

BULLETIN MENSUEL
DE LA
SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE LYON

Siège social : 33 rue Bossuet, F 69006 LYON

Rédaction : R. ALLEMAND

Impact de la gestion des eaux usées sur la biocénose cavernicole, la zone noyée et la source du système karstique de Rappe (Neuville-sur-Ain, France)

Marie-José Turquin¹ et Gilles Crague²

1 — Hydrobiologie et Ecologie souterraines, 43 boulevard du 11 Novembre 1918,
F 69622 Villeurbanne Cedex.

2 — E.N.T.P.E. (Vaulx-en-Velin) et Réserve naturelle de la Grotte de Hautecourt,
43 boulevard du 11 Novembre 1918, F 69622 Villeurbanne Cedex.

Résumé. — Le hameau de Rappe (Neuville-sur-Ain) surplombe un réseau souterrain dont les exutoires se déversent dans le Suran. L'évolution de la structure du peuplement troglobie a été suivie pendant plus de 20 ans. Le déséquilibre constaté est corrélé à l'augmentation conjoncturelle des rejets de l'agglomération. L'utilisation des invertébrés terrestres troglobies comme témoins de la détérioration de l'eau en transit vers l'aquifère sous-jacent est proposée.

Mots-clés. — Activités humaines, *Deleaster dichrous*, eaux souterraines.

Impact of the management of waste water on the cave community, the phreatic zone and the spring of Rappe karstic system (Neuville-sur-Ain, France)

Summary. — The Rappe hamlet (Neuville-sur-Ain) overlays a karstic system whose outlets are located in the river Suran. The evolution of the cave community structure has been monitored for more than 20 years. Dysfunction of the populations is correlated to the increase of pollutants in the infiltrated water over past years. Terrestrial troglobitic invertebrates can be regarded as indicators of pollution of percolation water which trickles down from land to groundwater.

Les régions karstiques offrent la particularité d'héberger les biocénoses terrestres les plus profondes de la biosphère : en effet, la faune du sol se voit progressivement supplantée en profondeur, dans les lithoclastes, les conduits et cavités souterraines, par la faune cavernicole terrestre elle-même limitée vers le bas par l'existence d'un niveau piézométrique, fluctuant selon les précipitations, et remplacée par la faune aquatique stygobie.

Les problèmes d'assainissement s'y trouvent majorés : non tolérées en surface, les eaux usées (domestiques, industrielles, lixiviats), infiltrées ou déversées en profondeur, jaillissent à nouveau à l'air libre après un temps

Accepté pour publication le 15 février 1994.

de séjour variable ; curieusement, ces sources, plus ou moins proches du réseau hydrographique, peuvent quelquefois se situer à l'amont du site pollueur, les drainages superficiel et souterrain n'obéissant pas aux mêmes règles. Par ce biais, les substances prohibées intègrent *de facto* les rivières. Ailleurs, vont se stocker pour des années ou des décennies, dans des aquifères bientôt pollués insidieusement, les eaux souterraines qui cheminent plus lentement ou sur de plus longues distances. Par exemple déjà en 1973 sur 55 000 puits de 33 agglomérations de la région de Minneapolis-St. Paul, dans le Minnesota, 50 % se retrouvaient contaminés par des détergents sans préjuger d'autres substances non analysées (GIAMMONA, 1973). En France, le statut de cette ressource n'a guère changé depuis la « loi Martel » (loi du 15 février 1902) ; « alors qu'un sursaut s'est manifesté pour les cours d'eau et qu'une politique volontariste d'objectifs de qualité a été élaborée, rien n'a été entrepris de semblable pour les nappes d'eau souterraine » (CRÉMILLE, 1989).

Le site de Rappe (commune de Neuville-sur-Ain) offre l'opportunité de suivre le transit vertical de l'eau, de toutes origines, depuis la surface jusqu'à la zone noyée voire à l'exsurgence dans la rivière Suran (affluent de l'Ain). L'évolution, à long terme, de la communauté cavernicole peut être mise en parallèle avec celle de la collectivité humaine, grâce à des références objectives : photos aériennes, statistiques économiques.

LE SITE

On relève au Puits de Rappe, situé à l'extrémité sud du Revermont (Jura méridional), des précipitations annuelles d'environ 800 mm et une température moyenne de 9°C. Le système karstique se développe dans les calcaires jurassiques (Portlandien, Kimméridgien et Séquanien) ; les exsurgences ont été localisées dans le lit du Suran. La vitesse linéaire des circulations souterraines, de direction principale NE-SW, atteint en période de basses eaux, 144 mètres par jour (CRAGUE *et al.*, 1994). L'accès au réseau de Rappe se fait par un puits artificiel qui recoupe 2 500 mètres de galeries SW-NE disposées en trois niveaux superposés (DANIÈRE, 1973). Le niveau supérieur, entre -5 et -20 mètres sous la surface est parcouru par plusieurs petites circulations d'eau alimentées par des infiltrations vadoses et des percolations. Le niveau moyen entre -25 et -35 mètres draine ces eaux vers la zone saturée, ou à l'inverse fait office de trop plein en période de crues. Enfin, un dernier niveau, « les galeries basses », donne accès à la zone noyée : la surface piézométrique se situe à -40 mètres environ pendant la période d'été.

