



HAL
open science

Vers la connaissance des dynamiques d'écoulement d'un karst de contact lithostratigraphique : le cas du karst oxfordien de l'interfluve Meuse/Marne

Vincent Fister, Emmanuel Gille

► To cite this version:

Vincent Fister, Emmanuel Gille. Vers la connaissance des dynamiques d'écoulement d'un karst de contact lithostratigraphique : le cas du karst oxfordien de l'interfluve Meuse/Marne. H2Karst, 2011, Besançon, France. hal-01591156

HAL Id: hal-01591156

<https://hal.science/hal-01591156v1>

Submitted on 5 Oct 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vers la connaissance des dynamiques d'écoulement d'un karst de contact lithostratigraphique : le cas du karst oxfordien de l'interfluve Meuse/Marne

Vincent Fister¹ & Emmanuel Gille²

¹ CEGUM, UFR SHA Ile du Saulcy 57045 Metz cedex, fister@univ-metz.fr

² CEGUM, UFR SHA Ile du Saulcy 57045 Metz cedex, gille@univ-metz.fr

Abstract

In the low limestones plateaus of the Northeast of France, presence of marly or clayey low permeable cover favors a concentration and a hierarchical organization of flows towards underlying limestones and determines a lithostratigraphic contact karst. The comparative study of two springs of the Haut-Pays plateau offers a new perspective on underground circulation conditions of this type of karst and testifies the cover's impact on hydrological functionality degree of karstic systems.

Résumé

Dans les bas plateaux calcaires du Nord-Est de la France, la présence d'une couverture peu perméable marneuse ou argileuse favorise une concentration et une hiérarchisation des écoulements vers les calcaires sous-jacents et détermine un karst de contact lithostratigraphique. L'étude comparative de deux sources du plateau du Haut-Pays permet d'offrir un regard nouveau sur les conditions de circulation souterraine de ce type de karst et de témoigner de l'impact de la couverture sur le degré de fonctionnalité hydrologique des systèmes karstiques.

1. Introduction

Les contrastes de perméabilité entre les différents horizons géologiques des bas plateaux du Nord-Est de la France conditionnent la karstification de ces massifs. L'existence d'une couverture peu perméable sus-jacente aux strates carbonatées favorise en effet la concentration et la hiérarchisation des écoulements aériens vers les morphologies d'absorption et détermine un karst de contact lithostratigraphique. La couverture joue par ailleurs un rôle de « compresse humide » (GAMEZ, 1992) qui permet une alimentation diffuse des calcaires par drainance (DEVOS, 2010).

La karstification du plateau calcaire est circonscrite aux zones sous couverture : les processus érosifs de dissolution et de soutirage sont uniquement effectifs lorsque la puissance de la couverture est comprise entre 1 et 30 m. Ces deux seuils déterminent une zone d'érosion active qui correspond à un front de karstification (JAILLET, 2000). Le démantèlement progressif de la couverture se traduit conjointement à l'exhumation du calcaire par le déplacement des fronts de karstification vers l'ouest. Certaines formes résiduelles assimilables à un paléokarst se situent en périphérie des zones de contrastes lithologiques et constituent les témoins de cette migration (figure 1).

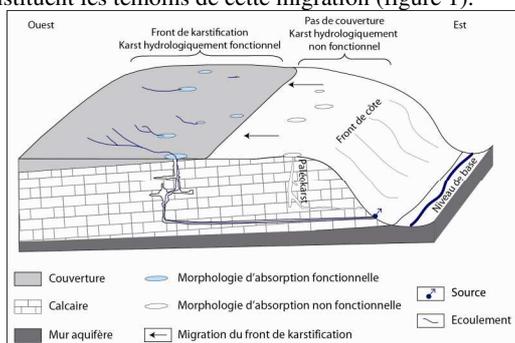


Fig. 1 : Couverture et karstification des bas plateaux calcaires du Nord-Est de la France

Sur l'interfluve Meuse/Marne, le contact entre les strates marneuses de l'Oxfordien supérieur et les formations calcaires de l'Oxfordien moyen détermine un front de karstification jalonné de nombreuses morphologies d'absorption (figure 2). Certaines de ces formes ont servi de points d'injection lors de campagnes de traçages colorimétriques révélant des vitesses de circulations souterraines contrastées au sein de la masse calcaire de l'Oxfordien moyen.

