

## **Chapitre II**

### **Les méthodes d'analyse de la vulnérabilité**

#### **Introduction**

Ce chapitre s'avère une analyse bibliographique regroupant les méthodes utilisées pour l'analyse de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution qui à lieu à partir de la surface par infiltration vers la nappe aquifère la plus proche de la surface.

Il ya lieu aussi de signaler que les méthodes de cartographie de la vulnérabilité sont basées sur l'utilisation des SIG afin de traiter des données cartographiques variées.

On a insisté sur la plan théorique sur la méthode DRASTIC qui semble être plus adaptée et plus précise; mais le manque de données nous a fait faire le choix de la méthode GOD pour sa simplicité.

#### **1. Le concept de vulnérabilité**

Développée depuis quarante ans, la notion de vulnérabilité ne possède pas de définition unique mais diffère selon la sensibilité des approches et des auteurs.

En 1968, Margat propose [1] que la vulnérabilité d'une nappe soit définie comme le fait pour celle-ci d'être plus ou moins exposée, par la nature des terrains et par les conditions hydrogéologiques, à un risque d'être polluée.

Pour Olmer et Rezac (1974), la vulnérabilité des eaux souterraines est le degré de dangerosité déterminé par les conditions naturelles et non pas par les sources actuelles de pollution.

En 1983, Villumsen et al, la définissent comme le risque qu'une substance chimique, utilisée ou entreposée sur le sol, puisse représenter pour la qualité des eaux souterraines. Ces auteurs recommandent par ailleurs l'utilisation de la composition chimique de l'eau souterraine comme indicateur de vulnérabilité et proposent que les analyses chimiques puissent vérifier les cartes de vulnérabilité. En effet, le degré de pollution est apprécié par la mesure de l'écart entre le bruit de fond et les caractéristiques physico-chimiques de l'eau souterraine (Mardhel, 2001).

En 1998, le Comité National Français des Sciences Hydrologiques (CNFSH), note que le concept de vulnérabilité « en général », indépendamment des types de polluant et des processus de pollution, est trop simple ; il doit non seulement faire l'objet d'une classification en différents degrés, mais aussi d'une différenciation en fonction des principaux processus de pollution : suivant l'origine (surface du sol, source de pollution ponctuelle ou diffuse, sous-sol, stockage souterrain, forage, eau de surface polluée) et suivant la durée (pollution accidentelle ou chronique).

La vulnérabilité est encore composite dans la mesure où elle intègre deux phénomènes et où son évaluation se réfère à deux critères (CNFSH, 1998) :

- ✓ la facilité et la rapidité suivant lesquelles les matières polluantes d'origine superficielle peuvent atteindre l'eau souterraine et dégrader ses qualités, en fonction des défauts de défense « passive » (caractères structuraux), voire « active » (processus hydrodynamiques, hydrochimiques ou biochimiques en zone non saturée),
- ✓ la difficulté et la lenteur de la régénération des qualités de l'eau souterraine, de l'effacement de l'impact après arrêt du fait polluant (lorsqu'il s'agit de pollution temporaire), c'est à dire la faiblesse de la résilience d'une nappe souterraine, qui dépend davantage des conditions hydrodynamiques de l'aquifère, à l'instar du « pouvoir auto épurateur » d'un cours d'eau.

Le concept de vulnérabilité à la pollution repose sur l'idée que le milieu physique, en relation avec la nappe d'eau souterraine, procure un degré plus ou moins élevé de protection vis-à-vis des pollutions suivant les caractéristiques de ce milieu. Ce milieu physique peut agir comme un filtre naturel et purifier l'eau polluée, limitant ainsi le transfert de contaminants vers la nappe.

