

## COMPORTEMENT DU KARST VIS A VIS DES SUBSTANCES POLLUANTES

par

Richard MAIRE<sup>1</sup>

(6 figures)

**RESUME.**- Au sein de l'étude des eaux continentales, le comportement du karst vis-à-vis des substances polluantes reste encore un domaine méconnu des pouvoirs publics et ceci pour deux raisons essentielles : la karstologie est une science qui ne s'est imposée que très récemment et la spéléologie physique qui en émane est elle-même en plein devenir. Les pollutions affectant le karst sont de deux types : les rejets ruraux (décharges sauvages, fermes, industries agricoles. . .) et les rejets urbains et périurbains (égouts, industries chimiques . . .). Face à ces agressions, le comportement du karst de surface s'exerce rarement et faiblement par filtrage superficiel, parfois par pertes sous-fluviales et sous-lacustres, fréquemment par absorption directe diffuse ou concentrée (fissures, pertes, dépressions). Le comportement du karst profond s'effectue principalement par restitution rapide et intégrale pour les réseaux en régime vadose et par restitution lente  $\pm$  partielle pour les réseaux à régime noyé important auquel s'associe souvent le grave comportement par piégeage-restitution au moment des crues (nettoyage des siphons-poubelles par le processus de chasse d'eau). Le bilan "comportement-pollution" est donc très négatif : absence de filtrage, restitution souvent intégrale et mal diluée des polluants, autoépuration insuffisante et très perturbée, déboussages inopportuns des siphons-poubelles . . .

**ABSTRACT.**- Though lying in the heart of the study of continental waters, the behaviour of karst areas towards pollution is still badly known by public authorities, for two basic reasons. Karstology is a science which has only very recently been established and physical speleology which emanates from it is still itself only developing. Pollution is affecting karst in two ways : rural pollutants (farm wastes and agricultural industries etc.) and urban and suburban pollutants (sewage and chemical industries etc.). Faced with these pollutants, filtration by surface karst is only rare or feeble; sometimes, it takes place through sub-fluvial and sub-lacustrine swallowholes and often by direct absorption (by diffuse or concentrated water through fissures and depressions). The behaviour of the deep karst is affected chiefly by rapid and integrated restoration of the streams in the vadose zone and by slower restoration of water in the phreatic zone; these points are important because pollutants are associated with siphons or traps and are often associated with high waters. The balance of karst and pollution is, therefore, negative; the absence of filtration means that restoration is often unequal and the pollutants are not diluted; autopurification is insufficient and disturbed; and there is insufficient opportunity for the clearing out of dirty siphons.

En consultant le Précis Général des Nuisances ainsi que d'autres ouvrages sur l'environnement, on constate que dans le cadre de la protection des eaux souterraines le karst est simultanément peu cité et mal connu. Au sein de l'étude des eaux continentales, le comportement des régions calcaires vis-à-vis des pollutions reste encore un domaine insuffisamment débattu et ceci pour deux raisons : la karstologie est une science qui ne s'est imposée que très récemment et la spéléologie physique qui en émane est elle-même en plein devenir. Or, devant la progression des agressions contre la biosphère, karstologues et spéléologues se doivent de présenter au plus vite aux autres spécialistes des sciences de la terre, aux hydro-biologistes et aux

pouvoirs publics les conclusions fondamentales ressortant de la contamination des terrains karstiques. Cette contribution est d'autant plus importante que les affleurements carbonatés représentent 4 0/0 des surfaces continentales (sauf l'Antarctique) dont 13,5 0/0 pour l'Europe (cf. D. BALAZS, 1977).

### I.- COMPORTEMENT DU KARST DE SURFACE

Le comportement de l'horizon superficiel des terrains karstiques est l'aspect le mieux connu car le

<sup>1</sup> E.R.A. n° 282 du C.N.R.S. Institut de Géographie, 29, av. R. Schuman, 13100 - Aix-en-Provence.

plus aisément appréhendable. Au niveau de l'absorption des eaux, donc des polluants, on distingue le filtrage et le soutirage direct.

#### A. LE FILTRAGE

Ce processus est celui qui fait le plus défaut au karst en général et au karst superficiel en particulier. Néanmoins, il est nécessaire de définir quels sont les caractères des éventuels filtrages.

