

KARSTOLOGIE ET ANALYSE DES SYSTEMES AQUIFERES

par

Ernest LAURENT¹

ABSTRACT. - Karstology and hydrogeological systems analysis.

During the last decades enormous progresses were realized in groundwater models and aquifer systems analysis. The research on groundwater results in a large body of knowledge among which the mathematical tools of hydrogeological modelisation. These tools were able to give the refined quantitative answers needed for the utilisation and protection of groundwater resources. Obviously the use of these models was more successful in pore aquifers and more difficult in carbonate rocks.

Nevertheless it was shown that the concepts of coefficients of permeability and coefficients of transmissivity are acceptable in carbonate rocks when working at the right scale.

This article analyses why there is still an opposition between some "naturalists" who reject the mathematical tools and some "users" who apply them sometimes without enough knowledge of the natural karst system.

By the analyse of case histories in limestones and chalkrocks the requirements for application of modelisation tools to those aquifers are described. Among the requirements the need for field methods for determination of dispersion coefficients is emphasized.

The case histories, choosen as examples of the need of a detailed system analysis before modelisation, are the induced infiltration of the Scheldt in the Carboniferous Limestone and the radial dispersion model of the chalk cretaceous aquifer at Havré.

The analogy between global hydrographic models and karst aquifer models is pointed out. The last example, the study of the protection area of a water production gallery, illustrates the use of simple physical models in karst aquifers to simulate fissuration and karst channels.

In conclusion the progress in karst aquifers simulation will be highly stimulated by the research of widely diversified groups of scientists in which the system descriptions aspects will be confronted with the mathematical tools. The resulting models must be as close as possible to the system itself and based essentially on answers of the real system to field tests.

Plusieurs des auteurs du Colloque international de Karstologie appliquée (Liège, 1984), ont souligné les échecs de modèles conceptuellement basés sur les roches poreuses en petit dans l'étude des nappes aquifères karstiques. La communication de Papard (1985) souligne en particulier l'échec de ces modèles dans des cas d'études de dispersion d'effluents dans un aquifère karstique. Cette analyse vient renforcer une tendance "naturaliste" de rejet des outils de l'hydrogéologie mathématique et de la géochimie. Certains poussent même la simplification jusqu'à un classement en deux catégories. D'une part, les "bons" écologistes, amis des grottes et de la nature, et d'autre part, les "méchants" ingénieurs motivés uniquement par les ouvrages à réaliser au mépris des effets sur le milieu karstique.

Cet antagonisme simplificateur est stérilisant. Une analyse plus poussée des échecs de modélisation montre le plus souvent une lacune d'étude préliminaire du système à représenter. En réalité, la plupart des échecs proviennent de la démarche même du modéliste théoricien. Il veut le plus souvent appliquer un modèle pré-

existant à un système dont il n'a pas fait l'étude descriptive auparavant. L'approche du théoricien part souvent d'équations complexes pour les simplifier et les appliquer à des sous-systèmes ne représentant pas la réalité.

Ainsi les modèles de nappe aquifère sans relation avec la rivière foisonnent et l'inversion des matrices fournit pourtant une simulation plausible. Les modèles de rivières et de canaux sans infiltration induite ni écoulement de base parviennent même à simuler les concentrations en produits dissous ou en polluants dans une section de calage. Il en est de même dans les modèles d'aquifères de pores appliqués tels quels aux nappes karstiques. En déduire que ces modèles sont autre chose que des êtres mathématiques serait très audacieux.

¹ Conseiller du Ministre de la région wallonne pour l'Eau, l'Environnement et la Vie rurale.

Adresse actuelle : Ministère de la région bruxelloise, 6, rue Royale, 1000 Bruxelles.

Aussi le praticien insiste-t-il sur le très grand nombre de mesures, sur la détermination sur le terrain des caractéristiques du système à représenter (fissuration, karstification, nature des roches, . . .) et en particulier sur les *méthodes de détermination in situ des paramètres d'écoulement et de dispersion*. En bref, le praticien met l'accent sur la connaissance du système réel préalable à toute modélisation. Pour lui, la compréhension des interactions est plus importante que l'outil de simulation proprement dit. Il sait par expérience que le système réagit parfois de manière imprévue à l'action de l'homme. Nous venons d'en voir deux exemples dans les éboulements des puits naturels du Tournaisis et dans la karstification accélérée sous le site de la station de traitement de la Gileppe (E. Laurent, 1985). Cette réaction imprévue vient toujours d'une insuffisance d'observation de terrain. Aucun modèle, aussi ambitieux soit-il, n'a jamais prévu ce que ses équations d'évolution ne contiennent pas. La longueur et la complexité des équations ne comblent jamais une lacune de connaissance du système réel.