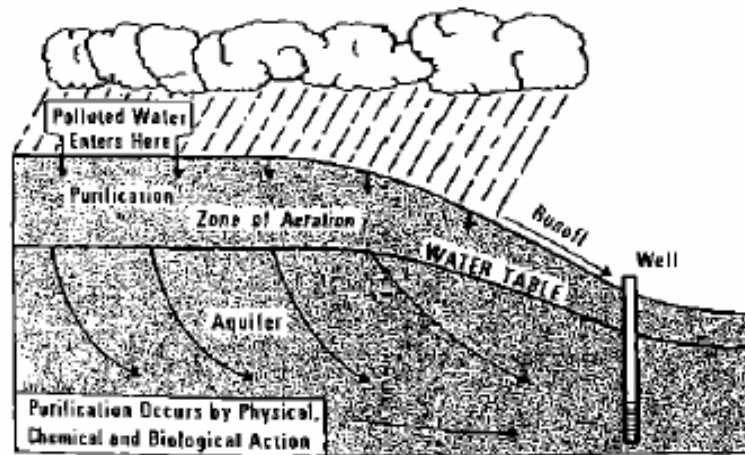


Figure 2.1 : Purification naturelle de l'eau contaminée

Suite à la prise en compte des problèmes de pollution de l'eau souterraine, le concept de vulnérabilité a été développé pour y remédier. Ce concept a été introduit par Margat à la fin des années 1960, suivi d'une première carte de vulnérabilité réalisée en 1970 par Albinet à l'échelle du territoire français (1/1 000 000). Il a ensuite évolué dans les années 1980 en ajoutant aux caractéristiques du milieu physique :

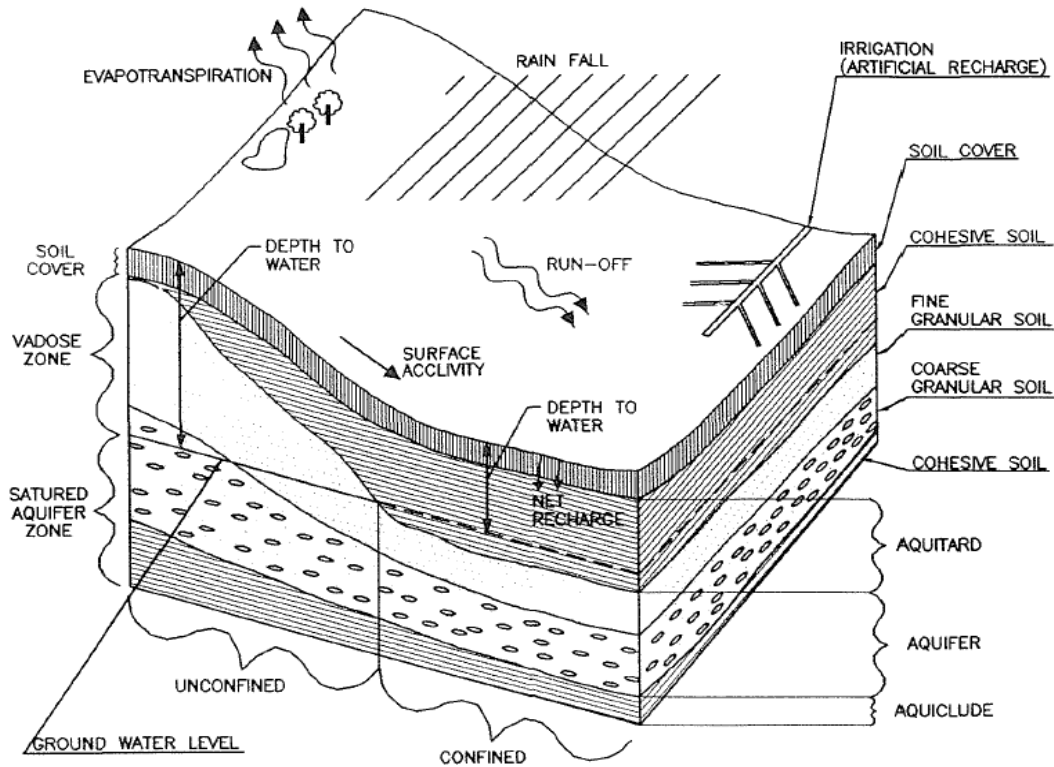
- ✓ les sources de pollution susceptibles de détériorer la qualité de l'eau,
- ✓ la nature des polluants susceptibles de migrer vers la nappe.

**Le concept de vulnérabilité des eaux souterraines est basé sur un modèle « origine – écoulements – cible »**

**a) Origine** de la contamination correspond au lieu d'infiltration du polluant au niveau de la surface du sol. Cette approche ne tient pas compte des pertes ou fuites de réseaux d'eau usée.