1. Les **poljés**, qu'ils soient en zone méditerranéenne, tempérée humide ou intertropicale, présentent fréquemment un fond imperméabilisé soit par des alluvions et des argiles de décalcification, soit par un substrat étanche, ou encore par une association des deux phénomènes. Si l'on constate occasionnellement une infiltration partielle et un filtrage des eaux, on assiste aussi à un écoulement superficiel qui aboutit à une absorption concentrée dans les ponors de bordure. Les poljés à fond rocheux sont théoriquement très menacés, mais l'absence de sol arable interdit toute agriculture donc normalement toute pollution agricole. Cependant, l'existence d'installations militaires peut poser des problèmes (ex.: Canjuers/Provence). Dans toutes les dépressions possédant un sol, l'emploi d'engrais artificiels, de pesticides, de fumier et de purin constitue un certain danger si le sol est mince ou pas assez absorbant. En réalité, le fumier présente plutôt un avantage puisqu'il augmente les réserves d'humus et le pouvoir de fixation des cations (cf. J. BOSSAVY, in Pr. Gé. Nuisances, t. IV).
2. Les **karsts forestiers** des régions tempérées renferment des sols variés, parfois discontinus. Ainsi, dans l'étage montagnard humide, le karst de la forêt neigeuse est sillonné par de profondes fissures mal colmatées. Dans ce contexte, l'utilisation massive des pesticides contre certaines maladies des résineux par exemple peut être responsable de contaminations graves en raison du lessivage de ces poisons par des précipitations abondantes. Au Canada, bien qu'il s'agisse souvent de terrains siliceux, ce type de pollution a été maintes fois remarqué jusque dans le tissu grasseux des ours blancs. Le filtrage des pesticides par l'humus forestier est donc insuffisant du fait de l'emploi en masse de ces substances puisque l'on sature le milieu pour mieux détruire le parasite (insectes...). Ailleurs, comme en région méditerranéenne, surpâturages et incendies ont détruit au cours des siècles une bonne partie de la couverture pédologique par lessivage des sols au moment des fortes pluies. En zone tropicale humide,

le karst de la forêt pluvieuse possède un puissant manteau d'humus. Toutefois, le répandage à haute dose des défoliants sur les hauts plateaux calcaires du Vietnam a déterminé une double atteinte criminelle au milieu et à la population : destruction des forêts et pollution des eaux souterraines. En effet, tous les pesticides sont dangereux et en particulier les herbicides qui sont des acides organiques chlorés très solubles dans l'eau et ayant une action inhibitrice vis-à-vis des bactéries épuratrices.

3. Dans les **terrains crayeux** où la porosité est semble-t-il plus importante que dans les calcaires, le filtrage est cependant assez réduit. Comme l'a montré le récent travail de J. RODET (1978) sur le karst de Haute Normandie, l'infiltration des eaux, d'ailleurs perturbée par l'argile à silex superficielle, reste étroitement liée à la fissuration du Sénonien-Turonien crayeux.
4. Les **émergences karstiques** ont parfois l'avantage de bénéficier d'un certain filtrage lorsqu'elles apparaissent à travers des alluvions ou des dépôts morainiques. Comme le font remarquer fort justement J. LETOURNEUR & R. MICHEL pour certaines sources du Vercors, leur captage doit s'effectuer de préférence à l'émergence naturelle plutôt qu'au gîte réel, car on supprimerait un excellent filtre (les plateaux vercoriens sont souvent pollués) tout en se lançant dans un déblaiement coûteux. D'autres émergences ont des gîtes réels situés sous le niveau actuel de la nappe phréatique des fonds de vallée en raison de l'alluvionnement postglaciaire (ex.: sources de Sixt en Hte Savoie).

Bilan : le filtrage de surface des régions karstiques apparaît donc comme très aléatoire en raison de la perméabilité en grand et de l'insuffisance de la couverture pédologique, d'où des filtrages localisés et partiels.

#### B. LE SOUTIRAGE DIRECT

Très répandu en pays calcaire, ce processus s'établit de nombreuses manières.

