Protection des ressources en eau karstique et aménagement et gestion du territoire

Karst water resources protection and country management

par Michel Bakalowicz,

CNRS, Laboratoire Hydrosiences Montpellier ^{1,2}

Karst aquifers are known as very vulnerable to pollution, mainly because of the high flow velocity along particular underground flow paths. The strict application of regulations for protecting water works for drinking water is particularly difficult in karst areas. All the difficulties are reviewed and discussed, in order to propose orientations for protecting karst water resource by taking into account the hydrogeological characteristics of karst areas : their high vulnerability to pollution, but also the very low remanence of pollution effects at a several-years time scale, the commonly low man activities, and the abundance of their groundwater resource. The wide areas and the necessary economical development oblige that the measures for protecting groundwater resource must be integrated in projects for managing environment and country. Some examples are given.

I ■ INTRODUCTION

Jusque récemment, il n'était pas dans les habitudes des aménageurs, ni des hydrogéologues de concevoir des plans d'aménagement ou de gestion du territoire dans le but spécifique de protéger les eaux souterraines [1]. La seule démarche formalisée dans ce domaine et s'appuyant sur une réglementation précise concerne la protection des captages d'eau souterraine pour les adductions d'eau potable (AEP) et l'établissement de périmètres de protection. Encore faut-il reconnaître que, malgré l'obligation faite par la loi sur l'eau de 1992, nombre de captages ne sont pas encore dotés de mesures de protection faisant suite à une déclaration d'utilité publique (DUP) et imposant, entre autres, des contraintes en matière d'utilisation et de gestion du territoire, dans un périmètre défini.

Les raisons de ces difficultés de mise en place sont multiples ; elles vont de la nécessité de faire des études hydrogéologiques, jugées longues et coûteuses, à la complexité des démarches à accomplir, et au coût des opérations. Ces difficultés touchent tout particulièrement les captages d'eau souterraine d'origine karstique [2, 3], que les statistiques les plus récentes révèlent être les moins avancées pour l'établissement des périmètres de protection en France. Une analyse de la situation s'impose afin de

dégager des voies de réflexion pour aboutir à une réelle intégration dans toute politique d'aménagement du territoire de schémas de protection des eaux souterraines, notamment en milieu karstique, aussi bien pour l'AEP que pour des usages réputés moins nobles.

II ■ PRINCIPAUX CARACTÈRES DE L'AQUIFÈRE KARSTIQUE

Les nombreuses études hydrogéologiques régionales conduites depuis une trentaine d'années conduisent à proposer un ensemble de modèles conceptuels de l'aquifère karstique et à établir une méthodologie d'étude adaptée aux caractères hydrogéologiques du karst. Le schéma fonctionnel

1. Modèle conceptuel du système karstique [4].

1 ISTEEM, Université Montpellier II, c.c. MSE, 34095 MONTPELLIER CEDEX 5

2 Travail réalisé dans le cadre d'une collaboration avec le BRGM-EAU Unité RMD (évaluation des ressources et milieux discontinus).

des systèmes karstiques s'inscrit bien dans le modèle conceptuel général (fig. 1) de structure des écoulements [4]. Rappelons que le concept de système karstique est identique à celui de bassin versant en hydrologie de surface : un système karstique constitue l'impluvium d'une source, ou d'un groupe de sources karstiques, incluant les formations géologiques dans lesquelles se développe un réseau de conduits aboutissant à la source. L'étude du comportement hydrodynamique et géochimique des eaux de systèmes karstiques a permis en particulier d'entrer dans le détail des mécanismes d'écoulement dans la zone d'infiltration et dans la zone noyée.

