somme et la Tortille.
005d (fiche)	CAMBRESIS/EST DE PERONNE	Libre et captif	Monocouche	Système aquifère constitué des formations crayeuses situées entre Péronne, Saint-Quentin, la Somme, la Tortille et le Canal de Saint-Quentin.
007a (fiche)	SANTERRE/SANTERRE OUEST	Libre et captif	Monocouche	Système aquifère constitué des formations crayeuses formant le plateau du même nom entre la Somme et l'Avre et s'étendant pour partie dans le Bassin Seine-Normandie.
008a (fiche)	PICARDIE/VIMEU		Monocouche	Système aquifère constitué des formations crayeuses comprises entre les rivières Somme et Bresles et s'étendant en partie dans le Bassin Seine-Normandie.
008b (fiche)	PICARDIE/AMIENOIS SUD		Monocouche	Système aquifère constitué des formations crayeuses séno-turonniennes situées au sud d'Amiens et de la vallée de l'Avre et s'étendant en partie dans le Bassin Seine-Normandie.
503d (fiche)	MARQUENTERRE/ENTRE L'AUTHIE ET LA BAIE DE SOMME	Libre et captif	Monocouche	Domaine constitué des formations sablo-argileuses localement graveleuses, et de terrains d'âge quaternaire de la plaine côtière du Marquenterre situées entre les baies d'Authie et de la Somme, contenant essentiellement une nappe superficielle libre.

3.2. OCCUPATION DU SOL

La couverture Land Cover (carte n° 2) fait apparaître une occupation du sol assez homogène, composée à 60 à 80% de terres arables, et pour le reste de prairies et bois. Un sous-ensemble se distingue, c'est une partie du plateau du Santerre (entité 007a) qui comporte une part de terres arables légèrement plus importante (la différence porte sur 10 à 15 % de la superficie du sous-bassin) au détriment des prairies et bois, autrement dit de couvertures qui sont en végétation l'hiver et qui auraient pu avoir un pouvoir de rétention d'eau plus important.

3.3. DENSITÉS DE DRAINAGE

On observe des différences sensibles de la densité de drainage (rapport des longueurs cumulées des cours d'eau pérennes à la superficie du sous-bassin), sous-bassin par sous-bassin : la partie du Plateau du Santerre correspondant aux bassins versants de l' Hallue, de la Luce et de la Somme rive gauche présentent des densités de drainage plus faibles qu'en moyenne sur l'ensemble du bassin, indiquant une propension plus grande à l'infiltration qu'ailleurs dans le bassin. En revanche, le versant sud de la Somme, en moyenne altitude et pour les parties ouest et sud-ouest rive gauche du bassin (entité 008a), et à un moindre degré entités 004d et 005c (entre Albert et Péronne) présentent des concentrations relativement élevées de segments de réseau hydrographique d'ordre 1 c'est-à-dire les cours d'eau naissant, ce qui indique une propension comparativement plus grande au ruissellement (carte n° 12).

3.4. LA PIÉZOMÉTRIE EN SITUATION MOYENNE

Sur le bassin versant de la Somme, en situation moyenne, la cote piézométrique s'établit entre 0 et 180 m d'altitude. La cote moyenne piézométrique s'établit à l'altitude de 52 m.

La nappe de la craie reproduit d'une façon assez cohérente la morphologie du relief topographique en atténuant ses irrégularités (carte n° 7).

3.5. CARTE DES DIRECTIONS D'ÉCOULEMENT

En situation moyenne, la carte des directions d'écoulement est calculée à partir de la piézométrie. Le bassin versant souterrain n'est pas superposable au bassin versant superficiel : un tiers du sous-bassin souterrain 008a s'écoule en direction du sud-ouest, et de même pour le sous-bassin 008b. Les sous-bassins 004a et 003b ne contribuent pas non plus à l'alimentation de la Somme. Ce qui conduit à remarquer que l'impluvium par kilomètre de cours de la Somme est bien plus faible dans le demi-bassin aval que dans le demi-bassin amont.

Les principales directions d'écoulement observées sont conformes aux directions d'écoulement des eaux superficielles. La nappe de la craie s'écoule vers les vallées

principales. Les cours d'eau font fonction de drains et sont alimentés en permanence par les nappes (carte n° 8).

3.6. CARTE DU RECOUVREMENT

De la carte piézométrique établie en situation moyenne, par comparaison avec le modèle numérique de terrain au pas de 50 m, on établit la *carte de l'épaisseur moyenne du recouvrement* de la nappe.

De manière systématique, les vallées humides principales montrent un recouvrement de la nappe très faible, parfois nul, ce qui confirme la faible capacité d'amortissement que présentent ces vallées face à un flux important venant d'un versant ou de la surface (carte n° 9). On observe une dissemblance, nette entre le plateau du Santerre et le reste du bassin. Le plateau présente un recouvrement dans la tranche 10-30 m qui lui donne à la fois une capacité d'absorption et d'amortissement assez importante, mais en cas de saturation de la zone non saturée (ou de remontée de nappe jusqu'à l'affleurement) lui donne une propension à « déborder » en premier si, comme on peut le penser, la porosité efficace de l'aquifère est comparable à ce qu'elle est ailleurs. En revanche, on observe des recouvrements bien plus importants en rive droite et en rive gauche de la Somme en moyenne altitude, avec des conclusions conformes.

