

Colloque
"Gestion des eaux souterraines"
Bordeaux - 2023

Article étendu

Titre
Conceptualisation d'un système complexe par deux approches couplées hydrochimique et hydrodynamique en contexte d'intrusions salines dans un aquifère du Trias en Normandie
Nom des auteurs
Alexandra LAURENT ⁽¹⁾
Affiliation
(1) Hydrosource

1 - Contexte

Un forage, exploité par un industriel, situé en bordure de cours d'eau et en contexte littoral a montré un pic en chlorures (600 mg/L) en 2017. Suite à ce constat, deux approches ont été menées, une approche hydrochimique (datation des eaux, suivi des teneurs en chlorures, prélèvements dans le milieu) et une approche hydrodynamique (suivi en continu des niveaux d'eau), afin de comprendre les échanges entre les différents hydrosystèmes et l'origine des chlorures.

Pour un usage industriel, deux forages (F2 et F1) sont exploités en rive gauche d'un cours d'eau dans le Calvados, profonds respectivement de 25 et 64 m. Le forage F1 est situé à 3 m NGF et exploite deux nappes circulant dans les calcrètes du Trias et dans les poudingues et grès attribués au Permien. Lors de la réalisation du forage d'essai, de fortes arrivées d'eau ont été identifiées dans une nappe sus-jacente circulant dans les sables et cailloutis du Trias (tableau 1).

Tableau 1 : Description du forage F1

	Forage F1
Distance Cours d'eau	Env. 500 m
Altitude (GPS)	3 m NGF
Profondeur (m)	62
Crépines	de 13,5 à 18 m de 20 à 59 m
Form. géol.	Trias (Calcrètes) Permien (Poudingue et Grès)
Nappe	Nappe captive
Paramètres hydrodynamiques	$T = 5,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ $S = 5 \cdot 10^{-3}$
1ères AE (foration)	Sables et cailloutis (Trias)
Q expl. Moy (m³/h)	En moyenne 90

Les intrusions d'eau de mer dans les eaux douces sont des phénomènes complexes. L'intrusion d'eau salée est un phénomène naturel, défini comme le déplacement et le maintien d'eau salée dans un aquifère à eau douce. La partie de l'aquifère littoral envahi par l'eau salée est comprise entre le substratum de l'aquifère et une interface eau douce/eau salée (Castany et Margat, 1977, Dictionnaire français d'hydrogéologie). Une approche simple consiste à définir la position du biseau salé en tenant compte de la différence de densité entre deux types d'eau (Banton et Bangoy, 1997). Le principe de Ghyben-Herzberg repose sur le principe d'équilibre hydrostatique entre eau douce et eau salée, eaux considérées comme deux fluides non miscibles en contact par l'intermédiaire d'une interface.

D'autres approches ont été développées considérant l'interface eau douce – eau salée du point de vue dynamique, plutôt que du point de vue hydrostatique. L'épaisseur de la zone de transition varie en fonction des caractéristiques géologiques et hydrodynamiques de l'aquifère. Dans les aquifères côtiers présentant de faibles gradients hydrauliques, la zone de transition peut s'étendre sur plusieurs kilomètres (Cooper et al., 1964, De Montety, 2008). Dans la thèse de Barbecot, 1999, trois types de processus d'intrusions marines sont proposés, l'intrusion marine par débordement, le réajustement du biseau en équilibre avec la mer et la drainance d'eau salée depuis les aquifères sous ou sus-jacents.

2 – Méthode

L'augmentation des teneurs en chlorures dans le F1 a été dans un premier temps expliquée par la remontée du biseau salé. Néanmoins la proximité d'un cours d'eau sous influence marine laissait supposer d'autres hypothèses quant à l'origine des chlorures, et notamment des intrusions salines depuis les eaux de surface. Afin d'éliminer les hypothèses fausses, il était nécessaire d'acquérir des données. C'est pourquoi le forage F1 et le cours d'eau ont été équipés afin de suivre en continu les niveaux d'eau, la conductivité et la température en plus des débits de pompage pendant un cycle hydrologique (juin 2021 à juin 2022). Des datations de eaux ont également été réalisées sur les eaux du forage, ainsi que l'analyse des éléments majeurs sur plusieurs échantillons prélevés entre le forage F1 et la mer.