Ce schéma fonctionnel distingue :

— dans la zone d'infiltration,

- une infiltration différée par un stockage à proximité de la surface dans l'épikarst, où l'eau est soumise aux processus biogéochimiques intervenant dans les sols ; cette infiltration s'oppose à l'infiltration directe, non soumise à ces processus ;

- une infiltration lente, par laquelle un mélange d'air et d'eau parcourt les fines fissures et la porosité de la roche, à l'origine de la dissolution de la roche carbonatée près de la surface ;

- une infiltration rapide, qui est un véritable ruissellement souterrain parcourant les fractures les plus larges, et les plus élargies par dissolution, responsable de la dissolution en profondeur ;

- une infiltration concentrée et rapide, alimentée par des rivières s'écoulant sur des terrains non karstiques, se perdant au contact des calcaires.

— dans la zone noyée,

- une fonction de drainage, assurée par un réseau de conduits hiérarchisé, écoulant très rapidement vers la source les eaux stockées dans la zone noyée, ainsi que celles reçues directement de la surface surtout par les pertes ;

- une fonction de stockage, assurée par des vides karstiques parfois importants et par des zones fissurées, alimentant le réseau de drainage et recevant des eaux d'infiltration rapide, mais aussi alimentée par le drainage, en fonction des conditions de charge hydraulique.

Chacune de ces fonctions est associée à un élément de la structure karstique. Certains appartiennent aux caractéristiques originelles de la roche réservoir (porosité, microfissures). D'autres résultent de processus d'altération de surface (épikarst) et surtout des processus de karstification (organisation du drainage et du stockage dans la zone noyée, cheminement de l'infiltration rapide).

Par conséquent, l'originalité de l'aquifère karstique réside dans :

- l'existence de conditions de recharge variées au travers d'une zone d'infiltration complexe,

- la séparation du stockage et du drainage de la zone noyée, confondus dans les autres aquifères,

- la hiérarchisation de cette séparation, conduisant à une structuration des écoulements depuis la surface jusqu'à la source, et donc comparable à celle des bassins versants superficiels,

- la transformation rapide à l'échelle géologique des caractéristiques hydrauliques de l'aquifère, sous l'effet de la karstification.

Les conditions d'écoulement régnant dans l'aquifère karstique favorisent le transport très rapide de pollutions depuis la surface ou depuis certains points particuliers de l'aquifère

(cavités naturelles) jusqu'à la source. Le temps de séjour et de transit des eaux souterraines dans le karst, globalement court, ne permet pas de filtration, ni d'auto-épuration efficace. Ce caractère fait considérer l'aquifère karstique comme un milieu très vulnérable, dans son ensemble, aux pollutions et à toutes les modifications subies par la surface (variations climatiques, changements de pratiques culturelles, du couvert végétal, etc.). C'est pour cette raison essentielle que l'on a évité d'exploiter les ressources en eau karstiques, à chaque fois que c'était possible. Une autre raison, aggravante, a été le faible taux de réussite des forages et l'inadéquation des outils hydrogéologiques traditionnels et bien maîtrisés pour les autres aquifères.

La dégradation de la qualité des eaux souterraines dans nombre de nappes phréatiques, associée à l'accroissement de la demande d'eau de bonne qualité, a conduit à rechercher des ressources nouvelles à exploiter. Les aquifères karstiques, très bien représentés en France (35% du territoire sont concernés par les phénomènes karstiques), mais surtout dans les régions méditerranéennes, sont actuellement les seuls susceptibles de satisfaire les besoins importants. L'amélioration des connaissances sur ce milieu et la mise au point d'une méthodologie efficace et désormais de plus en plus utilisée, permettent cette mise en valeur [5, 6]. Mais il est nécessaire de réfléchir sur la démarche la mieux adaptée à la protection de ces ressources en eau souterraine abondantes.

III ■ LES MESURES DE PROTECTION

En France, une réglementation particulière assure la protection des captages d'eau souterraine pour l'AEP. Celle-ci confie à l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique la définition de zones dans lesquelles il peut imposer des servitudes en fonction du contexte de l'aquifère et de sa sensibilité aux activités humaines, c'est-à-dire de sa vulnérabilité. Cette vulnérabilité est directement liée :

- aux caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère, dont surtout la perméabilité, qui conditionne le transport de matières, notamment polluantes, en fonction des modalités d'infiltration et d'écoulement dans la nappe ;

- au pouvoir du sol et du sous-sol de fixer et de dégrader les polluants.