3.7. LES GRADIENTS

Ils expliquent l'effet moteur qui s'applique aux masses d'eau. On approche correctement le gradient à partir de la carte des pentes relevées depuis la carte piézométrique. Cette carte fait apparaître les limites de zones d'influences, par exemple les lignes de crêtes piézométriques. Elle fait également apparaître des zones de fort gradient hydraulique situées au voisinage des rivières, par exemple le secteur situé en rive gauche de la Somme entre les communes de Fontaines-sur-Somme et Abbeville (carte n° 10).

La pente de la nappe est très variable, elle est conditionnée par la perméabilité du réservoir mais aussi par le dénivelé topographique qui conditionne lui-même la dénivellation de la nappe. La carte suivante présente ces gradients dans une teinte variant suivant la topographie déterminée par le modèle numérique de terrain. Les teintes sont assombries pour les zones de faible altitude et éclaircies pour les zones d'altitude plus élevée (carte n° 11).

3.8. HYDROCHIMIE

3.8.1. Mode opératoire

Une campagne de prélèvements a été faite au maximum de la crue (débit de l'ordre de 100 m³/s à Abbeville). Les points de prélèvements (carte n° 3) ont été répartis :

- sur des puits, forages et résurgences dans la nappe de la craie ;
- sur la Somme d'amont en aval (4 points) ainsi que sur les affluents principaux (l'Hallue, l'Ancre, l'Avre et la Selle).

Les analyses concernent :

- les éléments bilantiels (*anions* : bicarbonates, nitrates, sulfates, chlorures, fluorures, *cations* : sodium, potassium, calcium et magnésium, rubidium, strontium) ;
- les isotopes de la molécule de l'eau (oxygène et de l'hydrogène) ;
- les isotopes du strontium.

Les points échantillonnés sur la Somme sont désignés de l'amont à l'aval (Somme-1 : Neuville-lès-Bray, à Somme-4 : Abbeville).

3.8.2. Interprétation des analyses

La variété de composition des *eaux souterraines* résulte, soit de variations lithologiques dans la craie, soit d'apports anthropiques. La variété de composition des *eaux de rivières*, chimique et isotopique, est liée à l'influence de tous les apports, souterrains, superficiels, plus ou moins marqués par des apports anthropiques (engrais). L'étude des faciès chimiques des eaux (fig. 24 à 26) renseigne fondamentalement sur la contribution des eaux souterraines aux crues. Elle confirme et apporte des éléments nouveaux à l'analyse hydrodynamique.

Les concentrations relativement plus élevées en chlore et strontium mesurées dans l'Avre sont le reflet d'apports anthropiques importants en éléments chimiques pour l'agriculture qui, au cours du lessivage des champs par le ruissellement, sont passées en solution dans les eaux et ont atteint la rivière. Dans une séquence pluie-ruissellement-infiltration et séjour en nappe-résurgence, les signatures chimiques et isotopiques produites d'une part par le lessivage des sols et d'autre part par la réactivité chimique de la craie se placent dans cet ordre. La signature d'une eau qui a séjourné en nappe a toute chance de masquer la signature « ruissellement ». Une signature « ruissellement » atteste d'une quasi-absence de passage dans le réservoir souterrain. On peut en conclure que l'alimentation de l'Avre en cette période était en bonne partie du ruissellement probablement par suite de la saturation du réservoir souterrain.

Les eaux de nappes ne présentent pas cette surcharge chimique, ce qui les distingue et permet de suivre la progression du mélange des unes et des autres dans la Somme. La chimie des eaux de la Somme traduit d'amont en aval une évolution depuis cette alimentation par le ruissellement, progressivement diluée par des eaux souterraines, beaucoup plus abondantes, de chimie différente, venues des versants, au point que la signature chimique des eaux de la Somme se rapproche de celle des nappes au point le plus aval. La progressivité des variations du faciès chimique de l'eau de la Somme donne une indication sur les segments de cours d'eau le long desquels l'apport des nappes a été le plus significatif.

Graphiquement, la représentation des faciès chimiques des eaux de rivières montre des points répartis entre un pôle représenté par l'Avre et un triangle de points groupés, représentatif des eaux souterraines. C'est ce que montrent les figures 24 à 26 qui, à travers plusieurs éléments chimiques et les isotopes du strontium, conduisent à une même conclusion.

3.9. APPROCHE COMPARÉE DES DONNÉES RELATIVES AUX EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES

L'Avre

L'Avre est située en rive gauche de la Somme, à l'amont de la ville d'Amiens. Deux stations de jaugeage sont suivies, L'Echelle St-Aurin en amont et Moreuil en l'aval. Entre ces deux stations, l'Avre reçoit un affluent : le Trois Doms.

- Carte de localisation (carte n° 13).
- Hydrogrammes comparés (graphique : fig. 19).

La comparaison des hydrogrammes montre :

- l'aspect synchrone de la remontée de la nappe dans les piézomètres voisins avec l'apparition des hautes eaux dans la rivière (ex. : janvier 2000) ;
- le décalage présent entre les plus hautes eaux observées dans les piézomètres et l'amplitude maximale de la crue mesurée aux stations de jaugeage (mai-juin 1999). Ce décalage atteint deux à trois mois ;
- les hydrogrammes montrent également que la nappe d'eau souterraine n'a pas terminé sa remontée au terme de la période étudiée (avril 2001).