1. Les **absorptions lentes et progressives** sont surtout le fait des avens-poubelles et des décharges publiques ou sauvages. En France, malgré la loi Martel de 1902, de nombreux puits naturels servent encore trop souvent de dépotoirs. Comme généralement il ne s'agit pas de pertes actives, la décomposition des ordures et parfois des animaux (avens-charniers) se produit sur place et l'infiltration des substances toxiques s'effectue à travers les éboulis et les fissures. Les décharges d'ordures sont également une véritable plaie et il en existe des dizaines de milliers en France

dont un nombre respectable en secteurs karstiques (terrains vagues, anciennes carrières, vallons ...). Or la décomposition des débris ménagers notamment entraîne la formation de nombreux sels toxiques tels que les nitrates et les sulfates qui vont ensuite polluer les eaux souterraines et les émergences. Si l'emplacement des décharges doit donc être soigneusement choisi - les petites communes n'ont pas souvent les moyens de se payer une installation d'incinération - les communes plus importantes se doivent de faire un gros effort en matière d'élimination des ordures.

2. **Les produits pétroliers** constituent un danger permanent de sorte que l'on a pu écrire "qu'en aucun point de la terre, les réserves d'eau ne sont à l'abri de la pollution par les hydrocarbures" (Cf. P. STIEGELE ..., 1974). En pays calcaire, comme ailleurs, les réservoirs privés de fuel sont susceptibles de fuites à moyen terme par corrosion du métal de même que les stocks situés dans les milliers de points de vente. L'éventrement de camions-citernes par accident peut provoquer la perte de 30 m<sup>3</sup> de pétrole ... ne parlons pas d'une rupture d'oléoduc toujours possible. Car ne l'oublions pas, un litre de produit pétrolier rend impropre à la consommation 1000 m<sup>3</sup> d'eau !
3. **Les absorptions rapides et concentrées** sont les plus facilement discernables et se manifestent au niveau des pertes actives. Les fermes, les laiteries, les porcheres, les abattoirs, certains petits ateliers sont fréquemment responsables de la contamination de ces cours d'eau aveugles. Ainsi, dans le cadre de la Franche Comté, la Fédération Française de Spéléologie par l'intermédiaire d'une commission régionale sur la protection des eaux souterraines s'est donné pour but de sensibiliser les spéléologues, les collectivités locales et les pouvoirs publics en préparant notamment un livre "noir" de la pollution des eaux karstiques (cf. G. AIME, 1978). Dans les Causses, on sait que le village de Camprieux déverse ses égoûts dans le ruisseau du Bonheur qui alimente la rivière souterraine de Bramabiau. Récemment, J.Y. COUSTOU (1979) a montré la pollution du système de l'Ouyse dans le Causse de Gramat (Lot) et cet aspect toujours invraisemblable de sources captées (ex.: résurgence de Cabouy alimentant Rocamadour) que l'on continue de polluer imperturbablement au niveau des pertes situées en amont. Dans le Doubs, près de Vuillafans, les rejets d'une porcherie contaminent gravement la grotte active de Cul-de-Vaux. En montagne, les stations de ski ne se gênent pas pour

souiller les eaux souterraines karstiques comme au Désert de Platé (Flaine-Haute Savoie) ou à la Pierre Saint-Martin (Pyr. Atl.). Dans le cadre d'une thèse de médecine, I. ESMENJAUD (1978) a montré également un aspect fort symptomatique de la pollution de la haute montagne, à savoir "le risque de pollution bactérienne des captages d'eau d'alimentation par les refuges". Ainsi, en Vanoise, le refuge Felix Faure (ou du Col de la Vanoise), qui compte près de 7000 à 9000 nuitées par an, a contaminé directement les eaux karstiques et les émergences alimentant le village de Pralognan. Depuis, une fosse septique a dû être installée, mais avec les aléas que cela comporte.

4. **Les pertes sous-fluviales** sont également très compromettantes pour les eaux karstiques (cf. fig. 1). Il en est ainsi du cours du Doubs qui, recevant les déchets industriels et les égoûts des diverses agglomérations qu'il traverse (Pontarlier, Montbéliard-Sochaux ...), voit une partie de ses eaux s'infiltrer sur son lit et détériorer les eaux d'émergences (ex.: source de la Loue). En Ardenne belge, R. DELBROUCK (1974) a montré que les pertes de la Wamme et de la Lhomme entre On et Eprave pouvaient polluer la résurgence d'Eprave. Dans l'Aude, sur le flanc sud de la Montagne Noire, ce sont les pertes sous-fluviales de la Clamoux qui forment la belle rivière souterraine de Cabrespine explorable sur plus de six kilomètres et dont les eaux malheureusement suspectes résurgent à la source de l'Orbiel.

