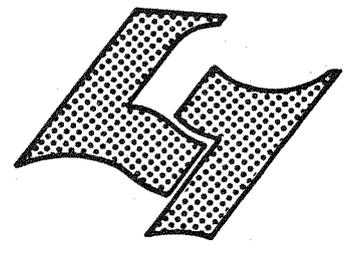


UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON-I
43, Boulevard du 11 novembre 1918
69621 VILLEURBANNE



Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées

Intégration de la formation

- * ~~MEMOIRE DE STAGE~~
- * NOTE DE SYNTHESE

BIOLOGIE DES NAPPES PHREATIQUES

AUTEUR : Marie-Claude TRIVERO

DATE : Année scolaire 1981/1982



NOTE DE SYNTHÈSE

82 TR 10.6

BIOLOGIE DES NAPPES PHREATIQUES

Première partie : Stratégie de recherche bibliographique

I	Présentation générale du sujet. Approche dans le cadre d'une recherche documentaire	P. 4
II	Ecriture de l'équation logique en vue de l'interrogation de Bases de données	p. 5
III	Résultats de la recherche - Critiques des outils documentaires	p. 6
	. Pertinence des documents	
	. Exhaustivité des réponses	
	. Sélection des documents	
IV	Conclusion générale	p. 10

Seconde partie : Synthèse sur l'écologie et la biologie des Nappes phréatiques

I	Introduction à l'écologie des eaux souterraines	p. 12
II	Méthodes de prospection faunistique des eaux interstitielles	p. 13
	1/ <u>Principales techniques : limites et efficacité</u>	
	. méthode KARAMAN - CHAPPUIS	
	. méthode des sondages tubés BOU-ROUCH	
	. sondage et prélèvement de substrat	
	. colonisation de substrat naturel	
	. autres méthodes	
	2/ <u>Conclusion générale</u>	
III	Distribution de la faune dans les milieux interstitiels	p. 15
	1/ <u>Ecologie des eaux souterraines</u>	
	. facteurs physiques	
	. facteurs chimiques	
	2/ <u>Etude des écosystèmes interstitiels</u>	
	. principaux résultats	
	COLEMAN et HYNES (1970)	
	WILLIAMS et HYNES (1974)	
	GIBERT et al. (1981), REYGROBELLET et DOLE (1981)	
	. notions d'hyporheos temporaire et permanent	

IV	Aspects biogéographiques de la vie souterraine	p. 23
V	L'activité biologique des écosystèmes interstitiels	p. 24
VI	Effets de la pollution sur les eaux souterraines	p. 25
VII	Exploitation de l'eau souterraine	p. 26
VIII	Conclusion	p. 29

<u>Troisième partie : Références bibliographiques</u>		p. 30
---	--	-------

Premiere partie :

- Strategie de recherche bibliographique
- Resultats
- Selection des documents

I - PRESENTATION GENERALE DU SUJET - APPROCHE DANS LE CADRE D'UNE RECHERCHE DOCUMENTAIRE

C'est au domaine de la biologie et de l'écologie des nappes phréatiques que nous nous sommes intéressés dans cette présente étude.

Afin de définir et de résumer au mieux l'état actuel des connaissances et des travaux effectués dans cette matière, une recherche bibliographique a été menée : celle-ci utilisait, outre les moyens manuels classiques de prospection documentaire, l'interrogation de bases de données documentaires à partir de terminaux.

Cette investigation devait nous conduire à élaborer une bibliographie représentative, permettant elle-même la rédaction d'une note synthétique sur le thème abordé.

La mise en forme de ce sujet et sa délimitation ont été principalement effectuées par le chercheur spécialiste du domaine traité : c'est en effet l'ensemble des connaissances acquises au cours de son expérience qui était susceptible de définir le plus précisément le problème à traiter, c'est-à-dire d'en choisir les termes les plus représentatifs.

Néanmoins, la formulation de notre question s'est également appuyée sur la connaissance que l'on avait du fonctionnement d'une base de données informatique.

De ce fait, il semble nécessaire, avant de décrire notre stratégie d'interrogation, de préciser quels sont les points essentiels qui ont, sinon déterminé, du moins influencé la manière dont le thème choisi a été appréhendé pour notre recherche documentaire.

Il sera d'ailleurs intéressant par la suite, après mise en oeuvre des outils d'interrogation et observation des résultats, de noter si les problèmes initiaux soulevés ont été effectivement responsables de certaines réponses.

Dans ce cas, une modification de la question posée au système documentaire pourra éventuellement être envisagée en vue d'améliorer la pertinence et l'exhaustivité des documents fournis.

- L'étude de l'écologie des eaux souterraines est un champ moderne d'investigation, développé et approfondi véritablement depuis quelques dizaines d'années seulement : de ce fait, la parution courante dans des revues biologiques d'articles ayant trait aux eaux souterraines est un phénomène relativement récent, en début d'explosion, contrairement à d'autres thèmes scientifiques exploités et vulgarisés depuis fort longtemps.

Cela signifiait donc pour nous qu'une recherche rétrospective dans ce domaine devait débiter fondamentalement par une collecte d'informations auprès du chercheur intéressé, sur ce qui s'était fait dans ce domaine depuis le tout début.

En effet, une recherche automatisée immédiate aurait conduit à l'obtention, certes, de documents traitant des nappes phréatiques, mais ne pouvant être rapportés aux tous premiers résultats expérimentaux non intégrés car trop diffus dans des bases de données.

- Un second aspect très important et propre à l'étude des eaux souterraines est l'étendue de ce champ d'investigation recouvrant de nombreuses disciplines telles la biologie, l'hydrogéologie, l'hydrochimie ou encore la microbiologie. La politique actuelle dans ce domaine tendant en outre à prôner une approche pluridisciplinaire du sujet pour une meilleure exploitation de données devait être prise en compte lors de notre recherche documentaire. Il nous fallait en effet ne pas restreindre cette dernière à un sujet exclusivement biologique mais tenir compte de paramètres relatifs à d'autres domaines en interaction cependant étroite avec la biologie.
- Le dernier problème auquel nous avons été confrontés à ce niveau d'étude a été un problème de vocabulaire : pour démarrer correctement notre recherche, c'est-à-dire pour trouver les descripteurs appropriés à notre question, une connaissance précise de la terminologie employée en écologie des eaux souterraines s'imposait. Or, précisément, le langage utilisé dans ce domaine est sujet à des extensions lui faisant parfois même perdre sa signification originelle.

Pour nous cela signifiait qu'il fallait mesurer, lors de la formulation de notre question, l'impact des termes choisis : en prévoyant le type de réponse qu'ils risquaient d'apporter, on les acceptait alors ou non comme descripteurs.

C'est ainsi que le terme "porous aquifer" en anglais, n'a pas été sélectionné du fait de sa résonance actuelle beaucoup plus hydrologique que biologique, et ainsi trop restrictive.

Le problème de la correspondance entre langues s'est également posé lors de la formulation de notre question : par exemple, la traduction littérale d'un terme français en anglais modifiant plus ou moins sensiblement sa signification, nous avons été amenés à choisir les mots qui établissaient une correspondance univoque d'une langue à l'autre.

Ceci a été effectué en comparant le vocabulaire d'articles français et anglais et en consultant thesaurus et index de deux bases différentes (une base française : PASCAL, une base anglaise : BIOSIS).

Le terme de "Nappe phréatique", couramment utilisé en français pour désigner l'ensemble de l'eau souterraine située dans la zone saturée du sol, n'a ainsi pas été traduit par son équivalent "Aquifer" en anglais, mais par l'expression "Ground Water", terme plus vaste mais plus représentatif du problème posé.

II - ECRITURE DE L'EQUATION LOGIQUE EN VUE DE L'INTERROGATION DE BASES DE DONNEES

C'est en fonction des paramètres décrits précédemment que notre stratégie de recherche a été menée.

3 à 4 termes essentiels ont été ainsi choisis pour traduire le problème de la biologie des nappes phréatiques en langage d'interrogation.

Deux Bases Bibliographiques ont été consultées :

- 1 - Base PASCAL interrogée sur le serveur ESA/QUEST

Un index des termes français employés dans cette base nous a guidés dans la sélection des descripteurs :

Eau interstitielle ou Nappe phréatique
Biologie ou Ecologie
Faune interstitielle

L'utilisation des opérateurs booléens (ET, OU, SAUF) a conduit à l'écriture de plusieurs équations logiques : celles-ci consistaient essentiellement en l'intersection des domaines de l'eau et de la biologie.

Une restriction (SAUF) a cependant été formulée au niveau de la nature du milieu (non karstique).

- 2 - Base BIOSIS également consultée par l'intermédiaire d'ESA/QUEST

Elle a été abordée de façon différente puisqu'en Anglais, le choix des descripteurs s'est révélé plus aisé du fait de l'utilisation plus systématique dans cette langue de mots composés pour désigner une entité ou un phénomène. La consultation des bulletins "Biological Abstracts", conjointement avec la lecture du thesaurus de la base, a facilité la formulation de notre question : l'existence de relations hiérarchiques nous a permis de délimiter l'étendue de notre champ d'investigation.

Ground Water
Biolog. ou Ecolog.
Fauna
Karst.

Néanmoins, un même manque s'est ressenti au niveau des deux bases consultées : c'est la possibilité de pondération des descripteurs choisis. En effet, l'attribution de coefficients différents nous aurait permis de ne pas situer par exemple le mot "karstic" (introduit de plus par l'opérateur SAUF) au même niveau que nos deux concepts essentiels : "Biologie" et "Nappe phréatique".

Par contre, le langage d'interrogation proposé par ESA s'est révélé relativement souple et aisé à manipuler, bien que toutes ses possibilités n'aient pas été exploitées dans notre cas.