La Selle

La Selle est située en rive gauche de la Somme, à l'aval de la ville d'Amiens. Elle est suivie par une station de jaugeage située sur le territoire de la commune de Plachy-Buyon.

- Carte de localisation (carte n° 14).
- Hydrogrammes comparés (graphique : fig. 20).

La comparaison des hydrogrammes montre :

- l'aspect synchrone de la remontée de la nappe dans les piézomètres voisins avec l'apparition des hautes eaux dans la rivière avec cependant une atténuation des phénomènes observés pour le secteur précédent et un décalage temporel plus important entre les périodes de hautes eaux des eaux souterraines et superficielles ;
- la nappe n'a pas terminé sa remontée au terme de la période décrite par les hydrogrammes (avril 2001).

L'Hallue

L'Hallue est située en rive droite de la Somme, à l'amont d'Amiens, à l'aval de Corbie.

- Carte de localisation (carte n° 15).
- Hydrogrammes comparés (graphique : fig. 21).

La comparaison des hydrogrammes montre :

- l'aspect synchrone de la remontée de la nappe dans les piézomètres voisins avec l'apparition des hautes eaux dans la rivière ;
- une remontée et une baisse des eaux souterraines nettement dissymétriques en amont du secteur. Cette dissymétrie est marquée par de rapides montées des eaux suivies d'un amortissement puis la décrue de la nappe ;
- le décalage présent entre les plus hautes eaux observées dans les piézomètres et l'amplitude maximale de la crue mesurée aux stations de jaugeage atteint un mois, la décrue des eaux souterraines se produisant plus rapidement après le passage des crues de la rivière.

La Nièvre

La Nièvre est située en rive droite de la Somme, à l'amont d'Abbeville, à l'aval d'Amiens.

- Carte de localisation (carte n° 16).
- Hydrogrammes comparés (graphique : fig. 22).

La comparaison des hydrogrammes montre :

- l'aspect synchrone de la remontée de la nappe dans les piézomètres voisins avec l'apparition des hautes eaux dans la rivière ;
- une remontée et une baisse des eaux souterraines nettement dissymétriques en amont du secteur. Cette dissymétrie est marquée par de rapides montées des eaux suivies d'un amortissement puis de la décrue de la nappe ;
- le décalage présent entre les plus hautes eaux observées dans les piézomètres et l'amplitude maximale de la crue mesurée aux stations de jaugeage atteint un mois, la décrue des eaux souterraines se produisant plus rapidement après le passage des crues de la rivière.

La remontée de la nappe se poursuit donc au-delà de la période de crue des rivières, elle intervient un à deux mois après, elle apparaît plus tard en rive gauche de la Somme. Ce décalage est également représenté sur le diagramme des amplitudes comparées entre les crues des eaux souterraines et celles des rivières (graphique : fig. 23).

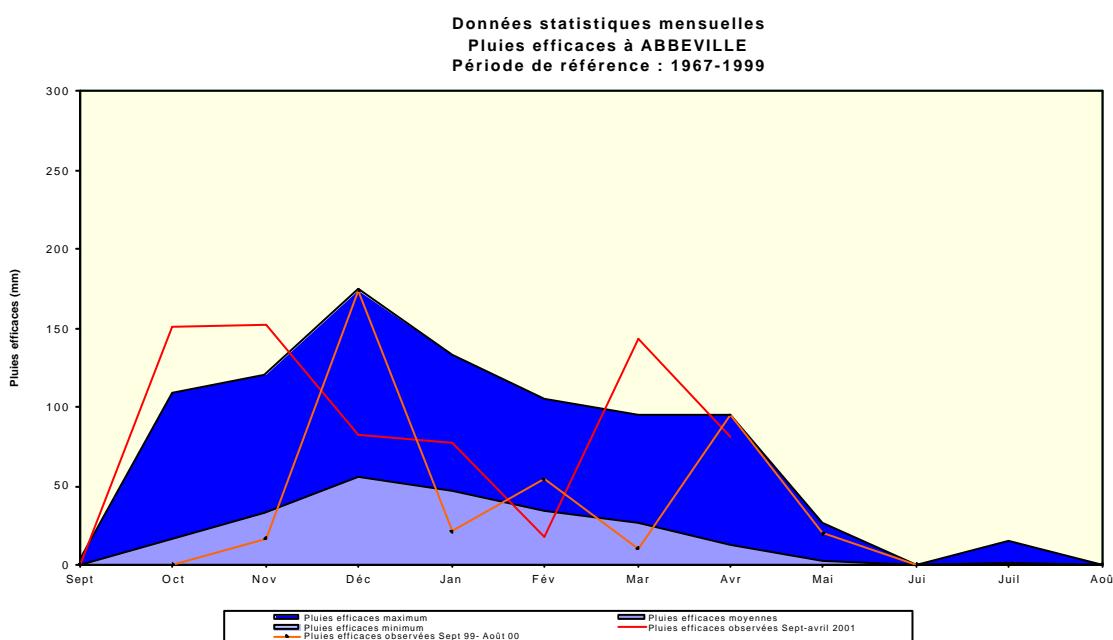
3.10. ZONAGE DE LA RECHARGE OBSERVÉE SUR LA PÉRIODE DE JUIN 2000 À AVRIL 2001

Le zonage présenté a été élaboré à partir du réseau des 63 piézomètres suivis dans le département de la Somme. L'interpolation réalisée ne tient pas compte de la topographie des terrains naturels ni des limites des systèmes hydrogéologiques. Son objectif est de montrer les grandes tendances évolutives des masses d'eaux souterraines au cours des 10 derniers mois du suivi (juin 2000 à avril 2001).