En pratique, ces zones constituent des périmètres de protection, établis selon des niveaux différents de protection, immédiate, rapprochée, éloignée. Le périmètre de protection immédiate a pour but d'empêcher la détérioration du captage : l'accès aux installations de captage et aux zones en relation directe avec la nappe est interdit. Le périmètre de protection rapprochée assure la protection vis-à-vis de la migration souterraine de substances polluantes. Il est établi sur la base du temps moyen d'écoulement de l'eau souterraine pour atteindre le captage. La réglementation ne donne pas de valeur précise, laissée à l'appréciation de l'hydrogéologue agréé ; l'isochrone " 40 à 50 jours ", c'est-à-dire la ligne à partir de laquelle l'écoulement de l'eau nécessite un temps supérieur à 40-50 jours pour atteindre le site de captage, est communément utilisée. Le périmètre de protection éloignée renforce la protection rapprochée. Les servitudes vont de l'achat des terres pour le périmètre de protection immédiate, acquis en pleine propriété, à des interdictions portant notamment sur les rejets d'eau, les épandages et l'utilisation d'engrais à l'intérieur du périmètre de protection rapprochée. Ces contraintes peuvent faire l'objet d'une indemnisation financière des propriétaires et des exploitants.

2. Exemple de traçages en milieu karstique : la liaison (8 km) entre l'aven de Causseuélouls et la source du Durzon (Larzac septentrional) pour deux états hydrologiques différents [7].

Cette approche hydrogéologique des milieux poreux et fissurés est désormais rarement appliquée au milieu karstique, car elle est inadaptée [1]. En effet, il existe des axes préférentiels d'écoulement souterrain, dans le réseau de conduits karstiques, dans lesquels les circulations souterraines sont très rapides par comparaison avec les autres aquifères (parfois quelques centaines de m/h) et très variables en fonction des conditions hydrologiques. Ces vitesses ne sont souvent connues, à partir d'expériences de traçage artificiel, que sur des trajets particuliers (par exemple entre une perte ou une cavité et une source) et pour un seul état hydrologique. Ces expériences de traçage constituent la référence en matière de temps de séjour de l'eau en milieu karstique ; elles indiquent des temps de passage presque toujours inférieurs aux 40 jours de référence (fig. 2).

Les informations fournies par les traçages sont généralisées à l'ensemble de l'aire d'alimentation de la source karstique considérée, ce qui revient à considérer l'ensemble des surfaces calcaires et des zones drainées par le système karstique comme étant très vulnérable, faute d'arguments contraires. Par mesure de prudence, l'hydrogéologue agréé identifie le plus souvent le périmètre de protection rapprochée des sources karstiques à la totalité du bassin d'alimentation de celles-ci. Or, lorsqu'ils sont étendus sur plusieurs dizaines km² ou même plus de 100 km², ces périmètres de protection sont très difficiles à mettre en place ; les coûts, liés à de grandes surfaces (plusieurs communes), aux servitudes associées lourdes (interdictions de construire, aménagements de protection à mettre en place...) et à des procédures de contrôle difficiles, peuvent être très élevés, ce qui est fortement pénalisant pour les collectivités et pour le développement économique des régions concernées.

Les périmètres de protection sont établis sur la base d'une étude hydrogéologique approfondie portant sur les points suivants :

- la détermination des limites du système,
- l'analyse de son fonctionnement, de façon à mettre en évidence les possibilités d'écoulement rapide, notamment par l'analyse hydrodynamique et par les traçages artificiels,
- parfois la définition des zones vulnérables, sur la base de critères pédologiques, morphologiques et lithologiques. L'état de la surface peut être pris en compte, selon que la roche est nue ou qu'il existe une couverture pédologique et/ou sédimentaire plus ou moins épaisse, de même que l'existence de pertes de cours d'eau superficiels.