EVOLUTION À LONG TERME DE LA FAUNE SOUTERRAINE

1 — Zone non saturée :

Le recensement faunistique et l'expertise écologique de la grotte ont été réalisés trois fois :

— En 1970 : l'ouverture récente de la cavité aux spéléologues offrait une opportunité assez rare de caractériser une biocénose complètement soustraite à l'influence directe de l'homme et presque démunie d'écotone d'entrée (TURQUIN, 1973).

— En 1984 : des visites régulières nous font soupçonner une péjoration des conditions de milieu : piétinement, travaux de désobstruction, détritus, tous dus à la fréquentation de cette belle cavité, mais aussi odeur, et couleur suspectes de l'eau qui y circule. Les chironomides qui volent autour des visiteurs, à l'entrée du méandre ouest et les staphylins rouges (photo 1) qui se rencontrent quelquefois ne figurent pas au nombre des hôtes habituels des cavités du Revermont.

— En 1991-1992 : la commune se dotant d'un système d'épuration des eaux usées, il fut décidé de faire un recensement avant sa mise en service, servant de référence, et de deux autres ensuite. En effet les effluents, déversés à quelques mètres de l'entrée, mettent une heure à traverser un filtre à sable et le substratum pour se retrouver dix mètres sous terre au niveau supérieur de la grotte dans laquelle ils s'écoulent tantôt en empruntant la galerie, tantôt des fissures ; un suivi dans les années qui viennent sera nécessaire pour observer le nouvel équilibre du peuplement dont les espèces ont des cycles biologiques parfois très long (CRAGUE *et al.*, 1994).

Les prélèvements ont été effectués par des pièges trappe Barber remplis du liquide de Turquin dont BORGES (1992) a montré qu'il attire et fixe la plupart des arthropodes. Les pièges sont laissés dans la grotte au moins un mois (1970 et 1984) et trois mois en 1991-1992.

2 — Zone saturée

Deux analyses ponctuelles de l'eau à l'exsurgence n'ont rien décelé d'anormal ; si ce résultat se confirmait, un phénomène d'autoépuration pourrait être envisagé ; malheureusement il semble plus probable que la bonne qualité de cette eau soit due à une adsorption des nitrates et des métaux sur l'argile des galeries et fissures, à une dilution des pollutions, et même à un stockage temporaire de l'eau dans le système de Rappe (GIBERT, 1990 ; TURQUIN, 1981). Or l'absorption ionique et la rétention des cations et des métaux lourds est un processus limité (0.05 à 1,5 mol/kg pour les argiles selon leur type), réversible dans certaines conditions ; de plus les molécules solubles très hydrophiles verront leur adsorption diminuée ; enfin les substances indésirables pourront être relarguées dans le milieu naturel à la faveur d'un épisode hydrologique entraînant un déplacement des sédiments (GUILLEMIN et ROUX, 1991).

3 — Description du peuplement

Les invertébrés terrestres peuvent être classés en trois groupes en utilisant leur emplacement propre dans la cavité en 1973 et les observations réalisées dans d'autres grottes de la région, en particulier la Réserve naturelle de la Grotte de Hautecourt (TURQUIN, 1972) qui constitue une station de référence par son statut de milieu naturel protégé. L'abondance relative de chacun des taxons (rapport du nombre des individus d'un taxon au nombre total des individus de tous les taxons) a été calculée pour 1970 et pour 1992 (figure 1).

— En 1970, les arthropodes troglaphiles et troglobies assurent plus de 70 % du total des individus capturés dans les diverses galeries (communauté profonde), auxquels se rajoutent les diptères, collemboles et les coléoptères *Choleva* et *Quedius* caractéristiques de la faune d'entrée, autour du puits d'accès et d'une cheminée remontante des galeries basses.

En 1992 des espèces allochtones comme le staphylin *Deleaster dichrous* et *Hypogastrura purpureescens*, collembole mangeur de mycéliums, se rencontrent en abondance (55 %) dans toute la grotte. Il faut noter la réussite des collemboles quel que soit leur statut (52 % en 1992 contre seulement 4,2 % en 1970). En revanche leur diversité biologique diminue beaucoup : des 10 espèces trouvées il y a 20 ans, il n'en reste plus que 3 aujourd'hui. De plus la transformation de la biocénose se manifeste aussi à l'échelle spatiale : en 1970, les troglobies se répartissaient très régulièrement dans toute la cavité, à l'exception d'une courte zone de transition à proximité du puits d'entrée ; actuellement, la biocénose typique de ce karst jurassien (SOLLAUD, 1936) se cantonne à des espaces spéléologiques restreints (MALARD *et al.*, 1994).