- Lecture comparative de l'ensemble des cartes de l'évolution piézométrique mensuelle déduite des 63 piézomètres suivis (cartes d'évolution n° 17).
- Lecture comparative de l'ensemble des cartes des variations piézométriques observées comparativement à l'étiage établi en septembre 2000 (cartes comparatives n° 18).

3.11. CONTRIBUTION DE LA ZONE NON SATURÉE

Sur différentes entités, des simulations globales de type pluie-niveau (modèle « Gardenia » du BRGM) ont été entreprises. Ces simulations supposent un calage sur une série de données de référence, en l'occurrence plusieurs années hydrologiques normales. En année normale, un tel modèle calé permet de prévoir la réponse de la nappe sous l'effet de sa recharge par les pluies, sous la forme d'une chronique de montée de son niveau mois par mois.



En 2001 et pour plusieurs sous-bassins, ces modèles ont donné des indications très dissemblables aux remontées de nappes qui ont été observées, laissant entrevoir que des compartiments du sous-sol qui habituellement ne participent pas à ces remontées ont été activés, en cette année exceptionnelle.

Il s'agit vraisemblablement de la zone dite non saturée, désignée plus haut comme « recouvrement de la nappe ». Dès lors, le système naturel n'est plus semblable à lui-même. Le modèle, qui répond aux sollicitations du milieu physique sur lequel il a été conçu et calé, n'a pas pu prévoir les effets qui ont été observés.

Cette observation est actuellement une hypothèse et demande vérification par un suivi dans les entités concernées par la montée en saturation de la zone non-saturée.

4. Recommandations et conclusions

4.1. ZONES CONTRIBUTIVES

Sur l'ensemble de la zone d'étude, les bassins versants souterrains et superficiels, sont d'extension inégale, le bassin versant souterrain étant un peu plus petit que le bassin versant superficiel. A l'aval de la ville d'Amiens, dans la partie est du département, le demi-bassin souterrain ne compose qu'environ 40 % de la superficie du bassin total. En rapprochant cette observation avec :

- la dissemblance des recouvrements de nappe dans la même répartition amont aval ;
- les différences observées dans les densités de drainage, une première description des écoulements peut être proposée et quelques recommandations formulées :
 - . **le demi-bassin amont** (il comporte notamment le plateau du Santerre) fournit le flux souterrain principal qui fait suite à une recharge lente durant la période hivernale. La montée en niveau de la nappe y est progressive ; son tarissement est lent. Les débits, en rapport avec l'impluvium concerné, peuvent être importants ;
 - . une fois atteinte la saturation du réservoir souterrain, le ruissellement y prend plus d'importance. Il conditionne pour une bonne part l'importance (« l'ordre de grandeur ») de la crue.

Recommandation :

- *assurer un suivi en continu de la montée des nappes de chacune des entités concernées (004d, 005c, 005d, 007a, 008b) dès l'automne en vue d'estimer l'importance des débits moyens de fin d'hiver.*

Dans le cas de l'Avre (et probablement pour d'autres entités), plus la situation de la nappe est haute et plus le point de hautes eaux de la nappe apparaît avec retard par rapport au point de hautes eaux du ruissellement. Ceci fait entrevoir une prolongation du tarissement de la nappe d'autant plus longue que l'année hydrologique aura été humide.

Recommandation :

- *lier les prévisions sur la décrue (en durée) à l'état hydraulique du système (en intensité), poursuivre les suivis deux mois au minimum après les pics de pluviométrie.*

. Le demi-bassin aval (il inclut Abbeville) se caractérise par :

- un ruissellement proportionnellement plus important que celui du demi-bassin versant amont,
- un impluvium moins important, rapporté à la longueur du cours de la Somme, qui suggèrera un rôle globalement moins intense des contributions de nappes.

Cependant, deux observations laissent entrevoir que cette partie du bassin hydrogéologique (donc cette partie de la nappe), joue un rôle important. Il s'agit :

- . d'une part, des forts gradients constatés ;
- . d'autre part, du fait que la partie rive droite réagit beaucoup plus vigoureusement que toute autre partie du bassin¹.

Ces observations paraissent concourir à la définition de l'une des composantes importantes de l'ensemble des écoulements. Cette composante donnerait une dimension exceptionnelle aux crues en terme de déclenchement (caractère brutal) et en terme de facteur temps comparé aux phénomènes observés dans le domaine des eaux superficielles. De ce fait, un suivi de cette zone nous paraît important.

Recommandations :

- *Suivre -au mieux sur chacune de ces entités -à défaut sur la plus représentative- les niveaux de la nappe à partir de l'automne, à cadence au moins hebdomadaire, sinon quotidienne à partir de l'hiver.*
- *Suivre la montée de niveau qui peut survenir au sein de la zone non saturée lors des épisodes pluvieux intenses (facteur essentiel pour comprendre les mécanismes de déclenchement des crues).*

Au sein du demi-bassin aval, la densité de drainage et la pente topographique de l'unité 008a située en rive gauche de la Somme, à peu de distance du fleuve, laisse entrevoir une contribution au ruissellement qui peut être intense à l'occasion de tout événement pluvieux de forte importance. Cette contribution peut venir s'ajouter aux autres composantes de la séquence de très hautes eaux pour donner une dimension exceptionnelle à la crue de fin d'hiver.

