

## **Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine**

M. Albinet et J. Margat

**Résumé.** Les cartes de vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine présentées ont été dressées dans le but de montrer quelles sont, suivant la nature des terrains rencontrés en surface et les conditions hydrogéologiques, les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les aquifères, c'est-à-dire la vulnérabilité des nappes à la pollution.

La carte à l'échelle du 1/1,000,000 (ensemble de la France) présente une vue générale des paramètres qui conditionnent la vulnérabilité des nappes. La cartographie à l'échelle du 1/250,000 donne une vue plus détaillée de ces paramètres. La cartographie au 1/50,000 devrait constituer un préalable aux études quantitatives détaillées que nécessite l'aménagement de zones industrielles ou urbaines et la délimitation des périmètres de protection. Pour chaque échelle, une légende type pouvant s'adapter à l'ensemble de la France ou à d'autres pays, a été définie.

Dans le contexte actuel de la défense de l'environnement, ces cartes doivent très utilement contribuer à l'étude et à l'application de mesures visant à la conservation et la protection des eaux souterraines.

**Abstract.** The maps presented of vulnerability to pollution of groundwaters were aimed at showing what are, according to the nature of the surface layers and the hydrogeological conditions, the penetrating and spreading abilities of the pollutants in aquifers.

The map scaled 1/1,000,000 (covering the Whole French territory) gives a general view of parameters related to groundwater vulnerability. Mapping techniques at scale 1/250,000 allow a more detailed presentation of these parameters. Mapping techniques at scale 1/50,000 should constitute a preliminary step for detailed quantitative studies required for management of industrial and urban areas and for delimitation of safety perimeters. For every scale, a pattern legend, which fits the whole French territory and other countries, was defined.

In the present context of environmental safety, these maps constitute a very useful contribution to studying and carrying out measures aimed at groundwater safety.

## **INTRODUCTION**

La prévention de la pollution des eaux souterraine, action d'autant plus nécessaire que la décontamination des nappes d'eaux souterraines polluées, est une entreprise longue et coûteuse, implique que soient élaborées et diffusées à l'attention des services publics responsables aussi bien que des particuliers, des informations décrivant l'existence ou l'absence de facteurs naturels protégeant les nappes d'eau souterraine contre les risques de pollution accidentelle ou due à des négligences, qu'elle soit d'origine atmosphérique ou superficielle, ponctuelle ou extensive. La notion de *vulnérabilité* des nappes souterraines à la pollution intègre les différents facteurs physiques et stables déterminant la mesure dans laquelle ces nappes se trouvent, dans les conditions naturelles, plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol.

Ces facteurs, d'ordre hydrogéologique pour l'essentiel, sont en général appréciables *a priori* en se basant sur les connaissances géologiques et hydrogéologiques générales; aussi la vulnérabilité à la pollution peut-elle faire l'objet d'une cartographie de classification qui constitue en même temps la méthode d'expression et de diffusion des informations la plus commode vis-à-vis de diverses catégories d'utilisateurs soucieux ou responsables de la prévention de la pollution, mais non spécialistes en hydrogéologie.

C'est ainsi que, dans le cadre des études contribuant à la préparation du schéma

d'aménagement de la France, la DATAR (SPEPE)\* a chargé le BRGM (département d'hydrogéologie) d'établir des cartes indiquant les différents degrés de risque de pollution des nappes d'eau souterraine.

Ce travail a consisté en première phase dans l'établissement d'une 'carte de vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine de la France' à l'échelle du 1/1,000,000, puis en deuxième phase dans l'établissement de plusieurs prototypes de cartes de vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine à des échelles plus grandes: cinq à l'échelle du 1/250,000 (une dans l'Est, une dans les régions tourangelles, une dans le Sud-Ouest, une dans les Grands Causses, une dans la région de Lyon), deux à l'échelle du 1/50,000 (une dans l'Est et une dans le Nord).

Pour chaque phase nous présenterons le but recherché, le système de représentation utilisé (légende-type proposée) et les résultats obtenus.

## CARTE DE VULNERABILITE A LA POLLUTION DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE DE LA FRANCE A L'ECHELLE DU 1/1,000,000

Cette carte, dressée dans le courant du deuxième trimestre 1969, est sortie de presse en décembre 1970 (édition BRGM).