Les réactions imprévues et les problèmes concrets du milieu réel sont le lot quotidien du praticien et font la richesse de son expérience. Encore faut-il que le praticien participe à la recherche appliquée et ne s'isole pas dans une routine d'exécution ou dans la simple description naturaliste et historique des phénomènes karstiques.

Si le souci de Papard (1985) de voir les "officiels" (entendez les constructeurs, les exploitants des nappes, les autorités locales, . . .) initiés aux études karstiques est louable, je pense qu'il serait encore plus efficace de voir se multiplier le nombre de "karstologues" utilisant l'arsenal de l'hydrogéologie mathématique, de la géochimie, de l'hydraulique pour construire les outils d'essais in situ permettant de définir le système karstique par ses paramètres d'écoulement, de dispersion, d'évolution physico-chimique et hydraulique. Avec ces données et leur connaissance du système karstique, on peut garantir des modèles corrects.

Une telle démarche ne peut être qu'enrichissante et parer aux échecs d'application automatique d'outils mathématiques non adaptés au système réel. Il serait très regrettable de renoncer aux apports des techniques de l'hydrogéologie mathématique sous prétexte qu'elle s'adresse aux roches poreuses en petit et non aux roches à fissures ou aux karsts.

Une telle attitude serait non fondée puisque Konoplyantsev *et al.* (1973) ont démontré que même les écoulements dans les conduits karstiques répondent aux équations de définition des concepts de perméabilité et de transmissivité. Bien sûr la signification physique des concepts est différente mais rien n'empêche de considérer dans un aquifère karstique deux transmissivités et deux porosités liées par couple aux vides intersticiels non karstiques et aux chenaux karstiques. Il est remarquable que cette démarche est contenue

implicitement dans l'analyse de Dodge (1985) du fonctionnement des sources karstiques du Causse Comtal, et s'appliquerait parfaitement à l'aquifère mixte décrit par Rodet (1985).

L'approche de Dodge (1985) présente d'ailleurs une analogie frappante avec les modèles globaux de bassins hydrographiques basés sur le débit de sortie du bassin tel le modèle de l'aquifère du bassin de la Dyle (Bultot, Dupriez & Laurent, 1976; Laurent, 1980) mais qui serait très simplifié.

Le débit de la rivière est remplacé par le débit de la source, ce qui implique un bassin versant souterrain associé qui n'est pas défini, à défaut de mesures piézométriques suffisantes. La simplicité d'un tel "modèle" ne prenant pas en compte les autres entrées et sorties de l'aquifère, les relations avec l'alimentation permet à cet auteur de tirer des conclusions générales sur la vulnérabilité et l'utilisation potentielle des bassins aquifères des sources. Une grande prudence s'impose toutefois dans la traduction spatiale de ces conclusions générales valables pour l'ensemble du bassin. Une modélisation sous forme de modèle "bicouche" dont une couche représente la porosité en petit et l'autre la porosité de chenaux avec des transmissivités associées permettrait de passer à un modèle maillé et de déboucher sur des projets concrets de mise en valeur et de protection de l'aquifère après des essais locaux pour quantifier les écoulements et les dispersions. Lorsque la modélisation part d'une bonne connaissance du système aquifère et que l'accent est mis sur l'essai in situ avec construction progressive de modèles simples, on obtient un outil prévisionnel valable.

Pour rappel, l'aquifère du Calcaire carbonifère du Tournaisis pourtant affecté de karsts importants a été modélisé par Mania (1978) et l'incident de pollution de 1977 a donné lieu à un modèle hydrodispersif et géochimique par Laurent & Henry (1979). De même, la dispersion d'un polluant dans les craies du site de captage de Havré peut être simulée grâce à la mise au point d'un modèle radial de dispersion (Laurent, 1982).

Ces représentations numériques du comportement hydrodynamique et hydrodispersif n'ont été possibles que grâce à la mise au point d'essai d'abaques de détermination des coefficients de dispersion (Sauty, 1977; Laurent, 1979; Laurent, 1982) à partir de mesures sur le système réel à échelle locale. C'est donc le sous-système local qui constitue l'entrée dans le modèle et non plus une optimisation globale après application d'un modèle théorique.