Recommandation :

- *Combiner le suivi de la situation des nappes et de la composante ruisselante à l'écoulement général du bassin.*

4.2. ESTIMATION DES DÉBITS

Une crue est un *phénomène intégrateur* qui résulte de l'action combinée :

- des contributions des différents compartiments hydrologiques du bassin versant au cours de leur vidange gravitaire, et de leur variabilité saisonnière ;
- de la capacité du bassin superficiel, à l'aplomb et en aval de la zone inondée, à évacuer plus ou moins facilement les surplus d'eau (pente naturelle, modes d'occupation du sol pouvant faire obstacle aux écoulements de surface) ;

¹ La partie située en rive droite du bassin aval, peut manifester des montées en niveau subites (comme nous l'avons vu pour l'Hallue) et des baisses rapides. Elle concerne les entités hydrogéologiques 004b, 004c et 004d, elle est située à peu de distance de la Somme vers Abbeville.

- du ralentissement de l'infiltration que l'occupation des sols (types de peuplements végétaux) peut engendrer dans les parties hautes des sous-bassins (prévention).

Dans l'état actuel des connaissances, on ne traitera que du premier point. Une fois le bassin mieux connu dans toutes ses dimensions, il sera possible d'aborder les points 2 et 3.

L'analyse qui vient d'être faite rapidement, sur la base des données disponibles, s'appuie sur l'observation des niveaux.

Pour passer de la notion de niveau à la notion de volume (volume d'eau dans les nappes), il est nécessaire de réunir un faisceau d'informations dont on ne dispose pas, ou pas suffisamment, sur un ensemble de paramètres.

Ainsi, par exemple :

- la porosité efficace, qui conditionne la montée apparente d'un niveau de nappe pour une lame d'eau donnée en recharge (à lame d'eau égale, la montée de niveau est inversement proportionnelle à la porosité efficace de l'aquifère) ;
- la connaissance du positionnement du substratum imperméable et la morphologie dans les trois dimensions du réservoir aquifère sont également importantes pour appréhender les volumes d'eau souterraine.

Recommandation :

- *Compléter l'inventaire des données numériques sur la porosité efficace, compléter si besoin est par des pompages d'essai (en cas d'absence de données sur une zone d'intérêt prioritaire), orienter les priorités, notamment, vers la partie du Plateau du Santerre et vers les entités 004b, 004c et 004d.*
- *Identifier la géométrie du réservoir et le niveau du substratum imperméable.*

Passer de la notion de volume à la notion de flux, ou de débit, fait appel à des constantes de :

Recommandation :

- *Une action rapide (dans un premier temps et pour appréhender l'ordre de grandeur des phénomènes étudiés) conduirait à procéder à un nombre suffisant de simulations globales pluie-débit (modèles « Gardenia » du BRGM), caler les modèles sur des larges intervalles (des basses eaux aux hautes eaux), rechercher les anomalies de comportement liées à la montée en saturation rapide de la zone non saturée. Ces modèles, bien calés, peuvent être exploités en mode prévisionnel : à la fois sur la nappe (pour estimer l'apport soudain de la zone non saturée -ZNS) et sur la rivière (pour estimer l'apport de la nappe à celle-ci).*

Aboutir à des prévisions probantes. Pour combiner les différentes composantes des écoulements, vérifier leurs cohérences réciproques, les intégrer et conduire au débit résultant de la Somme, notamment en période de crues ; il conviendra de réaliser un

modèle général de simulation des écoulements de surface et souterrains combinés (en incluant la zone zon saturée). Cet outil pourra servir à la fois pour repenser les modalités de gestion des crues et pour les détecter à plus long terme).

Recommandation :

- *Réaliser, caler et tenir à jour un modèle général de simulation des écoulements sur le bassin. Ce modèle sera exploitable :*
- *En prévision des montées de débit ;*
- *Pour l'analyse des contributions respectives des différentes composantes du bassin (donc orienter vers la prévention sur les zones contributives les plus actives) ;*
- *Pour prévoir les crues et les décrues en fonction de scénarios de précipitation.*

4.3. DÉROULEMENT POSSIBLE DES ACTIONS

Les recommandations ci-dessus sont assorties d'un schéma d'actions à entreprendre, dont les grands axes sont résumés ci-après :

1. Poursuite de la collecte et de la mise en forme des données existantes pour pouvoir améliorer notre vision de l'état et des particularités du système (intégration d'un MNT plus précis, dépouillement et analyse exhaustive des historiques de niveaux, recensement des porosités disponibles,...). Ce premier travail pourrait se dérouler sur le cours de l'été 2001.
2. Collecte d'éléments additionnels pour compléter les données existantes, en vue à terme de pouvoir étayer les hypothèses faites à partir des seules observations des niveaux (passage aux volumes et aux flux) : ce travail pourrait se dérouler en été, automne et hiver 2001. Parmi les actions à entreprendre, il sera notamment nécessaire d'effectuer des pompages d'essai pour obtenir les informations essentielles sur les porosités (volumes) et perméabilités (flux) du système. Il faudra également prévoir une analyse de la profondeur utile de l'aquifère au moyen de techniques géophysiques couplées à l'analyse des coupes de forages. D'autres actions sont également nécessaires comme mesurer la perméabilité du lit des rivières, son évolution dans le temps, mise en place de dispositifs de suivi ciblés sur la détection des épisodes de hautes eaux, renforcer les suivis piézométriques de la nappe et débimétriques des rivières, ...
3. Elaboration d'un outil préliminaire, sur la base des données disponibles, qui permettra d'anticiper à plus longue échéance les risques de crues dès l'année 2002.
4. Etude de la mise en charge de la zone non-saturée (hivers 2001 et suivants selon les besoins).
5. Réalisation d'un premier outil de simulation des écoulements globaux : 2002-2003.