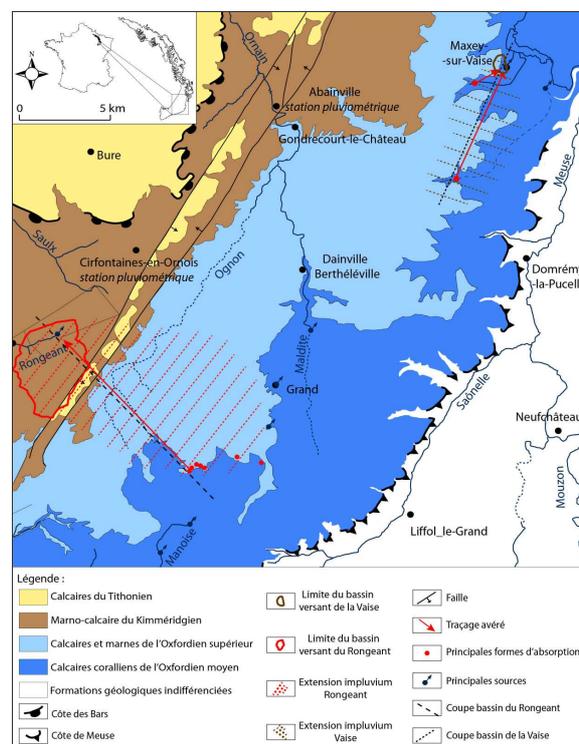
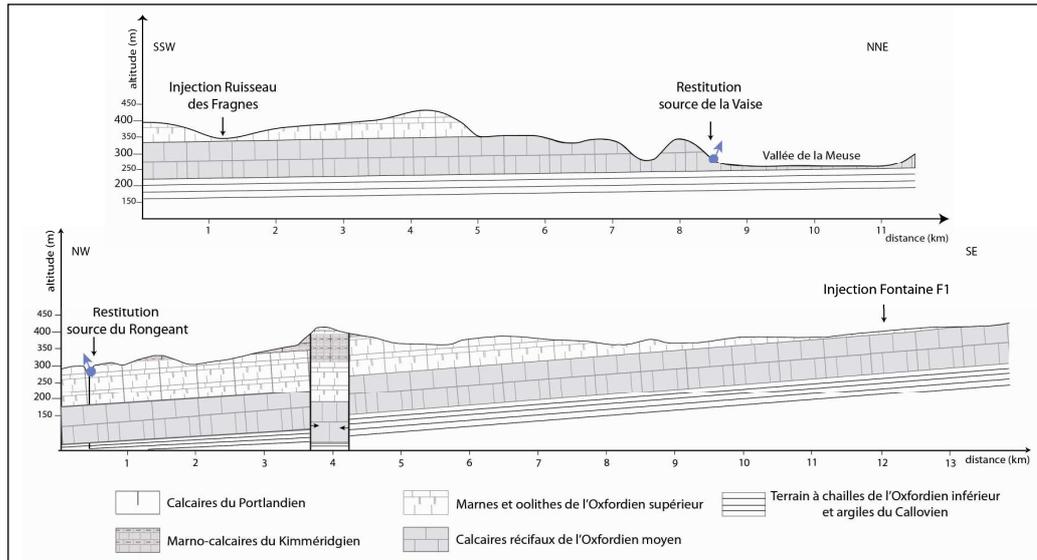


Fig. 2 : Géologie, principales manifestations exokarstiques et bassins suivis sur le Haut-Pays



Figs 3 & 4 : Coupes géologiques et traçages associés des bassins de la Vaise et du Rongean

De quelques dizaines de mètres par heure pour le bassin d'alimentation de la Vaise (LE ROUX & SALADO, 1980), les vitesses de circulation hypogée atteignent plusieurs centaines de mètres par heure pour le bassin d'alimentation du Rongean (MARRE *et al.*, 2009) (figures 3 & 4). De telles dissemblances ne sont ni imputables aux axes de fracturation orientés préférentiellement nord-est sud-ouest (MAKHJANI & AL., 2005) ni à l'état d'engorgement du réseau souterrain lors des campagnes de traçage mais indiquent vraisemblablement un degré d'organisation souterrain différent entre les systèmes alimentant ces deux exutoires.

