Modélisation hydrologique semi-globale du fonctionnement hydraulique d'un système karstique exploité par pompages

Dominique Thiéry

▶ **To cite this version:**

Dominique Thiéry. Modélisation hydrologique semi-globale du fonctionnement hydraulique d'un système karstique exploité par pompages. 4ème colloque d'Hydrologie en pays calcaire et en milieu fissuré, Besançon (France), Sep 1988, Besançon, France. pp. 113-120. hal-01070942

HAL Id: hal-01070942
https://brgm.hal.science/hal-01070942

Submitted on 2 Oct 2014

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.

ANNALES SCIENTIFIQUES DE L'UNIVERSITE DE BESANCON
GEOLOGIE, MEMOIRE HORS SERIE N°6

QUATRIEME COLLOQUE D'HYDROLOGIE EN PAYS CALCAIRE
BESANCON, 29 SEPTEMBRE - 1er OCTOBRE 1988

pp. 113-120

MODELISATION HYDROLOGIQUE SEMI-GLOBALE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE D'UN SYSTEME KARSTIQUE EXPLOITE PAR POMPAGES

par

D. THIERY

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES
Service 4S/3E
B.P. 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 2 (FRANCE)

RESUME

Cette communication présente un modèle mathématique semi-global pour représenter un système karstique alimenté par les précipitations sur son bassin versant et exploité par prélèvements variables dans la source qui constitue son exutoire. Ce modèle a été appliqué avec succès à une source karstique du Sud-Est de la France. Après calage, il reproduit correctement les débits de débordement par la vasque de l'exutoire de la source karstique, ainsi que les niveaux d'eau dans cette vasque relevés pendant une période de 6 années consécutives. Il a ensuite été utilisé pour étudier les conséquences sur les niveaux d'eau, d'une augmentation des prélèvements. Comme le schéma de fonctionnement du modèle est relativement physique, on peut penser que les influences de modification du système par pompages sont bien prévues.

INTRODUCTION

Des prélèvements d'eau sont souvent réalisés par pompages dans la vasque de sources formant l'exutoire d'un système karstique alimenté par les précipitations sur son bassin versant. La modélisation d'un tel système, pour analyser la faisabilité d'un projet, est particulièrement délicate. Une approche par modèle hydrodynamique maillé peut parfois être utilisée dans les cas assez rares ou l'extension du système est bien connue. C'est l'approche utilisée sur la Fontaine de Vaucluse par Bonnet et al. 1976. En fait, dans la majorité des cas :

- on ne connaît pas l'extension du bassin d'alimentation ;
- on ne peut définir une surface piézométrique continue ;
- la notion de transmissivité n'est plus valable, mais les écoulements sont plutôt régis par les lois de l'hydraulique dans les chenaux karstiques ;

Il n'est donc pas possible (ni souhaitable) d'utiliser un modèle hydrodynamique maillé calé sur les variations du champ piézométrique. Une autre approche a consisté à utiliser un simple modèle global pluie-débit ou pluie-niveau comme sur le karst de l'Hortus par Bonnet et al. 1979 et 1980. Cette approche n'a cependant pas de caractère prédictif si on perturbe le système par modification des prélèvements.

Pour représenter correctement un tel système karstique, on a donc conçu un modèle mathématique original -le modèle KARINE-. C'est un modèle hydrologique semi-global qui comporte un réservoir pour représenter le

bassin d'alimentation, un réservoir pour représenter le réseau karstique et une vasque dont le débordement produit un débit de source. Le réservoir d'alimentation et la vasque sont reliés par une transmissivité équivalente.

Les niveaux des réservoirs baissent sous l'influence des pompages (variables à chaque instant) et remontent jusqu'à la cote de débordement de la vasque sous l'effet de la recharge par les pluies efficaces sur le bassin versant. Les paramètres du modèle (extension du bassin versant, coefficient d'emmagasinement global, transmissivité équivalente, etc...) doivent être ajustés sur les variations de niveaux mesurés dans la vasque de l'exutoire ou/et sur les variations de débit de débordement à l'exutoire. Un tel modèle présente donc l'avantage d'avoir un schéma physique réaliste et donc de permettre de prévoir les influences de modifications du système.

