

Paysages karstiques et  
activités anthropiques

# Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en vue de la délimitation des périmètres de protection

**A l'initiative de la DIREN Franche Comté, le BRGM a développé une méthode de cartographie multicritère de la vulnérabilité des aquifères karstiques. Cet outil est développé dans le but de servir d'outil de base pour les hydrogéologues praticiens ainsi que pour les hydrogéologues agréés. Cet outil doit leur servir de base pour délimiter les périmètres de protection des captages en milieu karstique.**

> Les aquifères karstiques constituent des ressources importantes en Franche Comté, occupant de grandes surfaces. Le Jura au sens géographique du terme comprend plusieurs systèmes karstiques offrant des potentialités importantes tels que les systèmes du Doubs-Loue, de l'Ain Papeterie ou encore de la source d'Arcier alimentant la ville de Besançon. Plus de 1000 sources issues des plateaux calcaires sont captées pour l'alimentation en eau potable de nombreuses collectivités.

> La délimitation des périmètres de protection des captages d'eau potable en milieu karstique pose un certain nombre de problèmes aux hydrogéologues agréés et aux administrations.

> De nombreuses démarches échouent, les périmètres proposés non retenus ou déclassés en périmètre éloigné s'appliquant à la totalité du bassin d'alimentation. De nombreuses DUP pour des captages en milieu karstique font également défaut. Les eaux issues des systèmes karstiques sont vulnérables et nécessitent une vigilance particulière, ainsi que des outils adaptés pour délimiter les périmètres de protection.

> La méthode a été développée dans le cadre des actions de service public du BRGM (PSP03FRC09). Elle a été appliquée à deux bassins d'alimentation de sources karstiques, à savoir le bassin de la source d'Arcier (> 100km<sup>2</sup>) et le bassin de la source de Crépôt à Uzelle (< 5 km<sup>2</sup>). Une évaluation économique des contraintes liées aux périmètres de protection a également été menée sur les périmètres de protection en vigueur pour la source d'Arcier. L'approche préconisée peut être transposable à d'autres cas.

**Développement d'outil s'appuyant sur les résultats des travaux de recherche du BRGM concernant la structure et le fonctionnement des aquifères karstiques.**

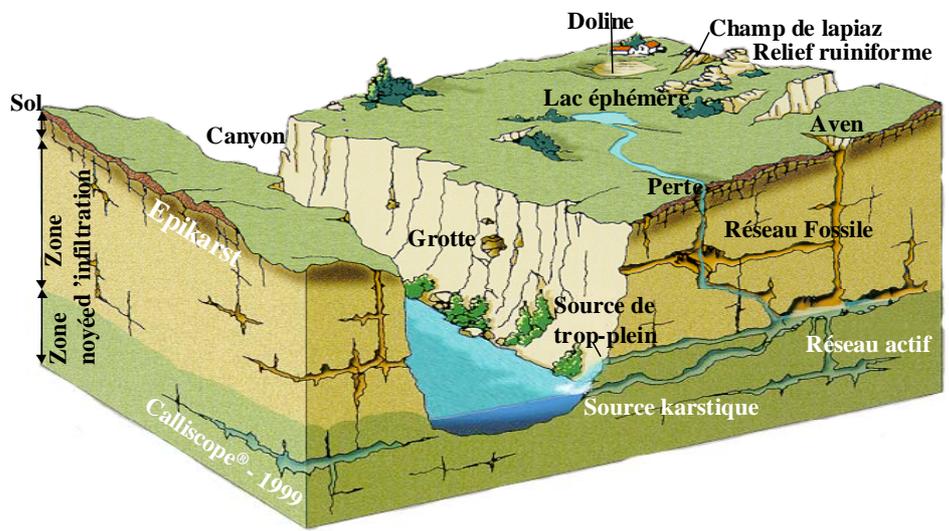


## > Spécificités des aquifères karstiques

Les aquifères karstiques résultent du processus de la karstification ; ils possèdent une morphologie spécifique que ce soit au niveau de la surface avec la présence de dolines, de vallées sèches, de lapiez, de gouffres ou au niveau interne du massif carbonaté avec des réseaux de conduits (cavités, grottes, siphons, ...).

Ils possèdent les caractéristiques suivantes :

- > alimentation diffuse à l'échelle du bassin d'alimentation et alimentation ponctuelle au niveau de pertes de cours d'eau
- > existence de vitesses d'écoulement souterrain très importantes (quelques centaines de m/h)
- > crues importantes et soudaines, de forte intensité, suivie d'une décrue rapide et d'un long tarissement
- > stockage temporaire au niveau d'un épikarst, zone sous-cutanée dans la partie supérieure d'un massif carbonaté, constituant un aquifère temporaire perché, discontinu, se vidangeant rapidement au profit de vides connectés à des puits verticaux ou lentement au profit de fissures dans la roche.