En conclusion, les techniques de l'hydrogéologie mathématique peuvent être très utiles même dans les roches karstiques à condition d'interroger le système lui-même par des essais in situ et de n'utiliser ces techniques que comme outil de représentation d'un système déjà connu dans ses interactions internes et externes. Les modèles les plus simples sont d'ailleurs souvent les meilleurs dans les phases initiales où l'on dispose de trop

peu de réponses locales du système aquifère. A titre d'exemple d'un modèle original simple qui n'est qu'une synthèse directe des observations de terrain, on peut citer le modèle de détermination de la zone de protection de la galerie du captage du Triffoy dans le Calcaire carbonifère du Synclinorium de Dinant (Laurent & Ghysel, 1981). Par un levé banc par banc des couches traversées par la galerie avec mesure du degré de fissuration et relevé des débits dans toutes les sections caractéristiques d'un changement d'apport d'eau, on a pu remplacer la galerie réelle par un modèle physique comportant la galerie réelle et une galerie fictive représentant la zone faillée recoupée en deux places par la galerie réelle. En simplifiant, la galerie fictive représentait l'apport essentiel de la porosité de fissures. Des levés sismiques et géo-électriques ont complété l'arsenal de calage de ce modèle physique simple, et ont permis de délimiter les zones de protection de 24 heures, de 50 jours, et du bassin.

Les études quantitatives par modèle analogique électrique et par modèle thermodynamique ont permis de prévoir les réactions entre l'eau infiltrée, l'eau de la nappe et les minéraux de la roche aquifère dans le site de réalimentation des sables diestiens à Grobbendonck (Laurent, 1978).

Les réactions de précipitation prévue de calcite et de silice ont été reproduites sur colonne à échelle réduite. Les analyses minéralogiques avant et après essais de réalimentation ont confirmé les résultats de l'étude préliminaire. Le système aquifère réel était bien représenté par le modèle complexe composé des sous-modèles écoulement, dispersion, interaction eau-minéraux.

L'intérêt de telles réussites pour protéger l'aquifère, l'environnement et pour éviter les catastrophes de réactions est tel qu'il suffit pour vaincre les allergies nées de la complexité des techniques utilisées ou d'échecs liés à une mathématisation automatique coupée du système réel.

En rejoignant les soucis de Ek (1984, 1985) pour la protection de nos sites karstiques et des nappes associées, on ne peut qu'encourager les praticiens à faire appel à toutes les techniques disponibles et que souhaiter la généralisation des études interdisciplinaires.

CONCLUSIONS

- Les effets des activités humaines peuvent être non seulement des pollutions du domaine karstique par les rejets directs et indirects de substances nocives mais parfois des karsts artificiels accélérés par rapport aux karsts naturels. Les découvertes des carrières exploitées sont des causes évidentes de ce second phénomène mais des processus plus insidieux peuvent agir. Nous en avons détaillé deux exemples. A savoir, les effets de la surexploitation du Calcaire carbonifère du Tour-

nais et des fuites de l'aqueduc d'eau brute de la Gileppe.

- Pour prévenir de tels accidents, pour la protection générale du milieu karstique et des aquifères associés, les études combinant les aspects quantitatifs (débits, écoulement) et les aspects qualitatifs (composition, dispersion, interaction eau-minéraux) se sont révélées particulièrement fructueuses. L'usage des techniques de l'hydrogéologie mathématique, de la géochimie et de la géophysique peut être très efficace si le fonctionnement du système aquifère est bien analysé avant toute modélisation. L'accent doit, dans ce cas, être mis sur les essais de terrain plutôt que sur l'application brutale d'outils de modélisation préexistants.

- Le respect de l'environnement se traduit par une meilleure connaissance du système réel. Son étude détaillée préliminaire doit précéder toute action de modification du système sinon des réactions imprévisibles causent des surprises désagréables.

- Le simple bon sens ne suffit pas pour gérer convenablement le système aquifère. Ainsi, la réalimentation accidentelle du Calcaire carbonifère, dont certains se sont réjouis, cause des effets plus catastrophiques par pollution induite et karstification que l'arrivée de l'eau de l'Escaut. Pourtant, d'aucuns ont présenté la réalimentation artificielle comme la correction automatique des ennuis liés à la surexploitation de l'aquifère. Le système réel est souvent trop complexe pour être affaire de simple bon sens et seuls les sous-modèles de qualité contiennent une information suffisante pour l'analyser dans ses interactions eau-minéraux.