2. Méthodes

Afin d'approfondir les résultats ponctuels des campagnes de traçage et d'entrevoir le fonctionnement souterrain du Haut-Pays, deux des principales sources du plateau ont fait l'objet d'un suivi hydrométrique lors des cycles hydrologiques 2007/2008 et 2008/2009 :

- La Vaise, qui constitue la principale émergence d'amont pendage en bordure orientale de la côte de Meuse.
- Le Rongean, une des principales émergences d'aval pendage localisé dans la partie occidentale du revers de côte.

Les précipitations de la station d'Abainville et de la station de Cirfontaines-en-Ornois sont utilisées pour caractériser respectivement l'alimentation des impluviums de la Vaise et du Rongean. La conductivité électrique des deux sources a par ailleurs été enregistrée lors du cycle hydrologique 2008/2009.

La caractérisation des dynamiques de circulation souterraines est envisagée par l'étude des relations entre les variables pluie, débit et conductivité électrique. Deux niveaux d'analyses sont retenus.

2.1. À l'échelle du cycle hydrologique

Les analyses corrélatoires simples (débit) et croisées (pluie-débit) couramment utilisées dans l'étude des systèmes karstiques (PADILLA & PULIDO-BOSCH, 1995 ; LAROCQUE & AL., 1995) renseignent sur le degré d'organisation des écoulements souterrains.

La fonction d'autocorrélation (1) $r(k)$ ou corrélogramme simple traduit l'interdépendance des événements d'une chronique pour des intervalles de temps de plus en plus longs. Appliquée aux débits (MANGIN, 1981), l'analyse

corrélatoire caractérise l'effet mémoire du système. Une décroissance rapide du coefficient d'autocorrélation jusqu'à la valeur seuil ($r(k) = 0,2$) révèle en effet une forte indépendance des débits successifs et un faible filtrage de l'information.

$$r(k) = \frac{C(k)}{C(0)} \quad (1)$$

$$C(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}) \quad (1')$$

où k correspond au pas de temps ($k = 0, 1, 2, \dots, m$), n à la longueur de la chronique et m la troncature.

La fonction de corrélation (2) croisée $r_{xy}(k)$ rend compte de la réactivité de la réponse d'un aquifère à une impulsion pluviométrique mais également du degré d'atténuation avec lequel le signal est restitué. La réactivité du système est déduite de la différence qui existe entre la valeur maximale de la fonction d'autocorrélation et sa valeur pour $k = 0$.

$$r_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2)$$

$$C_{xy}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}) \quad (2')$$

où σ_x correspond à l'écart-type de la chronique de précipitations et σ_y à l'écart-type de la chronique de débits.

2.2. A l'échelle de l'évènement

L'équation de la balance des concentrations (3) autorise la décomposition des hydrogrammes de crue et permet d'apprécier les contributions respectives de l'eau préexistante (Q_a et C_a : débit et concentration de l'eau ancienne) dans l'aquifère de celle nouvellement infiltrée (Q_n : débit et C_n de l'eau nouvelle) (DREISS, 1989). Q_t et C_t représentent respectivement le débit et la concentration de l'épisode de crue.

$$Q_t C_t = Q_a C_a + Q_n C_n \quad (3)$$

Appliqué aux conductivités électriques, (3) devient :

$$Q_n = Q_t - \frac{CE_t}{CE_a} Q_t \quad (4)$$

Les volumes d'eau nouvelle sont estimés (figure 5) lorsque les variations du paramètre géochimique sont les plus rapides (ASHTON, 1966 ; BIRK & AL., 2004).

