Caractérisation des relations de la nappe de la craie avec les eaux superficielles (cours d'eau et marais) du Marquenterre

Violaine Bault[1], Anne Winckel[1], Lise Cary[2], Bernard Bourgine[3] et Laurence Gourcy[1].

Introduction : présentation du projet

Objectifs

Les marais arrière-littoraux du littoral picard se situent en région Hauts-de-France, dans la partie est de la plaine maritime du Marquenterre et remontent dans les vallées humides du Ponthieu. Ils bénéficient, depuis janvier 1998, du label Ramsar, dont le but est d'enrayer la tendance à la disparition des zones humides, de favoriser leur conservation et de promouvoir leur utilisation rationnelle.

Leur protection nécessite donc d'en comprendre le fonctionnement hydrologique, en tant qu'entités uniques au sein d'un environnement global intégrant plusieurs compartiments :

- le sol ;
- la zone non saturée ;
- la zone saturée (nappe) ;
- le réseau hydrographique de surface (marais, fossés, canaux, rivières).

Avec cet objectif, un projet visant à améliorer la connaissance du fonctionnement global de l'hydrosystème du Marquenterre a été initié en 2016. Le but de ce projet de 2 ans était, plus particulièrement, de mieux appréhender le fonctionnement hydrodynamique des systèmes aquifères et leurs relations avec les marais arrière-littoraux. Les principales interrogations concernant ces milieux humides sont relatives à leur alimentation naturelle, aux échanges entre les eaux souterraines et superficielles, aux éventuels impacts des prélèvements actuels sur la ressource et aux effets du changement climatique.

Les organismes ayant participé au financement et à la réalisation de ce projet sont :

- l'Agence de l'eau Artois-Picardie ;
- le Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard ;
- le Fonds européen de développement (Feder) dans le cadre du programme opérationnel FEDER-FSE pour les Hauts-de-France ;
- le BRGM.

Programme d'investigations

En début de projet, un état de l'art des connaissances sur le secteur a été mené ainsi que la réalisation d'un modèle géologique. Ce dernier a permis de reconstituer l'aspect structural et d'interpréter la stratigraphie du secteur d'étude.

Deux campagnes de mesures des niveaux statiques et de nivellement ont été menées en périodes de hautes eaux (février-mars) et de basses eaux (octobre) en 2016, afin de connaitre l'altitude précise des nappes (Fig. 1). L'interpolation des niveaux d'eau relevés a permis le tracé de cartes piézométriques hautes et basses eaux et la définition des sens d'écoulement des eaux souterraines.

En parallèle, des prélèvements des eaux superficielles et souterraines pour analyses physico-chimiques, isotopiques (^{18}O, ^{2}H, $^{87}Sr/^{86}Sr$ et $^{11}B/^{10}B$) et de datations (gaz CFC et SF6, carbone-14) ainsi que des diagraphies de paramètres physico-chimiques in situ (conductivité, température, pH, potentiel d'oxydo-réduction et oxygène dissous) ont été effectués sur certains ouvrages sélectionnés (voir figure 1). Les résultats ont permis de caractériser les eaux souterraines et superficielles, notamment leurs origines et leurs temps de résidence (âge apparent).

Enfin, dix piézomètres ont été équipés de capteurs de niveau, de température et de conductivité. Ils ont permis de suivre sur une année, la nappe en amont de l'hydrosystème (plateau du Ponthieu), au droit des zones humides et en profondeur, au centre de la plaine maritime.

Compréhension des relations entre la nappe de la craie et les eaux superficielles

Dans le cadre de l'étude, plusieurs approches ont été mises en œuvre et confrontées (modélisation géologique, suivis piézométriques, analyses physico-chimiques, hydrochimiques et isotopiques), afin de dresser un modèle conceptuel de l'hydrosystème du Marquenterre. Ce schéma met en évidence l'existence de 3 secteurs pour lesquels diffèrent la géométrie des formations géologiques, les interactions entre les aquifères et les écoulements des eaux souterraines.