Un tel changement dans un milieu réputé pour sa stabilité, où les populations doivent être proches de l'équilibre (CULVER, 1982) doit tirer son origine d'une modification des conditions d'habitat : le climat général n'étant pas en cause, il faut envisager une perturbation de la qualité des ressources alimentaires, c'est-à-dire, en réalité de celle des eaux d'infiltration. MALARD *et al.* (1994) trouvent une corrélation entre l'abondance et la diversité animales et la qualité physico-chimique de l'eau de percolation dans une galerie donnée.

La relative simplicité de la chaîne trophique de la biocénose cavernicole s'explique par le manque de diversité biologique, et par sa dépendance

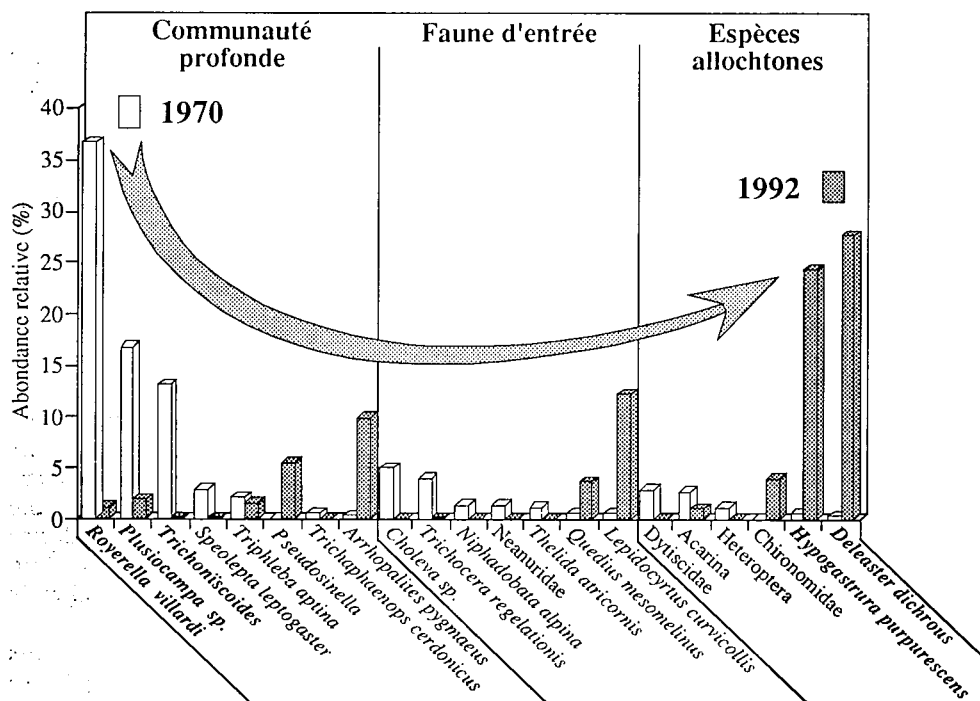


Figure 1 : Evolution de l'abondance relative des taxons terrestres les plus abondants au Puits de Rappe entre 1970 et 1992.

pratiquement totale de la surface, si on excepte l'autoproduction bactérienne : bactéries du soufre (grotte de Hautecourt), bactéries du fer (GOUNOT, 1967). Depuis 1970, l'augmentation du nombre des collemboles laisse à penser que la quantité de matière organique disponible est, elle aussi, en augmentation : en effet ces insectes primitifs hygrophiles constituent le premier échelon macroscopique de la pyramide des nombres d'individus, aussi abondants dans le milieu terrestre que le plancton des écosystèmes aquatiques selon le mot de GINET et DECOU (1977). De même, la présence de chironomides à l'étage moyen implique que ces insectes effectuent maintenant tout leur cycle biologique à l'intérieur de cette zone, en utilisant une portion de circulation souterraine pour le stade larvaire. Dans le même temps les prédateurs *Deleaster* et *Quedius* prennent une importance prépondérante, alors que le Tréchiné endémique du Jura *Trichaphaenops cerdonicus* (photo 2) a tendance à se cantonner dans des zones non perturbées. Le milieu souterrain devient moins sélectif, puisque capable d'accueillir, dans la zone profonde, des animaux troglodytes qui effectuent tout leur cycle biologique dans la grotte depuis une dizaine d'années, en gagnant du terrain ; les animaux troglobies comme *Royerella*, *Trichaphaenops*, *Plusiocampa* et même les diptères troglodytes voient leurs effectifs diminuer et leurs biotopes se réduire, incapables d'entrer en compétition avec les deux staphylinins. L'origine anthropique d'un tel déséquilibre, qui progresse depuis dix ans, devient évidente ; il convient donc de rechercher le facteur en cause.

