

Méthodes existantes de cartographie de la vulnérabilité des aquifères

De nombreuses méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées dans le monde, allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone noyée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité (Gogu et Dassargues, 1998 b).

Elles peuvent être classées en trois grandes catégories :

- Les **méthodes de cartographies à index** basées sur la combinaison de cartes de divers paramètres d'une région (critères de vulnérabilité), en donnant un index numérique ou une valeur à chaque paramètre. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG, par exemple) ;
- Les **modèles de simulation** : ils consistent à trouver une solution numérique à des équations mathématiques représentant le processus de transfert de contaminants (Schnebelen 2002). Ils donnent une image de vulnérabilité spécifique de la nappe ;
- Les **méthodes statistiques** : elles sont basées sur une variable qui dépend de la concentration en contaminant ou d'une probabilité de contamination. Ces méthodes intègrent des données sur la distribution des contaminants sur la zone d'étude et fournissent des caractéristiques sur les probabilités de contamination sur la zone d'étude. Elles donnent une image de la vulnérabilité spécifique de la nappe.

Les **méthodes de cartographie à index** comportent deux types d'approche : les systèmes hiérarchisés et les systèmes paramétrés. (N. Schnebelen et al., 2002)

- La méthode des systèmes hiérarchisés est basée sur la comparaison d'une zone donnée avec les critères représentant les conditions de vulnérabilité d'autres zones (autres bassins ou autres systèmes aquifères). Elle est généralement utilisée pour évaluer la vulnérabilité de contextes hydrogéologiques variés à moyenne ou grande échelle (régionale ou nationale) ;
- La méthode des systèmes paramétrés repose sur la sélection de paramètres (ou critères) considérés comme représentatifs pour estimer la vulnérabilité d'une eau souterraine. Chaque critère a une gamme de variation naturelle définie qui est subdivisée en intervalles discrétisés et hiérarchisés. Un index est attribué à chaque intervalle, reflétant le degré de sensibilité relatif à une contamination. Les systèmes paramétrés peuvent être classés en trois principaux groupes : systèmes matriciels, systèmes indexés et méthodes de pondération et d'indexation des paramètres. Chacun est adapté à un objectif différent : respectivement, petite échelle d'étude, échelle moyenne d'étude, mais non prise en compte de l'importance relative des critères de vulnérabilité, échelle moyenne d'étude et prise en compte de l'importance relative des critères de vulnérabilité.

Les **méthodes de cartographie à index avec pondération des critères** (Point Count Systems Models, PCSM) sont les plus pertinentes vis à vis des réalités de terrain du fait de la prise en compte de l'importance relative de chaque critère vis-à-vis de la vulnérabilité générale de la nappe. Ce sont aussi les plus reconnues et utilisées à l'heure actuelle (Gogu et Dassargues 2000 ; Zaporozec et Vrba 1994).

Différentes méthodes développées et normalisées sont présentées ci-après, les deux premières méthodes présentées sont spécifiques du milieu karstique, elles sont citées pour mémoire car le milieu qui nous concerne est de type poreux/fracturé.

EPIK : C'est la première méthode dédiée spécifiquement aux aquifères karstiques sensu-stricto (Doerfliger, 1996 ; Doerfliger et Zwahlen, 1997). Elle est basée sur quatre critères : Epikarst ; Protective Cover (couverture protectrice : sol) ; Infiltration Conditions (conditions d'infiltration) ; Karst network development (développement du réseau karstique).

RISKE : Cette méthode s'inspire de la méthode suisse EPIK en raison de sa spécificité karstique. RISKE est un acronyme qui reprend les initiales des 5 critères pris en compte : Roche aquifère, Infiltration, Sol, Karstification, Epikarst (Petelet-Giraud *et al.*, 2000).

DISCO : La méthode "DISCO" (discontinuités - couverture protectrice) a pour but de définir les zones de protection en tenant compte de l'hétérogénéité du milieu. Trois paramètres sont nécessaires et suffisants pour évaluer le transport d'un polluant d'un point quel conque du bassin d'alimentation jusqu'à son arrivée au captage : le paramètre "discontinuités" ; le paramètre "couverture protectrice" ; le paramètre "ruissellement" englobe les phénomènes d'écoulement de l'eau en surface avant son infiltration (ruissellement de pente, cours d'eau permanents ou temporaires).