Représentation schématique d'un aquifère karstique

## METHODE de cartographie de la vulnérabilité RISK – une méthode multicritère

La méthode de cartographie à index avec pondération des critères a été retenue à partir d'une étude bibliographique sur le sujet. La méthode retenue s'inspire de la méthode suisse EPIK et de la méthode RISKE, dérivée de cette dernière, en raison de leur spécificité envers les aquifères karstiques.

4 critères caractéristiques du fonctionnement et de la structure des aquifères karstiques ont été retenus :

- **R** pour la **roche aquifère**
- **I** pour les **conditions d'infiltration**
- **S** pour le **sol et la couverture protectrice**
- **K** pour le **degré de développement de la karstification**.



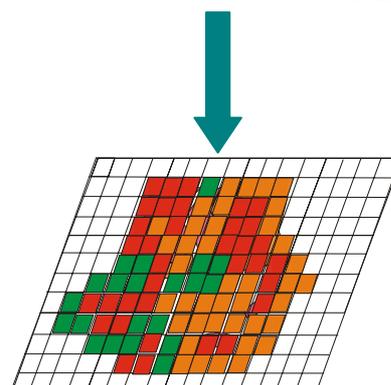
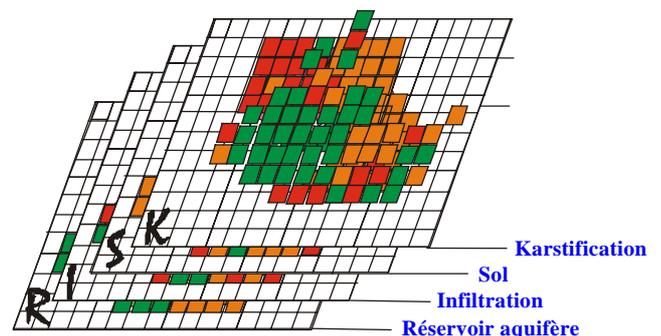
## Définition de la vulnérabilité

La vulnérabilité intrinsèque est définie comme étant le terme utilisé pour représenter les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques naturelles qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la contamination par les activités anthropiques. C'est une propriété générale, non mesurable et sans dimension.

## Principe de la méthode

5 étapes essentielles pour appliquer la méthode :

- > **cartographie de chaque critère** au 1/25 000 ou 1/50 000 suivant les données disponibles. Chaque critère est subdivisé en classes matérialisées par un indice allant de 0 à 4. Les classes sont définies pour chaque critère de manière spécifique.
- > **Discretisation des cartes** obtenues au pas de 50m ou 25m (maille régulière de 50x50 ou 25X25 ; la taille de la maille est notamment guidée par le pas du Modèle Numérique de Terrain)
- > **Calcul de l'indice de vulnérabilité global** en chaque maille. L'indice de classe de chaque critère est multiplié par un facteur de pondération du critère considéré ; le poids est plus important pour le critère le plus sensible vis-à-vis de la vulnérabilité. Les valeurs obtenues sont ensuite additionnées.
- > **Régionalisation** : la valeur de l'indice est subdivisée en 5 classes de vulnérabilité régulières traduisant la sensibilité relative du milieu.
- > **Vérification** : confrontation de la carte de vulnérabilité avec les cartes des critères afin de vérifier qu'il n'y ait pas d'incohérence flagrante.



Carte de vulnérabilité

## > Évaluation économique des contraintes des périmètres de protection

L'évaluation du coût de la mise en œuvre des périmètres de protection peut être considérée comme un critère d'aide à la décision pour la sélection finale des périmètres de protection. Cette évaluation peut être efficace pour comparer différentes options de délimitation (option de précaution, option minimaliste, ....) ou d'opportunité d'instaurer certaines prescriptions au regard des coûts associés qu'elles généreraient.

L'évaluation des coûts des contraintes liées aux périmètres ainsi que des coûts des études préalables nécessite de mettre en œuvre la démarche suivante :

> construction d'une matrice des prescriptions pour les différents types de périmètres de protection

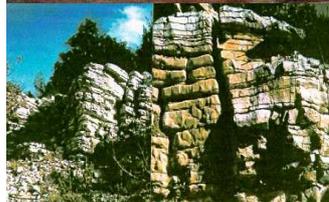
> identification et évaluation des coûts associés

> identification et évaluation des coûts non directement liés aux prescriptions (coûts des études préalables, coûts notariés et d'inscription aux hypothèques, programme d'action spécifique (ex phytosanitaire), ....)