**b) écoulement** correspond au trajet du contaminant à travers le milieu naturel, c'est à dire sa composante verticale au sein de la zone non saturée. Si l'objet de la protection est le point de captage d'eau (puits, forage, exutoire), il faut également prendre en compte l'écoulement au sein de l'aquifère.

c) **cible** est l'eau souterraine faisant l'objet d'une protection. Il peut s'agir soit du toit de la nappe, soit du captage d'eau.



**Figure 2.2 Structure d'une nappe aquifère**

## 2. Les méthodes de la vulnérabilité

Le concept de vulnérabilité englobe deux notions différentes : la vulnérabilité intrinsèque, qui ne tient compte que des facteurs physiques influençant le mouvement d'un polluant vers la nappe, et la vulnérabilité spécifique, qui ajoute la prise en compte du polluant.

Il s'avère donc judicieux de faire la distinction entre les caractéristiques du milieu et l'existence de sources de pollution. En effet, les premières sont intemporelles, alors que les secondes sont évolutives. Il est donc préférable de distinguer la vulnérabilité intrinsèque, caractérisant la plus ou moins grande facilité de propagation des polluants à travers le milieu naturel, de la vulnérabilité spécifique.

**2.1. La vulnérabilité intrinsèque** est donc évaluée à partir du comportement d'un polluant théorique, et demande la prise en compte de trois milieux bien définis :

- ✓ le sol,
- ✓ la Zone Non Saturée (ZNS),
- ✓ la Zone Saturée (ZS).

A ces trois milieux peut se rajouter l'infiltration qui rentre en compte dans la migration de polluants.

**2.2. La vulnérabilité spécifique** demande la considération de la nature du polluant ; son comportement sera fonction des caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du milieu ainsi que de ses propres propriétés physico-chimiques. Les principaux mécanismes observés sont :

- ✓ l'adsorption, qui caractérise le pouvoir de fixation de minéraux et de matières organiques du sol,
- ✓ la complexation, combinaison chimique de composés pouvant changer le pouvoir migrant du produit initial,
- ✓ la précipitation sous forme d'un composé plus complexe et insoluble,
- ✓ la biodégradation pouvant affecter certains polluants organiques,
- ✓ la volatilisation de certains composés.

Cette liste non exhaustive montre la difficulté de connaître les caractéristiques de propagation des polluants dans le sol. En particulier, de nombreux mécanismes tels que les activités biologiques ont lieu dans la zone racinaire du sol, tandis que la ZNS agit surtout comme un facteur de retard du polluant dans la nappe.

### **3. Les critères de vulnérabilité**

De nombreux facteurs agissent sur la vulnérabilité d'une nappe, en réduisant la concentration en polluants et/ou en influençant le temps de transfert. Ces facteurs sont présents dans trois zones : le sol, la zone non saturée et la zone saturée. L'emploi des différents critères de vulnérabilité

dépend de la zone d'étude, de la méthodologie employée et de la sensibilité des auteurs. Les critères utilisés dans la littérature sont présentés dans ce chapitre.

### **3.1. Critères relatifs au sol**

La topographie donne une idée de la partie ruisselée et de la partie infiltrée de l'eau de pluie sur le sol. Plus la pente de la surface du sol est forte et longue, plus le polluant s'éloignera de son point d'émission. Ceci n'annule pas la contamination et ne fait que l'éloigner en aval. La topographie est une donnée facile à obtenir grâce aux Modèles Numériques de Terrain (MNT).