BIBLIOGRAPHIE

- BULTOT, F., DUPRIEZ, G. & LAURENT, E., 1976. Les ressources d'eau souterraine en Belgique. Réserve, régime et exploitabilité des aquifères. Le Bassin de la Dyle à Wavre, I.R.M., 97 (A) : 44 p.
- DELATTRE, N., 1983. Les puits naturels du Tournaisis. Contribution à l'étude de leur genèse. Mém. de lic. en Sc. Géogr. Inédit, Université de Liège, 127 p.
- DELATTRE, N., 1985. Les puits naturels du Tournaisis. Etude de leur localisation et contribution à l'étude de leur genèse, Colloque intern. de karstologie appliquée, Ann. Soc. géol. Belg., 108 : 117-123, ce volume.
- DODGE, E.D., 1985. Vulnérabilité des aquifères karstiques en fonction de l'hétérogénéité de leur perméabilité. Exemple de trois sources du Causse Comtal. Colloque intern. de karstologie appliquée, Liège, Ann. Soc. géol. Belg., 108 : 43-47, ce volume.
- EK, C., 1984. Phénomènes et processus karstiques, dans le Karst belge - Karstphänomene in Nordrhein-Westfalen, Kölner geographische Arbeiten, Heft 45 : 13-20.
- EK, C., 1985. De la connaissance du milieu karstique à sa gestion. Colloque intern. de karstologie appliquée, Ann. Soc. géol. Belg., 108 : 303-304, ce volume.
- KONOPLYANTSEV, A.A., O'DRISOLI, E.P., SCHOELLER, H.J. & TAYLOR, G.C., 1973. Analytical and investigational techniques for fissured and fractured rocks, in Ground-Water studies, Unesco press, Paris, 1975.

- LAURENT, E., 1978. Etude qualitative et quantitative de la réalimentation du diestien à Grobbendonck, Noyau de l'Eau, 94 p.
- LAURENT, E., 1979. Détermination de coefficients intrinsèques de dispersion d'un aquifère, La Technique de l'eau, 388, avril 1979 : 29-35.
- LAURENT, E., 1980. Le modèle global du bassin de la Dyle à Wavre : sa fiabilité, ses utilisations : 190-203, dans "Monographie du bassin de la Dyle", 3ème partie, éd. E. Laurent, 1980, 302 p.
- LAURENT, E., 1982. Détermination du coefficient intrinsèque de dispersion radiale du Crétacé de la Haine à Havré. Fiabilité du modèle radial de dispersion basé sur ce coefficient, La Technique de l'eau, 432, décembre 1982 : 9-16.
- LAURENT, E., 1985. Réflexions sur la protection des aquifères karstiques et sur des activités humaines génératrices de karsts accélérés. Les exemples du Tournaisis et de la Gileppe. Colloque internat. de karstologie appliquée, Liège, 31 mai - 3 juin 1984, Ann. Soc. géol. Belg., 108 : 125-135, ce volume.
- LAURENT, E. & HENRY, J., 1979. Evolution qualitative de la nappe du Calcaire carbonifère du Tournaisis suite à l'infiltration d'eau de l'Escaut à Pont-à-Chin, 1ère partie : Les observations et les types de pollution, La Technique de l'eau, n° 389, mai 1979 : 9-16.
- LAURENT, E. & HENRY, J., 1979. Evolution qualitative de la nappe du Calcaire carbonifère du Tournaisis suite à l'infiltration d'eau de l'Escaut à Pont-à-Chin, 2ème partie, Interprétation hydrogéologique de l'infiltration, La Technique de l'eau, n° 390-391, juin 1979 : 21-30.
- LAURENT, E. & GHYSSEL, P., 1981. Zones de protection du captage du Triffoy, commune de Huy, La Technique de l'eau, 409, janvier 1981 : 21-35.
- MANIA, J., 1978. Gestion des systèmes aquifères. Application au Nord de la France, Soc. géol. Nord, Mém. t. XV, 277 p.
- PAPARD, P., 1985. Problems of effluent dispersion in karst aquifers, Colloque internat. de karstologie appliquée, Liège, Ann. Soc. géol. Belg., 108 : 55-58, ce volume.
- RODET, J., 1985. Karst et protection des eaux souterraines alimentaires en aquifère mixte en Normandie crayeuse, Colloque internat. de karstologie appliquée, Liège. Ann. Soc. géol. Belg., 108 : 33-41, ce volume.
- SAUTY, J.P., 1977. Analyse de la Courbe de restitution d'une injection instantanée de traceur parfait dans une nappe à écoulement uniforme, Colloque Protection des Eaux captées pour l'alimentation humaine, Thème 2 : 303-316.