Ainsi, on distingue les marais (voir figure 1) :

- des vallées humides du Ponthieu, à l'est d'une faille nord-sud (figurés en vert) ;
- de la plaine maritime du Marquenterre au nord de la rivière Maye (figurés en rose) ;
- de la plaine maritime du Marquenterre au sud de la rivière Maye (figurés en violet).

1. BRGM - Direction Eau Environnement et Écotechnologie - Unité Évaluation et Valorisation des connaissances sur l'Eau. 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans, France. Courriel : v.bault@brgm.fr
2. BRGM - Direction des Actions Territoriales - Direction régionale Hauts-de-France. Arteparc Bâtiment A, 2 rue des Peupliers, 59810 Lesquin, France.
3. BRGM - Direction des GéoRessources - Unité Géologie et cartographie des ressources du socle. 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans, France.

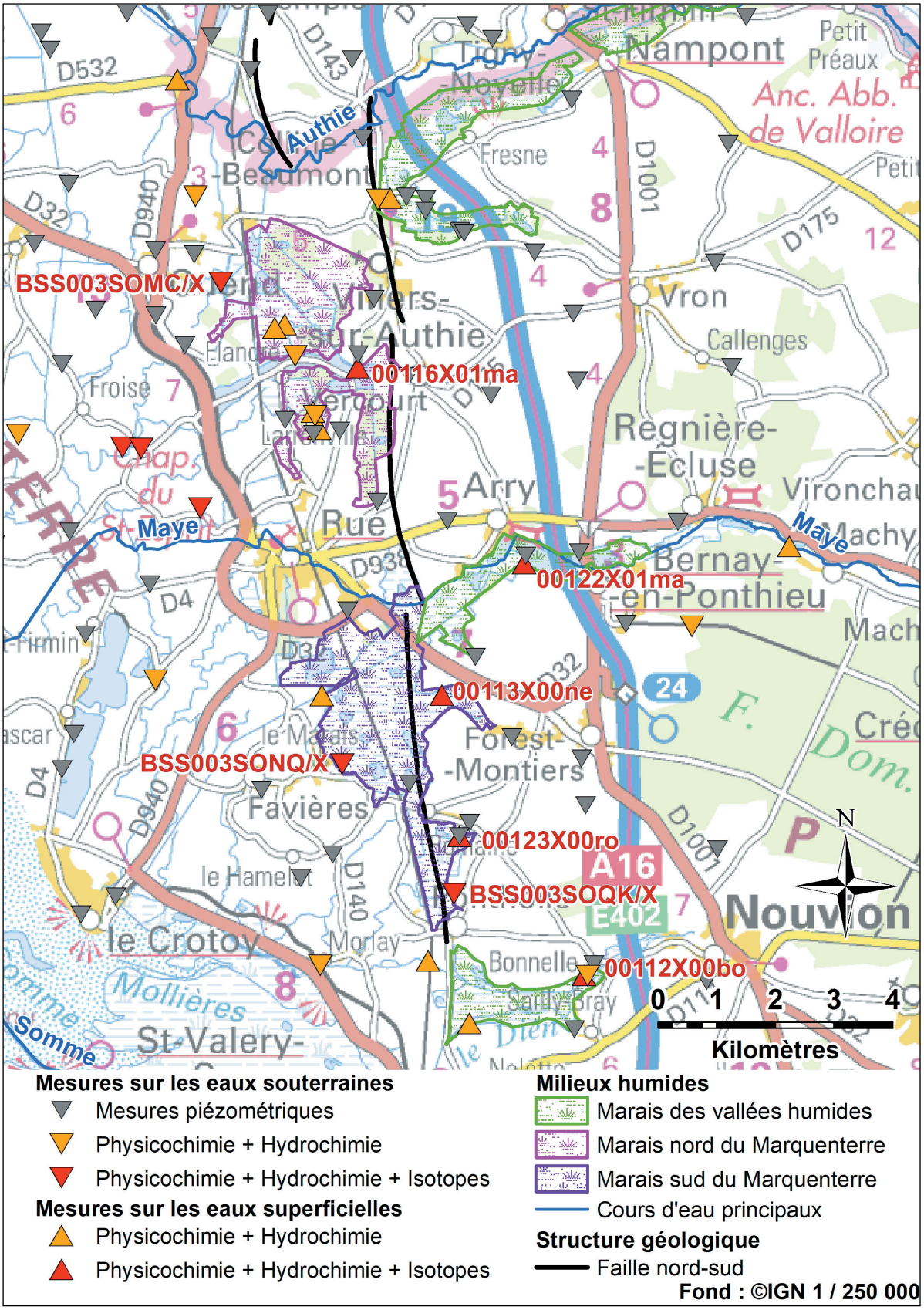


Figure 1. Carte de situation des marais et des puits étudiés. Source : Rapport BRGM/RP-67430-FR.

Contextes géologique et hydrogéologique

Modélisation géologique

Le réservoir crayeux constitue le substratum de la zone d'étude. Il est modélisé comme un compartiment unique et continu, abaissé d'environ 10 mètres par une faille nord-sud, au droit de la plaine maritime du Marquenterre (voir figure 1).