3 – Résultats et interprétation

Une analyse corrélatrice a mis en évidence une corrélation entre les niveaux du forage et du cours d'eau (coefficient de corrélation de Spearman de 0,87) et une analyse spectrale a permis de montrer un transfert de pression depuis le compartiment maritime vers le cours d'eau et enfin vers le forage F1. La datation des eaux a révélé le mélange d'eau ancienne (25-30%) et d'eau récente de 10 ans (70-75 %) dans le forage F1. Le rapport molaire Na/Cl ainsi que le diagramme de Piper montrent une signature chimique du forage F1 située entre un pôle eau douce et un pôle eau de mer, ce dernier étant représenté par les échantillons des eaux du port, du cours d'eau aval et d'un fossé situé entre le cours d'eau et le forage F1. L'interprétation de l'ensemble des données acquises a permis de mettre en évidence un rentrant salé dans le cours d'eau et les fossés attenants et également une absence de variation significative de la conductivité dans la colonne d'eau du forage F1 (variation entre 1200 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

L'hypothèse d'un rentrant salé par le cours d'eau et les fossés alimentant une nappe superficielle contenue dans les sables et cailloutis du Trias laquelle serait en communication avec la nappe des calcrètes du Trias semble ainsi la plus probable. En prenant en compte les informations géologiques contenues en BSS (banque du sous-sol) et la réalisation d'une coupe géologique, l'hypothèse ainsi formulée est confirmée du point de vue de la géométrie des formations géologiques.

4 - Conclusions et perspectives

L'approche hydrochimique couplée à une approche hydrodynamique au regard des informations géologiques a permis de montrer que les teneurs en chlorures étaient associées à des intrusions salines actuelles et de surface. Des échanges indirects depuis le cours d'eau et les marais associés seraient à l'origine de fortes teneurs en chlorures dans le forage d'exploitation F1 captant la nappe des calcrètes du Trias et la nappe des poudingues et grès attribués au Permien.

La cartographie du déplacement du front salé et l'étendue géographique des intrusions salines permettraient de positionner de façon pertinente un suivi de la nappe vectrice et du cours d'eau afin de suivre l'évolution des intrusions salines dans un contexte de changement climatique.

Références bibliographiques

- AUBRY J. (1982) Formations permienes et triasiques du bassin de Carentan : quelques aspects de la distinction entre les deux formations. Thèse. Université de Caen. 263p.
- BARBECOT F. (1999). Approche géochimique des mécanismes de salinisation des aquifères côtiers – Chronologies ^{14}C – ^{226}Ra . Thèse, Université Paris-Sud Orsay. 261p.
- CASTANY G. et MARGAT J. (1977). Dictionnaire français d'hydrogéologie. Editions du BRGM. Orléans.
- BANTON O. et BANGOY L.M. (1997). Hydrogéologie. Multiscience environnementale des eaux souterraines. Presses de l'université du Québec. Canada. p368 à 372.
- CASTANY G. et MARGAT J. (1977). Dictionnaire français d'hydrogéologie. Editions du BRGM. Orléans.
- COOPER H-H., KOHOUT F-A., HENRY H-R., GLOVER R-E. (1964). Sea water in coastal aquifers, US Geological Survey, Water-supply Paper 1613-C, 84p.
- DE MONTETY V. (2008). Salinisation d'un aquifère captif côtier en contexte deltaïque – cas de la camargue (Delta du Rhône, France), Thèse de doctorat en hydrogéologie, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, 281 p.
- HERZBERG A. (1901). Die Wasserversorgung einiger Noordseebäder, Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, München, 44, 815-819, 45, 842-844.
- MILLOT R., PETELET-GIRAUD E., GUERIT C., NEGREL P. (2010). Multi-isotopic composition of rainwater in France : Origin and spatio-temporel characterization. Applied chemistry 25 (2010) 1510-1524.