LE MODELE DE SIMULATION

Le modèle KARINE est composé de 3 réservoirs (figure 1) :
- un réservoir superficiel (RU) schématisant les premiers centimètres du sol dans lesquels se produit l'évapotranspiration ;
- un réservoir intermédiaire (RI) schématisant la zone non saturée et qui a pour rôle de représenter la percolation vers le système karstique et le retard qui lui est associé ;
- un réservoir souterrain (RS) schématisant le système karstique et qui est connecté à une vasque soumise à un pompage et pouvant déborder ; c'est ce réservoir qui fait l'originalité et la spécificité du modèle KARINE, les deux autres étant plus classiques et identiques à ceux utilisés dans les modèles hydrologiques globaux comme le modèle GARDENIA (Roche et Thiery 1984, Thiery 1988a, 1988b).

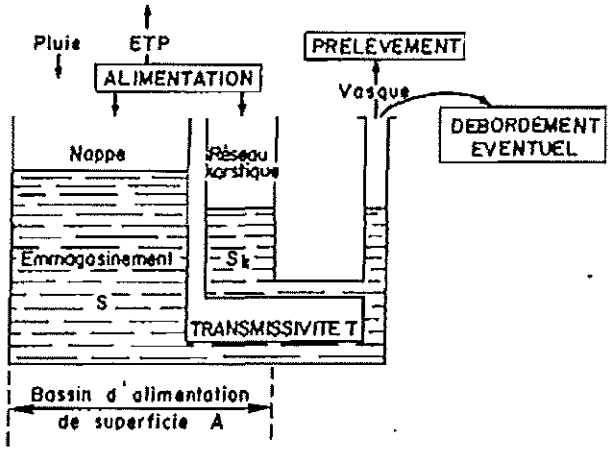

Fig.1 – Schéma de fonctionnement du modèle KARINE

Les hypothèses implicites d'un tel modèle sont les suivantes :
- Après action de l'évapotranspiration, toutes les précipitations qui tombent sur la surface d'alimentation du système ressortent à terme sous forme de débit pompé et de débit de débordement à la vasque. On a donc la relation sur une longue période PEF = POMP + DEBOR avec PEF : pluie efficace (m3), POMP : volume pompé (m3), DEBOR : volume de débordement à la vasque (m3).
  Cette relation reste valable quel que soit le volume pompé ;

- Une augmentation de pompage dans la vasque sollicite uniquement la réserve et peut diminuer le débordement à la vasque. Elle n'induit aucune recharge ou réalimentation supplémentaire car il n'y a pas de limite hydrodynamique à niveau constant.

Connaissant la pluie efficace moyenne (dont l'évaluation est justement un des rôles du modèle), on pourrait donc en déduire la moyenne du débit qu'il serait possible de prélever : POMP = PEF. On obtiendrait ce débit maximal théorique uniquement si on pouvait à la fois supprimer totalement le débit de débordement, ce qui n'est pas possible en période de fortes crues, et rabattre suffisamment le niveau dans la vasque en période de sécheresse en attendant un retour de l'alimentation, ce qui n'est pas forcément possible compte tenu de la position des pompes.

Le réservoir superficiel (RU)

C'est un réservoir caractérisé par une capacité de rétention (réserve utile) RUMAX. Il est alimenté par la pluie et est soumis à l'évapotranspiration potentielle ETP. Toute quantité d'eau en excès, appelée abusivement "pluie efficace", passe donc vers les horizons inférieurs. L'évapotranspiration potentielle ETP peut être affectée d'un pourcentage de correction constant CORETP pour tenir compte du caractère approché des formules d'estimation de l'ETP. Deux paramètres ont donc une action sur ce réservoir : RUMAX et CORETP.