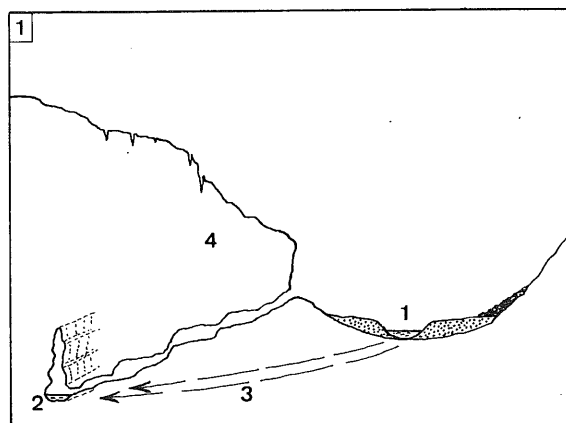


Figure 1.- Les pertes de la Clamoux (Aude). 1. La Clamoux. 2, Rivière hypogée de Cabrespine. 3, Pertes sous-fluviales contaminant Cabrespine. 4, Calcaires et marbres du Dévonien.

5. Les pertes sous-lacustres sont moins répandues en milieu karstique car les véritables lacs y sont rares. Cependant, on citera l'exemple de la grande station de ski intégrée de Flaine en Haute Savoie dont les eaux usées et plus ou moins bien épurées sont rejetées dans le lac du même nom. Bien qu'elle soit installée dans l'Hauterivien quartzueux, des pertes diffuses traversent toute l'unité chevauchante de l'Arbaron et contaminent la grande émergence de Magland dans la vallée de l'Arve (R. MAIRE, 1979; fig. 2).

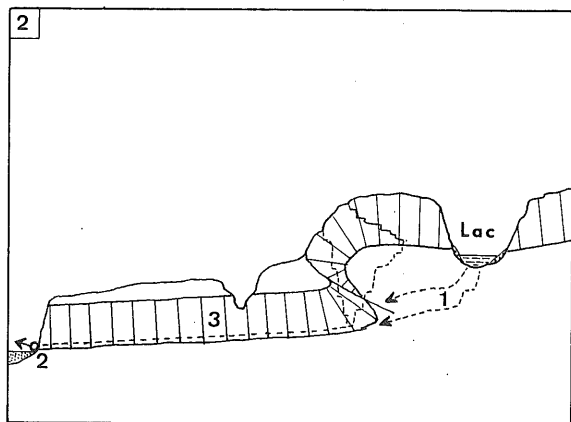


Figure 2.- Les pertes du lac de Flaine (Hte Savoie).  
1, Pertes sous-lacustres dans l'Hauterivien.  
2, Résurgence contaminée de Magland.  
3, Urgonien de Platé.

## II.- COMPORTEMENT DU KARST PROFOND

Le comportement du karst profond est sans nul doute moins connu que celui du karst de surface pour la simple raison que les observations spéléologiques ne sont pas toujours aisées à réaliser en particulier dans la zone noyée et épinoyée.

### A. L'AUTOEPURATION NATURELLE

Il s'agit d'un comportement de nature biologique. Le principe consiste dans la fermentation ou oxydation des matières organiques par des microorganismes en milieu généralement aérobie pour aboutir à des matières minérales. Cette autoépuration n'est donc possible que si les bactéries disposent de suffisamment d'oxygène pour métaboliser les éléments organiques et dépend par conséquent de la quantité des rejets polluants. Ceci réclame trois conditions essentielles :

- Une eau riche en oxygène dissous, donc un milieu aérobie.

- Une pollution organique moyenne et l'absence de substances chimiques inhibitrices.
- Un temps assez long de l'ordre d'un mois au minimum.