> agrégation des coûts.

Cette évaluation doit être faite par des économistes, mais est tout à fait compréhensible pour tout non spécialiste. Pour ce faire, quelques éléments de définitions sont rappelés ici. Ils peuvent servir de base pour définir un cahier des charges pour une étude spécifique.

“ Les coûts sont l'ensemble des dépenses monétaires et non monétaires nécessaires à la mise en œuvre des ressources diverses en vue de l'obtention d'un produit spécifique. Parmi les éléments non monétaires, on compte le recours aux mesures non réglementaires, les inconvénients subits par autrui ou la dégradation du milieu environnant et les coûts d'opportunité qui indiquent les avantages qu'un autre usage des mêmes ressources aurait permis d'obtenir ” (Benard, 1985).



## > Typologie des coûts

La typologie des coûts directs et non directs dans le cadre du contexte des périmètres de protection est établie par rapport à l'activité étudiée, à savoir la mise en œuvre des périmètres de protection d'un captage AEP.

Les coûts directs correspondent par exemple à l'achat de parcelles des périmètres de protection immédiat, à leur aménagement ou à l'ensemble des études préalables nécessaires.

Les coûts indirects correspondent à tous les coûts non occasionnés par le projet lui-même mais par des activités qu'il induit du fait même de son existence. Ce sont par exemples des coûts liés à la perte de recettes fiscales locales lorsque des prescriptions conduisent à réduire certaines activités (agricoles, industrielles, ...).

Certains coûts peuvent être ponctuels tels que des coûts d'investissement, ou alors récurrents comme des pertes annuelles de revenu pour certains agriculteurs, la réduction de recettes fiscales ou l'organisation régulière de réunions relatives aux périmètres de protection. Afin de pouvoir sommer ces différents coûts, il est nécessaire d'appliquer le principe d'actualisation permettant de considérer la préférence pour le présent et pour le futur qu'ont les individus pour subir un même coût dans le futur plutôt qu'aujourd'hui.

Le principe de l'actualisation est l'inverse du principe de la capitalisation. Le choix du taux d'actualisation à retenir pour l'analyse est primordial. Généralement, lorsque le projet étudié est de nature environnemental, on retient un taux relativement faible, de l'ordre de 3%.

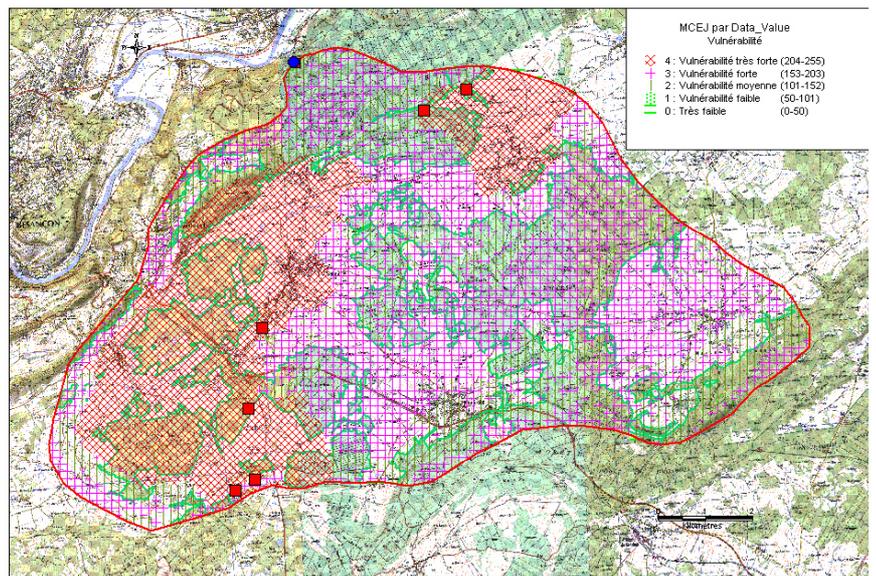
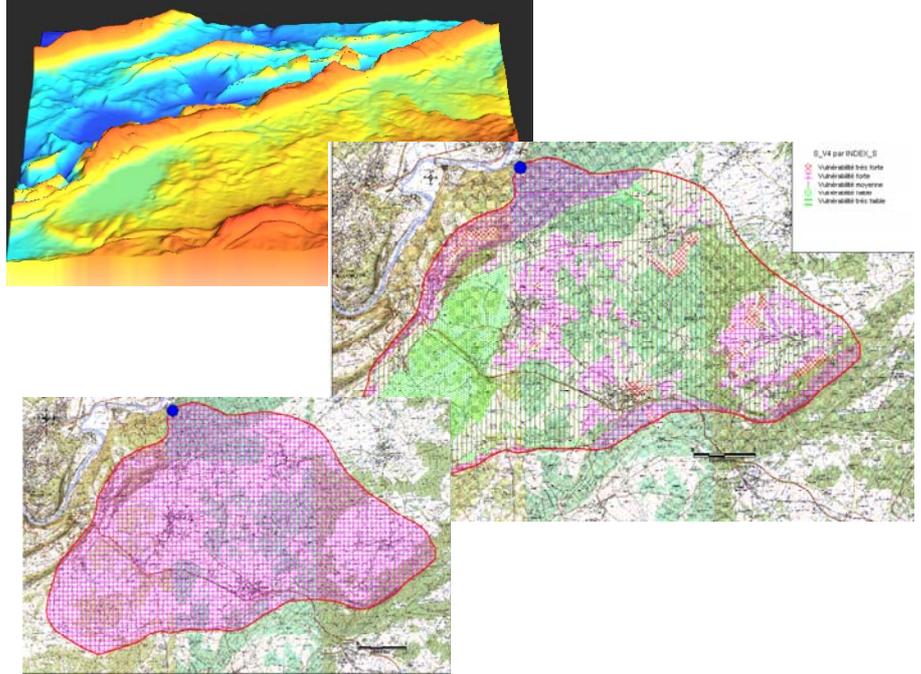
Le coût des contraintes des périmètres de protection, coûts de études préalables intégrées, pour le captage de la source d'Arcier est ainsi évalué à une valeur située entre 3.9 M€ et 6.1M€.

