

Déchiffrage dans le temps et dans l'espace de l'origine de la salinité des eaux du fleuve Ebre (Espagne) grâce à la composition isotopique des sulfates dissous

Deciphering with time and space the origin of Ebro River's salinity (Spain) through isotopic composition of dissolved sulfates

Agnès Brenot¹ ; Philippe Négrel² ; Emmanuelle Petelet-Giraud²

¹BRGM, Service Géologique Régional Rhône-Alpes, 151 boulevard Stalingrad, 69 626 Villeurbanne Cedex (corresponding author a.brenot@brgm.fr), ²BRGM Service MMA, 3 avenue C. Guillemin, BP 36009, 45 060 Orléans Cedex 2.

RÉSUMÉ

L'Ebre, un des principaux fleuves de la péninsule ibérique, se singularise par sa forte minéralisation (450 to 1354 mg/L) correspondant notamment à des concentrations élevées en sulfates, Ca, Na et Cl. Dans le cadre de cette étude, les eaux de l'Ebre et de ses principaux affluents ont été échantillonnées afin d'identifier et de caractériser les différentes signatures géochimiques des eaux de rivières induites par le milieu naturel (formations lithologiques) et les activités anthropiques (occupation des sols). L'objectif principal est de déchiffrer dans le temps et dans l'espace l'origine (naturelle et anthropique) de la salinité des eaux du fleuve Ebre afin d'améliorer la connaissance des facteurs contrôlant cette salinisation et dans la perspective d'une meilleure gestion des ressources en eau sur le territoire. A partir des concentrations en éléments dissous (notamment des sulfates) et de la composition isotopique S et O des sulfates dissous, la contribution des différentes lithologies du bassin versant a pu être clairement identifiée i.e. évaporites (sulfates et halites), carbonates, silicates. A ce signal naturel provenant de la lithologie, se surimpose une origine anthropique : les apports d'engrais sulfurés apportent des sulfates en quantité significative dans les eaux, cette quantité pouvant varier dans le temps et dans l'espace. Les outils hydrogéochimiques montrent ainsi leur pertinence à assister les gestionnaires dans leur démarche de suivi de l'efficacité de mesures environnementales, engagées notamment pour restaurer le bon état quantitatif et qualitatif des écosystèmes aquatiques.

ABSTRACT

Ebro, one of the largest rivers of the Iberian Peninsula, is remarkable for its high mineralization (450 to 1354 mg/L) dominated by sulfate, Ca, Na and Cl. In this study, Ebro and its main tributaries have been sampled in order to identify the contrasting geochemical signatures of river waters induced by natural inputs (lithologies) and anthropogenic inputs (land-use). The main objective is to decipher with time and space the origin (natural and anthropogenic) of Ebro River's salinity in order to improve knowledge of factors controlling this salinization and in the perspective of water management improvement on this territory. Based on dissolved concentrations (in particular on sulfate concentration) and on S and O isotopic compositions of dissolved sulfates, inputs from the different different rock types have been checked out, i.e. evaporites (sulfate and halite), carbonates and silicates. This lithological signal is overprinted by the anthropogenic input of S-fertilizers, depending upon time and location. Hydrogeochemistry could provide relevant tools for decision makers in the context of river basin management. In particular these tools can be used to monitor the efficiency of environmental measures involved to restore aquatic ecosystem.

MOTS CLES

Apports anthropiques, Ebre, géochimie isotopique, lithologie, salinité, sulfates.