### But recherché

Cette carte a été dressée dans le but de montrer quelles sont, suivant les terrains rencontrés en surface (et plus précisément suivant les réservoirs dans lesquels sont contenus les premières nappes d'eau souterraine, généralement libres) les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans ces terrains c'est-à-dire la vulnérabilité de ces nappes, que la plupart des puits et forages de captage d'eau d'alimentation exploitent, et d'où sont issues la plupart des sources du territoire.

Il ne s'agissait pas de faire l'inventaire des points de pollution ni d'indiquer les zones déjà polluées en France; il ne s'agissait pas non plus de montrer comment et par quel type de polluant va se matérialiser la pollution et quels en seront les effets. A partir de cette carte, il est donc possible de définir les zones sensibles dans lesquelles une pollution peut affecter gravement une nappe et d'avoir une idée des moyens à employer si l'on veut protéger cette nappe.

### Lecture de la carte: Légende-type proposée

(1) Classification des terrains suivant la vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution.

(a) Principes de base. Dans la pollution des eaux souterraines, on doit considérer à la fois:

- (i) *L'introduction* de la pollution, c'est-à-dire le transit, selon un trajet surtout vertical, de corps polluants entraînés par les eaux d'infiltration, ou de fluides polluants depuis la surface du sol jusqu'à une nappe souterraine, à travers le sol et des roches non saturées d'eau, ceci ne s'appliquant qu'aux nappes libres. Le rejet direct d'effluents polluants dans une nappe par forages absorbants n'est pas considéré ici. Il est évident que toutes les nappes sont également vulnérables à la pollution par ce moyen. On exclut aussi le cas de pollution par des forages pétroliers ou miniers mal isolés mettant une nappe souterraine de bonne qualité en communication avec des nappes d'eau minéralisée. Mais le risque encouru dépend des facteurs de propagation et de persistance de la pollution. Comme la carte donne une appréciation sur ces facteurs, elle rend compte également, dans une certaine mesure, de la vulnérabilité aux rejets directs.

\* DATAR: Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale; SPEPE: Secrétariat permanent pour l'étude des problèmes de l'eau.

- (ii) *La propagation* de la pollution, c'est-à-dire l'écoulement de l'eau ainsi polluée, entraînée par le mouvement naturel de la nappe atteinte; elle peut être plus ou moins rapide, selon les caractéristiques de la roche aquifère et la pente hydraulique; elle peut s'étendre à une distance plus ou moins grande selon l'étendue et les conditions de drainage de la nappe.
- (iii) *La persistance* plus ou moins prolongée, après l'interruption de la cause initiale de la pollution, de la zone contaminée, qui est liée au renouvellement naturel de l'eau du réservoir aquifère.

Nous avons été amenés à définir schématiquement, en vue de la cartographie à réaliser à petite échelle, six classes de terrain dotées chacune de caractères communs, selon les points de vue précédents, en se basant principalement sur la nature géologique du sous-sol, sur la profondeur de la surface libre des nappes par rapport au sol et sur les modalités de drainage (ou parfois d'alimentation) des nappes par les cours d'eau, la densité du réseau hydrographique permanent commandant généralement l'extension des écoulements souterrains.

Il a été admis que les nappes captives dans des couches aquifères profondes recouvertes par des couches de terrains de faible perméabilité constituant des barrières étanches, sont protégées naturellement contre des pollutions d'origine superficielle.

(b) Classification adoptée:

*Classe 1: Domaine des alluvions*

Il a été volontairement séparé des cinq autres en raison de son importance et de ses conditions particulières. Dans ce domaine les nappes, peu profondes, sont en effet en communication souvent étroite avec les cours d'eau de surface, principaux récepteurs et conducteurs des produits polluants. De plus et de façon générale, les alluvions drainent en partie les eaux des nappes adjacentes.