III - RESULTATS DE NOTRE RECHERCHE - CRITIQUES DES OUTILS DOCUMENTAIRES

Le problème principal auquel se trouve confronté tout utilisateur de bases de données documentaires concerne la validité et l'exhaustivité des documents fournis par le système en réponse à la question posée.

Ce souci apparaît au cours de l'interrogation à chacune des étapes franchies : au fur et à mesure que nous délimitons notre sujet, nous voyons apparaître une évolution dans le nombre de références fournies correspondant à la sélection de documents par le système.

../..

Dans notre cas, l'équation posée a donné lieu à un nombre relativement restreint de documents (une soixantaine pour les 2 bases interrogées) : celui-ci coïncidait cependant avec la nature du domaine exploré.

La visualisation sur l'écran terminal de certaines références ainsi obtenues nous a permis d'ailleurs d'apprécier la pertinence de ces documents et donc la validité de notre question. Par contre, il nous était plus difficile de conclure sur l'exhaustivité des réponses fournies.

Néanmoins, le dépouillement du contenu des articles obtenus nous a permis de juger de la qualité de notre recherche.

Et en notant quelle sorte de relation il existait entre la question posée et la réponse fournie par le système, le comportement de l'outil documentaire a pu être approché.

. Pertinence des documents

A l'issue de notre interrogation, nous avons pu constater que l'ensemble des références listées se rapportait effectivement à la phréatobiologie. Seulement un très petit nombre de documents s'est révélé être non pertinent par rapport à la question posée.

L'existence de ce bruit nous a d'abord conduits à remettre en cause l'étendue de notre recherche : effectivement, le terme de Biologie recouvrant un concept très large pouvait être la cause d'un afflux de documents non valables. Cependant, la combinaison de ce terme générique avec le terme beaucoup plus précis de "Nappe phréatique" restreignait considérablement le champ d'investigation qui s'est ainsi trouvé représenté par une soixantaine de documents.

Par ailleurs, certains descripteurs utilisés pour l'indexation des documents, non pertinents pour nous, montraient une faible corrélation avec le contenu exact de ces documents.

C'est ainsi qu'un article traitant des biocénoses végétales en relation avec les fluctuations de l'eau dans le sol a été indexé par le terme "Ground Water" dont la signification ici ne correspondait pas avec son utilisation courante relative au domaine souterrain.

Cette observation nous a conduits à soulever le problème de l'indexation, et de façon plus générale, celui de la méconnaissance de l'outil de recherche :

En effet, l'analyse du contenu des documents n'étant pas prise en charge par l'intéressé lui-même, et ce dernier n'ayant pas à sa connaissance l'ensemble des documents de la base, le résultat d'une interrogation s'avère plus aléatoire, il dépend essentiellement de l'indexation faite par une personne sur un document de la base.

L'élargissement de la question peut permettre alors de remédier à cela en fournissant un plus grand nombre de références : la précision du système diminue mais le rôle de l'utilisateur devient prépondérant pour le choix des documents.

Dans notre cas cependant, il ne nous a pas paru utile d'étendre notre champ de recherche, celui-ci apparaissant convenablement défini par les descripteurs proposés par la base et représentatifs du domaine traité.

. Exhaustivité

Si une recherche automatisée nous a permis d'obtenir un ensemble de documents ayant trait à la phréatobologie, elle n'a pas néanmoins répondu de façon totalement satisfaisante à notre attente.

En effet, de nombreuses références relatives au domaine exploré, et portées à notre connaissance par d'autres voies que le système informatique, ne sont pas apparues lors de l'interrogation des bases de données.

Le problème du silence des systèmes documentaires s'est donc posé et nous avons été amenés à le considérer à deux niveaux :

- 1 - Les documents étaient effectivement présents dans la Base des données mais n'ont pas été sélectionnés par le système. Il s'agit là, soit d'un problème d'indexation au niveau de l'intégration des données dans la base, soit d'un problème d'interrogation.

Ce dernier cas aurait pu par exemple se produire lors de l'utilisation de l'opérateur SAUF ; en fait, dans notre recherche, cette restriction n'a eu pratiquement aucun effet et ne peut donc expliquer le silence néanmoins obtenu.

De plus, une recherche manuelle conduite parallèlement sur les "Biological Abstracts" (dont le contenu est repris par la Base BIOSIS) a donné sensiblement les mêmes réponses que la recherche automatisée, les mêmes documents ayant été repérés pertinents par le système et par l'utilisateur lui-même.

Notre question avait donc été correctement posée lors de la consultation des Bases de données.

- 2 - Les documents n'ont pas été intégrés dans les bases consultées : il semble bien dans notre cas que cette absence de références dans le fonds interrogé ait été responsable de nos résultats.

PASCAL et BIOSIS ne recouvrent sans doute pas entièrement le domaine qui nous intéresse et ne peuvent ainsi répondre au critère d'exhaustivité, du moins à l'égard du sujet traité. La pluridisciplinarité de ce dernier, déjà mentionnée auparavant, pose indubitablement des problèmes au niveau de l'indexation et surtout de l'insertion des documents sous une étiquette précise.

Cette étendue des champs sous-jacents à l'écologie entraîne probablement une dispersion plus ou moins aléatoire des références entre différentes bases.

Ainsi, par exemple, l'introduction au cours de notre interrogation d'un code interne à BIOSIS et se rapportant à l'eau souterraine a donné lieu à un nombre très restreint de documents comparativement à celui obtenu en négligeant cette codification.

Ce résultat, bien qu'en partie dû à la méconnaissance de l'outil et de son fonctionnement, montre néanmoins la difficulté que ressent parfois l'utilisateur à se faire comprendre et à comprendre un système dont il n'est pas maître.

Une autre limite du système est apparue au niveau de la durée de rétention des documents dans les bases consultées, celle-ci recouvrant une dizaine d'années seulement. Il en a résulté un certain silence concernant les informations anciennes, bien que celles-ci puissent être partiellement restituées en dépouillant la bibliographie des articles obtenus.

Cette restriction a été particulièrement ressentie dans le domaine exploré, où il apparaît encore utile, du fait de l'état des recherches en phréatobiologie, de se reporter à des documents antérieurs à 1972.

Nous avons alors été amenés à récupérer par d'autres voies les références manquantes. C'est ainsi que nous avons eu recours au phréatobiologiste lui-même pour récupérer ces documents plus anciens et également d'autres articles pertinents non fournis par le système.

Cette démarche nous est apparue extrêmement utile voire fondamentale puisqu'elle nous a permis par exemple de prendre connaissance de document écrit par l'équipe de recherche en Biologie souterraine de Lyon, mais non encore publié.

De ceci, il résulte que l'utilisation d'un système automatisé pour une recherche documentaire ne doit pas être vue comme le moyen unique de récupération de l'information mais doit être plutôt considérée comme un outil parmi d'autres susceptibles d'apporter une aide au chercheur sous la forme d'un apport d'informations ponctuelles.

Il ne peut et ne prétend d'ailleurs pas, à un certain niveau de recherche, remplacer l'ensemble des autres sources d'informations (diffusion sur profil, échanges de résultats de recherche entre laboratoires...), mais vient s'ajouter à certaines d'entre elles en apportant de nouveaux renseignements ou en suggérant de nouvelles directions d'approfondissement d'un sujet donné.

Il apparaît être ainsi un moyen d'ouverture et d'accès à un fonds plus large de connaissances.

. Sélection des documents

Cette opération menée conjointement avec le chercheur s'est révélée indispensable : les documents apportés par les bases de données consultées étaient en effet choisis ou rejetés en fonction des besoins de cette personne à son niveau actuel d'investigation. Les articles sélectionnés étaient ainsi ceux qui étaient susceptibles de compléter et d'affiner ses connaissances.

Mais c'est fondamentalement la conjugaison des deux sources d'informations : documents issus des bases interrogées et documents fournis par les moyens plus classiques d'acquisition de l'information, qui nous a permis de reconstituer un dossier pouvant prétendre à une certaine qualité de synthèse.

Il est à noter cependant que parmi la trentaine d'articles sélectionnés plusieurs n'ont pu être exploités, étant édités en Russe, en Danois ou en Allemand. Nous nous sommes ainsi heurtés au problème de compréhension et de manipulation de l'information transmise.

La plupart des documents issus des Bases de données et exploitables n'étaient pas sur Lyon même ; ils ont été commandés par l'intermédiaire du système de prêt inter-bibliothèques.

Certains d'entre eux n'ont cependant pas pu être localisés et donc empruntés.

Quant aux autres articles, le délai entre la demande de prêt et la réception fut souvent très long : de 15 jours à plus d'un mois, ce qui nous a fait ressentir tout l'intérêt d'une commande de documents en ligne. Celle-ci présente l'avantage de condenser les différentes étapes d'une recherche classique en une unique manipulation avec : interrogation sur fichiers multiples à partir d'un même terminal, visualisation des résultats au fur et à mesure de la recherche, correction immédiate grâce au mode conversationnel et de ce fait progression rapide dans le déroulement de la recherche et enfin accès direct aux documents.

Le temps de recherche étant ainsi raccourci, l'utilisateur prend possession plus rapidement de l'information demandée et de ce fait la ressent plus proche de lui et de ses besoins.

IV - CONCLUSION

L'interrogation de Bases de données nous a aidés à comprendre et à situer plus précisément un tel système automatisé dans un contexte de recherche d'informations = outil d'aide à la documentation, utile surtout pour l'acquisition d'informations ponctuelles dans un domaine donné.

Les résultats obtenus avec présence de bruit et de silence ont également soulevé les problèmes d'indexation inhérents à tout système documentaire.

Une nécessité de fournir à la base de données les moyens d'informer plus précisément l'utilisateur sur la façon dont elle a été construite et sur son comportement s'avèrerait utile pour une exploitation plus efficace de l'outil.