Durant le Quaternaire, les formations crayeuses ont été recouvertes par différentes formations apportées par les cours d'eau et les transgressions marines. Ainsi, dans les vallées humides, les alluvions anciennes, composées de graviers et de sables, sont surmontées d'alluvions récentes tourbeuses (Fig. 2). Au niveau de la plaine maritime, la succession de niveaux perméables et imperméables quaternaires est la suivante (Fig. 3 et Fig. 4) :

- argiles supérieures sableuses et tourbeuses du Marquenterre (Holocène) ;
- sables fin gris et sables gris-bleu du Marquenterre (Holocène) ;
- argiles inférieures tourbeuses du Marquenterre (Holocène) ;
- formations graveleuses de Rue (Pléistocène).

Les marais et cours d'eau se sont mis en place au sein des formations quaternaires, en fond de vallées humides ainsi que dans la plaine maritime le long de la faille nord-sud.

D'après le modèle géologique, les aquifères de la craie et du Quaternaire (alluvions anciennes en vallées humides, sables du Marquenterre et formations de Rue dans la plaine maritime) semblent être en continuité hydraulique. En effet, il n'existe aucun niveau imperméable suffisamment épais et continu pour les isoler.

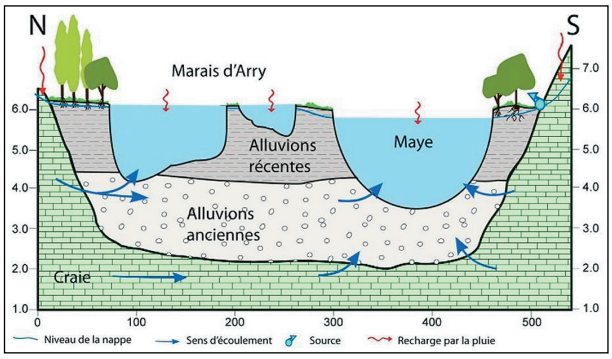


Figure 2. Relations entre les eaux souterraines et les zones humides dans la vallée humide de la Maye. Source : Rapport BRGM/RP-67430-FR.

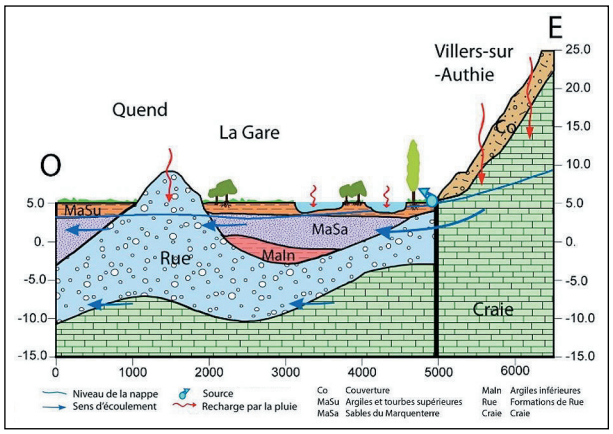


Figure 3. Relations entre les eaux souterraines et les zones humides au droit des marais nord de la plaine maritime du Marquenterre. Source : Rapport BRGM/RP-67430-FR.