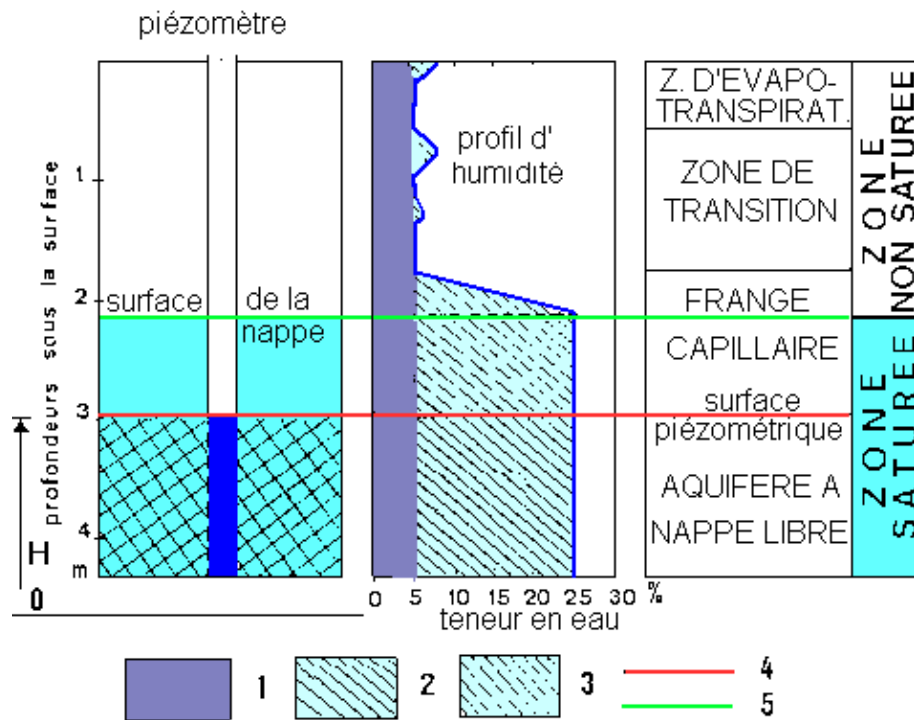
La couverture pédologique, de par sa nature, sa texture, sa teneur en argile et en matière organique, contient les principaux procédés susceptibles d'atténuer une contamination. Les données concernant le sol étant difficiles à quantifier, de nombreux auteurs prennent en compte la réserve d'eau d'un sol (RFU ou RU).

### **3.2. Critères relatifs à la zone non saturée**

La ZNS est la zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe libre. A cet endroit, la quantité d'eau gravitaire est temporaire, en transit.

Trois parties différenciées en fonction de leur teneur en eau la composent :

- ✓ Une zone d'évapotranspiration qui est soumise à d'importantes variations de la saturation en eau ;
- ✓ Une zone de transition où la teneur en eau correspond à la capacité de rétention du sol ;
- ✓ La frange capillaire qui, en plus de la percolation (recharge) correspond à l'eau de la nappe remontant par ascension capillaire.



**Figure 2.3 Zonalité de l'eau dans un aquifère à nappe libre (adapté de G. CASTANY).**

(1) eau de rétention; (2) eau gravitaire; (3) remontée capillaires; (4) surface piézométrique; (5) surface de la nappe

L'épaisseur de la ZNS conditionne le temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe à cause des phénomènes de rétention, de stockage et d'interactions physico-chimiques avec l'encaissant.

L'épaisseur de la zone non saturée d'une aquifère joue deux rôles bien distincts dans l'atténuation de la pollution :

- ✓ un rôle de retardateur du front de pollution,
- ✓ un rôle d'épurateur du contaminant.

Un aquifère dont l'épaisseur de sa ZNS est importante sera d'autant mieux protégé des sources de pollution, puisque le temps de séjour y est grand. En parallèle, ce temps de séjour permet aux interactions biologiques et physico-chimiques de se développer entre le polluant et l'aquifère et ainsi de contribuer aux phénomènes de dégradation.

L'épaisseur de la zone non saturée se calcule en un point donné en retranchant la piézométrie observée de la cote topographique.

Le transfert des polluants dans le sol s'effectue d'abord à travers **la zone non saturée** (ZNS) avant d'atteindre la zone saturée.

**L'amplitude de battement de la nappe** joue sur l'épaisseur de recouvrement de la nappe si elle est significative. Dans ce cas, elle devient donc un critère de vulnérabilité.

**La perméabilité verticale de la ZNS** influe directement sur le temps de transfert d'un polluant vers la nappe.

Ce paramètre joue un rôle très important dans le processus d'infiltration de l'eau contaminée. Une zone non saturée à forte conductivité hydraulique facilite la propagation de la pollution, tandis qu'une formation peu perméable a tendance à stopper l'eau polluée.

**La structure de la ZNS** est un critère important de par le faciès, les discontinuités, la texture et la teneur en argile et en matière organique de la ZNS.

Si certains critères tels que l'épaisseur et la perméabilité de la ZNS sont paramétrables, leurs effets sur les polluants s'avèrent difficilement prévisibles et quantifiables (Landreau, 1996).

### 3.3. Critères relatifs à la zone saturée

**Le type de nappe** : une nappe libre s'avère beaucoup plus vulnérable qu'une nappe captive, naturellement protégée par une ou des formations peu perméables.