Trois cas ont été envisagés:

En rouge



Nappe alluviale libre sans aucune protection

En rouge



Nappe alluviale libre, semi-captive ou captive, protégée en surface par une couche peu perméable

En rouge



Nappe alluviale directement alimentée dans les conditions naturelles par un cours d'eau de surface. Ce cas se rencontre chaque fois que le plan d'eau de la rivière est plus élevé que le niveau piézométrique de la nappe des terrains encaissants (cours d'eau perché). Toute pollution d'eau en surface se propage obligatoirement dans la nappe alluviale, dans la mesure toutefois où le colmatage du lit et des berges du cours d'eau n'assure pas son isolement relatif.

En outre, dans les trois cas, il faut souligner que la plupart des captages riverains de cours d'eau peuvent créer artificiellement les conditions de ce 3ème cas, au moins localement: ces captages sont donc risqués au bord de rivières polluées en permanence ou même temporairement.

*Classe 2: Terrains dans lesquels la pollution se propage très rapidement (calcaires, dolomies: domaine karstique)*

En rouge



Ce cas se présente dans les régions où les karsts sont très développés, c'est-à-dire celles où la circulation des eaux de surface se caractérise par des

écoulements temporaires avec de nombreuses pertes et résurgences: seules les circulations souterraines sont dotées de la continuité et de la permanence caractérisant ailleurs les réseaux hydrographiques.

L'eau s'écoule dans des calcaires ou des dolomies très fissurés. Il n'y a pas de filtration et les répercussions d'une pollution en surface (en général rejets dans des cavités souterraines avec ou sans circulation: grottes, avens) sont quasi immédiates. Les réservoirs aquifères comportent des chenaux à écoulement très rapide (ordre de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres par jour).

Le niveau de base eaux souterraines coïncidant en général avec le niveau des cours d'eau permanents on peut estimer que sauf dans le creux des vallées, sur la plus grande partie des domaines de cette classe, les réseaux aquifères actifs se trouvent le plus souvent à plus de 50 m de profondeur en dessous du sol, et parfois à plus de 100 m. Ils peuvent se développer sur de grandes distances (plusieurs dizaines de km), permettant une propagation lointaine de la pollution et sa diffusion selon un front étendu, en raison des diffluences et des divergences possibles des écoulements souterrains.

*Classe 3: Terrains dans lesquels la pollution se propage rapidement (craie, calcaires, dolomies, basaltes)*

Cette classe se distingue d'abord de la précédente par l'existence de réseau hydrographique relativement mieux organisé (rareté des bassins fermés et des pertes de cours d'eau) quoique encore peu dense.

Elle est constituée par des terrains aquifères fissurés mais peu karstifiés, où la densité de fissuration de même que les dimensions des fissures sont généralement moins importantes que dans le cas précédent, et où la fissuration peut coexister avec une certaine porosité. Cependant les vitesses d'écoulement sont très diverses. Des systèmes de chenaux à circulation assez rapide (ordre de quelques dizaines à quelques centaines de mètres par jour, et parfois plus) peuvent coexister avec des écoulements en nappe, beaucoup plus lents.

La filtration des corps non dissous reste très réduite et les répercussions d'une pollution en surface sur une nappe sont toujours rapides (parfois même immédiates).

L'épaisseur du terrain entre la surface du sol et la surface piézométrique de la nappe pouvant dans certains cas diminuer le danger de pollution ou du moins le retarder, nous avons déterminé une zonalité de profondeur simplifiée. Deux classes ont été envisagées:

En orangé



Nappe libre peu profonde à moins de 50 m de profondeur par rapport au sol

En orangé plus foncé



Nappe libre profonde à plus de 50 m profondeur par rapport au sol

N.B. En raison de l'échelle adoptée le critère de 50 m de profondeur nous a paru comme le mieux adapté en fonction de l'hypsométrie et de la piézométrie des nappes.

Enfin la pollution peut se propager sur d'assez grandes distances, en raison de l'étendue des systèmes aquifères élémentaires (limités par des cours d'eau drainant).

*Classe 4: Terrains dans lesquels la pollution se propage plus lentement (sables, grès, projections volcaniques)*

En jaune



L'écoulement de l'eau dans ces terrains, essentiellement perméables par porosité, est totalement différent des deux cas précédents: il est lent (quelques centimètres à quelques mètres par jour) et l'eau est en général bien filtrée (filtration des corps non dissous), la première nappe rencontrée (nappe libre dite 'phréatique') est généralement à faible profondeur.