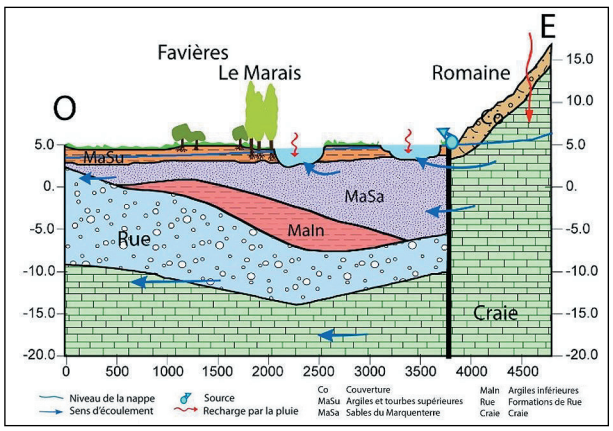


Figure 4. Relations entre les eaux souterraines et les zones humides au droit des marais sud de la plaine maritime du Marquenterre. Source : Rapport BRGM/RP-67430-FR.

Les relations entre les eaux souterraines et superficielles dépendent essentiellement de l'épaisseur et de la perméabilité des niveaux superficiels. Ainsi, au sein des vallées humides du Ponthieu et des marais nord du Marquenterre, les argiles et tourbes supérieures forment une surface continue probablement peu perméable. Ceci laisse supposer l'absence de relation entre la nappe et les eaux de surface. Concernant les marais sud du Marquenterre, les argiles supérieures sont peu épaisses (moins de 1 mètre) et des flux pourraient se mettre en place entre les eaux souterraines et superficielles.

Apports des données piézométriques

Globalement, les suivis et cartes piézométriques réalisés ont permis de confirmer les hypothèses du modèle géologique sur les interactions entre les aquifères. Ils indiquent que la faille nord-sud ne constitue pas un axe imperméable ou drainant mais permet la juxtaposition laté-

rale des aquifères de la craie, à l'est et des aquifères quaternaires de la plaine maritime, à l'ouest (voir figures 3 et 4).

La nappe de la craie donne naissance à de nombreuses sources en vallées humides du Ponthieu ainsi que le long de la faille, en limite des formations quaternaires peu perméables ou de façon diffuse à travers ces dernières. La présence de ces sources et de piézomètres artésiens illustre la mise sous pression de la nappe (voir figures 2, 3 et 4).

Les cartes piézométriques montrent que les écoulements principaux s'effectuent vers l'ouest.

Au droit du Ponthieu, des lignes de courant secondaires partent des plateaux et convergent vers les vallées humides. Les niveaux des eaux souterraines et superficielles demeurent généralement en équilibre, ce qui confirme que les cours d'eau constituent un niveau de drainage (voir figure 2).

L'hydrogéologie de la plaine maritime reste complexe. Les écoulements ne semblent pas être influencés par les cours d'eau canalisés, à l'exception du drainage par les rivières structurantes de l'Authie au nord et de la Somme au sud. Les suivis piézométriques ne permettent pas de lever les incertitudes du modèle géologique. La pluviométrie locale joue un rôle sur les niveaux des eaux souterraines, qui peuvent réagir presque immédiatement aux pluies notamment en période de basses eaux. En hautes eaux, les niveaux se stabilisent en relation avec les fossés drainants qui constituent un niveau de base imposé. En cas de sécheresse prolongée, la nappe poursuit lentement sa vidange et se déconnecte du réseau hydrographique.