Néanmoins, un système automatisé tend à faciliter l'accès aux données en court-circuitant certains processus longs de recherche classique et apparaît ainsi extrêmement utile pour faciliter le transfert de l'information entre fonds documentaire et utilisateurs.

Il reste cependant le problème de l'accès aux documents primaires dont l'acquisition, loin d'être immédiate dans de nombreux cas, contrebalance largement toute réponse satisfaisante d'une recherche documentaire, qu'elle soit manuelle ou automatisée.

Le problème des langues apparaît également gênant à un certain niveau de recherche car peut limiter considérablement l'utilisation de l'information transmise et par là, l'étendue des connaissances.

Une diffusion immédiate des documents primaires accompagnés, si nécessaire d'une traduction de texte, constituerait certes une évolution remarquable, favorable au transfert de l'information et à son exploitation

Seconde partie : synthese

Ecologie et Biologie

des

Nappes phreatiques

I - INTRODUCTION A L'ECOLOGIE DES EAUX SOUTERRAINES

L'eau souterraine est une composante du cycle hydrologique : c'est l'eau qui se situe sous la surface de la terre où elle remplit les espaces vides à l'intérieur d'une strate géologique, formant ainsi une zone saturée. La limite entre cette zone saturée et la zone d'aération au-dessus est le niveau piézométrique.

Cette eau souterraine peut, dans certaines formations géologiques, occuper un domaine dans lequel elle se trouve en état d'intercommunication facile, donnant lieu à ce que l'on appelle une nappe. Celle-ci peut être poreuse, fracturée ou karstique selon la nature du milieu occupé. Son interconnexion avec d'autres systèmes physiques la fait se comporter le plus souvent comme un système ouvert (DANIELOPOL, 1980). Celui-ci possède ses propres caractéristiques tant du point de vue hydrogéologique, physicochimique et biologique.

Aussi, l'écologie des eaux souterraines apparaît-elle être un champ d'investigation pluridisciplinaire et synthétique. Son intérêt réside dans le rôle majeur que joue cet écosystème ouvert pour les processus d'échanges entre milieux superficiels et hypogés.

C'est en effet la présence d'une zone à très forte capacité biogénique observée couramment dans la frange superficielle des milieux interstitiels qui garantit la qualité des eaux profondes (WILLIAMS et HYNES, 1974 : PIEPER, 1978 : REYGROBELLET et DOLE, 1981).

Or, le besoin croissant pour l'homme d'obtenir de l'eau potable rend l'étude des processus de filtration et de purification de l'eau à travers les sédiments, indispensable.

Cette étude implique la connaissance de la distribution, de l'abondance et de la diversité des populations animales dans les habitats de l'eau souterraine, afin de pouvoir évaluer leur rôle dans la décomposition de la matière organique et sa minéralisation.

Certains limnologues même, comme l'a relevé DANIELOPOL (1980), proposent de développer un système basé sur l'utilisation des organismes de l'eau souterraine en tant qu'indicateurs biologiques de la qualité de cette eau.

Cette méthode d'investigation permettrait de suivre l'impact écologique de manipulations hydrologiques concernant l'optimisation des réserves de l'eau souterraine et le contrôle du cycle hydrologique.

Une coopération des hydrologues et des biologistes permettrait surtout de mettre en place une gestion écologique efficace des ressources en eau souterraine, en prévenant les risques de pollution encourus provoqués par les activités humaines à la surface de la terre.

II - METHODES DE PROSPECTION FAUNISTIQUE DES EAUX INTERSTITIELLES

Les conditions écologiques dans les nappes poreuses diffèrent remarquablement de celles présentes au niveau des milieux karstiques où l'eau circule plus rapidement et de façon turbulente.

La prospection de ces divers habitats interstitiels nécessite ainsi des stratégies d'échantillonnage particulières à chacun d'eux.

Elle dépend également du problème auquel s'intéresse l'expérimentateur dans un milieu donné, et des limitations techniques de son système d'investigation.

- 1 - Principales techniques de prospection de la faune interstitielle : limites et efficacité

. Méthode KARAMAN-CHAPPUIS

Elle utilise un petit puits creusé dans le sédiment de plages d'alluvions récentes près de cours d'eau ; l'eau accumulée dans ce bassin est filtrée à l'aide d'un filet à plancton.

Cette méthode ne peut être quantitative, ni étendue à l'étude du fond d'un fleuve (BOU, 1974 : ROGOZ, 1974).

. Méthode des sondages tubés BOU-ROUCH :

Elle est destinée à la prospection des sédiments superficiels et profonds pas trop compacts, et particulièrement à l'étude du sous-écoulement des cours d'eau.

Elle consiste à prélever un maximum de matériaux à l'aide d'un courant d'eau créé par aspiration afin de provoquer un rabattement de la faune plus ou moins localisée à la profondeur de la sonde.

L'appareillage comprend une sonde terminée par une pointe pyramidale perforée.

Cette sonde est fixée à une pompe grâce à un verrou et un joint torique assurant l'étanchéité de cette dernière.

Lorsque la crêpine est enfoncée à la profondeur désirée dans les alluvions, l'eau est prélevée par pompage dans un seau et vidée ensuite dans un filet à plancton, partiellement immergé dans la rivière (BOU, 1974).

Si cette méthode ne peut apporter d'informations sur la distribution verticale des organismes dans le sédiment, elle permet cependant une bonne estimation des biocénoses en place, jusqu'à 3 m de profondeur, et entraîne peu de risque d'interférences entre les différents niveaux de pompage (REYGROBELLET et DOLE, 1981).

. Sondage et prélèvement de substrat

Cette technique permet un échantillonnage dans les lits de fleuves à substrat hétérogène, jusqu'à 1 m de profondeur.

Elle implique l'utilisation d'une sonde de prélèvement dont l'extrémité comporte 2 ouvertures protégées par 2 volets. Une tige également perforée s'adapte dans la sonde de telle sorte qu'en position ouverte, ses fentes coïncident avec celles du tube ; en position fermée les ouvertures de la tige centrale sont opposées aux parois de la sonde.

L'appareil est ainsi introduit dans le sédiment à la profondeur désirée. La tige centrale est alors placée en position ouverte. Une rotation de l'ensemble permet aux volets de la sonde d'écoper le gravier qui est entraîné dans la chambre interne de la tige.

Après le nombre requis de tours, l'appareil qui a ainsi prélevé un certain volume de substrat, est fermé et retiré du sédiment.

Cette méthode est utilisable pour les sédiments graveleux et sableux. Elle apparaît cependant inefficace dans des substrats grossiers dominés par des galets.

Un échantillonnage quantitatif peut être effectué, les résultats étant rapportés au volume de sédiment.
(WILLIAMS et HYNES, 1974).

Colonisation de substrat naturel

Elle consiste à placer une portion nettoyée de substrat naturel prélevé du lit du fleuve dans un container perforé, dont les ouvertures permettent l'accès libre à l'eau et aux sédiments, lorsque l'échantillonneur est enfoncé dans le substrat.

CONRAD (1977) a utilisé des tubes montés verticalement et horizontalement sur une trame et enterrés sur une plage sableuse, dans le but d'étudier les types et l'abondance des organismes susceptibles de coloniser ce milieu.

Pour l'étude de la répartition verticale de la faune benthique de fleuves, COLEMAN et HYNES (1970) ont mis au point un échantillonneur partagé en 4 niveaux superposés : sur ces 4 couches de substrat, 3 sont rendues inaccessibles. Une série de 4 échantillonneurs (pots remplis de substrat naturel et enfoncés dans un cylindre percé) permet de représenter les 4 niveaux.

Chaque échantillon est enfoncé dans le substrat puis retiré à une date définie. Le gravier récupéré est lavé et les animaux retenus à l'intérieur récoltés, éventuellement traités et comptés.

Ce matériel peut être utilisé pour des profondeurs n'allant que de 10 à 40 cm. Par ailleurs, WILLIAMS et HYNES (1974) estiment ses défauts nombreux : perte de limon fin et de détritrus organique lorsque le substrat est initialement enlevé du lit du fleuve, altération de l'espace poreux et donc de la recolonisation, impossibilité d'échantillonnage rapide après des conditions de fleuve anormales.

De nombreuses autres méthodes de prélèvement ont été avancées pour approcher qualitativement ou quantitativement, à court terme ou à long terme, l'abondance et la diversité de la faune interstitielle :

- filet phréatobiologique de CVETKOV pour l'étude de puits (BOU, 1974),
- échantillonnage rapide de l'eau interstitielle à l'aide d'un filet à fond plat placé verticalement sur le lit d'un fleuve (COLEMAN et HYNES, 1970 : WILLIAMS et HYNES, 1974),
- prélèvement du substrat après gelification, ou directement.

- 2 - Conclusion générale

Toutes les méthodes sont, dans une certaine mesure, sélectives, étant toujours plus efficaces pour des conditions environnementales particulières.

Le problème majeur rencontré dans l'étude de milieux, tel le benthos de fleuves, est la mise au point d'échantillonneurs pouvant pénétrer profondément dans le substrat et permettant des prélèvements représentatifs quantitativement (COLEMAN et HYNES, 1970 : WILLIAMS et HYNES, 1974).

Par ailleurs, pour qu'une comparaison puisse être établie entre les résultats obtenus sur différents systèmes hydrologiques, il s'avère indispensable de spécifier les conditions expérimentales et les techniques d'échantillonnage mises en oeuvre ainsi que la profondeur à laquelle elles s'appliquent. Ceci se révèle être un paramètre fondamental de l'efficacité des méthodes de prospection du milieu interstitiel (WILLIAMS et HYNES, 1974).