Or, que voyons-nous dans les réseaux souterrains :

1. **L'oxygénation** des eaux souterraines karstiques est insuffisante dans le temps car l'on parvient en quelques heures ou quelques jours à la zone noyée où l'autoépuration ne peut s'effectuer qu'en anaérobiose. Dans ce dernier cas, la fermentation solubilise tous les constituants solides et dégage du méthane et souvent des sulfures. Ces processus anaérobies ont tendance à empoisonner le milieu plutôt que de le purifier de sorte qu'on les considère comme indésirables dans les méthodes d'épuration des eaux résiduaires.
  2. **L'abondance des éléments organiques** apparaît nettement avec les pollutions par les lisiers des porcheries, par les eaux de lavage des laiteries-fromageries, par les abattoirs... Ainsi une laiterie-fromagerie de 100.000 litres de lait par jour représente par ses rejets  $150 \text{ m}^3/\text{j}$  (= 450 kg de D.B.O 5), soit la pollution de 10.000 équivalents habitants (I.N.A., J. RIVIERE, 1976). Rappelons que la demande biochimique en oxygène ou D.B.O. est la quantité nécessaire d'oxygène dissous pour assurer la biodégradation des matières organiques présentes dans un litre d'eau à 20° C pendant cinq jours.
  3. **L'intervention des détergents et des hydrocarbures** perturbe gravement le phénomène d'autoépuration. Il se forme alors un film à la surface de l'eau qui ralentit ou empêche l'action oxydante des microorganismes, car les échanges gazeux à l'interface air-eau tendent à assurer la saturation en oxygène de l'eau selon la loi d'Adeney (G. LEYNAUD in I.N.A., 1976).
  4. **Dans les réseaux principalement vadose**, le transfert des eaux est rapide et ne dépasse pas plusieurs jours, ce qui est insuffisant pour l'autoépuration. De telles eaux peuvent être les vecteurs de multiples microbes et virus pathogènes comme ceux de la typhoïde, de l'hépatite ou de la poliomyélite. En fait la D.B.O.5 est une valeur purement arbitraire puisque la biodégradation s'effectue en plus de cinq jours et en deux stades différents. Les glucides sont d'abord détruits au bout de vingt jours, puis les protéines se transforment complètement en nitrates après plusieurs semaines.
- Dans le cas de circulations extrêmement lentes en zone noyée, on a vu que la fermentation anaérobie était un processus défavorable si bien que d'une

manière ou d'une autre les sources karstiques sont perpétuellement menacées.

bilan : l'autoépuration naturelle est donc un processus qui ne trouve pas ses conditions les meilleures dans les milieux calcaires. De plus, le foisonnement de substances chimiques complique gravement le problème de la contamination organique des eaux karstiques.

**B. LES TYPES DE COMPORTEMENTS PHYSIQUES DU KARST PROFOND (fig. 3.4.5.6.)**

On distingue principalement les processus de piégeages et de restitutions.

1. Les processus de piégeages vis-à-vis des pollutions sont un des aspects les plus problématiques du karst profond à cause de leurs caractères généralement temporaires qui impliquent une restitution concentrée des matières polluantes dans des proportions dépassant fréquemment le rejet originel.

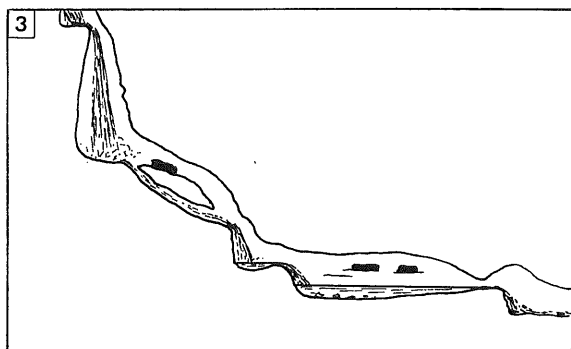


Figure 3.- Piégeages de décrue en phase vadose (figuré en noir).

- Les piégeages par gravité se situent surtout dans l'horizon noyé du karst et concernent des substances plus denses que l'eau qui ont été entraînées jusque là par le courant. Leur capture peut s'effectuer dans une branche inférieure de siphon, au fond d'un puits noyé à base colmatée ou encore par sédimentation dans un conduit où le courant est inférieur à 20 cm/s.