Caractérisations physico-chimiques et isotopiques des eaux

Diagraphies et analyses physico-chimiques des eaux souterraines

Selon les résultats des analyses et des diagraphies du secteur d'étude, les nappes de la craie et des formations quaternaires possèdent des caractéristiques physico-chimiques relativement stables. Ce sont des eaux généralement bicarbonatées calciques (Fig. 5), avec une température comprise entre 10,0 et 12,4°C et un pH neutre à légèrement basique, compris entre 7,0 et 7,5. Ces résultats, en accord avec la géologie, confirment que les nappes du Quaternaire et de la craie sont naturellement en continuité verticale et latérale au droit des vallées humides et de la plaine maritime.

Dans les trois secteurs de marais, la physico-chimie

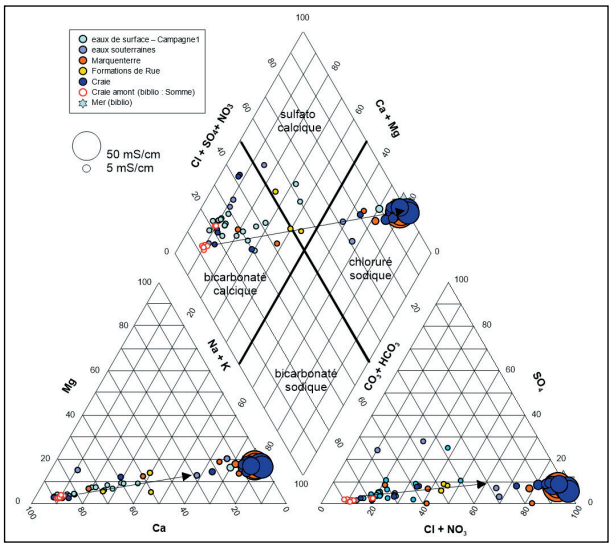


Figure 5. Diagramme de Piper - facies des eaux de surface et souterraines du secteur d'étude. Source : Rapport BRGM/RP-67430-FR.

des eaux souterraines évolue. Diverses réactions surviennent, appuyant les hypothèses des suivis piézométriques et du modèle géologique : la nappe passe en captivité au droit des zones humides, sous un écran peu perméable, argileux et tourbeux. Les teneurs en oxygène dissous ainsi que le potentiel d'oxydo-réduction chutent et le milieu passe alors d'un état oxydé à un état réducteur. Du fait de la réduction de la matière organique, les eaux s'enrichissent naturellement en sulfates et en ammonium. L'apparition de ce dernier au profit des nitrates ainsi que du fer et du manganèse est également la preuve d'un milieu réducteur. Les conductivités sont plus élevées, le milieu devenant plus minéralisé.

À l'ouest des marais de la plaine maritime, le faciès chimique des eaux souterraines évolue de bicarbonaté calcique, typique d'une eau « douce » d'infiltration transitant par l'aquifère de la craie, vers un faciès chloruré sodique (voir figure 5). Ce changement témoigne de la salinisation vers l'ouest et en profondeur des eaux de l'aquifère de la craie et des aquifères quaternaires de la plaine maritime.

Analyses physico-chimiques des eaux superficielles

Les eaux des marais échantillonnés dans les vallées humides et dans le secteur sud du Marquenterre présentent une dominance de faciès d'eau bicarbonaté calcique, proche de celui des eaux de la nappe de la craie, sans influence marine (voir figure 5). Ce constat confirme l'apport majeur des eaux de la craie dans la composition chimique des eaux de surface.

Les marais nord du Marquenterre sont alimentés par la nappe de la craie et par les pluies alors que les cours d'eau bénéficient uniquement des apports de la nappe de la craie. L'épaisseur des argiles supérieures, estimée à plus de 1,5 mètre par le modèle géologique semble bien limiter les échanges entre les eaux souterraines et les marais.