GOD : Ce système a été développé par Foster en 1987. Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères : Type de nappe (**G**roundwater occurrence) ; Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (**O**verall aquifer class) ; Profondeur de la nappe (**D**epth to groundwater table).

DRASTIC : La méthode DRASTIC a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985 et Aller *et al.* en 1987, afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines (Schnebelen *et al.*, 2002). Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept critères : D : Depth to groundwater (distance à la nappe, épaisseur de la zone non saturée) ; R : Recharge (recharge) ; A : Aquifer media (nature de la zone saturée) ; S : Soil media (nature du sol) ; T : Topographie (topographie, pente en %) ; I : Impact of the vadose zone (nature de la zone non saturée) ; C : Conductivity (perméabilité de l'aquifère). La méthode DRASTIC est principalement utilisée pour la cartographie à petite échelle (Lyakhloufi *et al.* 1999).

SINTACS : La méthode SINTACS est dérivée de la méthode DRASTIC. Elle a été développée en Italie, au début des années 1990, de manière à s'adapter à la cartographie à plus grande échelle compte tenu de la grande diversité hydrogéologique de l'Italie (Petelet *et al.*, 2000). Les paramètres de caractérisation de la vulnérabilité qui ont été retenus dans cette approche sont les mêmes que ceux de la méthode DRASTIC, soit en italien : S : Soggiacenza (profondeur de la nappe) ; I : Infiltrazione (infiltration) ; N : Azione del Non Saturo (fonction de la zone non saturée) ; T : Tipologia della Copertura (sol) ; A : Caratteri Idrogeologici dell' Acquifero (caractéristique hydrogéologiques de l'aquifère) ; C : Conducibilità Idraulica (conductivité hydraulique) ; S : Acclività della Superficie Topografica (pente moyenne de la surface topographique).

Contrairement à DRASTIC, la méthode SINTACS permet d'utiliser, en même temps et dans des cellules différentes, des facteurs de pondération variables selon les situations (Schnebelen *et al.*, 2002).

Autres méthodes :

Z. Alamy et C. Langevin (1989) procèdent à une analyse détaillée de la couverture de sol (Lallemand-Barrès, 1994). Les facteurs et critères retenus par ces auteurs, ainsi que la notation et le poids attribués aux critères sont résumés dans le tableau ci-après.

| Paramètres | Classes | | | | Poids |
|--|----------------------------|---|---|---------------------------|-------|
| | 0 - 5 % (5) | 5 - 10 % (2) | 10 - 15 % (1) | > 15 % (1) | |
| Pente | < 5 m (1) | 5 - 2 m (3) | 2 - 1 m (5) | < 1 m (5) | 1/2 |
| Épaisseur couverture | > 10 ⁻⁴ (25) | > 10 ⁻⁴ .10 ⁻⁶ (5) | 10 ⁻⁶ .10 ⁻⁹ (3) | 10 ⁻⁹ (2) | 1 |
| Perméabilité couverture ou de l'affleurement | > 10 ⁻⁴ (25) | > 10 ⁻⁴ .10 ⁻⁶ (5) | 10 ⁻⁴ .10 ⁻⁹ (3) | < 10 ⁻⁹ (2) | 1 |
| Perméabilité sous-sol non saturé | sans (5) | temporaire (3) | temporaire (2) | permanente (1) | 1/3 |
| Hydromorphie | > 20 m (1) | 5 - 20 m (3) | 1 - 5 m (5) | < 1 m (25) | 1/2 |
| Profondeur nappe | sable (3) | gravier (5) | argile sableuse limon (2) | argile (1) | - |
| Nature couverture | sans (1) | 1 direction proche (3) | 2 directions proches (5) | champ (25) | - |
| Fracturation | (1) | (3) | (5) | (25) | - |
| Densité de fracturation | | | | | |

Tableau 1 : Paramètres valeur et poids retenus pour l'élaboration d'une carte de vulnérabilité (Alamy, Langevin, 1989).