6. Mise au point d'un outil de suivi de la mise en charge de la zone non-saturée (par exemple une technique de résonance magnéto-protonique - échéance probable 2003).
7. Réalisation d'un outil complet de simulation de l'ensemble des écoulements : 2002-2003 pour la phase recherche, 2003-2004 pour la mise en application conjointement par le BRGM avec METEO-France, le CEMAGREF (?) et le CETMEF (?). Cet outil sera à la fois **un outil de prévision et d'aide à la décision** :
 - un outil d'aide à la décision dans le sens où il permettra à travers une série de scénarios, d'améliorer la gestion du passage des crues en permettant par une meilleure connaissance de leur dynamique, de proposer des aménagements utiles qui pourront conduire à réduire leur effet ;
 - un outil de prévision dans le sens où il permettra, à l'aide de données actualisées, de prévoir plusieurs semaines à l'avance, les risques de crue et leur ampleur en fonction de scénarios pluviométriques donnés et de l'état hydrodynamique calculé du système nappe - zone non saturée - rivière.

Il convient certes de souligner que l'échéancier de ce programme est donné à titre indicatif et sera en fait dépendant des moyens et de la date effective de démarrage des différents modules.

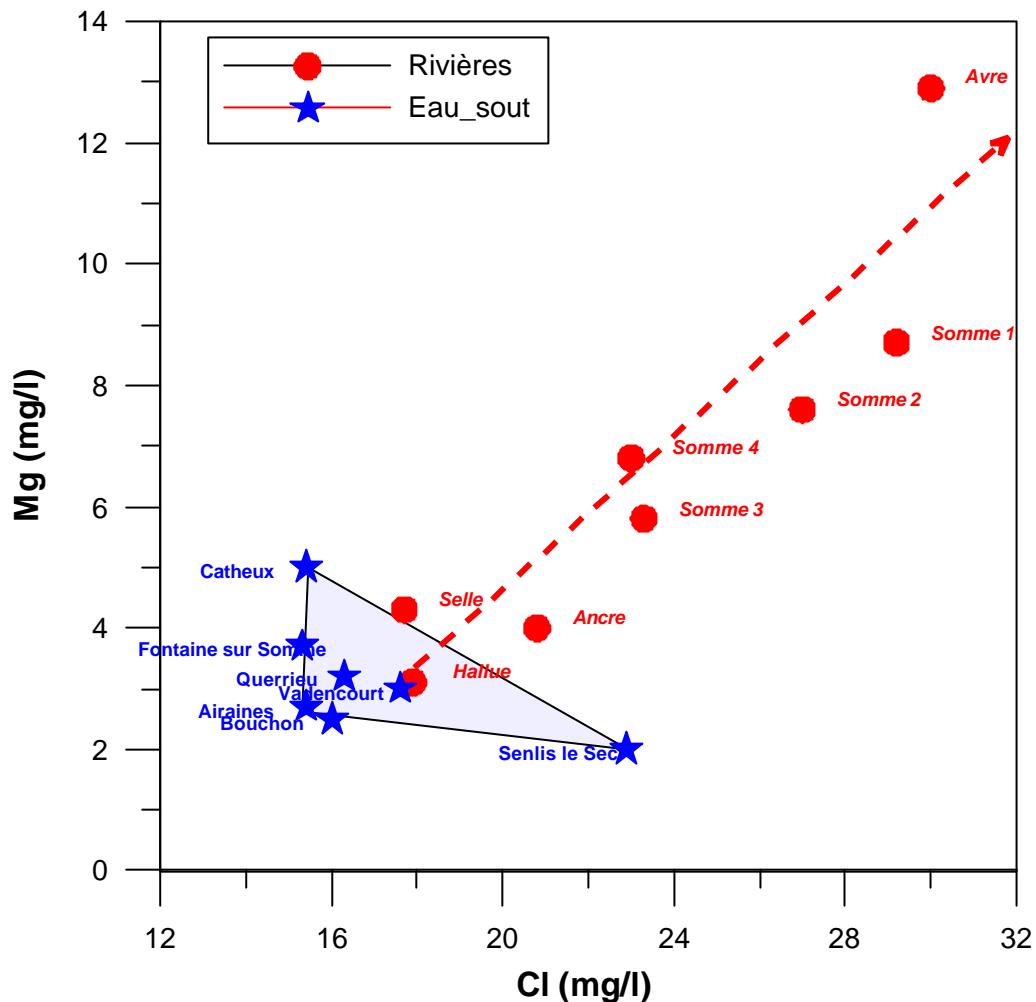


Fig. 24 - Relations nappes-rivières : sources et mélange.