**Les paramètres hydrodynamiques** (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emménagement, gradient hydraulique) déterminent le temps de résidence d'un contaminant dans la nappe.



**La piézométrie** conditionne l'évolution des processus hydrodynamiques : des phénomènes tels que la drainance peuvent s'inverser.

**La direction** et le **sens d'écoulement** déterminent les cibles atteintes par un polluant dans la nappe.

**Le type de système hydrogéologique** : à partir de la réactivité aux impulsions pluviométriques du système, et donc de son caractère transmissif, la vulnérabilité du système peut être évaluée.

**Les relations nappe - cours d'eau** peuvent être de deux types, de type drainage ou de type alimentation, donnant ainsi des informations sur la possibilité de contamination.

**L'épaisseur de l'aquifère** détermine le stock d'eau et la dilution du polluant.

### **3.4. Critères communs à la zone non saturée et à la zone saturée**

**La fracturation** : des discontinuités peuvent jouer le rôle de drains et augmenter la vitesse d'infiltration du polluant dans la nappe.

**La recharge** conditionne la quantité d'eau atteignant la zone saturée et dépend de la pluie efficace s'infiltrant dans le sol puis dans la ZNS. Ce critère peut être évalué soit directement en étudiant le climat (ETP, précipitations), soit indirectement en observant la topographie et la nature des formations traversées.

## **4. La cartographie de la vulnérabilité**

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 cartographie à index**, basées sur la combinaison de cartes unicritères (sol, géologie, profondeur de la nappe, perméabilité de la ZNS, ...), qui donnent un index numérique à chaque critère et leur attribuent un poids ; ce sont des méthodes quantitatives, 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 ; ces méthodes sont plus ou moins complexes, selon le nombre de transports ou le nombre de dimensions que l'on prend en compte,
- **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 deux dernières méthodes étant basées sur le transport de polluants, elles sont plutôt utilisées dans le cadre de la vulnérabilité spécifique. Les méthodes de cartographie à index sont les plus utilisées dans le cadre de la vulnérabilité intrinsèque.

#### 4.1. Méthodes de cartographie à index

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

- **les méthodes à systèmes hiérarchisés** comparent les conditions de vulnérabilité d'une zone donnée avec les critères d'autres zones ; elles sont plutôt utilisées pour l'étude de la vulnérabilité de contextes hydrogéologiques variés à l'échelle régionale ou nationale et donnent des résultats relativement qualitatifs,
- **les méthodes à index et relations analogiques** sont basées sur la description mathématique des processus hydrogéologiques pour estimer surtout la vulnérabilité spécifique vis-à-vis de polluants,

## 4.2. Méthodes à systèmes paramétrés

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 :

- ✓ les méthodes à systèmes matriciels,
- ✓ les méthodes à systèmes indexés,
- ✓ les méthodes de pondération et d'indexation des critères.

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.

### 4.2.1 Les méthodes à systèmes matriciels

Ils utilisent au moins deux paramètres représentatifs de la zone étudiée (profondeur de la ZNS, ...) subdivisés en classes ; la combinaison des paramètres et de leur classe respective ( $X_n$  et  $Y_m$ ,  $n$  et  $m$  déterminant les classes respectives des critères  $X$  et  $Y$ ) calcule un degré de vulnérabilité, compris entre très faible et très fort par exemple. Ces méthodes à peu de paramètres s'utilisent pour des études à petite échelle.

### 4.2.2. Les méthodes à systèmes indexés

Avec des paramètres divisés en classe, additionnent les différents index des paramètres pour aboutir à une valeur numérique traduisant la vulnérabilité. Cette dernière est également subdivisée en classes. Les méthodes suivantes sont dites « à index » :

- ✓ la méthode GOD (Foster, 1987),
- ✓ la méthode « Pesticide Root Zone Model » (EPA, 1983),
- ✓ les méthodes GLA et PI (service géologique allemand),
- ✓ la méthode AVI (Van Stempvoort et al., 1992),
- ✓ la méthode ISIS (De Regibus, 1994).

#### 4.2.3. Les méthodes de pondération et d'indexation des paramètres

(Point Count Systems Models, PCSM). Ce 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. Ils utilisent la même approche que les méthodes à index mais rajoutent un système de pondération pour les différents critères permettant, ainsi, de modifier le poids relatif de leur importance dans l'approche de la vulnérabilité : Ce sont aussi les plus reconnues et utilisées à l'heure actuelle (Gogu et Dassargues 2000 ; Zaporozec et Vrba 1994).