1970-1992 : EVOLUTION DES ACTIVITÉS HUMAINES

La pression anthropique sur le milieu naturel et sur la qualité des eaux souterraines en particulier se révèle plurielle et multiforme. L'étude de son évolution a été appréhendée ici suivant deux « voies » principales : parce que scellées dans le paysage, certaines activités humaines peuvent être « perçues » au moyen de photographies aériennes (examen de l'occupation du sol) ; « immatérialisées », d'autres ne peuvent être appréciées que grossièrement au moyen de statistiques réalisées pour le compte d'administrations ou de ministères.

Les photographies aériennes examinées (1945, 1963, 1970, 1980, 1992) couvrent les territoires des hameaux de Rappe et de Résignel. Ces derniers s'insèrent en effet potentiellement dans le bassin d'alimentation du Puits de Rappe (fig. 2). La comparaison des clichés de 1945 et 1963 ne met en évidence aucune modification notable de l'occupation du sol. La période 1963-1970 voit apparaître l'entreprise de transformation industrielle du bois, ainsi qu'une première extension du hameau de Résignel. C'est entre 1970 et 1980 que l'évolution paysagère est la plus nette : extension de Résignel et de l'emprise de l'entreprise de transformation industrielle du bois, apparition de l'entreprise de travaux publics et de la décharge. Cette dernière s'étend de façon notable entre 1980 et 1992. L'évolution constatée du paysage et de l'emprise humaine plus particulièrement n'est pas sans conséquences sur la qualité des eaux infiltrées. En effet, l'extension de l'habitat, l'apparition d'une décharge et de deux entreprises ainsi qu'une gestion individuelle et autonome — incontrôlable — des eaux usées jusqu'à la fin des années 90 correspondent du point de vue de l'impact sur le milieu à un accroissement des rejets domestiques, une modification potentielle de la qualité des eaux

de ruissellement au contact des ordures ou des produits industriels stockés à ciel ouvert.

Le bassin d'alimentation du Puits de Rappe est inscrit dans une région essentiellement rurale. L'intensité des pratiques agricoles qui s'y exercent peut contribuer à modifier la qualité des eaux souterraines. Les seules données relatives à l'agriculture disponibles sont celles des recensements agricoles de Neuville-sur-Ain. L'image du paysage agricole qu'ils dessinent n'est donc pas intégralement transposable à l'échelle du bassin d'alimentation du Puits de Rappe. On pourra néanmoins considérer que les tendances générales d'évolution de certaines pratiques non concentrées (cultures et élevage de bovins-caprins) constatées sur l'ensemble de la commune de Neuville-sur-Ain pourront donner certaines indications sur l'évolution du type de pression agricole exercée sur les eaux souterraines du Puits de Rappe (tableau 1).

Ainsi apparaît-il que la surface agricole utilisée (S.A.U.) a décliné entre 1970 et 1988. La prairie constitue l'essentiel de la S.A.U. (près de 70 %). Les pratiques culturales susceptibles de perturber les eaux souterraines quantitativement (irrigation intensive du maïs) ou qualitativement (fort amendement des cultures céréalières et industrielles) occupent certes plus de terrain en 1988 qu'en 1970, leur étendue reste malgré tout significativement restreinte

	1970	1979	1988
ÉVOLUTION GÉNÉRALE DES SURFACES AGRICOLES			
S.A.U. (ha)	1056	1006	884
Cultures industrielles	1%	1%	4%
Prairies temporaires	9%	8%	6%
Prairies permanentes	72%	68%	67%
ÉVOLUTION GÉNÉRALE DES SURFACES AMENDÉES			
Céréales + Cultures industrielles (ha)	185	228	240
Prairies temp. ou perm. (ha)	852	770	639
ÉVOLUTION GÉNÉRALE DES SURFACES A FORTE DEMANDE EN EAU			
Maïs (ha)	36	64	123
ÉVOLUTION GÉNÉRALE DE L'ÉLEVAGE			
Total bovins (effectifs)	887	917	846
Total ovins (effectifs)	183	169	46

Tableau 1 : Evolution des pratiques agricoles sur la commune de Neuville-sur-Ain entre 1970 et 1988. Recensements agricoles de 1970, 1979 et 1988. S.A.U. : surface agricole utilisée (Source : D.R.A.F. Rhône-Alpes).

par rapport à celle des prairies (SOLTNER, 1985). Les effectifs bovins et caprins s'ils ne chutent pas restent stables entre 1970 et 1988 et ne peuvent en conséquence expliquer la dégradation des eaux souterraines.