Le réservoir intermédiaire (RI)

Ce réservoir assure le transfert vers le système karstique par percolation différée. Le retard est contrôlé par le temps de demi-percolation THG au bout duquel, en l'absence de ruissellement, la moitié du volume du réservoir s'infiltre vers la "nappe" par percolation.

Le système karstique du réservoir souterrain (RS)

Il est schématisé par un réservoir double composé d'une partie "nappe" et d'une partie "réseau karstique" connectées à une vasque elle-même soumise à un pompage. Le réservoir est alimenté par l'infiltration produite par le réservoir RI situé au-dessus ; il a une superficie SURNAP qui est égale à la surface d'alimentation du système karstique.

. Le réservoir "nappe"

Un certain pourcentage POUKAR de la surface d'alimentation est affecté au système karstique. Le reste constitue la matrice fracturée (appelée par commodité "la nappe"). Ce réservoir est connecté à un conduit qui aboutit à une vasque. Le réservoir nappe est connecté à la vasque par une transmissivité équivalente TRANSM telle que s'il existe une différence de niveau DH entre la "nappe" et la vasque, il s'écoule un débit Q défini par : Q = TRANSM.DH . La nappe a un coefficient d'emmagasinement global EMMNAP.

. Le réservoir "réseau karstique"

Ce réservoir est caractérisé par sa surface d'alimentation SURKAR déduite du pourcentage POUKAR de la surface totale occupée par les conduits karstiques : SURKAR = POUKAR.SURNAP.

Il est relié directement à la vasque (sans pertes de charges) et possède un coefficient d'emmagasinement EMMKAR.

. La vasque

Elle est caractérisée par sa section SURVAS et sa cote de débordement HDEBOR (son coefficient d'emmagasinement est bien entendu égal à 100 %).

Le système karstique fait intervenir :
- 3 paramètres pour la nappe : SURNAP, TRANSM, EMMNAP,
- 2 paramètres pour le réseau karstique : SURKAR, EMMKAR,
- 2 paramètres pour la vasque : SURVAS, HDEBOR.

Au total, compte tenu des 2 autres étages (réservoir superficiel et réservoir intermédiaire), le modèle fait donc intervenir un maximum de 10 paramètres.

Les données d'entrée du modèle

Le modèle fait intervenir 3 séries de données pour le calcul. Une quatrième série sert à ajuster le modèle aux observations. Les séries d'entrées sont : la série des lames d'eau, la série des évapotranspirations potentielles, la série des débits prélevés dans la vasque. La série de contrôle est la série des niveaux mesurés dans la vasque ou bien la série des débits de débordement par la vasque. Ces séries peuvent ne pas être au même pas de temps, mais les séries les plus fines doivent être celles des entrées (lames d'eau, prélèvements).

EXEMPLE D'APPLICATION

Le modèle KARINE a été appliqué à un système karstique du Sud-Est de la France. Ce système karstique est alimenté par les précipitations et son exutoire est constitué d'une vasque dans laquelle sont prélevés des débits variables suivant les saisons. Le niveau d'eau dans la vasque dépend donc à la fois de l'alimentation du système et des prélèvements. A certaines périodes, la vasque déborde et le débit qui en résulte est connu (au moins approximativement).

Les données utilisées

La période d'observation simultanée des pluies, des niveaux et des débits est constituée par les 6 années de la période 1977-1982.

. Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle a été calculée au pas de temps mensuel avec la formule mensuelle de Turc (Turc 1961). En fait, cette formule tend souvent à sous-estimer l'évapotranspiration potentielle. Cependant, la valeur calculée est un très bon index et moyennant un éventuel ajustement global, reproduit très bien les variations au cours des différents mois des différentes années.

. Lame d'eau

Le calcul de la lame d'eau qui alimente le système karstique est problématique car la zone exacte d'alimentation n'est pas connue.