- Les piégeages par flottaison se localisent au niveau de la zone épinoyée, c'est-à-dire dans l'horizon de fluctuation des crues où interviennent des mises en charge temporaires. Les produits plus légers que l'eau (ex.: huiles, mousses ...) sont ainsi piégés dans la branche amont des siphons. Quand une crue survient, cette pollution peut progresser dans la zone noyée et se trouver à nouveau capturée dans des voûtes non siphonnantes ou dans des cheminées d'équilibre. A la décrue, une partie de ces matières peut se coincer sur des parois ou des margelles et être remise en circulation que beaucoup plus tard lors

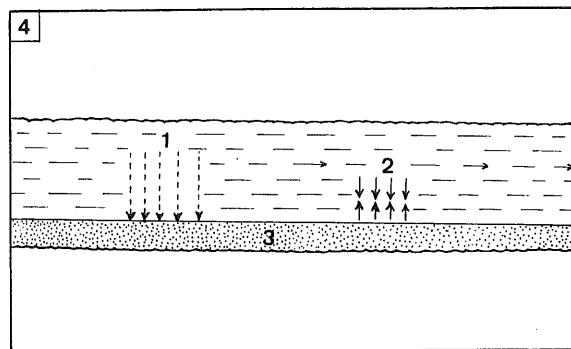


Figure 4.- 1, Piégeage par sédimentation en phase noyée. 2, Piégeage par adsorption. 3, Sédiments pollués.

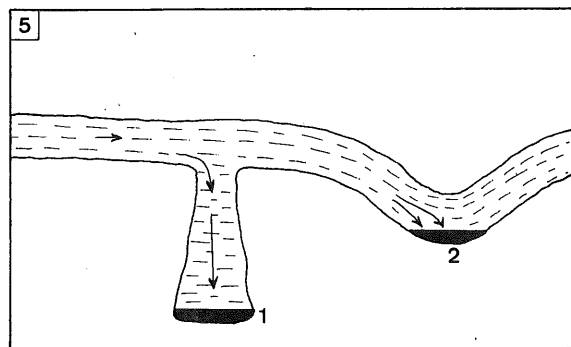


Figure 5.- Piégeages par gravité en phase noyée. 1, En fond de puits à base colmatée. 2, Dans une cloche aérée.

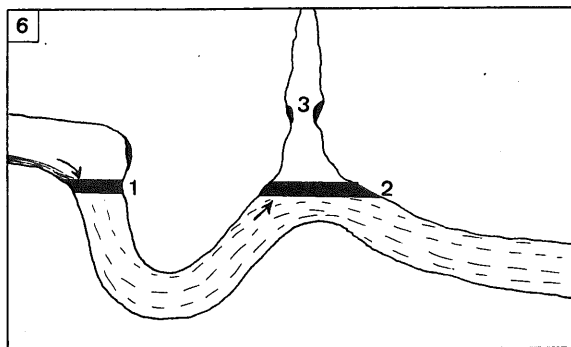


Figure 6.- Piégeages par flottaison en phase épinoyée. 1, Dans une branche amont de siphon. 2, Dans une cloche aérée. 3, Dans une cheminée d'équilibre (piégeages de décrue).

d'une crue plus importante.

- Les piégeages de décrue sont possibles en régime vadose par simple déposition d'éléments flottants sur des banquettes de méandres ou lors de mises en charge temporaires et partielles naissant à l'amont de certaines étroitures incapables d'évacuer l'eau assez rapidement.

- Les piégeages par adsorption, au niveau des argiles par exemple, sont dangereux car ils introduisent une concentration de substances parfois très toxiques comme les métaux lourds, les radioisotopes ou les pesticides. Dans le même temps, la faune aquatique cavernicole risque d'être atteinte en introduisant également le processus de concentration par la chaîne alimentaire.

2. **Les processus de restitutions différées et concentrées** sont extrêmement à craindre dans tous les réseaux karstiques renfermant des siphons et des voûtes mouillantes, ce qui est le cas pour un grand nombre de ceux-ci. S'il n'existe qu'un seul siphon, situé souvent à proximité de l'émergence et jouant le rôle de poubelle, la vidange se produira généralement à chaque crue, donc à un moment partiellement prévisible. En revanche, dans les zones noyées importantes, la vidange est plus longue et assez imprévisible. Certaines matières polluantes sédimentées peuvent aussi être remises en suspension lorsque la violence du courant est suffisante pour emporter des bancs de vase. La fermentation anaérobie est également susceptible de libérer des plaques de vase sous l'effet des dégagements de gaz (méthane). Ces types de pollutions retardées, spécialement fréquentes dans le cas des siphons-poubelles, sont donc très nuisibles pour les sources captées.
3. **Le processus de restitution diffuse** contribue à polluer les eaux d'une nappe phréatique alluvionnaire de vallée lorsque le gîte réel d'une émergence est localisé sous le niveau de base. Le transfert s'établit alors latéralement vers le lit de la rivière sans réapparaître à la surface. Ce phénomène a été constaté à diverses reprises en Haute Savoie au pied du chaînon Bargy-Sous Dine et de la Montagne du Criou (R. MAIRE, 1976).