- ✓ la méthode DRASTIC développée aux USA (EPA, Aller et al., 1985),
- ✓ la méthode SYNTACS développée en Italie (Civita et Benacchio, 1988),
- ✓ les méthodes EPIK (Dörfliger, 1996), RISKE (Pételet-Giraud et al., 2000) et RISK (Dörfliger et al., 2004) spécifiques aux milieux karstiques,
- ✓ la méthode IDPR (BRGM) récemment développée pour les cartographies régionales.

#### 5. Limite des méthodes de pondération et d'indexation des critères

Malgré les avantages certains de ces méthodes, à savoir leur facilité de mise en œuvre et de report cartographique grâce aux Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), des difficultés apparaissent dans leur élaboration. La principale vient de l'attribution des critères, de leur notation et de leur poids. En effet, chaque étude étant différente, un paramètre important dans une étude peut ne pas apparaître dans une autre.

De plus, lorsque le nombre de critères est élevé comme dans la méthode DRASTIC (sept critères), il est possible qu'un paramètre primordial soit masqué par les autres paramètres.

Enfin, les critères concernant la zone saturée sont discutables, tout comme le faible poids attribué généralement au sol et à la topographie.

## 6. Description de quelques méthodes

### 6.1 La méthode DRASTIC

Parmi les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des nappes, la méthode DRASTIC semble être la plus adaptée aux contextes hydrogéologiques de notre étude. 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. Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept critères :

Les lettres **D, R, A, S, T, I** et **C** désignent respectivement les facteurs :

- ✓ profondeur du plan d'eau (**D**epth of water),
- ✓ recharge naturelle (net **R**echarge),
- ✓ lithologie de l'aquifère (**A**quifère media),
- ✓ sol de couverture (**S**oil media),
- ✓ topographie des pentes (**T**opography),
- ✓ lithologie de la zone non saturée (**I**mpact of the vadose zone) et
- ✓ perméabilité de l'aquifère (hydraulic **C**onductivity of the aquifer).

L'indice DRASTIC résulte de la somme des scores **X<sub>r</sub>** attribué à chaque critère, multipliés par leurs poids respectifs **X<sub>w</sub>**.

$$Di = Dr Dw + Rr Rw + Ar Aw + Sr Sw + Tr Tw + Ir Iw + Cr Cw$$

Ex. **Dr** : la ponctuation (score) attribuée à la profondeur du plan d'eau et **Dw** : la pondération (poids) attribuée à la profondeur du plan d'eau.

Malgré les avantages de cette méthode, à savoir sa facilité de mise en œuvre grâce au Système d'Information Géographique (SIG), des difficultés apparaissent dans l'élaboration des cartes qui sont d'un nombre élevé : 7 cartes au minimum. Selon les données disponibles chacune de ces cartes peut être le résultat de la combinaison d'autres cartes comme. L'autre difficulté vient de l'attribution des critères, de leur notation et de leur poids qui restent fortement subjectives.