Analyses isotopiques et datations des eaux souterraines et superficielles

Les teneurs en isotopes stables des eaux étudiées ont notamment permis de définir les apports d'eau des différents compartiments (eaux de surface, nappes de la craie et du Quaternaire) aux divers points de prélèvement. D'après les résultats obtenus, 3 pôles peuvent être définis (Fig. 6) :

- les eaux de pluie ;
- les eaux de la nappe de la craie (faciès bicarbonaté calcique) ;
- l'eau de mer (faciès chloruré sodique à forte conductivité).

Les données issues de la bibliographie concernant la nappe de la craie en amont du Marquenterre dans la Somme (Négrel et Petelet-Giraud, 2005) ont été reportées ainsi que les droites de mélange entre le « pôle de recharge » et le pôle eau de mer (voir figure 6). Les noms des échantillons d'eau sont indiqués sur la carte (voir figure 1) et les graphiques (voir figure 6).

L'origine des eaux souterraines échantillonnées s'explique par différents degrés de mélange entre les trois pôles tandis que les eaux superficielles sont alimentées par la nappe de la craie avec ou sans apport des eaux de pluie.

Au droit des vallées humides du Ponthieu, les eaux de la source échantillonnée (00112X00bo) indiquent une alimentation par la seule nappe de la craie.

Sur les marais sud du Marquenterre, la composition isotopique des eaux souterraines (BSS003SOQK/X et BSS003SONQ/X) et superficielles (00123X00ro et 00113X00ne) résulte d'un mélange entre la nappe de la craie et les eaux de pluie.

Concernant les marais nord du Marquenterre, les eaux du forage profond BSS003SOMC/X sont constituées d'un mélange entre les trois pôles. Les eaux des cours d'eau (00116X01ma) sont très influencées par les précipitations actuelles.

Les temps de résidence, estimés par l'analyse des teneurs en gaz CFC et SF6, indiquent que les eaux de la nappe de la craie sont récentes et alimentées par les pluies, avec des temps de transfert de quelques dizaines d'années.

La salinisation des eaux souterraines n'est pas issue d'une évaporation de l'eau mais bien d'un mélange avec de l'eau de mer, comme le montrent les droites de mélange dans le diagramme $\delta^{18}O$ *vs* Cl (voir figure 6). L'âge apparent moyen du mélange entre les trois pôles a été estimé entre 4 000 à 5 100 ans BP (*before present*, soit avant 1950). Les eaux anciennes salées se sont probablement mises en place durant la transgression flandrienne et le dépôt des sables du Marquenterre, entre 8 000 et 4 000 ans BP.

Conclusions et gestion des marais arrière-littoraux

Les résultats de cette étude mettent en évidence que les interactions entre les différentes nappes ainsi qu'avec les eaux superficielles sont variables dans l'espace et le temps. En effet, ces échanges dépendent de plusieurs facteurs, tels que l'épaisseur de l'écran imperméable, la profondeur des cours d'eau et des marais ainsi que la différence de niveaux d'eau entre la nappe et les eaux superficielles.

Dans les vallées du Ponthieu et les marais du sud du Marquenterre, les eaux de surface sont principalement alimentées par les eaux souterraines, en hautes et en basses eaux. Dans ces secteurs, les eaux souterraines et superficielles ont une composition chimique proche de celle