Cette approche spécifique au karst permet de protéger certains points très vulnérables (gouffres, pertes) en créant des

périmètres de protection immédiate satellites et de limiter l'extension du périmètre rapproché aux zones considérées comme étant les plus vulnérables. Mais elle conduit la plupart du temps à étendre le périmètre de protection rapprochée à l'ensemble du système karstique.

La méthode EPIK a été développée par Doerflinger [8] pour répondre aux besoins de l'administration helvétique en matière de protection de captage [9]. Cette méthode s'appuie sur des critères de caractérisation de la vulnérabilité concernant l'épikarst, la protection par le recouvrement, les modalités d'infil-

tration et le réseau karstique (EPIK : Epikarst, Protective cover, Infiltration conditions and Karstic network). Elle est un prolongement de la méthode précédente. Elle est particulièrement intéressante, dans la mesure où elle propose une analyse systématique du système karstique, sectorisé en mailles de petites dimensions. Elle s'appuie sur une étude complète et sur un maillage du système, de façon à définir, maille par maille, sa vulnérabilité sur la base de quatre ensembles de critères quantifiables : 1) développement de l'épikarst, 2) importance de la couverture protectrice, 3) conditions d'infiltration et 4) développement du réseau karstique de drainage. Chaque maille est notée selon un barème permettant de distinguer au total une trentaine de classes. Des cartes de vulnérabilité sont obtenues après pondération et combinaison de tous ces critères.

La méthode EPIK présente l'intérêt d'une quantification spatialisée, relevant d'une approche classique en ingénierie, l'analyse de critères, apparemment aisée à mettre en œuvre. Cependant, elle ne permet pas de tenir compte du niveau de connaissance, nécessairement très inégal, d'une maille à l'autre. En outre, l'analyse spatiale peut être conduite assez facilement sur l'ensemble du système considéré, s'il est de petites dimensions ; les exemples traités [8] portent sur des systèmes karstiques de moins de 20 km² dans le Jura suisse, où les connaissances sont abondantes et la géologie assez simple. Mais dès que l'extension des systèmes est vaste ou la géologie complexe, comme c'est le cas dans le sud de la France, une analyse complète et détaillée du système dans sa totalité n'est plus guère envisageable, car elle nécessite des moyens importants et coûteux.

IV ■ RÉFLEXIONS SUR LA PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU KARSTIQUES

Il est clair que les difficultés de mise en place des périmètres de protection des captages en régions karstiques tiennent tout autant à leurs vastes dimensions qu'aux caractéristiques particulières de l'aquifère karstique, considéré traditionnellement comme extrêmement vulnérable. Cette vulnérabilité est déduite, logiquement, d'une série de caractères défavorables, comme des vitesses rapides d'écoulement, l'absence de filtration et d'auto-épuration, des effets limités de la dilution ou de la dispersion. Mais à l'inverse, cette vulnérabilité présente certaines caractéristiques intéressantes qui doivent être soulignées. Elles sont relatives à :

- l'élimination généralement rapide des pollutions acciden-

3. Exemple de suivi des teneurs en Cl et NO₃ sur l'une des sources du Larzac septentrional.

telles, en liaison avec les temps de séjour courts de l'eau souterraine,

- des effets retardateurs (adsorption, dispersion) le plus souvent négligeables,
- une modification rapide, à l'échelle du cycle hydrologique, de la qualité de l'eau, à la suite de changements dans les rejets de pollutions chroniques ou saisonnières,
- une très nette différence de fonctionnement, et donc de qualité de l'eau, entre les périodes d'étiage (eaux de bonne à excellente qualité) et de crues (eaux contaminées bactériologiquement et/ou chimiquement, turbidité fréquente).