#### C. AUTRES COMPORTEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES DU KARST

Les eaux karstiques, souvent riches en bicarbonate de calcium, ont un pouvoir tampon par rapport aux pollutions acides. De plus, la simple circulation un peu prolongée d'une eau très acide au contact du calcaire

facilite sa neutralisation. Mais le résultat final peut être l'apparition de sels toxiques !

L'augmentation importante de la conductivité des eaux karstiques est un indice intéressant pour détecter l'origine de certaines pollutions.

L'abondance de nitrates et de phosphates dans certaines eaux karstiques contaminées produit les processus complexes d'eutrophisation au niveau des émergences avec la prolifération d'algues et d'autres végétaux aquatiques.

### III.- BILAN DU COMPORTEMENT KARSTIQUE SELON LES TYPES DE CIRCULATIONS

Le comportement global de chacun des types de réseaux karstiques vis-à-vis des substances polluantes est fondamental à connaître en particulier au stade cinétique et quantitatif de la restitution.

#### A. LES RESEAUX A PHASE VADOSE PREDOMINANTE

1. Les systèmes à régime exclusivement vadose correspondent essentiellement aux réseaux perchés de montagne. La vitesse de transfert est souvent supérieure à 200 m/h et la restitution est obligatoirement rapide (plusieurs jours maximum). Les piégeages étant faibles (possibilités de sédimentation et de piégeages de décrue), la restitution des pollutions organiques et chimiques est à la fois presque complète, mal diluée si le rejet est concentré et non autoépurer. Le bilan global est donc celui d'une restitution rapide et intégrale biologiquement négative.
2. **Les systèmes vadoses à siphon de sortie** ont le même comportement que les réseaux à écoulement exclusivement libre pour les substances en solution et en suspension. Pour les autres éléments la voûte mouillante peut jouer le rôle de siphon-poubelle et se vider au moment des crues. S'il existe un trop-plein, on assistera à une pollution provenant de la résurgence temporaire perchée. Par conséquent, il s'agit d'une restitution rapide et intégrale ou différée et concentrée selon les types de pollutions. Pour les rejets accidentels particulièrement graves, le danger est tout à fait majeur dans les deux types de systèmes karstiques. P. STIEGELE et O. KLEE (1974) citent ainsi ce cas incroyable de déversement dans une doline d'une cuve contenant du cyanure de potassium et qui menaçait de mort les habitants de plusieurs villages du Wurtemberg dont la source captée fut heureusement coupée à temps.

## B. LES RESEAUX A PHASE NOYEE IMPORTANTE

Ces systèmes correspondent à un grand nombre de réseaux de plaines et de bas-plateau et parfois à des réseaux à cheminement long et complexe (ex.: percée Beysehir-Manavgat dans le Taurus occidental/Turquie). La restitution des pollutions s'effectue en plusieurs stades : une restitution lente et partielle suivie d'une restitution différée souvent à l'état concentré. Malgré la lenteur de certains transferts pouvant atteindre plusieurs mois, il n'est pas du tout évident que toutes les pollutions organiques soient entièrement autoépurées notamment si la phase vadose est de courte durée. Pour les substances solubles, le phénomène de dilution intervient favorablement dans les bassins-versants importants. Dans le cas d'eaux de fonte de neige, par conséquent très froides, l'autoépuration est pratiquement stoppée, ce qui explique aussi parfois le mauvais fonctionnement des stations d'épuration des stations de ski dont les effluents demeurent toujours nocifs.