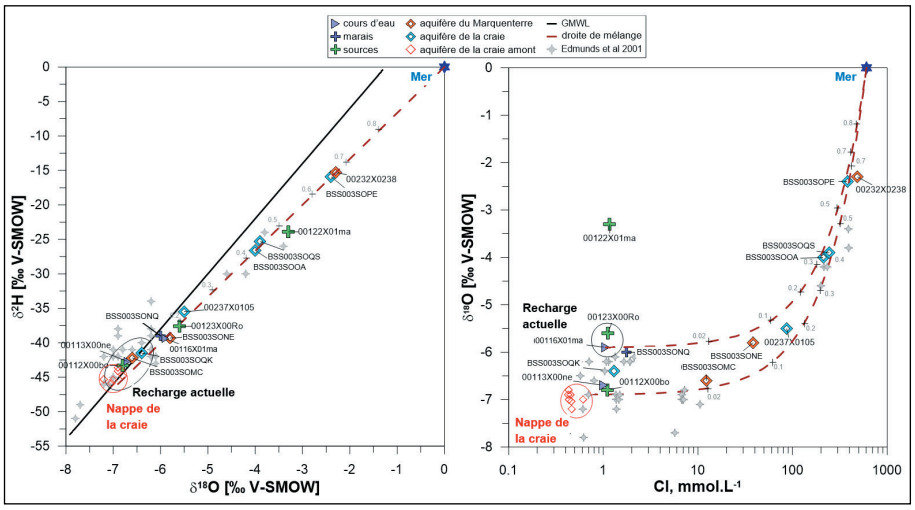


Figure 6. Rapports isotopiques des eaux du secteur d'étude. Source : Rapport BRGM/RP-67430-FR.

de la craie sans influence d'eau de mer. En effet, les marais et cours d'eau étant creusés jusqu'à l'aquifère sous-jacent et/ou les formations superficielles (alluvions tourbeuses en vallées humides ou argiles tourbeuses du Marquenterre) n'étant pas suffisamment imperméables, l'alimentation des eaux de surface par la nappe captive est favorisée (voir figures 2, 3 et 4).

Les niveaux des eaux superficielles sont donc dépendants de ceux de la nappe sous-jacente. La préservation des milieux humides nécessite donc la mise en œuvre de moyens permettant de soutenir les niveaux de la nappe et de maintenir ainsi les relations entre eaux souterraines et superficielles : entretien des sources alimentant les milieux humides, limitation des prélèvements dans les cours d'eau et les nappes, approfondissement des marais jusqu'au niveau des étiages des eaux souterraines...

Au nord de la plaine maritime, les mesures piézométriques et les outils physico-chimiques et isotopiques ont démontré que les recharges, notamment en basses eaux, des marais et cours d'eau sont dominées par les eaux de pluie.

Dans le cas où les marais et cours d'eau sont peu profonds et n'atteignent pas l'aquifère sous-jacent, les eaux superficielles se retrouvent déconnectées des eaux souterraines. En effet, l'épaisseur des argiles supérieures du Marquenterre limite probablement les échanges entre les eaux souterraines et superficielles. L'alimentation des milieux humides dépend alors toute l'année uniquement de la pluviométrie. Le maintien de leur niveau nécessitera des prélèvements dans la nappe sous-jacente ou dans les cours d'eau, afin de combler les baisses liées à l'évapotranspiration.

À l'inverse, si les marais et cours d'eau sont suffisamment profonds et parviennent à l'aquifère des sables du Marquenterre sous-jacent, il est nécessaire de limiter la baisse piézométrique de la nappe ou d'approfondir les marais afin de garantir un niveau minimal dans les milieux humides.

Bibliographie

- Bault V., Bourgine B., Cary L., Gourcy L., Korotchansky A., Winckel A. avec la collaboration de Decouchon E. et Linglin C., 2017. Étude du fonctionnement global de l'hydrosystème du Marquenterre, en lien avec les marais arrière-littoraux. Rapport final BRGM/RP-67430-FR. 282 p., 118 ill., 13 tabl., 10 ann., 1 CD.
- Lammerville J.-M. (de), 1969. Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine du Marquenterre. Thèse 3ème cycle à l'Université de Paris. 84 p.
- Mennessier G., Modret D., Lefebvre P., Monciardini Ch., Affret J.-P., Agache R. *et al.*, 1981. Notice explicative et carte géologique au 1/50 000 de la feuille de Rue. Feuille n°23. Editions BRGM.
- Négrel et Petelet-Giraud, 2005. Strontium isotopes as tracers of groundwater-induced floods: the Somme case study (France). Journal of Hydrology. p. 99-119.