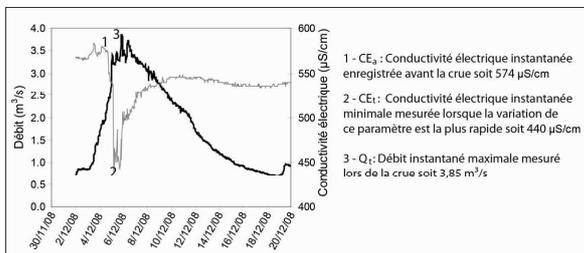


Fig. 5 : Paramètres utilisés pour le calcul de l'eau nouvelle – application à la crue de décembre 2008 sur le Rongean

Une participation importante de l'eau nouvelle lors des épisodes de crue indique une propension du système à réagir rapidement à une impulsion pluviométrique et constitue un témoignage d'une karstification active du système.

3. Résultats

3.1. A l'échelle du cycle hydrologique

La fonction d'autocorrélation (figure 6) montre pour la Vaise que le seuil de coupure est atteint le 75^{ème} jour. L'indépendance entre les valeurs de débits traduite par la lente décroissance du coefficient d'autocorrélation $r(k)$ montre que le système de la Vaise a un comportement très inertielle proche de celui d'un milieu fissuré.

La fonction $r(k)$ appliquée aux débits du Rongean atteint la valeur 0,2 pour $T=20$ jours. L'effet mémoire relativement faible observé sur le Rongean témoigne d'une bonne transmissivité de l'aquifère en accord avec un drainage rapide.

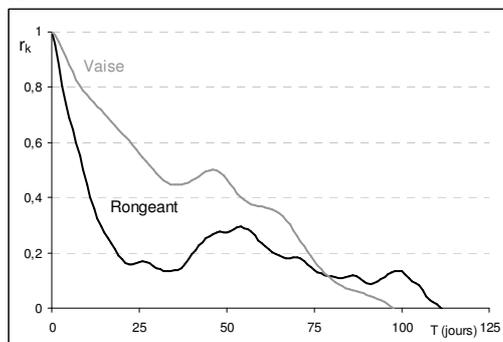


Fig. 6 : Corrélogrammes simples appliqués aux chroniques des débits du Rongean et de la Vaise

L'allure étalée de la fonction de corrélation croisée $r_{xy}(k)$ (figure 7) ainsi que la valeur maximale du coefficient de 0,13 atteinte le 8^{ème} jour atteste d'une profonde modification du signal pluviométrique par le système de la Vaise, l'aquifère est mal drainé et peu fonctionnel. Le corrélogramme croisé du Rongean donne une valeur maximale de $r_{xy}(k)$ de 0,28 le deuxième jour sur la chronique 2007/2009. La fonction montre un pic bien individualisé suivi d'une décroissance lente et constante du coefficient de corrélation qui lie les valeurs de précipitations et de débits. Le système est réactif, influencé par un écoulement rapide en drains.

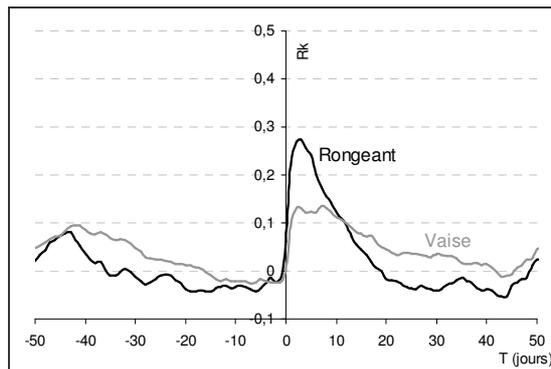


Fig. 7: Corrélogrammes croisés appliqués aux chroniques de pluies et de débits de la Vaise et du Rongean