La densité généralement grande du réseau hydrographique (cours d'eau drainant), délimitant des systèmes aquifères élémentaires de plus petite dimension que les classes 2 et 3, s'oppose le plus souvent à une propagation de la pollution de l'eau souterraine sur de grandes distances. Mais la persistance de polluant dans l'aquifère serait très longue, le renouvellement complet des réserves des nappes dans ces aquifères, surtout lorsqu'ils sont assez épais – étant certainement pluri-annuel, sinon décennal ou plus.

*Classe 5: Terrains dans lesquels la pollution se propage de façon très variable*

Hachures vertes et oranges



Il s'agit de domaines composites soit à alternances rapides en affleurements de terrains sédimentaires perméables et peu perméables (calcaires, marnes, sables, argiles, grès, schistes, etc . . .) soit de terrains peu homogènes à perméabilités très diverses (complexes sablo-argileux, molasses, moraines). La perméabilité 'moyenne' de l'ensemble est généralement faible.

Dans ces domaines les risques de propagation de la pollution sont fonction du terrain dans lequel se situe l'origine de la pollution. Mais si la propagation de la pollution dans un aquifère est en général restreinte en raison des variations rapides de faciès, ou des compartimentages tectoniques qui limitent l'extension des écoulements souterrains, elle peut toutefois se communiquer plus aisément aux eaux de surface et se transférer alors très loin de son origine.

Dans les séries sédimentaires 'multicouches' mentionnées en premier lieu, la pollution d'eaux souterraines dans des terrains peu perméables, même si elle paraît localisée, n'est pas néanmoins sans danger à long terme, dans la mesure où des couches aquifères plus perméables sous-jacentes peuvent – selon une disposition assez fréquente surtout en cas d'exploitation de la nappe profonde plus productive – drainer en profondeur l'eau de ces aquifères supérieurs médiocres et à la longue déplacer les masses d'eau polluées jusqu'à des sources ou des captages.

*Classe 6: Terrains dans lesquels la pollution n'affecte en pratique que les eaux de surface*

Ce sont des terrains peu perméables ou 'imperméables' ne comportant pas de nappe d'eau souterraine et où le ruissellement est important.

Deux cas ont été envisagés:

En bleu



Terrains sédimentaires marneux ou argileux: la pollution ne peut affecter que des eaux de surface. Ces terrains servent d'écran protecteur pour les eaux souterraines profondes pouvant se trouver dans les couches aquifères sous-jacentes (nappes généralement captives donc à surface piézométrique supérieure au toit de faible perméabilité, empêchant de toute manière les infiltrations dans les conditions naturelles). Toutefois la remarque faite ci-dessus (classe 5, in fine) peut dans certains cas s'appliquer ici si la pression

de la nappe captive est peu différente de l'altitude des plans d'eau libre en surface.

En vert



Terrains éruptifs et métamorphiques (granites, gneiss, micaschistes) et terrains sédimentaires métamorphisés ou très plissés (schistes, calcaires). La pollution ne peut atteindre par définition que des eaux de surface, lorsque ces domaines sont dépourvus d'aquifères.

Toutefois des possibilités de pollution rapide mais localisée d'eaux souterraine peuvent exister dans les terrains (granites, gneiss, calcaires métamorphisés) où des fissures permettent l'existence de réseaux aquifères locaux, cependant sans risque de propagation sur de grandes distances, notamment à cause de la forte densité du réseau hydrographique drainant. Des exceptions ne sont néanmoins pas à exclure en cas de circuits profonds établis à la faveur de failles et soumis à une action thermodynamique.

(2) En plus de ces six classes de terrains nous avons été amenés à définir et à représenter pour les nappes libres:

En bleu ou en noir



Les principales zones où la surface piézométrique de la nappe prend la forme d'un 'dôme' (écoulement divergent): elles correspondent, dans les domaines interfluviaux, aux parties les plus élevées de la surface de la nappe donc à des zones amont de l'écoulement souterrain. Ces zones, où les nappes sont alimentées uniquement par l'infiltration des eaux de pluie (ou neige en montagne) et ne sont pas influencées par les cours d'eau de surface, peuvent être qualifiées de zones 'd'eau pure', et pourraient faire l'objet de mesures préférentielles de protection et de conservation.