« Immatérialisées » dans le paysage, l'évolution de l'usage de l'eau et plus indirectement celle de la consommation des ménages peuvent avoir des effets secondaires sur le milieu naturel environnant. Les statistiques disponibles dans ce domaine sont essentiellement nationales voire régionales (ABRAMOVICI, 1994 ; MONTEIRO et ROWENCZYK, 1982). On considérera néanmoins que les tendances nationales restent grossièrement valables pour la région étudiée. A ce titre la figure 3 tend à confirmer que les évolutions observées chez les agriculteurs, dans les communes rurales, dans la région Rhône-Alpes Auvergne et au niveau national coïncident.

L'impact sur le milieu naturel de l'utilisation humaine de l'eau a deux composantes, la première quantitative traduite par la consommation (sont rejetés au milieu naturel des mètres-cube consommés, une augmentation du volume de ces derniers s'accompagnant nécessairement d'une augmentation du volume des rejets), la seconde qualitative liée à la consommation par les ménages de certains produits destinés à être dilués dans l'eau consommée puis rejetée.

La figure 3 et le tableau 2 mettent clairement en évidence une évolution de l'usage de l'eau entre 1970 et 1990 tant quantitative (équipements consommateurs d'eau) que qualitative (savons, détergents, produits d'entretien, ...), qui tend à intensifier la pression anthropique exercée sur le milieu récepteur.

L'augmentation générale en volume de la consommation, et de celle d'un certain nombre de produits liquides ou solubles en particulier (carburants, sels, ...), intéresse doublement le territoire étudié :

— l'entreprise de travaux publics installée à Rappe stocke un certain nombre de ces produits (citernes de carburants et sel pour saler les routes en hiver), lesquels, véhiculés par l'eau, peuvent gagner le milieu souterrain,

— la décharge constitue d'autre part le réceptacle final, en apparence, d'un grand nombre de ces produits.

	1990	1975	1980	1985	1990
Carburants lubrifiants	100	130	150	160	180
Produits pétroliers raffinés	100	118	129	124	130
Produits énergétiques (sauf sylviculture)	100	121	140	149	156
Sels (sauf alimentaire)	100	350	593	836	1086
Produits chimiques de base (engrais)	100	129	156	168	184
Réfrigérateurs, mach. à laver, lave-vaiss.	100	151	172	169	235
Savons détergents	100	129	149	181	203
Produits d'entretien	100	126	139	149	160
Allumettes, abrasifs, colle, peinture	100	117	127	119	121
Consommation marchande nationale	100	122	142	157	184

Tableau 2 : Evolution de la consommation nationale de certains produits « caractérisés ». Indices calculés à partir des prix en francs constants 1980, indice 100 en 1970 (Source : ABRAMOVICI, 1994).

CONCLUSION

Au début des années 90, la municipalité de Neuville-sur-Ain décide de prendre en main le problème de la gestion des eaux usées. En 1991, elle équipe le hameau de Résignel d'une microstation d'épuration ; mais pour des raisons économiques, le hameau de Rappe n'y est pas raccordé. Une installation d'assainissement collectant les eaux usées voit le jour en 1991-1992 au centre des maisons, en profitant d'un espace non cultivable : une doline ; le réseau est séparatif, c'est-à-dire que les eaux pluviales sont éliminées dans une fissure providentielle, le méandre Ouest du paysage souterrain (photo 3). Les eaux usées passent d'abord dans un décanteur-digesteur avant d'être basculées par volume de 70 litres dans un filtre à sable remblayant le fond de la doline, dans laquelle se trouve le puits d'entrée. Les dolines, dépressions en forme de cuvette pour le profane, font l'objet