## > CONCLUSION

La méthode RISK est un outil de cartographie de la vulnérabilité à destination des hydrogéologues praticiens, des hydrogéologues agrées ainsi que des administrations en charge d'établir les périmètres de protection ou de faire appliquer la loi sur l'eau en vigueur. L'attribution des différents indices pour chacun des 4 critères retenus nécessite une connaissance hydrogéologique du système karstique ainsi qu'une approche naturaliste sur le terrain. Le système de pondération proposé peut également faire l'objet de modification, il n'est en aucun cas figé ; plusieurs systèmes de pondération à argumenter peuvent être testés, tout en restant dans un système de pondération normé (somme des poids=1).

La traduction des zones de vulnérabilité résultantes en périmètres de protection n'est pas automatique ; le passage au parcellaire est à prendre en considération, tout comme des regroupements de zones de vulnérabilité similaire ou proche.

Les cartes de vulnérabilité obtenues à l'aide de la méthode RISK ne sont en aucun cas des cartes permettant l'implantation d'un site industriel ou agricole sans passer par l'établissement d'une étude détaillée d'impact sur l'environnement.



### Pour en savoir plus....

Dörfliger N., Jauffret D., Loubier S. (2004) : Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en Franche Comté, avec la collaboration de V. Petit, rapport BRGM RP-53576-FR, 121 pages, 24 illustrations, 4 annexes.

Guide méthodologique en annexe au rapport ci-dessus (CD ROM, format pdf)

Cost Action 620 (2003) – Vulnerability and Risk mapping for the Protection of Carbonate (karst) aquifer (homepage : , <http://capella.unine.ch/chyn/pdf/FinalReportCOST620.pdf>)

Exemples de carte de critères de la méthode RISK et de la carte de vulnérabilité globale.

### BRGM

#### EAU/RMD

1039 rue de Pinville

34000 MONTPELLIER

04 67 15 79 65 tel / 04 67 64 58 51 fax

e-mail: [n.dorfliger@brgm.fr](mailto:n.dorfliger@brgm.fr)

### BRGM

#### SGR BOURGOGNE/FRANCHE COMTE

Parc Technologique

1 rue Louis de Broglie

21000 DIJON

03 80 72 90 40 tel / 03 80 78 01 34 fax

e-mai: [d.dessandier@brgm.fr](mailto:d.dessandier@brgm.fr)

### DIREN DE FRANCHE-COMTE

#### SEARN

5, rue du Général Sarrail BP 137 25014 BESANCON CEDEX

téléphone : 03.81.61.53.60 Fax : 03.81.81.24.96

e-mail : [Jean-Pierre.METTETAL@franche-comte.ecologie.gouv.fr](mailto:Jean-Pierre.METTETAL@franche-comte.ecologie.gouv.fr)