En noir



Les zones où les nappes sont essentiellement alimentées par des irrigations provenant de prélèvements dans un cours d'eau de surface (ex: cas de la nappe de la Crau alimentée par les eaux de la Durance): la pollution pourrait alors être immédiate et simultanée sur une grande étendue si le cours d'eau, ou le réservoir superficiel dans lequel se fait le prélèvement, se trouvait pollué.

En noir



Les zones à nappe libre (classes 1 à 4) protégées partiellement en surface par un terrain peu perméable (ex: argile à silex sur la craie), ayant *a priori* pour effet de retarder toute pollution de la nappe sous-jacente à partir de la surface (cas déjà envisagé en particulier pour les nappes d'alluvions: classe 1b).

En rouge

- Nous avons également indiqué les points de perte totale ou partielle de cours d'eau de surface qui constituent des origines (réjets) de pollution directe possible des eaux souterraines par les eaux de surface si celles-ci se trouvent polluées (classes 1 et 2 essentiellement). Enfin, nous avons figuré par des flèches rouges correspondant à la direction principale et au sens d'écoulement des nappes souterraine, le sens de propagation de pollutions éventuelles dans ces nappes. Cette indication conserve néanmoins inévitablement, à l'échelle choisie, une valeur schématique.

### Résultats obtenus

Le document ainsi élaboré présente l'avantage de permettre une lecture simple et une compréhension aisée.

Destinée à des usagers non spécialistes de l'hydrogéologie (administrateurs, planificateurs par exemple), la carte au 1/1,000,000 présente une vue d'ensemble des moyens de défense naturels des nappes contre la pollution, mettant ainsi en évidence les zones sensibles du territoire.

Parmi les utilisations diverses auxquelles pourra donner lieu ce document de synthèse, il faut citer plus particulièrement les activités d'enseignement et de sensibilisation au problème de l'eau.

#### CARTES DE VULNERABILITE A LA POLLUTION DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE ECHELLES: 1/250,000 et 1/50,000

Il était naturel de penser que si grâce aux travaux précédents on avait pu représenter des idées d'ordre général sur la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine, on pouvait essayer d'exprimer d'autres idées plus précises en les matérialisant à l'aide d'une cartographie à plus grande échelle.

C'est ainsi que l'on a été amené à réaliser en le courant du deuxième trimestre de 1970 des essais de cartographie à échelle moyenne et grande. Ils sont au nombre de sept: cinq à l'échelle du 1/250,000 et deux à l'échelle du 1/50,000.

#### But recherché

Comme dans le cas de la carte au 1/1,000,000 il ne s'agissait pas de faire l'inventaire des foyers de pollution ni d'indiquer les zones déjà polluées, il ne s'agissait pas non plus de montrer comment et par quel type de polluant va se matérialiser la pollution et quels en seront les effets.

Le but recherché était double: (a) procéder à une expérience de cartographie à des échelles plus grandes que celle du 1/1,000,000. Après divers essais, ont été retenues les échelles du 1/250,000 et du 1/50,000 suffisamment différentes entre elles et du 1/1,000,000 pour donner lieu à des cartes de natures différentes. Pour chacune il a fallu établir un programme de légende-type et de normes de représentation bien adaptées. (b) Epruver l'utilité pratique de telles cartes: à cette fin, les essais de cartographie ont été diffusés auprès de différents utilisateurs: c'est de ces derniers que sont attendues les réponses à la question posée.

#### Lecture des cartes – Légendes-types proposées

Chaque type de légende comporte un cadre général qui est celui de la carte au 1/1,000,000, c'est-à-dire une classification des terrains suivant leur facilité à laisser pénétrer et à propager une pollution éventuelle. On a pu ainsi conserver les couleurs utilisées dans la carte au 1/1,000,000 mais on a toutefois détaillé davantage cette classification.

On a introduit en outre des indications stratigraphiques simples. Ceci était nécessaire car pour une même couleur représentant le même type de terrain (faciès) il est important de montrer lequel est au-dessus ou en dessous d'un autre, sans contraindre le lecteur à se reporter à une carte géologique.