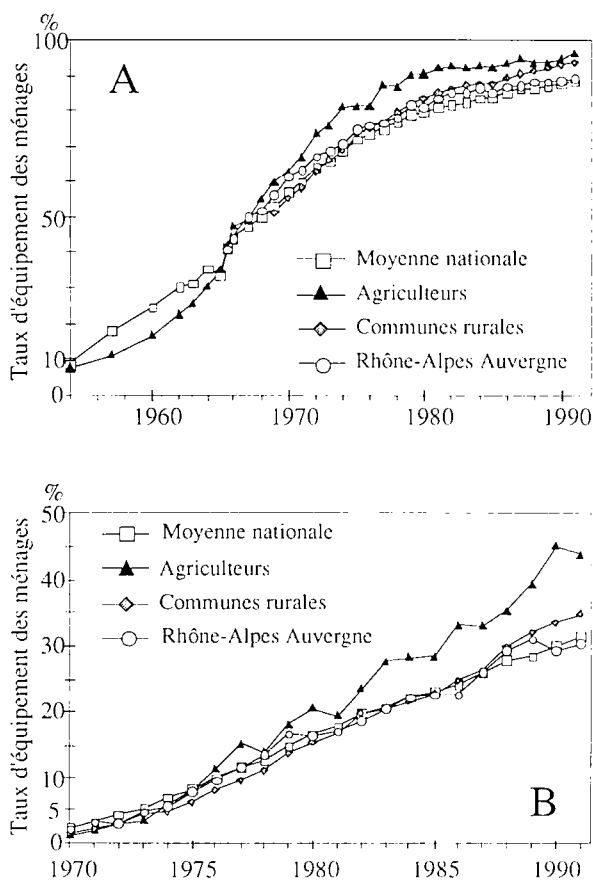


Figure 3 : Evolution des taux d'équipements des ménages en machine à laver le linge (A) et en lave-vaisselle (B). Données nationales, provenant des catégories socio-professionnelles des agriculteurs, des communes rurales et de la région Rhône-Alpes Auvergne (Source : MONTEIRO et ROWENCZYK, 1992).

Photo 1 :
Deleaster dichrous,
 coléoptère
 Staphylinidae épigé
 (photo :
 M. Dumont)



Photo 2 :
Trichaphaenops
cerdonicus,
 coléoptère
 Trechinae troglobie
 endémique du Jura
 (photo :
 M. J. Turquin)





Photo 3 : La galerie des Méandres Ouest est creusée à 25 m de profondeur sous le hameau de Rappe. Son profil et le modelé de ses parois témoignent de circulations rapides (noter, en bas à gauche, les cupules d'érosion en « coup de gouge » (Photo : Y. Bouvet).



Photo 4 : *Niphargus virei*, amphipode stygobie caractéristique de la zone noyée des karsts (photo : S. Van Poucke).

d'une typologie, basée sur leur genèse, par les karstologues (NICON, 1972). Celle de l'entrée de la grotte correspond à une « doline d'effondrement » obstruée par de l'argile plastique rouge et des blocs rocheux. Le déversement continu d'eau en provenance du réseau d'assainissement a accéléré l'absorption et mis en mouvement par gravité le matériel meuble qui comblait le fond de la doline : on explique ainsi l'effondrement du filtre à sable, soutiré à l'intérieur de la cavité, un an et demi après sa mise en service. Le problème de l'assainissement de ce hameau se trouve de nouveau posé.

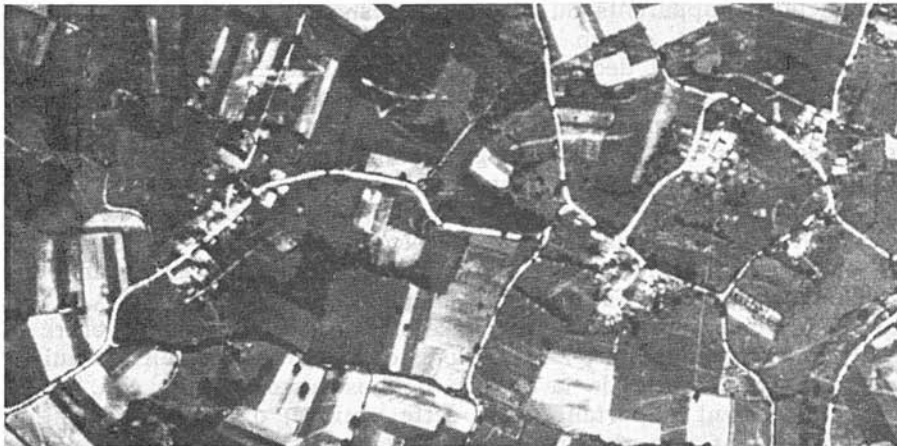
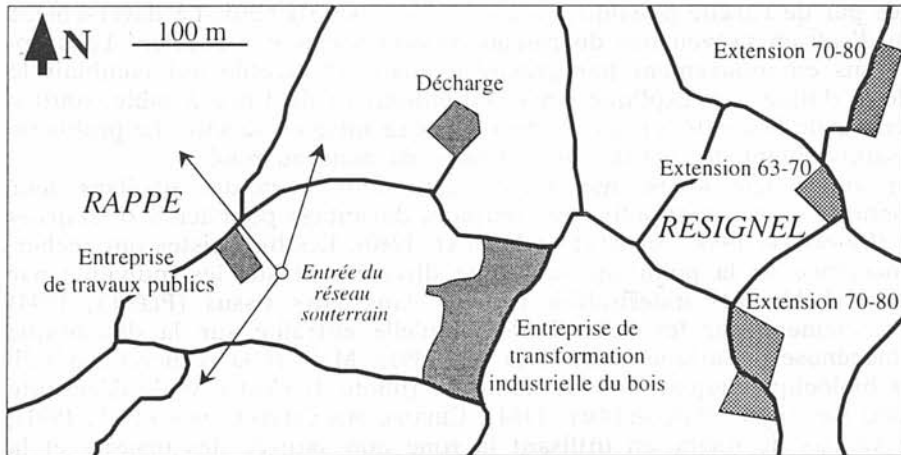
Les zones karstiques, méconnues dans leur structure et dans leur fonctionnement se voient sollicitées toujours davantage pour leurs ressources en eau (CRÉMILLE, 1989 ; BODELLE et MARGAT, 1980). Les biologistes ont recherché l'incidence de la pollution aquatique directement sur les individus par les traces d'éléments indésirables trouvés dans leurs tissus (PLÉNET, 1994) ou indirectement par les perturbations qu'elle entraîne sur la dynamique de la biocénose aquatique (GIBERT *et al.*, 1991). Mais si la recherche d'indicateurs biologiques aquatiques de pollution (photo 4) s'est révélée décevante en milieu karstique (BARTHÉLÉMY, 1984 ; CREUZÉ DES CHATELLIERS *et al.*, 1991), il n'en va pas de même en utilisant la zone non saturée des massifs et la faune cavernicole terrestre comme témoins de la qualité de l'eau. Si les dysfonctionnements apparents au niveau des espèces font rarement l'objet d'observations, M. CELI (comm. pers.) prospectant en montagne, en Italie du nord-est, a cependant découvert que les invertébrés troglobies renfermaient en quantité anormale du cuivre : ce métal, qui se retrouve aussi, à forte concentration, dans les résurgences issues des massifs, provient de munitions dégradées de la première guerre mondiale ; il transite ainsi à travers toute la montagne, et la faune souterraine terrestre en devient le témoin et même la victime ! Dans le cas du Puits de Rappe, c'est la modification de la structure du peuplement cavernicole terrestre au fil des années qui traduit la détérioration de l'habitat en zone non saturée et annonce l'eutrophisation de la zone saturée.