Le traitement systématique imposé aux eaux d'AEP karstiques permet en général d'éviter les risques bactériologiques. Les risques chimiques sont très réduits, soit parce qu'ils sont rares, dans ces régions habituellement peu soumises à la pression anthropique, soit parce qu'il ne se produit pas d'effet cumulatif de pollution ; le lessivage lors des crues élimine rapidement les substances, comme les excès de nitrates, lorsque les flux d'eau sont à leur maximum, ce qui favorise une forte dilution. La turbidité est en revanche un problème récurrent, notamment en Normandie, dans la craie, ou lorsque l'aquifère est massivement alimenté par des pertes de rivières ; il faut alors avoir recours soit à des dispositifs de décantation et de filtration, soit à une ressource alternative temporaire, soit enfin à une modification du type de captage (forage implanté à l'écart du conduit karstique).

Il résulte de ces caractères que les aquifères karstiques possèdent une bien plus faible résilience que les aquifères poreux et fissurés, c'est-à-dire qu'ils ne gardent pas, ou peu, la mémoire d'événements qui se sont produits lors des cycles hydrologiques précédents, comme une sécheresse, une surexploitation temporaire ou une pollution accidentelle ou saisonnière. Pour ces raisons, les aquifères karstiques doivent être considérés comme une cible de choix dans la politique de l'eau, que ce soit comme ressource d'eau potable ou comme ressource susceptible d'être sollicitée pour des soutiens d'étiage.

Une démarche a été proposée [2] en priorité pour l'établissement de périmètres de protection en régions karstiques ; elle peut être étendue, moyennant quelques adaptations, à toute démarche de protection d'une ressource en eau considérée comme patrimoniale. Elle repose tout d'abord sur les études préalables déjà prévues dans la constitution d'un dossier établi pour avis de l'hydrogéologue agréé (étude hydrogéologique définissant les caractères essentiels du système

considéré et inventaire des risques de pollutions existants). Il nous paraît nécessaire d'ajouter à ces documents un développement significatif portant sur la qualité des eaux, avec un "état des lieux" de la qualité des eaux souterraines du système considéré et des "outils" de contrôle de son évolution. Les ions Cl et NO₃ sont deux traceurs naturels particulièrement intéressants, marqueurs de plusieurs activités humaines (notamment rejets domestiques et agricoles, élevage et culture, routes) et faciles et peu coûteux à analyser (fig. 3). L'impact des activités déjà en place peut ainsi être quantifié.

Finalement, l'ensemble du système devrait être classé en zone de protection rapprochée, mais sans servitudes portant sur toute sa surface. Des contraintes ou interdictions devraient être imposées uniquement aux secteurs très

vulnérables au niveau desquels le risque est présent. Les zones supposées les plus sensibles, mais sans risque actuel, devraient être soumises, au cas par cas, en fonction des projets d'aménagement et de développement, à des études de détail qui détermineront le degré de vulnérabilité et les dispositifs de protection les mieux adaptés. Cette démarche permettrait d'éviter le gel du territoire tout en disposant d'une couverture législative réglementant la mise en place de nouveaux aménagements. Cette approche nécessite une certaine flexibilité et une adaptation au "cas par cas" des services administratifs concernés.

En France, l'aspect qualitatif est le plus fréquent à devoir être pris en compte. Cependant, l'aspect quantitatif doit parfois être considéré dans certaines régions sensibles où la demande est forte et où les aquifères karstiques possèdent une zone noyée peu profonde sous la surface, facile à atteindre par forages. Dans ces cas, il faut établir en outre un inventaire détaillé des puits et des prélèvements. En effet, un tel document, associé à la connaissance du fonctionnement de l'aquifère, de ses réserves et des conditions de leur recharge, permet d'établir un plan de gestion de l'aquifère (autorisations de prélèvements, volumes prélevés, dates, seuils d'alerte en fonction des hauteurs saisonnières de précipitations et des niveaux d'eau dans les piézomètres de contrôle).