*Exemple.* Les sables et les grès sont représentés par une teinte unie jaune. Si dans la zone envisagée il y a des sables ou des grès tertiaires, crétacés et jurassiques on a utilisé le système suivant:

T	Tertiaire
C	Crétacé
J	Jurassique

Autre exemple et toujours pour des sables ou des grès représentés en jaune:

F	'Faluns de Touraine'
S	Sables sénoniens
C	Sables cénomaniens

C'est ainsi qu'en légende on rencontrera toujours de haut en bas et pour la même couleur les terrains les plus récents puis les terrains plus anciens.

Dans le cas de deux terrains appartenant à la même classe mais qu'il est toutefois nécessaire de différencier soit parce qu'ils sont du même étage géologique et qu'ils présentent un faciès différent, soit simplement pour cette dernière raison on a utilisé un système de chiffres.

*Exemple.* (1) alternances de calcaires et de marnes; (2) alternances de conglomérats, de schistes et de grès.

Pour chaque catégorie de terrain le texte de la légende est adapté aux conditions hydrogéologiques propres à la région envisagée (notamment pour les vitesses de circulation de l'eau souterraine ou la profondeur de la nappe).

*Légende générale type proposé pour une cartographie à l'échelle du 1/250,000.*

Ainsi qu'il a été dit précédemment la classification des terrains suivant la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution est identique à celle utilisée dans la carte au 1/1,000,000. On va donc retrouver les classes suivantes:

(1) Domaine des alluvions – en rouge



Nappe alluviale libre sans aucune protection



Nappe alluviale captive, semi-captive ou libre protégée en surface par une couche peu perméable (limons)



Nappe alluviale directement alimentée par un cours d'eau de surface:

- (1) Cours d'eau perché par rapport au niveau piézométrique moyen nappes souterraines locales (non ou peu colmaté). Alimentation naturelle.
- (2) Réalimentation induite: champs de captages rabattant le niveau piézométrique local des eaux souterraines au-dessous du niveau de la rivière.

(2) Terrains dans lesquels la pollution se propage très rapidement (calcaires, dolomies: domaine karstique)



En rouge

(3) Terrains dans lesquels la pollution se propage rapidement (craie, calcaires, basaltes)



En orangé

(4) Terrains dans lesquels la pollution se propage plus lentement (sables, grès)



En jaune

(5) Terrains dans lesquels la pollution se propage de façon très variable



Hachures vertes et oranges

(6) Terrains dans lesquels la pollution n'affecte pratiquement que les eaux de surface:

-  Terrains sédimentaires marneux ou argileux – en bleu (aquifères profonds possibles)
-  Terrains éruptifs et métamorphiques, terrains sédimentaires métamorphisés ou très plissés – en vert

En plus de cette classification les renseignements suivants sont à indiquer dans la mesure du possible:



Noir Principales zones où la surface piézométrique de la nappe prend la forme d'un dôme: elles correspondent dans les domaines inter-fluviaux aux parties élevées de la nappe donc aux zones amont de l'écoulement. Ces zones, où les nappes sont alimentées uniquement par l'infiltration des eaux de pluie (ou neige en montagne) et ne sont pas influencées par les cours d'eau de surface peuvent être qualifiées de zones 'd'eau pure' et pourraient faire l'objet de mesures préférentielles de protection et de conservation.



ou  
Bleu



Noir Zones où les nappes sont essentiellement alimentées par des irrigations provenant de prélèvements dans un cours d'eau de surface.



Noir Zones protégées partiellement en surface par un terrain peu perméable ayant pour effet de retarder toute pollution de la nappe sous-jacente à partir de la surface.

ou

tramé très clair de la même couleur que le terrain en affleurement (à employer de préférence).

• Rouge Points de pertes totales ou partielles de cours d'eau de surface qui constituent des origines de pollution directe possible des eaux souterraines par les eaux de surface.

◦ Noir grotte } Points très vulnérables. Risques de pollution par rejet  
aven } direct (solide ou liquide) à l'intérieur même d'un réservoir aquifère.

∩ Noir grotte recoupant une circulation temporaire

∩ grotte recoupant une circulation pérenne

∨ aven recoupant une circulation temporaire

∨ aven recoupant une circulation pérenne

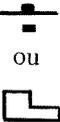
} Idem mais encore plus vulnérable. Cas présentant le maximum de danger en raison des possibilités d'introduction directe d'une pollution dans une circulation d'eau souterraine.