III - DISTRIBUTION DE LA FAUNE DANS LES MILIEUX INTERSTITIELS

Les dépôts situés sous le lit de fleuves, ou dans des vallées anciennes, de même que les plaines ou les vallées intramontagnardes, peuvent être le lieu d'occurrence de nappes phréatiques. Celles-ci apparaissent ainsi dans des milieux de nature variée et caractérisés chacun par des conditions écologiques particulières.

Plusieurs classifications typologiques ont été proposées pour définir ces différents types d'habitats interstitiels, bien que ces derniers ne soient pas figés mais toujours en évolution.

L'une de ces classifications consiste fondamentalement à distinguer le milieu interstitiel superficiel en contact avec les habitats de surface, du milieu profond où les conditions écologiques montrent de faibles fluctuations.

De la même façon, WILLIAMS et HYNES (1974) ont été amenés, au cours de l'étude de substrat profond de fleuve, à introduire le terme d'hyporhéos pour désigner la zone bordée au-dessus par l'eau épigée du fleuve et limitée en-dessous par l'eau souterraine véritable.

- 1 - Ecologie des eaux souterraines

Les facteurs écologiques variant de la surface de la terre aux couches plus profondes de sédiments, leur étude s'avère indispensable dans la connaissance des milieux interstitiels.

C'est en effet l'interaction des facteurs physiques et chimiques et leur combinaison avec les facteurs biologiques qui déterminent la distribution de la faune, son abondance et sa diversité dans les habitats de l'eau souterraine.

. Facteurs physiques

La distribution de la taille des grains, la taille moyenne des grains et la porosité déterminent la porosité efficace et peuvent influencer fortement l'abondance des organismes dans le milieu interstitiel (PIEPER, 1970).

Les mesures granulométriques effectuées par WILLIAMS et HYNES (1974) sur le fond d'une rivière ont permis de mettre en évidence une zone de transition située à une profondeur d'environ 30 cm : à ce niveau, taille moyenne du grain et hétérogénéité de la taille diminuent alors que la porosité augmente. La présence de sédiments stratifiés en-dessous de 30 cm suggère ainsi qu'ils ne sont pas remués par l'eau de surface. De même, la nature hétérogène des 30 cm supérieurs implique que l'eau gazeuse de surface ne pénètre pas plus loin que cette zone.

La lumière, elle, disparaît dans les premières couches du sédiment. Sa limite de pénétration dépend essentiellement de la taille du grain et de la compaction des sédiments.

La vitesse du courant d'eau est fonction également des caractères sédimentologiques de substrat.

WILLIAMS et HYNES (1974) ont noté que l'écoulement interstitiel dans un milieu graveleux et sableux est moindre par rapport à celui des eaux de surface. Il décroît en effet avec la profondeur jusqu'à devenir négligeable en-dessous de 50 cm.

Les couches superficielles du substrat tendent à suivre la température de l'eau de surface plus étroitement que ne le font les couches plus profondes. Les faibles fluctuations thermiques du milieu souterrain par rapport aux variations élevées des températures de l'eau épigée de cours d'eau ont été expliquées comme résultant de l'effet tampon de l'eau souterraine et de la chaleur spécifique élevée du substrat (WILLIAMS et HYNES, 1974).

. Facteurs physiques

De façon générale, le taux d'oxygène dans l'eau souterraine décroît avec la profondeur.

Pour WILLIAMS et HYNES (1974), cette diminution est apparue linéaire jusqu'à 30 cm en-dessous du lit du fleuve. A partir de là, l'oxygène n'était plus détecté.

Quant aux teneurs en CO₂ dissous, elles sont apparues similaires à celles des eaux de surface dans les 30 premiers cms du substrat. Mais en-dessous de ce niveau, elles augmentaient fortement avec la profondeur.

Le taux de solides dissous perçu par les mesures de conductivité électrique est fonction essentiellement de la composition chimique du substrat et de l'origine de l'eau souterraine (REYGROBELLET, MATHIEU, GINET, GIBERT, 1981).

Il est plus élevé généralement dans les habitats profonds que dans les milieux interstitiels superficiels.

La quantité de matière organique, elle, diminue presque linéairement avec la profondeur (WILLIAMS et HYNES, 1974).

PIEPER (1978) a observé, lors d'une étude sur le milieu hyporhéique de cours d'eau, que l'infiltration du carbone organique dans le substrat dépend essentiellement de la taille du sédiment. Elle augmente fortement jusqu'à une taille moyenne de 1,8 mm à 2,5 mm puis décroît légèrement mais régulièrement pour les grains de taille supérieure.

- 2 - Etude des écosystèmes interstitiels

Les résultats obtenus sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes interstitiels permettent de mettre en évidence une diversité considérable des groupes faunistiques, entre les différents biotopes étudiés.

Et du fait des caractéristiques propres à chaque méthode d'échantillonnage, il apparaît souvent difficile de relier étroitement les conclusions issues de diverses recherches écologiques.

Néanmoins, des phénomènes très semblables concernant la répartition générale de la faune interstitielle, particulièrement celle des couches superficielles de sédiments de rivières, ont été observés par différents auteurs : ceci a permis de cerner plus précisément le comportement des organismes interstitiels et leur importance dans certains processus biologiques comme la dégradation de la matière organique du sol. (WILLIAMS et HYNES, 1974 : GIBERT et al., 1981).

Ces résultats sont essentiellement dûs à la mise en oeuvre de techniques permettant d'échantillonner quantitativement le milieu interstitiel.

C'est ainsi que COLEMAN et HYNES (1970), en vue d'étudier une partie du rive sous la rivière Speed (Ontario), ont expérimenté un échantillonneur pour la récolte de faune benthique jusqu'à une profondeur de 30 cm dans le lit d'un cours d'eau.

Cette méthode est basée sur le principe de colonisation de substrat à la fois verticalement et horizontalement (cf. description p.14)

Les échantillons, dans lesquels seulement 1 des 4 couches horizontales d'environ 7,5 cm d'épaisseur est apte à être colonisée, ont été implantés dans le lit du fleuve et relevés 1 à 28 jours plus tard.

Le comptage des spécimens ainsi récoltés pour chacun des niveaux du substrat a permis de comparer l'abondance et la diversité de la faune benthique à différentes profondeurs du milieu (jusqu'à 30 cm). Et l'étalement de l'échantillonnage sur des périodes de durée croissante a permis de suivre l'évolution des effectifs au cours du temps et, par là, d'évaluer le taux de colonisation du substrat.

Résultats :

Distribution verticale de la faune hyporhéique

La caractéristique essentielle est que les Chironomides dominent la faune et sont répartis uniformément à toutes les profondeurs atteintes par l'échantillonneur : l'abondance particulière de ces larves d'insectes à 10, 20, 30 cms d'épaisseur a été également retrouvée lors d'études quantitatives menées ultérieurement (WILLIAMS et HYNES, 1974).

Taux de colonisation du substrat

Dès le premier jour, presque tous les taxa sont présents à tous les niveaux, et l'abondance des formes augmente régulièrement dans toutes les couches au cours de la période d'échantillonnage. Cette évolution observée encore au bout de 28 jours indique que cette durée n'est pas suffisante pour la colonisation complète d'un espace vide même aussi petit que celui offert par l'échantillonneur en question.

Ce dernier résultat cependant, d'après WILLIAMS et HYNES (1974), ne s'est pas révélé être en accord avec d'autres expériences de même type, menées par d'autres auteurs.

Lorsque toutes les prises de même profondeur sont rassemblées, 20 % seulement de la faune totale se rapporte à la couche supérieure (0-7,5 cm), 26 % se situe dans la couche profonde (22,5 - 30 cm) et le reste apparaît uniformément réparti dans les 2 niveaux intermédiaires. Par ailleurs, ce type de distribution est observé pour chacun des groupes zoologiques présents.

Cette expérience a ainsi suggéré aux auteurs qu'une grande quantité d'organismes est présente en profondeur dans le substrat de fleuve pierreux et que ces formes sont capables de mouvements latéraux considérables à travers le sédiment pour coloniser une zone vide.

Mais ces échantillons ramassés jusqu'à 30 cm de fond ne peuvent représenter exhaustivement la faune des fonds hyporhéïques puisqu'aucune décroissance significative de l'abondance des formes n'a été relevée même à des profondeurs de 23 - 30 cm, où des poissons peuvent être encore trouvés.

Ceci souligne l'importance de l'habitat hyporhéïque confirmée par des études ultérieures (WILLIAMS et HYNES, 1974).

WILLIAMS et HYNES (1974), dans le but d'obtenir des résultats quantitatifs plus représentatifs de la densité et de la productivité de l'hyporhéïos, ont développé une méthode d'échantillonnage basée sur un sondage et un prélèvement de substrat (cf. description p.13).

Cette étude a été également appliquée pour l'étude de la faune hyporhéïque de la rivière Speed (Ontario), jusqu'à une profondeur de 70 cm.

Leur programme d'échantillonnage, s'étalant sur une période de 13 mois (octobre 1970 à octobre 1971), a donné lieu à une approche faunistique à long terme et de ce fait plus dynamique que l'étude de COLEMAN et HYNES (1970).

Par ailleurs, la mesure des caractéristiques physiques et chimiques des eaux de surface et des eaux interstitielles a permis de suivre l'influence des conditions environnementales sur la distribution de la faune de substrat graveleux et sableux.

Résultats :

Répartition de la faune dans le substrat

Le maximum de formes interstitielles est apparu à une profondeur de 10 cm sous le fond de la rivière.

Certains organismes ont été trouvés cependant régulièrement jusqu'à une épaisseur de 70 cm bien que leur nombre décroît jusqu'à là. Et en-dessous de 80 cm, l'effectif était négligeable.