3.2. A l'échelle de l'événement

Pour la Vaise, les principales crues s'accompagnent d'une baisse modérée (figure 8) des valeurs de conductivités électriques. Selon l'équation (4), la fraction d'eau nouvelle représente environ 7 % du volume total écoulé lors des principales crues mesurées (tableau 1). L'existence d'un écoulement rapide représenté par la part d'écoulement d'eau nouvelle atteste de l'existence probable de vides capables d'évacuer relativement rapidement les volumes précipités. Il apparaît que le système de la Vaise est majoritairement animé par des circulations lentes (comme le montre les analyses corrélatrices) mais peut également lors des crues majeures être alimenté par un drainage rapide. Ces éléments laissent à penser que le fonctionnement de la Vaise serait celui d'un système polyphasé marqué par une réactivation d'un réseau de drainage hérité qui s'opère en cas de mise en charge importante du système. Cette hypothèse de fonctionnement est par ailleurs conforme à l'évolution morphologique des karsts de bas plateaux du Nord-Est de la France où le recul de couverture laisse place à un paléokarst (DEVOS, 2010) épisodiquement fonctionnel.

| Date | Q_t (m ³ /s) | CE_t (μS/cm) | CE_a (μS/cm) | Q_n (m ³ /s) | Fraction (%) |
|------------|---------------------------|----------------|----------------|---------------------------|--------------|
| 08/12/2008 | 1.23 | 525 | 486 | 0.09 | 8 |
| 25/01/2009 | 1.19 | 480 | 447 | 0.08 | 7 |
| 12/02/2009 | 1.44 | 485 | 457 | 0.08 | 6 |
| 13/03/2009 | 1.08 | 460 | 429 | 0.07 | 7 |

Tableau 1 : Contribution de l'eau nouvelle aux épisodes de crues : application au bassin de la Vaise

Pour le Rongean, les crues de septembre 2008, de novembre 2008 et de février 2009 s'accompagnent d'une variation peu marquée des valeurs de conductivité, la fraction d'eau nouvelle calculée représente alors moins de 5 % du volume qui transite à la station hydrométrique (tableau 2). Les proportions d'eau nouvelle arrivées lors de ces crues modérées sont trop faibles pour modifier de façon importante les valeurs de conductivités électriques.

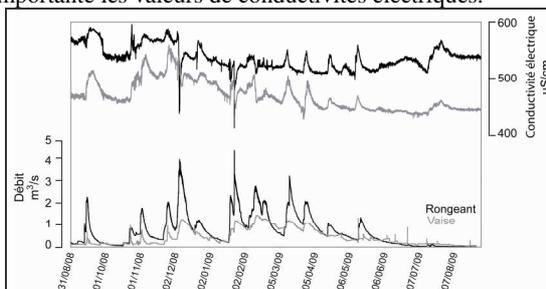


Figure 8 : Débits et conductivités électriques aux sources de la Vaise et du Rongean

Lors des deux principales crues de janvier et février 2009, les valeurs de conductivités chutent de près de 25 % par rapport à leurs valeurs d'avant crue, les proportions d'eau nouvelle sont alors supérieures à 20%. De telles chutes de la minéralisation de l'eau ne peuvent s'expliquer que par des phénomènes de dilution qui s'opèrent entre l'eau faiblement minéralisée qui s'infiltre rapidement via les morphologies exokarstiques et les eaux plus chargées déjà présentes dans l'aquifère. Au sein de l'impluvium du Rongeant, les formes sont actives et révélatrices d'une structure karstique fonctionnelle.

| Date | Q _t (m ³ /s) | CE _t (μS/cm) | CE _a (μS/cm) | Q _n (m ³ /s) | Fraction (%) |
|------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------|
| 14/09/2008 | 2.25 | 573 | 555 | 0.06 | 3 |
| 02/11/2008 | 1.74 | 576 | 557 | 0.06 | 3 |
| 05/12/2008 | 3.85 | 574 | 440 | 0.90 | 23 |
| 23/01/2009 | 4.30 | 530 | 414 | 0.95 | 22 |
| 11/02/2009 | 3.17 | 540 | 520 | 0.12 | 4 |

Tableau 2 : Contribution de l'eau nouvelle aux épisodes de crues : application au bassin du Rongeant