INTRODUCTION

Le bassin versant du fleuve Ebre est hétérogène en termes de lithologie, de topographie et d'occupation des sols, le paramètre le plus hétérogène étant la climatologie. Tous ces paramètres induisent un fort contraste dans la signature géochimique des eaux de rivières à l'échelle du bassin. Les précédentes études hydrogéochimiques réalisées sur le bassin versant de l'Ebre ont montré que la dissolution d'évaporites jouait un rôle important dans la salinisation des eaux de surface et des eaux souterraines. A l'embouchure de l'Ebre avec la mer méditerranéenne, les valeurs de TDS (Total Dissolved Solid) atteignent des valeurs supérieures à 1000 mg/L traduisant une très forte salinisation des eaux de rivière. Négrel et al. (2007) ont démontré que cette forte salinisation correspond essentiellement à des concentrations élevées en SO_4 , Na et Ca qui pourrait traduire un contrôle préférentiel de la lithologie et plus particulièrement de la dissolution d'évaporites et de carbonates sur la composition hydrogéochimique des eaux de surface. Cependant les activités humaines, comme l'utilisation d'engrais, l'irrigation, le stockage d'eau dans des réservoirs hydrauliques, la production d'hydroélectricité et la consommation d'eau pour l'alimentation en eau potable, sont également des facteurs qui pourraient contrôler la géochimie des eaux de rivières sur le bassin de l'Ebre.

L'objectif de cette étude est de déchiffrer dans le temps et dans l'espace l'origine (naturelle et anthropique) de la salinité des eaux du fleuve en s'intéressant plus particulièrement aux concentrations en sulfates dissous. Les analyses hydrogéochimiques, intégrant notamment l'analyse de la composition isotopique S et O des sulfates dissous, associée aux connaissances existantes sur la géologie et les apports anthropiques du bassin, sont susceptibles de nous permettre d'identifier les facteurs contrôlant la salinisation des eaux de surface et les possibles variations saisonnières affectant ces facteurs.

METHODE

Les eaux de l'Ebre et de ses principaux affluents ont été échantillonnées durant une campagne de terrain réalisée en avril 2006. Les affluents échantillonnés correspondent aux apports en eau les plus importants pour l'Ebre et drainant les lithologies les plus représentées sur le bassin versant. L'Ebre a été échantillonné en amont et en aval de sa confluence avec ces affluents (Fig. 1). En plus de la campagne d'échantillonnage d'avril 2006, les eaux de l'Ebre ont été prélevées à Amposta (E-6, Fig. 1), de manière mensuelle entre juin 2005 et mai 2006 afin de caractériser les variations saisonnières de la composition géochimique des eaux de l'Ebre juste avant son embouchure.

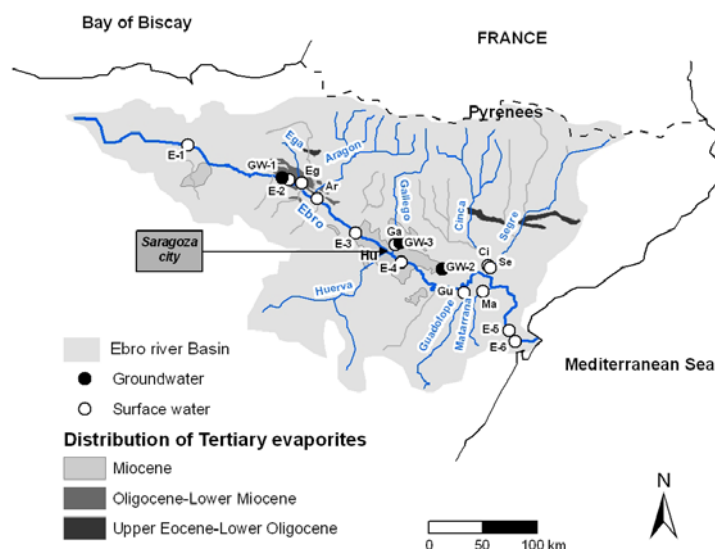


Fig 1 : Localisation des points d'échantillonnage d'eau sur le bassin de l'Ebre

Après filtration des eaux à $0,45 \mu\text{m}$, les échantillons ont été analysés pour les concentrations en éléments majeurs suivants : Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} (ICP-AES), Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-}

(chromatographie ionique). Les compositions isotopiques des sulfates dissous ont été mesurées sur un spectromètre de masse à flux continu Delta+XP couplé à l'utilisation d'un analyseur élémentaire.