Ainsi, comme l'avaient prédit COLEMAN et HYNES (1970), la profondeur suffisante d'échantillonnage maximum pour la rivière Speed, se révèle être supérieure à 30 cm, et de l'ordre de 70 cm.

Les effectifs observés varient également de mois en mois, avec des maxima en hiver (décembre, janvier, février) et en automne (août, octobre).

L'observation dans les échantillons de chironomides de très petite taille aux périodes du milieu de l'automne et de l'hiver suggère que les pics précédents sont dûs à l'éclosion d'oeufs déposés respectivement au milieu et à la fin de l'été.

COLEMAN et HYNES (1970) avaient noté également que les 10 premiers cms de substrat étaient soumis à de plus fortes fluctuations que les couches plus profondes.

Ces variations dans l'abondance des formes sont certainement liées à l'action plus marquée des facteurs externes à ce niveau superficiel.

Cependant, le pic des chironomides dans la couche superficielle en juin-juillet indique qu'il s'est produit un phénomène plus général causé soit par l'éclosion d'un très grand nombre d'oeufs à ce niveau, soit par un mouvement de masse considérable dans le substrat.

La comparaison des poids secs des organismes par mètre cube jusqu'à 70 cms de profondeur a montré que la biomasse dans le substrat hyporhéique était beaucoup plus importante que celle de la faune vivant sur le fond du fleuve.

Pour le mois le plus productif (octobre), une valeur de 201 g/m³ en poids sec a été observé au niveau des populations sous-benthiques alors qu'elle n'était que de 52 g/m³ à la surface du substrat.

Influence des conditions physiques et chimiques du milieu sur la faune interstitielle

Les facteurs chimiques sont apparus plus importants dans le contrôle et la distribution de la faune que les paramètres physiques.

La seule caractéristique physique paraissant avoir une relation directe avec l'effectif total des organismes présents dans la zone hyporhéique est la porosité qui intervient peu cependant pour les profondeurs en-dessous de 30 cms.

L'hétérogénéité de la taille du grain ainsi que la taille moyenne du sédiment, ne montrent aucune corrélation avec l'abondance de la faune interstitielle, bien qu'il soit probable qu'une taille minimale restreigne la pénétration de certains animaux.

L'écoulement de l'eau de surface paraît également avoir peu d'effet saisonnier sur la faune, le flux intergravelaire restant relativement constant en profondeur, malgré les fluctuations du courant de surface.

De la même façon, des variations dans la hauteur du cours normal du fleuve montrent peu d'impact sur la faune, dans des conditions toutefois non exceptionnelles, excluant donc des phénomènes comme les crues ou les sécheresses.

Les relations entre le nombre total d'organismes et l'environnement chimique interstitiel se sont révélées être plus évidentes.

Ainsi les taux d'oxygène (O₂) et de gaz carbonique (CO₂) dissous ont montré une forte corrélation avec l'abondance des organismes. Celle-ci est également étroitement liée au pourcentage de matière organique interstitielle : ainsi, les 10 premiers cms du substrat où l'effectif maximal des organismes est observé, contiennent des teneurs élevées en O₂ et en matière organique interstitielle, mais par contre, un faible taux de CO₂ dissous.

PIEPER (1978) a noté que les teneurs en oxygène et en carbone organique dans l'eau interstitielle de milieu hyporhéique étaient corrélées à la taille des sédiments. Et l'ensemble de ces facteurs déterminait avec les conditions courantes de l'eau épigée du fleuve, l'abondance des stades juvéniles de Gammarus fossarum KOCH 1835 (Amphipode) dans le milieu interstitiel.

Cette interaction entre facteurs physico-chimiques et observations faunistiques a été également mise en évidence, au cours de l'étude d'écosystèmes interstitiels, dans la plaine du Rhône, en amont de Lyon (GIBERT et al., 1981 ; REYGROBELLET et DOLE, 1981).

Dans cette région, une assise d'alluvions perméables récentes reposant sur un substrat imperméable calcaire, est imprégnée d'une nappe souterraine épaisse de 30 m, dont le niveau piezométrique est situé à quelques décimètres sous la surface du sol.

Cette eau souterraine provient soit de l'infiltration du cours d'eau lui-même et constitue alors le sous-écoulement (milieu hyporhéique), soit des nappes phréatiques environnantes dont l'alimentation est indépendante du cours d'eau épigé.

En outre, le cours principal superficiel du Rhône est accompagné le long de ses rives par les restes d'anciens méandres du fleuve, les "lônes" qui sont en relation fonctionnelle plus ou moins étroite avec l'ensemble du système aquifère superficiel et souterrain.

L'examen des paramètres physico-chimiques et biologiques du milieu hypogé a été entrepris parallèlement à l'étude des conditions écologiques des eaux de surface.

Une étude faunistique utilisant des prélèvements par pompage BOU-ROUCH sous la surface du sédiment (cf. description p.13) a été également menée sur le terrain depuis 1975.

Plusieurs stations représentant 4 ensembles hydrologiques plus ou moins distincts ont été choisies pour l'étude de leur faune interstitielle :

- eau provenant directement de l'infiltration du Rhône dont elle suit les variations
- eau interstitielle issue du sous-écoulement du fleuve
- eau interstitielle provenant de la nappe phréatique descendant du plateau de la Dombes par la terrasse de la Valbonne
- eau provenant en majeure partie de l'Ain par voie souterraine ou superficielle selon les débits de la rivière, et en plus faible partie de la nappe continentale de la Dombes.

La structure biocénotique de ces milieux interstitiels est apparue complexe et diverse comportant simultanément :

- des phréatobies stricts
- des troglobies plus polyvalents
- des formes benthiques épigées plus au moins obscuricoles
- des formes ubiquistes
- des espèces aériennes

Par ailleurs, l'ensemble des résultats obtenus a permis de mettre en évidence une différenciation marquée des 4 systèmes fonctionnels décrits précédemment tant sur le plan physico-chimique que sur le plan faunistique.

° Ainsi l'eau interstitielle issue du sous-écoulement du Rhône montre un régime très variable étroitement lié à celui du cours vif. Cependant, son peuplement est apparu stable et spécialisé, comportant une faune nettement hypogée.

° Ces caractéristiques diffèrent remarquablement de celles observées au niveau de la lône alimentée par le sous-écoulement de l'Ain et par la nappe continentale de la Dombes.

Cette station est apparue en effet extrêmement tamponnée par l'apport de l'aquifère issue de la plaine de la Valbonne. Mais au niveau faunistique, elle montre une forte concentration de populations de type épigé, pénétrant jusqu'à au moins 1 mètre sous la surface du sédiment.

Cette faune est de plus riche et diversifiée. Les nombres d'individus sont comparables à ceux cités par WILLIAMS et HYNES (1974) pour une profondeur voisine; la densité est extrêmement élevée dans les 50 premiers cms puis baisse brutalement du fait du colmatage des zones profondes du sédiment.

Par ailleurs, le peuplement de cette station n'est pas apparu stable mais à forte croissance exponentielle due à un phénomène d'alluvionnement.

° L'étude d'un des plus anciens bras morts du Rhône, alimenté lui, uniquement par la nappe continentale de la Dombes, a fait apparaître un nouvel écosystème caractérisé, lui, par une faible variabilité de sa composition granulométrique et des caractéristiques physico-chimiques de son eau.

La présence d'une "pellicule biologique" a été également observée mais est apparue moins nettement délimitée que dans les milieux interstitiels liés directement à une eau superficielle.

Ces observations ont permis ainsi d'établir un parallélisme entre l'origine de l'eau souterraine et la composition de la biocénose qui y prospère.

Cette variabilité dans la densité et la fréquence des formes rencontrées est apparue, non seulement entre les différentes stations étudiées, mais également pour un même milieu lors de phénomènes exceptionnels telles la forte sécheresse de 1976 et la crue qui l'a suivie en 1977.

Ainsi, l'observation d'une forte explosion démographique à l'une des stations étudiées, depuis le printemps 1977, suggère que le brusque apport de limons et de matière organique après la grande crue du Rhône, a modifié le milieu favorisant la migration des populations entraînées de l'amont ainsi que le développement des populations locales.

L'impact de phénomènes hydrologiques exceptionnels sur la faune interstitielle a été également observé par WILLIAMS et HYNES (1974) : 24 heures après une grande crue de la rivière Speed (U.S.A.), le pic des effectifs habituellement rencontré à 10 cm du fond du fleuve s'était déplacé à 30 cm de profondeur.

La faune benthique d'un fleuve est donc capable de s'enfoncer plus profondément dans le substrat durant les crues obéissant probablement à un mécanisme protecteur contre le courant croissant.

Et, ce mouvement de migration est rapidement réversible puisque 48 heures suffisent à retrouver, après une crue, le nombre maximal d'organismes dans les 10 premiers cms du substrat.

Ceci a conduit WILLIAMS et HYNES (1974) à créer la notion d'hyporheos temporaire et d'hyporhéos permanent

° Le premier groupe se rapporte essentiellement aux larves du benthos superficiel qui choisissent cet habitat durant une partie de leur cycle vital seulement.

PIEPER (1978), au cours de recherches sur l'écophysiologie et la Biologie de reproduction de jeunes stades de Gammarus fossarum KOCH 1835, a observé qu'en général les jeunes G. fossarum passaient leurs premiers stades dans les couches les plus superficielles des eaux hyporhéïques interstitielles qui sont protégées du courant.

° L'hyporheos permanent désigne par contre les formes telles les copepodes, mites, ostracodes et syncarides qui vivent la totalité de leur cycle dans le milieu hyporhéïque.

D'après WILLIAMS et HYNES (1974), cette zone aurait constitué à l'origine un refuge pour les animaux de surface lorsque les conditions épigées des cours d'eaux étaient défavorables. Et, par la suite, un grand nombre de ces formes se seraient adaptées à une existence interstitielle.