Cependant, une analyse préliminaire a montré que la répartition de la pluie était régulière et que les pluies aux différentes stations étaient très liées les unes aux autres. Nous avons donc choisi d'utiliser les 6 stations proches de l'exutoire car le bassin a une surface d'alimentation a priori de l'ordre de 100 à 200 km2, ce qui correspond à un cercle de rayon de 10 à 15 km. La lame d'eau a été évaluée par moyenne arithmétique de ces 6 stations. Le pas de temps retenu est un pas pentadaire (5 jours).

. *Débits prélevés, niveaux dans la vasque, débits de débordement*

Les débits, qui étaient relevés par compteurs volumétriques, ont été transformé au pas pentadaire. Les niveaux dans la vasque ont été suivis très régulièrement sur toute la période. Les débits de débordement ont été calculés à partir des niveaux dans la vasque, quand ils dépassent la cote de débordement, par application d'une courbe de tarage approximative établie en 1974 ; ils sont donc assez mal connus. Niveaux et débits de débordement ont été également transformés au pas de temps pentadaire.

Calage du modèle

Le calage du modèle consiste à ajuster les 10 paramètres agissant sur le fonctionnement du modèle. En fait, la hauteur de débordement HDEBOR a été déterminée sans équivoque par simple examen des hauteurs d'eau absolues à la vasque.

Le modèle produit 2 grandeurs qui peuvent être contrôlées : d'une part, la série des niveaux dans la vasque calculés, d'autre part, la série des débits de débordement calculés.

Il peut sembler équivalent de caler le modèle sur l'une ou l'autre série mais, en fait, la sensibilité des paramètres n'est pas la même sur chacune des séries et, compte tenu des incertitudes des mesures et de la nature du modèle, on n'arrivera généralement pas au même jeu de paramètres.

On pourrait penser qu'il est plus intéressant de caler le modèle sur la série des niveaux observés à la vasque car c'est ce niveau qui est critique pour l'exploitation du système. Mais un calage uniquement sur ces niveaux pourrait ne pas simuler, de manière fiable, les débits de débordement si on modifie profondément les débits d'exploitation. Réciproquement, un calage sur les seuls débits de débordement observés ne prouverait pas forcément que tous les paramètres hydrodynamiques sont bien ajustés et que le modèle peut être utilisé pour prévoir les modifications de niveau résultant d'un changement du débit d'exploitation. L'idéal serait donc un calage mixte. Malheureusement, la précision n'est pas la même sur les niveaux (bien connus) et les débits (connus que très approximativement par l'intermédiaire d'une esquisse de courbe de jaugeage). On réalisera donc un calage en ajustant au mieux les niveaux dans la vasque tout en contrôlant si les débits calculés sont à peu près corrects.

. *Prédétermination des paramètres*

Le rapprochement, d'une part, des données moyennes de pluie (770 mm) d'évapotranspiration réelle minimale (pour une capacité de rétention RUMAX nulle) (280 mm), soit une pluie efficace maximale de (490 mm par an) et, d'autre part, des débits de débordement et des débits pompés (1.9 m3/s au total) conduit à une superficie minimale du bassin d'alimentation égale à 120 km2. C'est une borne inférieure qui pourra être à peu près doublée

suivant la valeur de la capacité de rétention et du coefficient de correction de l'ETP.

Le coefficient d'emmagasinement global a été évalué à 1 à 2 % par une modélisation préliminaire de cohérence, et l'analyse des tarissements (des niveaux) a fait apparaître une constante de temps CT de 70 jours environ, soit une transmissivité globale Tr donnée par la relation $Tr = L^2S/2.CT$; L^2 étant la superficie du système (200 km2), S étant le coefficient d'emmagasinement (2 %), d'où Tr de l'ordre de 0.3 m2/s.

. Calage sur les niveaux dans la vasque (pas de temps pentadaire)

Le meilleur calage conduit aux paramètres suivants : superficie du bassin 197 m2, transmissivité 0,4 m2/s, coefficient d'emmagasinement 0,8 %, capacité de rétention 23 mm, correction d'ETP + 20 %.