Le chlore et le magnésium proviennent en proportions variables des apports atmosphériques et de l'altération de roches. Transportés sous forme dissoute par les cours d'eau, leurs teneurs peuvent être influencées par les applications d'engrais ou les rejets d'eaux urbaines. Les teneurs en chlore et magnésium dans les eaux souterraines montrent des variations relativement faibles qui s'inscrivent dans un triangle (étoiles). Les sommets du triangle qui englobe les eaux souterraines correspondent aux échantillons de Catheux, situé dans la partie sud du bassin, de Senlis-le-Sec, situé dans la partie nord du bassin, et de l'Hallue et Airaines-Bouchon, situé dans la partie ouest du bassin près de Pont-Rémy.

L'échantillon de Senlis-le-Sec, le plus riche en chlorure, est également le plus riche en nitrates (de l'ordre de 36 mg/l), indiquant une influence forte des épandages d'engrais. L'échantillon de Catheux présente, à teneur en Cl identique, une augmentation de la teneur en Mg qui peut être reliée à une variation de la lithologie (craie plus magnésienne). Il faut noter que la charge moyenne de la craie en Mg est de l'ordre de 1800 mg/kg.

L'évolution des eaux de surface se traduit par des variations concomitantes en Cl et Mg. Les fortes teneurs observées dans l'Avre traduisent des apports anthropiques importants. L'alimentation de l'Avre est en bonne partie le ruissellement.

La Somme est d'abord marquée par les apports de l'Avre (Somme-1), puis sa teneur en Cl et Mg diminue pour se rapprocher de la signature des eaux de nappes (Somme-3 et Somme-4).

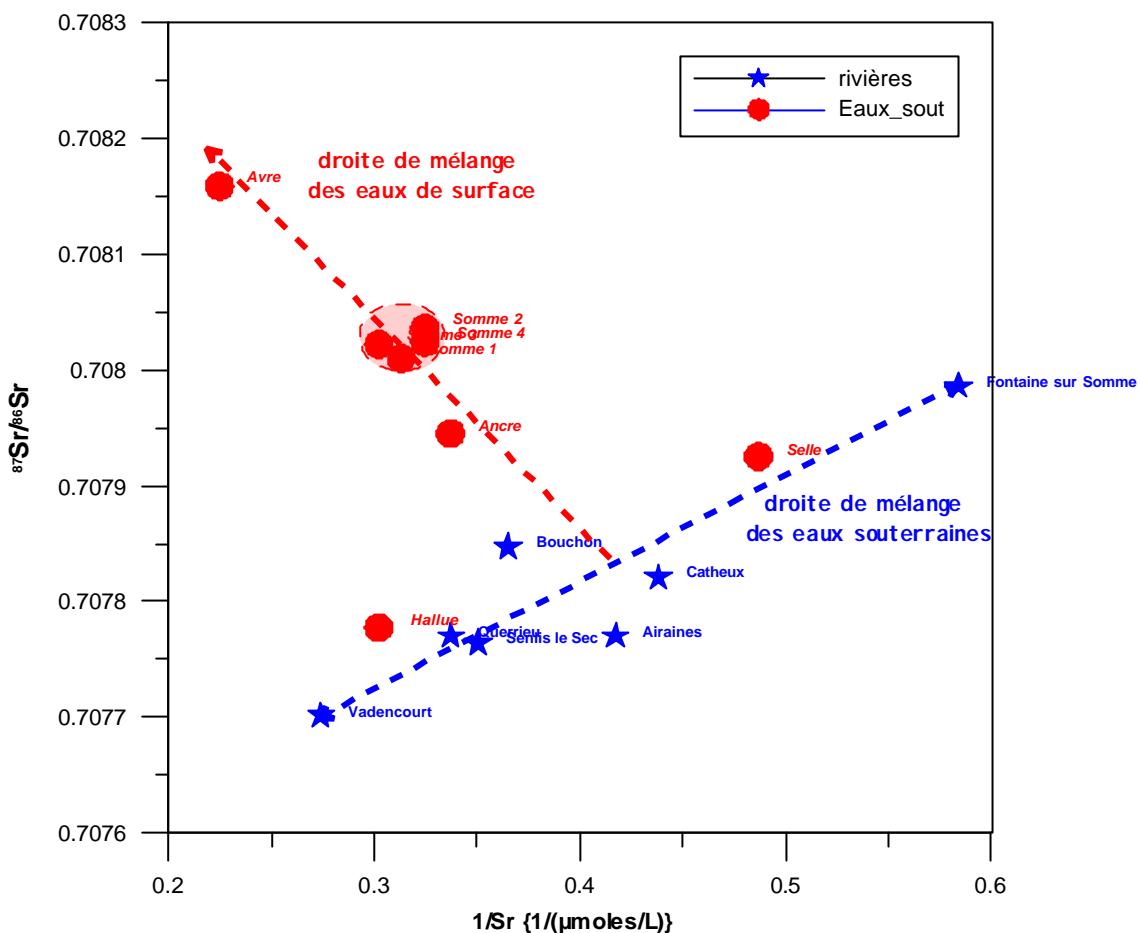


Fig. 25 - Relations nappes-rivières : origine des eaux.