Ainsi, au cours du temps, le biotope hyporhéïque a pu jouer un rôle important dans le peuplement d'autres milieux souterrains.

L'existence d'une relation étroite entre populations superficielles et hyporhéïques a été également mise en évidence par BRAIONI et GOTTARDI (1979) : lors de la comparaison de populations de Rotifères benthopériphytiques et interstitielles dans l'Adige en Italie, ils ont relevé une certaine homogénéité dans la composition et la richesse des 2 types de biocénoses qui ont ainsi été supposées avoir la même origine.

Le caractère de transition que revêt le milieu interstitiel superficiel peut être finalement résumé par la propriété d'effet de lisière dont l'intérêt essentiel apparaît au niveau des échanges biologiques entre l'eau de surface et l'eau souterraine. (GIBERT et al., 1977)

IV - ASPECTS BIOGEOGRAPHIQUES DE LA VIE SOUTERRAINE

La relation existant entre milieux superficiels, interstitiels et hypogés apparaît non seulement verticalement dans le substrat mais également géographiquement sur des aires de répartition continues ou fragmentées.

Et, l'observation fréquente de ressemblances zoologiques entre systèmes souterrains, apparemment sans relation spatiale directe entre eux, a conduit certains phréatobiologistes à s'interroger sur l'origine et l'histoire des espèces actuellement présentes et adaptées au milieu hypogé.

DE BOVEE et al. (1973), lors de l'analyse faunistique de la Péninsule Courbet (Iles Kerguelen), ont relevé l'existence d'une faune interstitielle littorale spécifiquement originale mais classique au niveau générique et familiale : ces genres étaient connus en effet dans la plupart des aires du globe prospectées jusque là.

Ceci a conduit les auteurs à s'interroger sur l'origine océanique (archipel volcanique) ou continentale (dérive d'un fragment de continent) de l'archipel des Kerguelen.

Néanmoins, la faunule interstitielle semblait d'avantage une faune d'origine marine qui aurait, au cours du temps, colonisé une niche écologique libre, où elle s'y serait adaptée donnant lieu au degré d'endémisme observé.

L'hypothèse de l'extrême ancienneté de l'installation des organismes hypogés dans les milieux continentaux qu'ils occupent actuellement a été soutenue par MAGNIEZ (1978):

Partant de l'étude d'un groupe de Crustacés Isopodes anophtalmes vivant dans les eaux souterraines karstiques et interstitielles d'Europe méridionale, il a tenté d'expliquer leur apparentement avec des espèces vivant actuellement dans les régions tropicales du globe.

L'installation des Stenaselles dans les grottes européennes aurait été consécutive à des épisodes glaciaires quaternaires qui, décimant la majorité de la faune des nappes phréatiques et des grottes d'une grande partie d'Europe, a contraint les survivants à migrer dans les régions les plus méridionales moins touchées par le froid.

Quant à la présence de ces organismes dans les eaux souterraines de l'Amérique Centrale, elle peut être expliquée par la relation qui existait entre continents avant leur dérive et qui a permis une colonisation par les lignées dulçaquicoles des différents blocs continentaux actuels.

Les survivants ont pu subir une subspéciation à l'occasion d'une expansion rapide de l'espèce limitée cependant à l'aire de bassins hydrographiques du fait de l'étroite dépendance de ces organismes vis à vis des eaux souterraines.

Les variations des conditions climatiques au cours des ères géologiques semblent, dans certains autres cas également, responsables de la répartition actuelle des espèces interstitielles (DANIELOPOL, 1976). Et, les dissemblances observées entre formes d'origine supposée semblable, s'expliqueraient par l'adaptation particulière de chacune d'elles à leur nouveau milieu de vie où elles ont pu donc survivre et se multiplier.

Cette adaptation à une existence interstitielle résulte sans doute de la combinaison de nombreux paramètres relatifs à la fois aux caractéristiques et potentialités adaptatives de l'espèce elle-même, et aux conditions environnementales.

WILLIAMS et HYNES (1974) suggèrent que la forme d'un organisme intervient en partie pour sa réussite dans le milieu interstitiel. Ainsi, un corps long, mince et flexible, de même qu'une forme petite mais protégée par une coquille dure, constitueraient deux préadaptations possibles d'organismes au milieu hyporhéïque.

Le passage de la vie épigée à un mode cavernicole peut s'expliquer également par une prédisposition des formes à ce milieu mais aussi peut être rendu possible grâce à l'acquisition progressive de caractères morphologiques et physiologiques rendant l'utilisation de ce nouveau milieu optimale : absence d'yeux, corps pigmenté, réduction de l'activité métabolique, accroissement de la longévité et ralentissement du rythme de reproduction des espèces souterraines.

Et la composition d'une biocénose interstitielle résulte sans doute de la conjonction d'évènements indépendants les uns des autres, chaque lignée qui la compose ayant sa propre histoire (MAGNIEZ, 1978).

V - L'ACTIVITE BIOLOGIQUE DES ECOSYSTEMES INTERSTITIELS

Les écosystèmes de l'eau souterraine ne reçoivent pas, à la différence des eaux de surface, d'énergie solaire et la décomposition de la matière organique ne passe pas par les végétaux supérieurs dont ils sont dépourvus à leur profondeur.

Leur production primaire est alors essentiellement due à l'activité de bactéries chimiosynthétiques qui puisent leur énergie des résidus végétaux et animaux provenant des écosystèmes superficiels : la décomposition de la matière organique, fortement influencée par les conditions de température et d'oxygène, conduit à la production d'éléments minéraux. Ceux-ci sont ensuite partiellement restitués par l'eau souterraine au milieu extérieur superficiel.

C'est essentiellement la zone non saturée des habitats interstitiels qui joue le rôle de filtre vis à vis des éléments qui transitent avec l'eau, en profondeur (DANIELOPOL, 1980). En effet, dans cette zone aérée, l'activité bactérienne est fortement stimulée par la présence de la méïofaune et de la macrofaune. Le rôle de cette dernière est important, non seulement dans la régénération du film microbien mais également dans la transformation de la matière organique transitant par cet écosystème.

Certains auteurs parlent de "pellicule biologique" pour désigner cette zone à très forte capacité biogénique, localisée dans la frange des milieux interstitiels et dont l'activité garantit la qualité des eaux souterraines en même temps qu'un apport biologique au profit des écosystèmes superficiels (REYGROBELLET et DOLE, 1981).

Les phréatobiologistes ont même proposé d'utiliser cette faune des habitats interstitiels comme un indicateur de la qualité des eaux souterraines.

Cependant, si le rapport entre faune épigée et formes hypogées peut refléter la qualité de l'eau souterraine dans un puits, il ne peut par contre permettre de tirer des conclusions au niveau des nappes du fait de la distribution zoologique très inégale observée sur des grandes surfaces aquifères.

Mais si une corrélation peut être démontrée entre d'une part, la distribution de la flore microbienne et de la matière organique, et d'autre part, les densités de méiofaune et de macrofaune, alors ces dernières pourraient caractériser l'activité biologique d'un système aquifère (DANIELOPOL, 1980).

Il apparaît ainsi nécessaire de continuer à décrire les particularités des habitats interstitiels et de leur faune afin de mieux connaître les relations entre conditions écologiques et observations zoologiques : ceci permettrait alors de prédire qualitativement et quantitativement les réponses du système interstitiel placé particulièrement dans des conditions artificielles, conditions que les activités humaines tendent de plus en plus à créer.

VI - EFFETS DE LA POLLUTION SUR LES EAUX SOUTERRAINES

La pollution croissante des eaux superficielles qui sont en relation étroite avec les eaux souterraines implique un danger de contamination de ces dernières par les polluants qui s'y infiltrent et s'y accumulent.

Un excès de matière organique qui ne peut être minéralisée, ainsi qu'une accumulation de substances toxiques provoquent l'entrée des systèmes interstitiels dans un état similaire à celui d'eutrophie.

Dans de telles conditions, l'abondance et la diversité des communautés biotiques naturelles décroissent au profit d'espèces microbiennes nouvelles qui deviennent prédominantes dans l'environnement contaminé. Ce sont ces espèces qui contrôleront alors le sort des polluants introduits, entraînant un bouleversement des processus de minéralisation et de purification des eaux (MCNABB et DUNLAP, 1975).

L'altération de la composition et des fonctions trophiques des biocénoses interstitielles, soumises aux effets de polluants, a été par exemple observée dans la rivière d'Adige en Italie (BRAIONI et GOTTARDI, 1979) : la faune des Rotifères interstitiels et la faune benthopériphytique, à l'origine similaires, montrent actuellement certaines différences dans leur diversité et leur abondance.

La pauvreté du psammon est expliquée par l'accumulation de substances polluées dans le milieu interstitiel et le ralentissement de son processus de recolonisation. Ces modifications auraient été plus profondes et prolongées que dans la zone superficielle du fait des caractéristiques particulières au milieu interstitiel : c'est une zone d'accumulation qui peut alors, mieux que le milieu superficiel, mettre en évidence la qualité de l'eau d'un fleuve.

La contamination des eaux souterraines est liée fondamentalement aux activités humaines à la surface du sol (YOUNG, 1974 ; BEHNKE, 1975). Ainsi, la contamination par les nitrates est généralement enregistrée dans des nappes peu profondes en continuité hydrologique avec des sources situées à la surface de la terre :

- fertilisants chimiques
- eaux usées
- irrigation de cultures
- aires de confinement à haute densité animale.

Les nitrates en taux excessif, s'infiltrant dans le sol, ne sont pas absorbés du fait de leurs charges négatives, par les particules du sol. Ils peuvent ainsi migrer avec les eaux de surface jusqu'au système aquifère souterrain où ils forment une couche qui coiffe la nappe et la pollue (BEHNKE, 1975).