Ainsi la biocénose terrestre cavernicole, à cause de sa position entre la surface et l'aquifère peut alerter les biologistes et autres spécialistes qui se partagent la responsabilité de la gestion de nos ressources en eau. Il est donc particulièrement important, dans cette optique, d'avoir à disposition des sites souterrains non perturbés représentant l'état initial d'une région ou des références anciennes. C'est ainsi qu'une banque de données, la STYGOTHÈQUE, rassemble les travaux publiés ou non¹ sur l'évolution, à long terme, de la faune souterraine de la région Rhône-Alpes. Contrairement à la méthode des indices biotiques en eau superficielle qui fait le constat de l'atteinte du milieu par le type d'organisation du benthos, l'utilisation de la biocénose terrestre (étant donné sa situation en amont dans le système karstique) a l'avantage de précéder le flux de pollution dans la zone saturée en permettant, si on en a la volonté, d'agir avant que les réserves en eau soient atteintes.

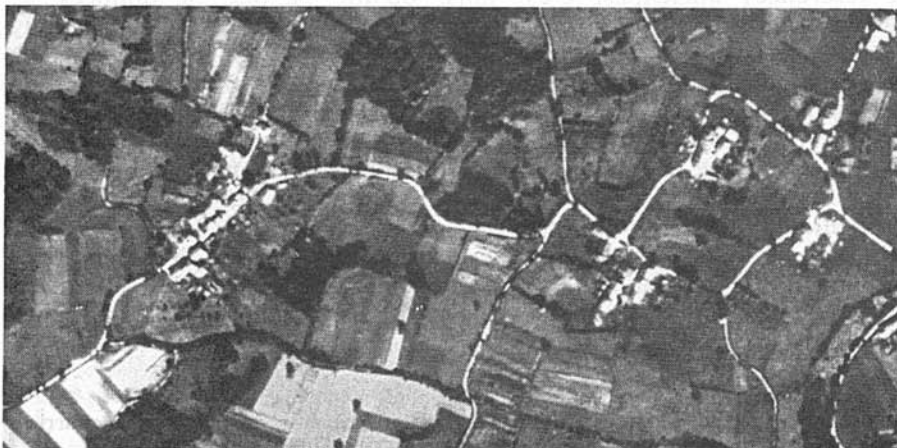
La notion d'équivalent-habitant révèle son insuffisance à caractériser l'impact d'une agglomération sur son environnement aquatique : les substances polluantes forment un tout et leur traitement, surtout en milieu karstique, doit être global.

1. La Réserve de Hautecourt est intéressée par tous carnets de terrain, ou courriers : concernant des récoltes dans le domaine souterrain Rhône-Alpes.

Figure 2 : Evolution récente de l'occupation des sols à l'aplomb du réseau karstique du Puits de Rappe. Photographies aériennes de 1945, 1963, 1970, 1980 et 1992 (Source I.G.N.).