V ■ EXEMPLES

Parce qu'elles ont longtemps été peu ou non sollicitées, les eaux souterraines d'origine karstique offrent un potentiel souvent peu exploité. Leur mise en valeur est à l'ordre du jour dans certaines régions, selon des modalités différentes. C'est dans cet esprit que le Schéma Directeur d'Aménagement des Eaux (SDAGE) du bassin Rhône - Méditerranée - Corse a identifié [10] des ensembles karstiques offrant des ressources en eau considérées comme patrimoniales, devant être identifiées dans le détail, puis caractérisées, de manière à définir une politique de leur protection et de leur mise en valeur, en adéquation avec les besoins actuels et futurs des régions environnantes. Dans ce but, un guide technique [6] a été réalisé sous le contrôle d'un groupe de travail du SDAGE, pour sensibiliser et aider les élus et les techniciens concernés par cette question. Une étude synthétique est en cours, réalisée par ANTEA, BURGEAP et BRGM, pour établir le bilan des connaissances et des besoins sur les aquifères karstiques patrimoniaux du bassin.

Dans le sud de l'Aveyron, les collectivités locales de la région de Millau se sont appuyées sur le Parc Naturel Régional des Grands Causses (PNRGC), pour faire étudier toutes les ressources en eau souterraine ; le PNRGC dispose ainsi des informations pour mettre en place toutes les mesures de protection nécessaires, compte tenu des activités actuelles, et les règles d'aménagement du territoire pour les nouvelles activités qui vont être engendrées par l'ouverture de l'autoroute A 75, de Clermont-Ferrand à Béziers et Montpellier. Les territoires concernés sont très étendus, par exemple 600 km² pour le Larzac septentrional [7], 250 km² pour le Causse Rouge, avec des activités variées, depuis l'agro-alimentaire (Roquefort, viande d'agneau, piscicultures) et les industries annexes jusqu'aux loisirs de plein air. Programmes d'étude, plans d'aménagement, mesures de protection et réseau de suivi et de contrôle sur les eaux souterraines constituent les outils de cette gestion. Cette démarche devrait désormais s'inscrire dans un cadre plus large, celui du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du Tarn amont, en concertation avec les collectivités locales de la Lozère confrontées aussi aux problèmes spécifiques des eaux souterraines karstiques.

Pour sa part, le Département de l'Hérault s'est doté d'un plan départemental "Ressources en eau Horizon 2010". En accord avec ce plan, de nouvelles ressources en eau souterraine sont recherchées, en particulier dans les karsts nord-montpelliérains, prolongement méridional des Grands Causses (travaux en cours du BRGM). Ce plan prévoit la mise en exploitation de certaines d'entre elles, dans une perspective de gestion durable de la qualité et de la quantité. Des campagnes d'information et de sensibilisation des élus et des habitants sont associées à ces travaux.

Dans la région d'Angoulême, il a été nécessaire de mettre en place une protection des captages AEP contre une surexploitation liée aux prélèvements pour l'irrigation dans le karst de La Rochefoucauld [11, 12]. C'est cette démarche qu'il faudrait également suivre dans une région karstique voisine, la vallée du Clin, sous peine de devoir abandonner l'aquifère soumis à des prélèvements excessifs, comme c'est le cas fréquemment en Espagne [13], où la recharge annuelle est très irrégulière.

D'autres exemples en cours de développement dans le bassin Rhône - Méditerranée - Corse, pourraient également être donnés. Il s'agit surtout de SAGE, en Franche-Comté ou en Languedoc-Roussillon. Mais leur fonctionnement ne permet pas encore d'affirmer qu'une véritable politique d'aménagement du territoire est envisageable dans ces régions, soit par manque de prise de conscience suffisante des élus et/ou des habitants, soit parce que les problèmes de ressources en eau souterraine sont encore marginaux.

VI ■ CONCLUSION

Il faut insister sur le fait que la sensibilité de l'aquifère karstique aux pollutions (vulnérabilité) ou à sa surexploitation ne doit plus être considérée comme un défaut irrémédiable incitant à rechercher d'autres ressources en eau, notamment l'eau superficielle. Dans un schéma de gestion des eaux, cette sensibilité n'est pas plus contraignante pour les eaux karstiques que pour les eaux de surface. En revanche, les aquifères karstiques offrent souvent des réserves dans leur zone noyée qui autorisent une surexploitation saisonnière et qui peuvent contribuer à l'émergence d'eaux de bonne qualité. Le maintien de la qualité, ou son

amélioration, et des quantités disponibles des eaux souterraines karstiques passe donc par une bonne connaissance de ces aquifères et par une gestion du territoire, des activités humaines et de la ressource en eau.