Le coefficient d'ajustement (coefficient de corrélation) est égal à 0,84. La pluie efficace est égale à 310 mm/an, en moyenne, sur la période de calage.

. Calage sur les débits de débordement (pas de temps pentadaire)

Les paramètres obtenus par le calage sur les niveaux donnent un coefficient de corrélation égal à 0,76, mais les débits de débordement simulés sont légèrement trop forts, ce qui n'est pas choquant compte tenu de la faible précision sur les débits observés. Les débits calculés ont donc été légèrement réajustés pour respecter la moyenne des observations.

La figure 2 montre que le calage est globalement satisfaisant, à la fois sur les relevés de niveau, et sur les débits de débordement.

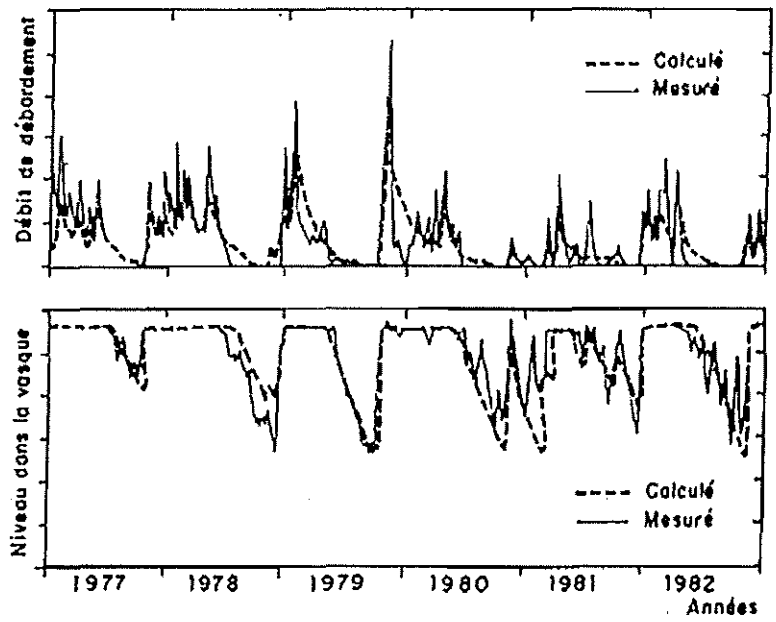

Fig.2 – Application à la simulation du débit de débordement et du niveau dans la vasque d'une source karstique

Exploitation du modèle

Le but du modèle n'est pas de reproduire les données observées mais de prévoir les niveaux à la vasque pour différents régimes d'exploitation pendant une longue séquence constituée d'années moyennes sèches et humides. La figure 3 montre un exemple de prévision des niveaux, pour deux projets d'exploitation, pour une séquence de pluie identique à la période 1977/1982. Elle fait apparaître que le projet n° 2 conduirait à de fort rabattements au cours d'une séquence d'années identique à celle de la période 1980/1982. D'autres calculs (non représentés ici) ont permis de simuler le système d'exploitation pendant une très longue durée et d'analyser les éventuelles périodes de défaillances.

CONCLUSIONS

Cette communication montre que le modèle KARINE permet de simuler efficacement un système karstique composé d'un massif fracturé relié à une vasque dans laquelle sont prélevés des débits et dont le débordement alimente une source. Après calage, le modèle peut être utilisé pour prévoir les rabattements résultants d'une surexploitation temporaire, en tenant compte de la variabilité climatique. Il est nécessaire de disposer d'une longue période d'observation des niveaux piézométriques en exploitation et des débits de débordement pour aboutir à un calage fiable. De toute façon, un essai de surexploitation pendant une longue durée sera souvent nécessaire pour parfaire le calage et donc la fiabilité du modèle.