L'effet des substances nocives ne dépend cependant pas uniquement de leurs caractéristiques chimiques mais les espèces interstitielles montrent un degré variable de résistance vis à vis des polluants auxquels elles sont soumises.

Ainsi, l'étude de la réaction de certains organismes à des concentrations variées d'effluents d'une usine de titane a confirmé l'existence d'une corrélation entre la composition de la faune et le degré de pollution dans un milieu donné (RAJAN et BALAKRISHNAN NAIR, 1974).

Ce sont donc essentiellement les interactions des polluants et des organismes qui déterminent les effets finaux d'une source de contamination sur la qualité de l'eau souterraine.

Elles peuvent être bénéfiques si elles aboutissent à l'élimination des polluants organiques par minéralisation ou dénitrification.

Mais, elles peuvent être aussi préjudiciables lorsqu'elles donnent lieu à des éléments métaboliques nocifs, ou lorsqu'elles réduisent la perméabilité de la nappe en obstruant l'espace interstitiel par des polymères métaboliques (MCNABB et DUNLAP, 1975).

Une compréhension des systèmes physique, chimique et biologique par lesquels l'eau transite apparaît ainsi fondamentale pour une analyse et une interprétation correcte des risques de pollution (BEHNKE, 1975).

L'altération biologique s'avère cependant la plus importante pour la détermination de l'effet d'un polluant sur la qualité de l'eau souterraine : il serait alors nécessaire d'étudier plus précisément l'étendue et la nature de l'activité microbienne dans les régions hypogées, en vue de comprendre les processus biologiques. Ceux-ci pourraient être ensuite maîtrisés dans le sens d'une dégradation maximale des polluants au niveau des eaux interstitielles (MCNABB et DUNLAP, 1975).

Les hydrogéologues ont également proposé des méthodes de manipulation des nappes en vue de contrôler le cycle de l'eau et d'optimiser les réserves en eau souterraine.

Certains ont, par exemple, suggéré de vider un réservoir naturel afin de suivre sa régénération dans le temps par les eaux d'infiltration.

Si l'idée d'abaisser le niveau de l'eau souterraine sur de grandes surfaces apparaît ainsi attrayante, elle est également fortement dangereuse du fait de toutes les conséquences écologiques qu'elle implique (DANIELOPOL, 1980).

VII - EXPLOITATION DE L'EAU SOUTERRAINE

. L'utilisation des nappes phréatiques pour l'exploitation de leurs ressources en eau doit être dictée par leurs 5 propriétés fondamentales (HELWEG, 1979).

1 - Quantité d'eau contenue : l'eau souterraine représente 97 % des ressources en eau douce de la terre

- 2 - Temps de réponse : la durée nécessaire à l'extraction ou à la recharge de l'eau souterraine peut être aussi longue que des millénaires alors qu'elle est seulement de quelques années pour les réservoirs de surface.
- 3 - Qualité de l'eau : dans des conditions normales, l'eau souterraine est automatiquement filtrée par l'activité biologique des bactéries du sol et normalement dépourvue d'agents pathogènes.

A moins d'une contamination de surface sévère, l'eau souterraine est presque toujours de meilleure qualité organique que l'eau de surface et contient une plus haute teneur en solides dissous du fait de son contact prolongé avec le substrat.

Remarque : les normes internationales pour la qualité de l'eau buvable, établies par le "World Health Organisation" (W.H.O.), s'appuient sur 5 classes de paramètres : polluants biologiques, radioactifs, composés toxiques, chimiques et caractéristiques physicochimiques de l'eau.

- 4 - Impacts écologiques de l'utilisation d'une nappe : une nappe est un réservoir naturel et ne nécessite donc pas qu'une zone superficielle soit noyée pour la créer.
De même, pouvant être de grande étendue, elle n'implique pas systématiquement des structures de délivrance, hormis des puits creusés aux endroits adéquats.
- 5 - Coût d'investissement : à la différence des eaux de surface, l'exploitation de l'eau souterraine implique un coût initial bas (creusement de puits et installation de pompes) mais un coût élevé d'opération et de maintenance. Ce dernier est essentiellement dû à l'énergie requise pour le fonctionnement de la pompe.

- Le plus grand problème de l'exploitation d'une nappe est le danger de pollution de l'eau souterraine qui peut détruire irréversiblement la nappe à cause de son temps de réponse élevé.

Or, il apparaît souvent difficile de convaincre chacun des utilisateurs potentiels que l'installation de fosses septiques, le dépôt d'ordures ou encore des opérations telle l'irrigation menacent tous autant l'eau souterraine.

La méthode du "Transport accéléré de sel" (ASTRAN) souligne l'avantage d'un tel contrôle ; cette technique consiste à distribuer des eaux d'irrigation dans une vallée de telle sorte qu'un gradient de la qualité de l'eau soit maintenu entre l'eau d'irrigation appliquée sur une aire donnée et l'eau souterraine sous-jacente (HELWEG, 1979).

- L'utilisation croissante de l'eau souterraine ne permet pas aux processus naturels d'infiltration à l'intérieur du cycle hydrologique de maintenir constantes les réserves en eau souterraine.

De ce fait, les techniques de recharge artificielle apparaissent souvent nécessaires et sont de plus en plus utilisées.

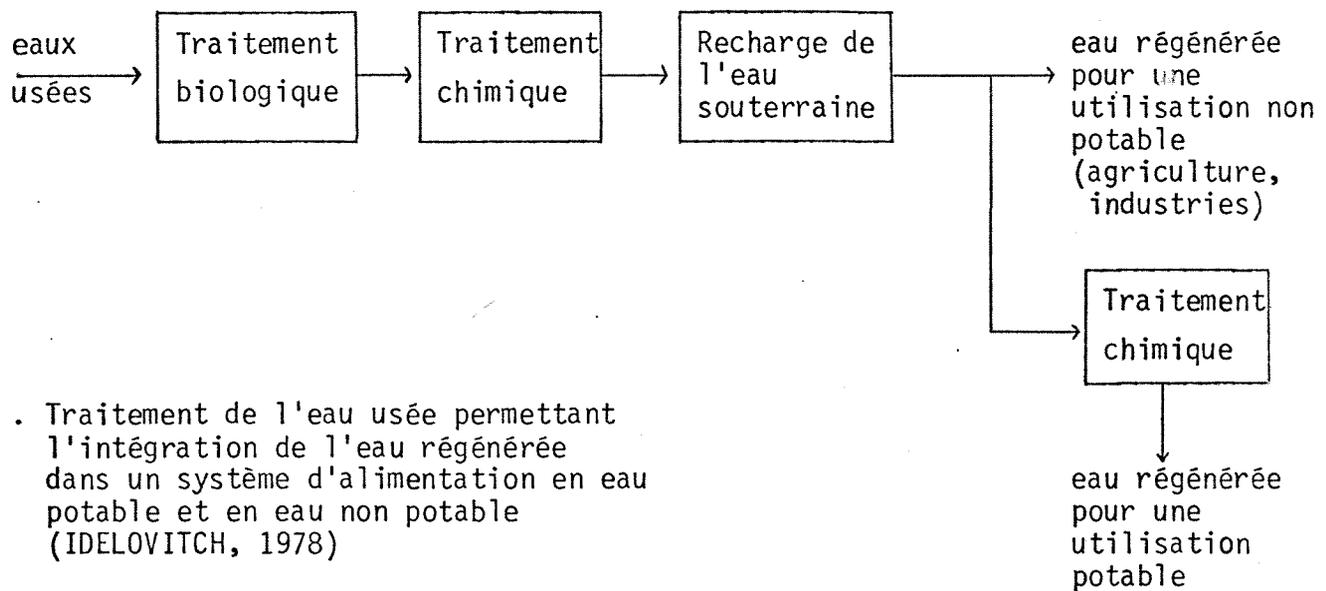
De la même façon que l'extraction des eaux souterraines, ces méthodes de restauration ne peuvent être sans impact écologique sur le milieu qu'elles exploitent.

En effet, l'inondation artificielle de zones de surface, l'irrigation ou encore l'installation de bassins, de digues et de canaux provoquent une modification du niveau piézométrique et ainsi une évolution dans la distribution des habitats saturés et insaturés du sol (DANIELOPOL, 1980).

Aussi, des opérations telles la recharge des réserves en eau souterraine et leur exploitation doivent être considérées à l'intérieur d'un vaste plan d'aménagement incluant à la fois paramètres physico-chimiques et biologiques : ceci permettrait d'optimiser l'utilisation de ressources naturelles en minimisant les perturbations du milieu souterrain.

La réutilisation des eaux usées a ainsi fait l'objet en Israël d'un projet incluant un traitement biologique suivi d'un traitement chimique des eaux usées : l'ensemble produit un effluent de haute qualité convenable pour la recharge de l'eau souterraine dans des nappes potables.

Ceci nécessite cependant que les opérations de recharge et d'extraction soient menées précautionneusement et qu'un contrôle hydrogéochimique permanent soit effectué (IDELOVITCH, 1978).



• Traitement de l'eau usée permettant l'intégration de l'eau régénérée dans un système d'alimentation en eau potable et en eau non potable (IDELOVITCH, 1978)

VIII - CONCLUSION

Les observations qualitatives et les mesures quantitatives menées de plus en plus efficacement sur les milieux interstitiels permettent aux phréatobiologistes et écologistes de cerner plus précisément les relations qui existent entre les conditions physico-chimiques et la répartition de la faune qui prospère dans de tels biotopes.

Bien que chaque nappe aquifère montre des propriétés écologiques particulières, qui la font se distinguer des autres, il n'en reste pas moins qu'une certaine unité existe au niveau du rôle joué par les milieux interstitiels dans le cycle de l'eau.