Conclusion

Par la densité des manifestations karstiques rencontrées, le plateau du Haut-Pays meusien est un des secteurs les plus karstifiés de l'est du Bassin parisien. Les nombreuses morphologies d'absorption alimentent des exutoires situés en limite de plusieurs systèmes plus ou moins karstifiés. Il apparaît en effet à la vue des analyses hydrogéochimiques menées sur les deux exutoires de la Vaise et du Rongeant qu'il existe de profondes dissemblances de fonctionnement au sein de l'aquifère calcaire de l'Oxfordien moyen. L'opposition entre des dynamiques lentes pour la Vaise et un fonctionnement beaucoup plus rapide pour le Rongeant illustre bien l'hétérogénéité hydrogéologique des karsts de bas plateaux dans le Nord-Est de la France. S'opposent :

- ✓ des bassins où, sous l'influence d'une couverture imperméable, l'impluvium développe un véritable comportement karstique se manifestant par une structure de drainage hiérarchisée ;
- ✓ des bassins où le recul progressif de la couverture entraîne une évolution des conditions d'infiltration sur l'impluvium. Cette modification des conditions extérieures se traduit par la mise en place d'une nouvelle structure de drainage qui ne permet plus l'expression d'un comportement karstique (MARSAUD, 1996) (sauf en période de crue majeure) mais tend vers un comportement rappelant ceux constaté en milieu fissuré.

Références

ASHTON K. 1966. The analysis of flow data from karst drainage systems. *Transactions of the Cave Research Group of Great Britain*, 7, 161-203.

ATKINSON T.C. 1977. Diffuse flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain). *Journal of Hydrology*, 35, 93-110.

BIRK S., LIEDL R., & SAUTER M. 2004. Identification of localised recharge and conduit flow by combined analysis of hydraulic and physico-chemical spring responses (Urenbrunnen, SW-Germany). *Journal of Hydrology*, 286, 179-193.

DEVOS A. 2010. Les conditions d'écoulement des plateaux calcaires de l'Est de la France. Volume 1. Mémoire d'HDR. 303p.

DREISS S.J. 1989. Regional scale transport in a karst aquifer. 1. Component separation of spring flow hydrographs. *Water Resources Research*. 25(1): 117-125.

GAMEZ P. 1992. Hydrologie et karstologie du bassin du Loison (Woëvre septentrionale). Thèse de Doctorat, Univ. Metz (janv. 1992), éditée dans Mosella, PUM, Metz (1991 (parution 1995), t.XXI, 453p.

JAILLET S. 2000. Un karst couvert de bas-plateau : le Barrois (Lorrain /Champagne, France). Structure-Fonctionnement-Evolution. Thèse de Doctorat, Univ. Bordeaux III, 2 vol., 712 p.

LAROCQUE M., MANGIN A., RAZACK M., & BANTON O. 1998. Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karstic aquifer (Charente, France). *Journal of Hydrology*, 205, 217-231.

LE ROUX J. & SALADO J. 1980. Fonctionnement des aquifères lorrains déduits des expériences de traçages colorimétriques. SRAEL, 141p.

MAKHJANI A., LETZ H., JENTZSCH G., EWING R., DUBLYANSKY Y., DANKO G., DAEMEN J & APPEL D. 2005. Examen critique du programme de recherche de l'ANDRA pour déterminer l'aptitude du site de Bure au confinement géologique des déchets à haute activité et à vie longue. Rapport final, IEER, 309 p.

MANGIN A. 1984. Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatrice et spectrale. *Journal of Hydrology*, 67(1-4), 25-43.

MARRE A., LEJEUNE O., DEVOS A., GILLE E., HARMAND D., JAILLET S., LEBAUT S., LOSSON B., MANCEAU L. & PARGNY D. 2009. Site Meuse/Haute-Marne. Caractérisation du karst dans les calcaires oxfordiens en bordure du secteur Meuse/Haute-Marne. Acquisition de données de terrain et modèle conceptuel, rapport n° C.RP.0GRU.09.0001.2., 185p.

MARSAUD B. 1996. Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir de résultats expérimentaux. Thèse de Doctorat. Université Paris VI. Ed. BRGM.

PADILLA A. & PULIDO-BOSCH A. 1995. Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. *Journal of Hydrology*, 168, 73-89.