	Noir	Limite de partage des eaux souterraines (lieu des points d'origine de l'écoulement): barrière naturelle ne pouvant être franchie par une pollution éventuelle. Mais lieu de dispersion maximale d'une pollution qui s'y produirait.
	Noir	Zone où la pression de la 1ère nappe libre rencontrée est supérieure à celle de la nappe sous-jacente: zone d'alimentation par drainance de la nappe inférieure par la nappe supérieure; possibilités de contamination indirecte de la nappe inférieure à longue échéance si la nappe supérieure était polluée. Dans ces zones, un forage mettant les deux nappes en communication aurait le même effet à plus courte échéance.
	Noir ou Rouge	Sens de propagation d'une pollution éventuelle (direction d'écoulement principale des eaux souterraines).
	Noir ou Rouge	Relation prouvée entre deux points par expérience de traçage.
	Rouge	Relation présumée entre deux points.
	Noir	Zone inondable: risques supplémentaires de propagation et de transmission rapides d'une pollution éventuelle sur la zone d'affleurement du terrain inondé (notamment en cas de dépôt superficiel de substances polluantes).
	Noir	Carrière à ciel ouvert
	Noir	Carrière souterraine, cave
	Noir	Sablrière
		} Points très vulnérables: risques de pollution par rejet direct (solide ou liquide) à l'intérieur même d'un réservoir aquifère.
	Noir	Puits de mine (risque de pollution par exhaure, notamment en cas de rejet dans un cours d'eau).
	Noir	Cours d'eau drainant: lieu des points d'arrivée de l'écoulement souterrain. Barrière ne pouvant être franchie par l'écoulement souterrain dans une nappe en liaison hydraulique avec le cours d'eau.
	Violet	Cours d'eau perché par rapport au niveau piézométrique des eaux souterraines locales.
	Bleu	Idem, mais dans ce cas le lit du cours d'eau est colmaté réduisant fortement voire totalement les risques d'échanges entre le cours d'eau et la nappe sous-jacente.

*Légende générale type proposée pour une cartographie à l'échelle du 1/50,000.*

En ce qui concerne la classification des terrains elle peut être identique à celle du 1/250,000. Les principes restent les mêmes avec évidemment des détails et une précision adaptés à l'échelle envisagée. On devra faire figurer également tous les renseignements autres que la classification des terrains, proposés pour le 1/250,000, les couleurs et les figurés restant également identiques.

Par contre un certain nombre de renseignements supplémentaires spécifiquement adaptés à l'échelle du 1/50,000 peuvent et doivent être figurés:

	Noir ou Bleu	Captage (puits ou forage), zone de captages d'eau souterraine à usage <i>domestique</i> avec son – ou ses – périmètres de protection (enquête du Géologue officiel)	
	Noir	Captage: forage, puits (eau) à usage <i>domestique</i>	
	Noir ou Bleu	Source captée (ou groupe de sources) pour usage <i>domestique</i> avec son – ou ses – périmètres de protection (enquête du Géologue officiel)	
	Noir ou Bleu	Source importante non captée	
	Noir ou Bleu	Périmètre d'appel de pompages en période d'étiage: toute pollution survenant à l'intérieur de ce périmètre aboutira à plus ou moins brève échéance au captage	
	Noir	Zone d'habitation avec assainissement collectif ou individuel	} au choix de l'auteur suivant les possibilités de représentation
	Noir	Zone d'habitation où l'assainissement collectif ou individuel n'existe que partiellement	
	Noir	Zone d'habitation sans assainissement collectif ou individuel	
	Rouge	Egout	
	Rouge	Fossé d'écoulement du tout à l'égout	
	Rouge	Zone d'infiltration du tout à l'égout	
	Noir	Dépôt d'ordures	
	Noir	Cimetière	
	Rouge	Dépôt d'essence, ou autres réservoirs d'hydrocarbures	
	Rouge	Station-service	
	Rouge	Tracé de pipe-line avec direction de l'écoulement et vanne de fermeture	
	Rouge	Usines de produits chimiques, teintureries	
	Noir	Terrils de mines, remblais et crassiers de hauts fourneaux	