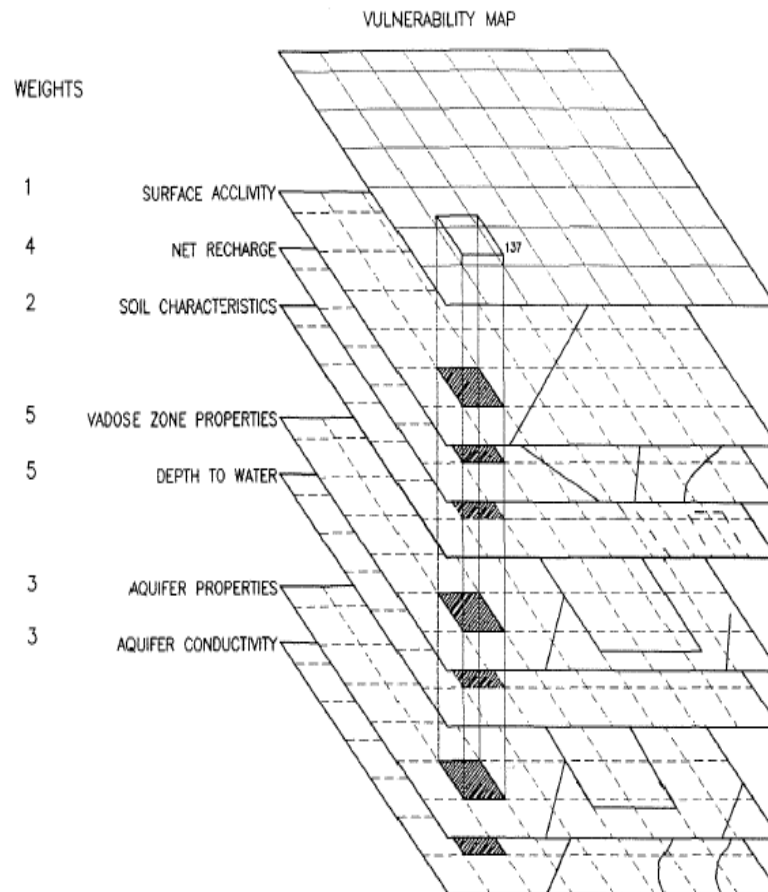


Figure 2.4. Mode de calcul de la vulnérabilité DRASTIC à l'aide du SIG

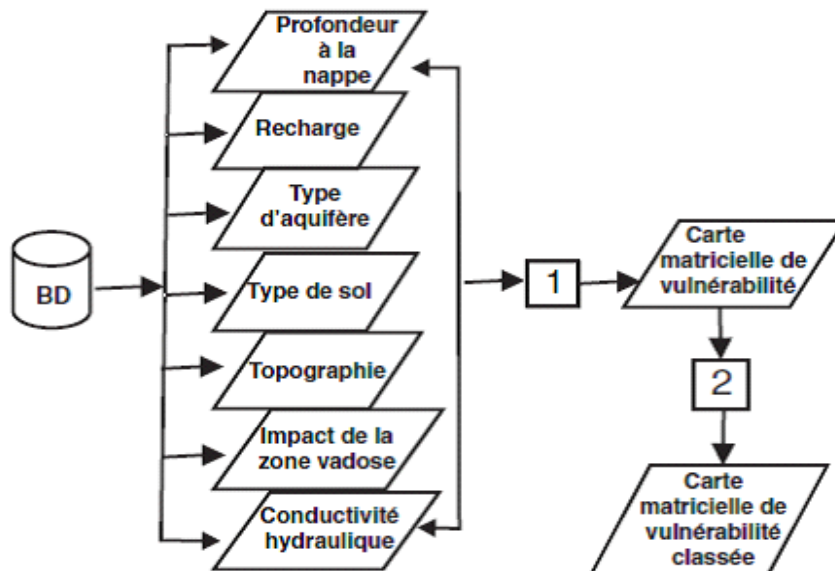


Figure 2.5 Organigramme présentant l'intégration des sept paramètres DRASTIC.

[1] Calcul des valeurs de vulnérabilité pixel par pixel selon la formule de l'indice DRASTIC.

[2] Classification des pixels en fonction des classes DRASTIC.

## 6.2 La méthode GOD

La méthode GOD est une méthode de systèmes paramétriques développée par Foster en Angleterre en 1987 (Foster, 1987). Elle 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. Elle permet de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité (Murat et al., 2003). Elle

Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères : Type de nappe ; type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques et Profondeur de la nappe.

Le mot GOD est un acronyme des paramètres suivants:

- ✓ **G : Groundwater occurrence** (type d'aquifère) ;
- ✓ **Overall aquifer class** (caractéristiques de l'aquifère en terme de lithologie et de porosité) ;
- ✓ **D : Depth of water table** (profondeur à la nappe).

La méthode GOD utilise aussi une approche empirique où la vulnérabilité des aquifères est définie en fonction de l'inaccessibilité de la zone saturée, au sens de pénétration du polluant, et de la capacité d'atténuation que présente la couche sus-jacente à la zone saturée.

L'approche employée pour ce modèle a recours aux trois paramètres ci-dessus.