Dans le cadre d'une application à la nappe de la craie dans le secteur de Guines (Pas-de-Calais), **J. Ricour (1988)** propose les paramètres suivants comme critères pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité. La carte de vulnérabilité obtenue est superposée à des facteurs à caractère évolutif ayant trait à l'occupation des sols pour constituer une carte de sensibilité aux risques de pollution (Lallemand-Barrès, 1994).

| Paramètre | Poids global | --- Echelle de vulnérabilité croissante et poids relatifs de chaque paramètre → + | | | |
|------------------------|--|---|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | | Argile sur craie | Alluvions sur craie | Limons sur craie | Craie en affleurement |
| Carte de vulnérabilité | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | 0,5 | Pente > 10 % 1 | 5 < pente ≤ 10 % 2 | 1 < pente ≤ 5 % 3 | pente ≤ 1 % 4 |
| | 0,5 | profondeur > 30 m 1 | 15 < profondeur ≤ 30 m 2 | 5 < profondeur ≤ 15 m 3 | profondeur ≤ 5 m 4 |
| | 1 | Zone linéamentaire susceptible de correspondre à des zones fracturées 1 | | | |
| Carte de sensibilité | Superposition par classe à la carte de vulnérabilité | Classe 1 | | Classe 2 | |
| | | forêts, friches | | milieu agricole et marécageux | |
| | | Classe 3 | | | |
| | | milieu urbain et industriel, routes, carrières, décharges... | | | |

Tableau 2 : Paramètres pris en compte dans l'élaboration des cartes de vulnérabilité et de sensibilité du milieu souterrain aux risques de pollution (Ricour, 1988).

S. Munoz (1989) et S. Munoz, C. Langevin (1991), pour élaborer les cartes de vulnérabilité au Guatemala, retiennent les paramètres présentés dans le tableau ci-après.

| Images | Variables Paramètres | Echelle de vulnérabilité et poids relatif de chaque paramètres | | | | | | | | | | Poids Global |
|---------------------|---------------------------------|--|----------|------------|-----------|----------------|------------------|-----------------------|------------|-----------------|------------|--------------|
| | | (Très vulnérable) | | | | | (Peu vulnérable) | | | | | |
| Zone non saturée | Epaisseur | < 10 m | | 10-20 m | | 20-30 m | | 30-50 m | | > 50 m | | 5 |
| | Valeur attribuée | Initiale 1 | Finale 5 | Initiale 3 | Finale 15 | Initiale 10 | Finale 50 | Initiale 25 | Finale 125 | Initiale 50 | Finale 250 | |
| Zone de recharge | Type de milieu | | | | | de recharge | | hors zone de recharge | | urbain | | 3 |
| | Valeur attribuée | | | | | Initiale 1 | Finale 3 | Initiale 10 | Finale 30 | Initiale 25 | Finale 75 | |
| Densité de drainage | Degré de perméabilité | très perméable | | perméable | | semi-perméable | | ruisselant | | très ruisselant | | 2 |
| | Valeur attribuée | Initiale 1 | Finale 2 | Initiale 2 | Finale 4 | Initiale 3 | Finale 6 | Initiale 10 | Finale 20 | Initiale 25 | Finale 50 | |
| Fracturation | Niveau probable de fracturation | | | | | très fracturé | | peu fracturé | | | | 1 |
| | Valeur attribuée | | | | | Initiale 1 | Finale 1 | Initiale 25 | Finale 25 | | | |

Tableau 3 : Paramètres pris en compte dans l'élaboration de la carte vulnérabilité (valeur finale = valeur initiale * poids global) (Munoz, Langevin, 1991).

Dans l'étude de **M.F. Suais (1990)** où les critères de vulnérabilité sont assimilés aux critères d'évaluation des risques de pollution, on peut retenir la proposition de nouveaux critères relatifs aux sols, qui sont des critères non plus stables, mais variables dans le temps ou par intervention humaine, tels que degré d'imperméabilisation, densité et nature du couvert végétal et densité de drainage (cf figure ci-contre).

Figure : Critères relatifs à la surface du sol (M.F. Suais et al., 1990)