1945



1963



1970



1980



1992

Remerciements. — Ce travail n'aurait pu être réalisé sans l'aide financière de la Réserve naturelle de la grotte de Hautecourt, sans le soutien, sur le terrain de D. BARTHÉLÉMY, Y. BOUVET, D. MARTIN, le C.D.S. de l'Ain et le groupe A.V.E.N. Les auteurs remercient tout particulièrement R. LAURENT.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABRAMOVICI G., 1994. — *La consommation des ménages en 1993*. INSEE, Paris, 193 pp.
- BARTHÉLÉMY D., 1984. — *Impact des pollutions sur la faune stygobie karstique : approche typologique sur seize émergences des départements de l'Ain et du Jura*. Thèse, Univ. Lyon, 183 pp.
- BODELLE J. et MARGAT J., 1980. — *L'eau souterraine en France*. Masson, Paris., 208 pp.
- BORGES P.A.V., 1992. — The relative efficiency of formalin, vinegar and Turquin in pitfall traps on an azorean pine woodland area. *Bol. Soc. Portuguesa Entomol.* (Sup 3), 1 : 213-224.
- CRAGUE G., VERMEIL P., LAURENT R. et FÈVRE C., 1994. — Traçage à la fluorescéine des effluents du hameau de Rappe, commune de Neuville-sur-Ain : Transfert d'effluents dans le réseau karstique du « Puits de Rappe ». *Spéléo 01*, 17 : 30-38.
- CRÉMILLE L.E., 1989. — *Protection des eaux souterraines captées en milieu karstique et destinées à l'alimentation humaine*. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Pierre-Bénite, 2 vol., 46 et 52 pp.
- CREUZÉ DES CHATELLIERS M., TURQUIN M.-J. et GIBERT J., 1991. — Les aquifères : des systèmes biologiques. *Hydrogéologie*, 3 : 163-181.
- CULVER D.C., 1982. — *Cave Life Evolution and Ecology*. Harvard, Cambridge (USA), 189 pp.
- DANIÈRE P., 1973. — Le Puits de Rappe. *Spéléologie-dossiers*, Lyon, 8 : 9-26.
- GIAMMONA C.P., 1973. — Fluorescent dye determination of groundwater movement and contamination in permeable rock strata. *Int. J. Spelol.*, 5 : 201-208.
- GIBERT J., 1990. — Behavior of porous and karstic aquifers concerning contaminants : differential permeability and importance of the different purification process. *Wat. Sci. Tech.*, 22 (6) : 101-108.
- GIBERT J., MARMONNIER P., TURQUIN M.-J. et MARTIN D., 1991. — Anthropogenic disturbance of surface landscape : consequences on groundwater ecosystems : 310-319 in : RAVERA O. — *Terrestrial and aquatic ecosystems : perturbation and recovery*, Ellis Horwood Ltd, Chichester, England.
- GINET R. et DECOU V., 1977. — *Initiation à la biologie et à l'écologie souterraines*. Delarge, Paris, 345 pp.
- GOUNOT A.-M., 1967. — La microflore des limons argileux souterrains : son activité productrice dans la biocénose cavernicole. *Ann. Spéléo.* 15 : 501-526.
- GUILLEMIN C. et ROUX J.C., 1991. — *Pollution des eaux souterraines en France*. Manuels et méthodes 23, BRGM, Orléans, 262 pp.
- MALARD F., CRAGUE G., TURQUIN M.-J. et BOUVET Y., 1994. — Karst management : the practical aspect of groundwater and terrestrial ecology. *Theoretical and Applied Karstology*, sous presse.
- MONTEIRO S. et ROWENCZYK C., 1992. — *L'équipement des ménages en 1991*. INSEE, Paris, 143 pp.
- NICOD J., 1972. — *Pays et paysages du calcaire*. PUF, Paris, 244 pp.
- PLÉNÉT S., 1994. — Freshwater Amphipods as biomonitors of trace-metal pollution in surface/interstitial aquatic systems. *Freshwat. Biol.*, sous presse.
- SOLLAUD E., 1936. — Sur quelques formes endémiques de la faune cavernicole du Jura. in *Livre jubilaire E.-L. Bouvier* : 317-322.
- SOLTNER D., 1985. — *Les bases de la production végétale*. Tome I, *Le sol*. Sciences et Techniques Agricoles, Saintes-Gemmes-sur-Loire, 456 pp.
- TURQUIN M.-J., 1972. — La faune de la grotte de Hautecourt (Ain). *Sciences*, 3 (2) : 145-154.
- TURQUIN M.-J., 1973. — Une biocénose cavernicole originale pour le Bugey : le Puits de Rappe. *C.R. 96^e cong. Sociétés savantes, Toulouse 1971* : 235-256.
- TURQUIN M.-J., 1981. — La pollution des eaux souterraines : incidence sur les biocénoses cavernicoles. *1^o Coll. nat. protection eaux sout. Besançon, C.P.E.P.E.S.C.*, 2 : 341-347.