Ainsi, selon nous, la démarche de l'hydrogéologue en région karstique doit s'inscrire explicitement dans le cadre d'une politique d'aménagement et de gestion du territoire à l'échelle régionale. Elle doit conduire à une concertation entre tous les usagers de l'espace, existants et potentiels, sous l'égide de structures régionales adaptées (SAGE, contrat de rivière ou de nappe, parc naturel régional, etc.). Cette démarche, qui devrait être commune à tous les milieux, est particulièrement importante en milieu karstique, du fait de l'extension remarquable des zones à protéger et de la sensibilité du milieu aux activités humaines. De cette façon, une politique d'aménagement de l'espace qui soit la plus respectueuse de la qualité des eaux souterraines pourrait être définie, tout en permettant le maintien ou le développement de l'activité économique locale.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] COST-Action 65 (1995). Karst groundwater protection. Final report. European Commission, EUR 16547.
- [2] BAKALOWICZ M., PLAGNES V. (1998). La protection des ressources en eau souterraine en région karstique. Éléments de réflexion pour une politique d'aménagement raisonné. Hydrogéologie, 4, p.23-27.
- [3] GRÉVELLEC J. (1996). Difficultés de la mise en place des périmètres de protection des captages en milieu karstique. L'exemple du département de l'Hérault. Séminaire national "Pour une gestion active des ressources en eau d'origine karstique", Montpellier, p.63-74.
- [4] BAKALOWICZ M., MANGIN A. (1980) L'aquifère karstique. Sa définition, ses caractéristiques et son identification. Mémoires hors série de la Société géologique de France, 11, p.71-79.
- [5] CROCHET PH., MARSAUD B. (1997). Approches conceptuelles de l'aquifère karstique. Problèmes méthodologiques et d'exploitation. Hydrogéologie, 3, p.3-18.
- [6] BAKALOWICZ M. (1999). Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques. Guide technique n°3, SDAGE Bassin Rhône - Méditerranée - Corse, 40 p.
- [7] RICARD J., BAKALOWICZ M. (1996). Connaissance, aménagement et protection des ressources en eau du Larzac Septentrional, Aveyron (France). Rap. BRGM, 94 p., 200 annexes.
- [8] DOERFLINGER N. (1996). Advances in karst groundwater protection strategy using tracing tests analysis and multiattribute vulnerability mapping. Thèse, Centre d'Hydrogéologie. Neuchâtel (Suisse), Université de Neuchâtel, 225 p.
- [9] TRIPET J.P., DOERFLINGER N., ZWAHLN F. (1997). Vulnerability mapping in karst areas and its uses in Switzerland. Hydrogéologie, 3, p.51-57.
- [10] Comité de Bassin Rhône - Méditerranée - Corse (1996). Schéma Directeur d'Aménagement des Eaux du bassin Rhône - Méditerranée - Corse. 3 vol. (125 + 299 p. et 15 cartes).
- [11] DE GRISSAC B., LAROCQUE M., RAZACK M. (1996). Le karst de La Rochefoucauld. Un exemple de gestion prévisionnelle d'un aquifère karstique. Séminaire national "Pour une gestion active des ressources en eau d'origine karstique", Montpellier, p.75-83.
- [12] LAROCQUE M., MANGIN A. et al. (1998). Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). Journal of Hydrology, 205, p.217-231.
- [13] PULIDO BOSCH A. (1989). Algunas reflexiones relativas a la sobreexplotación de acuíferos karsticos. Proceedings national conference " La sobreexplotación de acuíferos ", Almería, 1989, p. 133-144.