De nombreux résultats faunistiques tendent à montrer que la plupart des organismes interstitiels se concentrent dans les couches superficielles de l'eau souterraines à 40 - 60 cm de profondeur (WILLIAMS et HYNES, 1974 : REYGROBELLET et DOLE, 1981), où ils exercent une activité prépondérante dans la filtration de l'eau provenant de la surface du sol et percolant en profondeur. La matière organique transitant avec elle, est ainsi décomposée et minéralisée par cette pellicule biologique qui donne aux couches d'eaux plus profondes leur qualité organique.

Ce film épurateur interstitiel peut également, en sens inverse, procéder à un apport biologique de l'eau superficielle alimentée par les nappes profondes (GIBERT et al, 1981).

De cette propriété fondamentale de la zone insaturée des milieux interstitiels dépend donc notre alimentation en eau souterraine qui constitue, en effet, la majeure partie des ressources hydriques de la terre (HELWEG, 1978) et qui, surtout, fournit une eau buvable de première qualité.

Or, le développement souvent non contrôlé des activités humaines à la surface du sol fait que ces réserves souterraines sont de plus en plus gravement menacées par la pollution.

Une coopération immédiate et efficace entre hydrologistes, chimistes et biologistes s'avère alors indispensable pour utiliser de façon optimale les capacités hydrologiques du milieu souterrain sans exercer sur celui-ci de contraintes à effets nocifs et irréversibles (DANIELOPOL, 1980 : HELWEG, 1978).

Troisieme partie :

References bibliographiques

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

- BABAEV (A.G.), DOBRIN (L.G.).- Natural landscape changes within the zone of kara-kum canal influence Turkmen-SSR USSR.- Problemy Osvoeniya pustyn, 1979, 6 : p 3-9
- BARNES (R.S.K.), SATTELLE (D.B.), EVERTON (I.J.).- Intertidal sands and interstitial fauna associated with different stages of salt - Marsh development.- Estuar. Coast. Mar. Sci, 1976, 4 (5) : p. 497-511
- BEHNKE (J).- A summary of the biogeochemistry of nitrogen compounds in Ground Water.- Journal of Hydrology, 1975, 27 (1-2) : p. 155-167
- BOU (Cl).- Recherches sur les eaux souterraines. 25 : les méthodes de récolte dans les eaux souterraines interstitielles.- Ann. Speleol., 1974, 29 (4) : p. 611-619
- BRAIONI (M.G.), GOTTARDI (M.).- I rotiferi dell'Adige : confronto tra il popolamento interstiziale e quello bentico-perifitico.- Boll. Mus. Civ. St. Nat. Verona, 1979, 6 : p. 187-219
- COFFIN (D.).- Contribution à l'étude écologique des eaux du site de Pierrelatte.- AO - CNRS 12687 (Thèse 3è cycle Aix-Marseille), 1976, p. 1-251
- COLEMAN (M.J.); HYNES (H.B.N.).- The vertical distribution of the invertebrate fauna in the bed of a stream.- Limnol. Oceanogr., 1970, 15 : p. 31-40
- CONRAD (J.E.).- An inexpensive apparatus for comparative meiofauna colonization experiments in low energy environments.- Estuar. Coast. Mar. Sci, 1977, 5 (6) : p. 825-827
- DANIELOPOL (Dan.L.).- Sur la distribution géographique de la faune interstitielle du Danube et de certains de ses affluents en Basse-Autriche.- Int. J. Speleol, 1976, 8 (4) : p. 323-329
- DANIELOPOL (Dan.L.).- The role of the limnologist in ground water studies.- Int. Revue Ges. Hydrobiol., 1980, 65 (6) : p. 771-791
- DE BOVEE (F), COINEAU (N), SOYER (J), TRAVE (J).- Sur l'existence d'une faunule interstitielle littorale dans l'archipel de Kerguelen (Terres australes et antarctiques françaises).- C.R. Acad. Sci, 1973, D, 276 (6) : p. 1041-1044
- DRAKE (J.J.).- The effect of soil activity on the chemistry of carbonate ground waters.- Water Ressources Research, 1980, 16 (2) : p. 381-386
- EDMONDS (R.L.).- Survival of coliform bacteria in sewage sludge applied to a forest clearcut and potential movement into ground water.- Applied and Environmental Microbiology, 1976, 32 (4) : p. 537-546

- FERRARESE (U), SAMBUGAR (B).- Ricerche sulla fauna interstiziale ipporreica dell' Adige in relazione allo stato di inquinamento del Ficeme.- Riv. Idrobiol, 1977, 15 (1) : p. 47-127
- FRANKEN (M), FRANKEN (W).- Limnological studies on the grosser Bullensee an acid health lake in northern Germany. part 1 : Chemistry hydrology and phytoplankton.- Archiv. fuer Hydrobiologie Supplementband, 1978, 53 (3) : p. 363-403
- GEPTNER (M.V.).- Atoll as an ecological unity.- Zhurnal Obshchei Biologii, 1979, 40 (4) : p. 544-560
- GIBERT (J), GINET (R), MATHIEU (J), REYGROBELLET (J.L.).- Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. IX : analyse des peuplements de deux stations phréatiques alimentant des bras morts.- Int. J. Speleol, 1981, 11 : p. 141-158
- GIBERT (J), GINET (R), MATHIEU (J), REYGROBELLET (J.L.), SEYED-REIHANI (A).- Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. IV : le peuplement des eaux phréatiques, premiers résultats.- Ann. Limnol, 1977, 13 (1) : p. 83-97
- HEIDMAN (J.A.), BRUNNER (D.R.).- Solid wastes and water quality.- Journal Water Pollution Control Federation, 1975, 47 (6) : p. 1492-1498
- HELWEG (O.J.).- Regional ground water management.- Ground Water, 1978, 16 (5) p. 318-321
- IDELOVITCH (E).- Waste water reuse by biological chemical treatment and ground water recharge.- Journal Water Pollution Control Federation, 1978, 50 (12) p. 2723-2740
- ISKANDAR (I.K.).- The effect of waste water reuse in cold regions on land treatment systems.- Journal of Environmental quality, 1978, 7 (3) : p. 361-368
- JOHANNES (R.E.).- The ecological significance of the submarine discharge of ground water.- Mar. Ecol. Prog. Serv., 1981, 3 (4) : p. 365-373
- KOZHEMYAKOK (A.P.), VLASOV (I.V.).- Effect of ground water level on biological activity of peat boggy soil under amelioration.- Vestnik Leningradskogo Universiteta Biologiya, 1980, 0 (1) : p. 109-113
- MAGNIEZ (Guy).- Quelques problèmes biogéographiques, écologiques et biologiques de la vie souterraine.- Bull. sc. Bourg., 1978, 31 (1) : p. 21-35
- MCNABB (J.F.), DUNLAP (W.J.).- Subsurface biological activity in relation to ground water pollution. - Ground Water, 1975, 13 (1) : p. 33-44

- MUNBAEKA (O.T.).- Total numbers of bacteria in stratified waters of the Mangyshlak peninsula kazakh - SSR USSR.- Izvestiya Akademii Nauk Kasakhstoï SSR Seriya Biologicheskaya, 1980, 0 (2) : p. 52-55
- PIEPER (H.G.).- Oekophysiologische und produktionsbiologische untersuchungen an jugenstadien von Gammarus fossarum koch 1835.- Arch. Hydrobiol. Suppl, 1978, 54 (3) : p. 257-327
- RAJAN (K.C.), BALAKRISHNAN NAIR (N.).- Effluent resistance of some species of interstitial animals to industrial wastes.- Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente, 1978, 13 (1-2) : p. 125-128
- RASMUSSEN (K.).- The invertebrate fauna of a helocrenous spring ared in eastern jutland Denmark.- Flora og Fauna, 1980, 85 (3-4) : p. 71-81
- REYGROBELLET (J.L.), DOLE (M.J.).- Structure et fonctionnement des ecosystèmes du Haut-Rhône français. XVIII : le milieu interstitiel de la "Lône du Grand Gravier". Premiers résultats hydrologiques et faunistiques.- Polskje Arch. Hydrobiol., sous presse.
- REYGROBELLET (J.L.), MATHIEU (J), GINET (R), GIBERT (J).- Structure et fonctionnement des ecosystèmes du Haut-Rhône français. VIII : hydrologie des deux stations phréatiques dont l'eau alimente des bras morts.- Int. J.Speleol, 1981, 11 : p. 129-139
- ROGOZ (I).- Untersuchengen über die hyporheische Fauna des Oltelz Flussbeckens. - Arch. Hydrobiol. Suppl, 1974, 44 (3) : p. 318-329
- RYLANO (J.S.), NELSON-SMITH (A).- Littoral and benthic investigations on the west coast of Ireland. IV : (A : faunistic and ecological studes). Some shores in counties clare and galway.- Proc. R. Irish. Acad., 1975, B, 75 (11) : p. 245-266
- SUDZUKI (M).- On the microfauna of the antartic region. III : microbia of the terrestrial interstices. - Nem. Nation. Inst. Polar. Res. Spec. Issue, 1979, 11 : p. 104-126
- VENNES (J.W.), NEEL (J.K.), FOSSUM (G.W.), ARNDT (M.).- Some chemical and biological characteristics of ground water in the vicinity of a sanitary land fill.- Proceedings of the north Dakota Academy of Science, 1975, 28 (1), p. 34
- WILLIAMS (D.D.), HYNES (H.B.N.).- The occurrence of benthos deep in the substratum of a stream.- Freshwat. Biol., 1974, 4 : p. 233-256
- YOUNG (R.H.F.).- Pollution effects on surface and ground waters. - Journal Water Pollution Control Federation, 1974, 46 (6) : p. 1419-1429