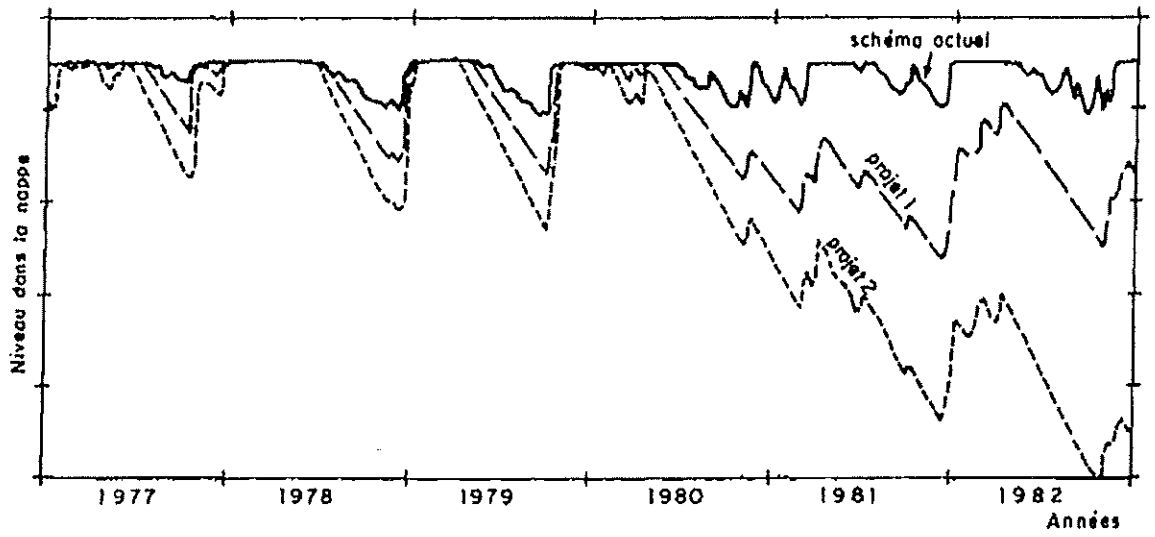

Fig.3 - Simulation de 2 projets d'augmentation des prélèvements dans la vasque

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bonnet M., Lallemand-Barres A., Thiery D., Bonin H., Paloc H. 1980.- Etude des mécanismes de l'alimentation d'un massif karstique à travers la zone non-saturée.- Application au karst de l'Hortus-DGRST.- Rapport BRGM SO SGN 095 HYD.

Bonnet M., Margat J., Thiery D. 1976.- Essai de représentation du comportement hydraulique d'un système karstique par modèle déterministe : application à la Fontaine de Vaucluse.- Deuxième Colloque d'Hydrologie en pays calcaire.- Annales scientifiques de l'Université de Besançon.- Géologie Fac. 25, 3ème série, 1976, pp. 79-95.

Bonnet M., Thiery D., Bonin H., Paloc H. 1979.- Etude par modèles mathématiques des écoulements en milieux karstiques : application au karst de l'Hortus-DGRST.- Rapport BRGM 79 SGN 733 HYD.

Bonin H. 1980.- Contribution à la connaissance des réservoirs aquifères karstiques ; un exemple : le Causse de l'Hortus, un site expérimental la source du Lamalou.- Thèse de Docteur d'Université USTL Montpellier, 4 mars 1980.

Roche P.A., Thiery D. 1984.- Simulation globale de bassins hydrologiques - Introduction à la modélisation et description du modèle GARDENIA.- Rapport BRGM 84 SGN 337 EAU, novembre 1983.

Thiery D. 1988a.- Forecast of changes in piezometric levels by a lumped hydrological model.- Journal of Hydrology 97 (1988), pp. 129-148.

Thiery D. 1988b.- Influence de la variabilité du climat sur les performances des méthodes d'évaluation des ressources en eau.- Commission des Communautés Européennes - Contrat CLI-88-F(RS).- Rapport BRGM 88 SGN 155 IE.

Turc L. 1961.- Evaluation des besoins en eau d'irrigation - Evapotranspiration potentielle.- Ann. Agron., 12.