Comme pour Cl et Mg, les teneurs en strontium ont majoritairement une double origine : roche et apports d'engrais. Les rapports isotopiques de ces deux sources sont très différents ce qui permet de différencier l'origine des eaux à partir du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Les variations du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sont importantes dans le système étudié et représentatives de sources de strontium réellement différentes. On observe deux relations linéaires : la première concerne les eaux souterraines, où plusieurs familles d'eau sont mises en évidence : Vadencourt et Fontaine-sur-Somme en sont les pôles extrêmes. La seconde concerne les eaux de surface qui évoluent entre un terme "Avre", vraisemblablement influencé par le drainage des champs libérant du strontium dans un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ élevé, et un terme "nappes" marqué par des concentrations plus faibles et un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ plus bas.

Les échantillons de l'Hallue et de la Selle sont très proches des signatures des eaux souterraines, elles se situent dans la relation linéaire définie pour les eaux souterraines. L'influence importante des eaux souterraines dans ces deux rivières est confirmée.

Les points de la Somme sont très groupés, montrant de très faibles variations en teneurs en Sr et en rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et donc une origine peu influencée par les apports d'engrais en cette saison pour la rivière Somme.

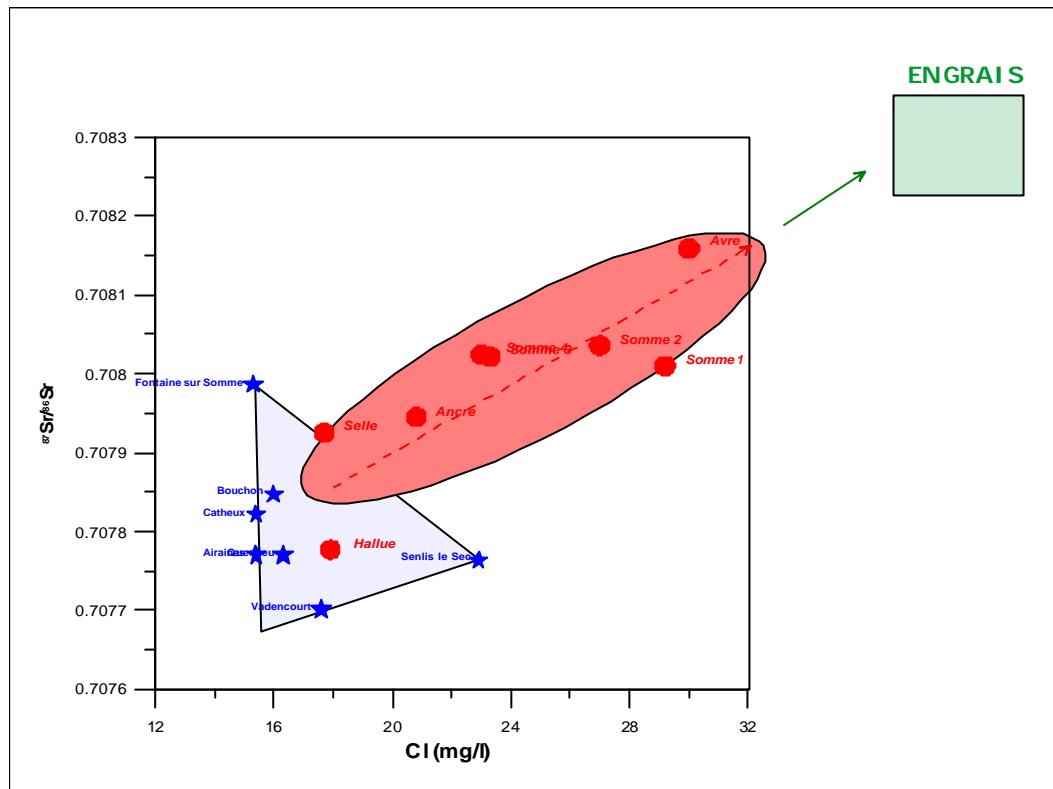


Fig. 26 - Relations nappes-rivières : apports naturels, apports anthropiques.

Issue de la combinaison des deux précédentes, cette figure résume le fonctionnement que l'on peut envisager sur le bassin de la Somme.

On retrouve, sous une pression anthropique de nature agricole, des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et des teneurs en Cl qui augmentent conjointement.

Les eaux souterraines sont groupées dans un triangle identique à ceux des figures 1 et 2, les mêmes points constituant les sommets.

Dans les eaux de surface, apparaît une relation linéaire depuis un pôle marqué par le lessivage d'épandages agricoles (rivière Avre) et un terme qui est analogue au faciès de l'Hallue et de la Selle, rivières fortement alimentées par les eaux souterraines.

L'Avre, très marqué par le lessivage des engrains, influence le cours amont de la Somme (Somme-1). Les points de la Somme d'amont en aval (2, 3, 4) se positionnent dans un système de mélange entre les entrants amont (Avre et Somme 1), marqués par le ruissellement et l'influence anthropique, et les entrants soit eaux souterraines, soit affluents très influencés par les eaux souterraines. Ainsi, le point Somme 2 qui correspond au mélange complet Somme 1, Avre, Selle, Ancre et Hallue, est décalé vers des concentrations plus faibles en Cl et un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ plus bas. Par contre, les deux autres points de la Somme, qui ne reçoivent pas d'affluents majeurs, montrent une diminution des teneurs en Cl (et Mg) ainsi qu'un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ plus bas que celui du point Somme 2. On peut dans ce cas envisager une contribution des eaux souterraines qui provoquerait ces variations dans les compositions chimiques et isotopiques des points de la Somme aval.

**BRGM
SERVICE EAU
Unité xxxx**

BP 6009 - 45060 Orléans cedex 2 - France - Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34