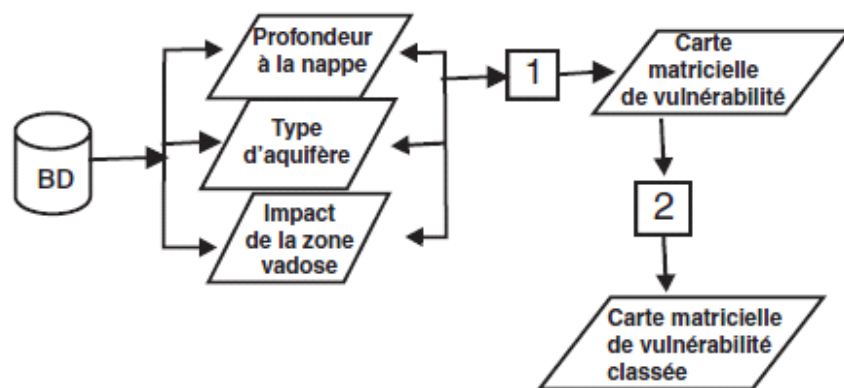
- ✓ Le premier (type d'aquifère) réside dans l'identification du type d'aquifère en fonction de son degré de confinement dont l'indice est noté ( $C_i$ ),
- ✓ le deuxième (caractéristiques de l'aquifère) est défini par les caractéristiques des couches de la zone saturée de l'aquifère en ce qui a trait à leur degré de porosité relative, à leur perméabilité et à leur contenu en eau ( $C_a$ ).
- ✓ le troisième (profondeur à la nappe) correspond à l'épaisseur de la zone non saturée ( $C_p$ )

L'indice de vulnérabilité (IGOD) est obtenu par la multiplication des indices de chacun de ces trois paramètres :  $I_{GOD} = C_i * C_p * C_a$

Les notes utilisées pour chaque paramètre utilisé, varient entre 0 et 1.

La détermination de l'indice GOD (IGOD) est obtenue par la multiplication de ces trois paramètres, selon l'équation  $I_{GOD} = C_i * C_p * C_a$ , où C est la cote affectée au paramètre

Après le calcul de l'indice, on détermine les classes de vulnérabilité correspondant aux intervalles d'indices obtenus. Généralement, ces indices sont répartis en cinq classes de vulnérabilité allant de « très faible » à « très forte »



**Figure 2.6 Organigramme présentant l'intégration des trois paramètres GOD.**

[1] Calcul des valeurs finales de vulnérabilité pixel par pixel selon la formule de l'indice GOD.

[2] Classification des pixels en fonction des classes GOD.

*Notes du type d'aquifère*



Type d'aquifère	Note
Aucun aquifère	0
Aquifère confiné et artésien	0.1
Aquifère confiné et non artésien	0.2
Aquifère semi-confiné	0.3
Aquifère avec couverture de surface assez perméable	0.4- 0.6
Aquifère non confiné	0.7- 1

*Notes de la lithologie de la ZNS*

Nature lithologique	Note
Sol résiduel	0.4
Limon alluvial, argile, marne, calcaire fin	0.5
Sable éolien, siltite, tuf, roche ignée et métamorphique fracturée	0.6
Sable et gravier, grès, tuf	0.7
Gravier (colluvions)	0.8
Calcaire	0.9
Calcaire fracturé ou karstique	1

*Notes de la profondeur de la nappe/sol*

Profondeur (m)	0 – 2	2 – 5	5-10	10-20	20-50	50-100	> 100
Note	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4

**Figure 2.7 Exemple de notations utilisées par la méthode GOD**

L'évaluation de la vulnérabilité par les méthodes GOD et DRASTIC implique la collecte, la validation et l'analyse des données, l'évaluation des paramètres (cartes paramétriques) et l'application du modèle. Les cartes paramétriques sont élaborées en format matriciel, lequel se prête mieux à l'étape finale de superposition des couches.

### 6.3 Autres méthodes

D'autres méthodes développées et normalisées sont présentées ci-après

**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 quelconque 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).

**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 : Carratteri Idrogeologici dell' Acquifero (caractéristique hydrogéologiques de l'aquifère) ; C : Conducibilita Idraulica (conductivité hydraulique) ; S : Acclività della Superficie Topographica (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).

## Conclusion

Cette étude bibliographique nous a permis de bien comprendre le concept de vulnérabilité ainsi que la cartographie relative à ce thème. La nécessité de l'emploi des SIG pour traiter les informations spécialisées et les mettre à jour fréquemment font de ces logiciels des outils très puissants dans la gestion des eaux souterraines et la prévision des risques liés à la pollution.