## CONCLUSION

En France, la législation sur la protection des eaux est tout à la fois complexe, assez complète et pas souvent respectée comme en milieu karstique. Après la grande loi de juin 1898 sur le régime et la répartition des eaux survient la fameuse loi Martel du 15 février 1902 interdisant tous rejets à l'intérieur des cavités naturelles et artificielles. Les circulaires Santé de mai 1950 et de janvier 1953 imposent que les stations d'épuration des collectivités et des industriels fonctionnent convenablement. Puis, l'on arrive à la loi-cadre de décembre 1964 qui insiste sur la lutte contre la pollution et la régénération des eaux en créant notamment les agences financières de bassin. La circulaire de juillet 1970 abroge celle de 1950 en la modernisant, mais elle ne fait qu'effleurer le grave problème de la surveillance des stations d'épuration. La loi de 1976 sur la protection de l'environnement intervient également dans le cadre de la protection des eaux (études d'impacts préalables à toute emprise sur le milieu). Sur le plan international, la Charte Européenne de l'Eau a été promulguée en mai 1968 par le Conseil de l'Europe. Mais il ne s'agit pour l'instant que de déclarations d'intention.

En fin de compte, au sein de cet armada de textes, les eaux karstiques apparaissent comme assez méconnues. Seule la loi de 1902 s'en préoccupe réellement - il est vrai qu'elle a été suscitée par le père de la spéléologie mondiale, à savoir E.A. MARTEL - et c'est pourtant en

milieu rural une des moins bien respectées. Quand on se penche avec attention sur les comportements multiples du karst superficiel et profond vis-à-vis des rejets de la civilisation dite moderne, on comprend alors que de nombreuses études fondamentales sont à entreprendre en étroite collaboration avec les hydrobiologistes et les hydrochimistes et que de véritables dispositions législatives ou autres méritent d'être mises en place tant les systèmes karstiques sont originaux.

## DISCUSSION

M. J. NICOD :

La pollution par les troupeaux de moutons est très importante dans le bassin méditerranéen et y a déjà provoqué de nombreux cas de fièvre de Malte.

M. Y. QUINIF :

Votre distinction des situations de crue et d'étiage, dans le domaine de la pollution, est très importante. En Belgique, en divers endroits, il est possible de contrôler la pollution en période d'étiage, mais non en période de crue.

## BIBLIOGRAPHIE

- AIME, G., 1978. La protection des eaux souterraines en France: une tâche prioritaire pour la F.F.S. Spélunca, 4 : 182-183.
- BALAZS, D., 1977. The geographical distribution of karst areas. Proceedings of the 7th International Speleological Congress, Sheffield, England : 13-15.
- COUSTOU, J.P., 1979. Pollution du système karstique de l'Ouyse. Spélunca, 1 : 23-26.
- DELBROUCK, R., 1974. Expérience de traçage des eaux souterraines de la Wamme et de la Lhomme (Belgique). Ministère de l'Agriculture, Service de l'Hydraulique Agricole, District V, Namur, 125 pp.
- ESMENJAUD, I., 1978. Prévention du risque de pollution bactérienne des captages d'eau d'alimentation par les refuges de montagne. Thèse de Médecine, Grenoble (Domaine de la Merci, La Tronche).
- I.N.A. (Institut National Agronomique), 1976. La pollution des eaux continentales. Gauthier-Villars, Montreuil (ouvrage collectif).
- LETOURNEUR, J. & MICHEL, R., 1971. Géologie du génie civil. Armand Colin, Paris.
- MAIRE, R., 1976. Recherches géomorphologiques sur les karsts haut-alpins. Thèse 3ème Cycle, Nice.
- MAIRE, R., 1979. Karst et activités humaines (utilisations pratiques, pollutions, responsabilités...). Spélunca.

NICOD, J., 1972. Pays et paysages du calcaire. Coll. SUP, P.U.F., Paris.

Précis Général des Nuisances (ouvrages collectifs), 1971-72.  
t. 2 : Les nuisances dues aux activités industrielles.  
t. 4 : Les nuisances dans les activités rurales,  
Bibliothèque de l'Environnement, Ed. Guy Le Prat, Paris.

RODET, J., 1978. Le karst de la craie en Haute Normandie. Mémoire de maîtrise, Institut de Géographie de Rouen (1975).

STIEGELE, P. & KLEE, O., 1974. Plus d'eau potable pour demain ? R. Laffont, Paris.