RESULTATS ET DISCUSSION

A partir des concentrations en éléments dissous (notamment des sulfates) et de la composition isotopique S et O des sulfates dissous, la contribution des différentes lithologies du bassin versant a pu être clairement identifiée i.e. évaporites (sulfates et halites), carbonates, silicates. Les affluents de l'Ebre drainant les Pyrénées intègrent des sulfates provenant de la dissolution d'évaporites et de l'oxydation de sulfures. Les affluents drainant la partie sud du bassin de l'Ebre sont contrôlés uniquement par la dissolution d'évaporites. A ce signal naturel provenant de la lithologie, se surimpose une origine anthropique : les apports d'engrais sulfurés apportent des sulfates en quantité significative dans les eaux, cette quantité pouvant varier dans le temps et dans l'espace. L'évolution spatiale de la salinité des eaux de l'Ebre, étudiée pour la campagne d'avril 2006 (échantillonnage de l'Ebre en amont/aval de ses principaux affluents) et discutée à partir de la composition géochimique de ses affluents et des eaux souterraines, a permis de dégager les éléments suivants :

- Dans la partie amont du bassin, en plus de l'apport des affluents, d'autres apports d'éléments dissous interviennent et proviennent vraisemblablement du lessivage des sols (la contribution des eaux souterraines étant considérée comme négligeable) ;
- Dans la partie aval du bassin, des pertes d'eau sont identifiées. L'évaporation, l'irrigation, des pertes d'eau affectant des canaux d'irrigation pourraient être à l'origine de ces pertes.

La composition hydrogéochimique de l'Ebre mesurée mensuellement à l'exutoire du bassin sur une année a permis de mettre en évidence des variations saisonnières de la source des sulfates dissous (évaporites, oxydation de sulfures, engrais sulfurés). Ces variations sont interprétées comme résultant du mélange d'eau provenant des différents hydro-systèmes du bassin de l'Ebre (affluents de l'Ebre, aquifères...). En octobre 2005, en période de basses-eaux, les eaux de l'Ebre présentent la plus grande contribution de sulfates provenant de la dissolution d'évaporites. En avril 2006, en période de haute-eaux, les sulfates dissous dans l'Ebre proviennent majoritairement du Segre, affluent de l'Ebre marqué par des sulfates provenant de l'oxydation de sulfures. En décembre 2005 et janvier 2006, en période de hautes-eaux, l'Ebre intègre un flux supplémentaire de sulfates dissous provenant du lessivage d'engrais sulfurés. Le caractère saisonnier de cette contribution anthropique d'engrais sulfurés a été mis en évidence par ailleurs (Brenot et al., 2007) et est probablement induit par une contribution plus importante du lessivage des sols à l'alimentation des eaux des rivières en période hivernale.

CONCLUSION

Les outils isotopiques associés aux concentrations en éléments dissous ont été utilisés avec succès pour décomposer et estimer le mélange des différents flux d'eau et d'éléments dissous (affluents, aquifères, lessivage des sols...) impliqués dans l'alimentation de l'Ebre. Dans le contexte de la Directive Cadre sur l'Eau et de l'atteinte du bon état des masses d'eau en 2015, l'opportunité offerte par les outils de l'hydrogéochimie est grande. En effet ces outils, associés à la connaissance des activités anthropiques sur le bassin (occupation des sols, pratiques agricoles, barrages, canaux d'irrigation..) sont susceptibles de fournir aux gestionnaires des outils de suivis pour mesurer l'efficacité des mesures environnementales engagées (réduction des consommations d'eau, des apports d'engrais sur les surfaces agricoles, chasses hydrauliques...) pour restaurer le bon état quantitatif et qualitatif des écosystèmes aquatiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Brenot A, Carignan J, France-Lanord C, Benoît M. (2007). Geological and land use controls on $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of river dissolved sulfate: the Moselle river basin, France. *Chemical Geology* 244: 25-41.
- Négre P, Roy S, Petelet-Giraud E, Millot R., Brenot A. (2007). Long-term fluxes of dissolved and suspended matter in the Ebro River Basin (Spain). *Journal of Hydrology* 342: 249-260.