	Rouge	Usines sidérurgiques	
	Rouge	Raffineries de pétrole, parcs automobiles et dépôts	
	Noir	Laiteries, brasseries, conserveries	
	Noir	Installations diverses, zone industrielle (usines de transformation, docks, gares de triage, cimenterie).	
	Noir	Sablrière ancienne ou exploitée	} Points très vulnérables: risques de pollution par rejet direct (solide ou liquide) à l'intérieur même d'un réservoir aquifère
	Noir	Sablrière remblayée avec des ordures	
	Noir	Sablrière remblayée avec des cendres ou des scories	
	Noir	Puits de mine: risque de pollution par exhaure	
	Noir	Puisard: point très vulnérable; risque de pollution par rejet direct (solide ou liquide) à l'intérieur même d'un réservoir aquifère	
	Noir	Station de traitement des eaux Station d'épuration des eaux	

### Résultats obtenus

Le premier but recherché est atteint: une méthode de cartographie de la vulnérabilité des nappes à la pollution a été mise au point pour deux échelles plus grandes que le 1/1,000,000.

Les réactions des utilisateurs interrogés sur les essais cartographiques permettront à brève échéance d'apprécier l'utilité pratique de ces cartes.

Cependant nous pensons que le système adopté satisfait pour le mieux l'utilisateur spécialiste ou non. On ne doit pas oublier que l'on veut représenter un ensemble (géologie et phénomènes régissant l'écoulement des eaux) à trois dimensions, variant dans le temps et dans l'espace, par une projection à deux dimensions. Ce système représente un compromis entre précision et clarté.

Des perfectionnements sont bien entendu possibles:

- (1) il serait par exemple utile d'accompagner ces cartes d'une ou plusieurs coupes schématiques
- (2) il est également certain que les légendes-types proposées restent perfectibles. A ce sujet certains renseignements figurant sur les cartes à l'échelle du 1/50,000 peuvent être indiqués sur celles à l'échelle du 1/250,000. (Exemple: tracé de pipe-line).

### CONCLUSIONS

Pour expliquer et représenter les conditions hydrogéologiques qui exposent, ou au contraire protègent plus ou moins les eaux souterraines vis-à-vis de pollutions d'origine superficielle, on dispose, avec la cartographie, du moyen le plus commode et de la meilleure illustration.

Rappelons que la carte à l'échelle du 1/1,000,000 permet de présenter une vue générale des paramètres hydrogéologiques qui conditionnent la vulnérabilité des nappes: elle ne permet pas de sélectionner des zones à protéger, mais attire l'attention sur l'inégalité des risques, donc de précautions à prendre — par conséquent à étudier et

à projeter — selon les régions lorsque divers aménagements urbains, industriels ou autres sont envisagés.

La cartographie à l'échelle du 1/250,000 donne une vue plus détaillée de ces paramètres; une couverture systématique fournirait des informations plus directement utilisables pour des études, voire des décisions dans le domaine de l'aménagement du territoire et de la protection de l'environnement.

La cartographie à l'échelle du 1/50,000 devrât constituer un préalable aux études quantitatives détaillées que nécessite l'aménagement de zones particulières, industrielles ou urbaines. Elle peut aider considérablement la définition par le géologue officiel des périmètres de protection des captages d'eau potable et la formulation d'avis sur des implantations de cimetières, de dépôts, de déchets ou de matériaux nocifs ou d'établissement générateur de pollution. A divers niveaux par conséquent le rôle de la cartographie est important car elle permet de guider dans ces décisions ou ses avis le planificateur ou l'expert qui sont ainsi avertis. Dans le domaine de la conservation et de la protection des eaux souterraines elle peut aider le législateur et la puissance publique à prendre ou à renforcer et à appliquer des mesures. Enfin, il est certain que dans le cadre de la préoccupation moderne de sauvegarde de l'environnement, ces cartes sont appelées à une fonction très utile, notamment en ce qui concerne la protection des captages d'eau d'alimentation, et plus généralement pour éduquer le public et diminuer, peut-on espérer, les risques d'actions individuelles irréfléchies et inconscientes aux conséquences publiques souvent graves et prolongées.