

Étude chimique et bactériologique de la rivière souterraine de Padirac (France)

Bernard COLLIGNON & Robert FABRIOL

Résumé

La rivière souterraine de Padirac constitue un formidable terrain d'étude hydrochimique, car elle permet de suivre l'essentiel d'une grande percée hydrologique et les divers types d'affluents souterrains. Cette communication présente les résultats de trois campagnes d'analyses chimiques et bactériologiques de l'eau. L'accent a été porté sur la pollution des eaux (nitrates, bactéries) et sur leur état de saturation par rapport à la calcite.

Abstract

The underground river of Padirac is a formidable cave to study the water chemistry, because the caver can follow the water from the sinkholes down to the resurgences, across 20 km of underground river. This paper presents the results of three chemical and bacteriological surveys. We were mainly concerned with the water pollution (nitrates, bacteria) and with the saturation of the water in respect to calcite.

I. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

A. Structure régionale et paysage karstique

Padirac s'ouvre, au sud de la Dordogne, dans la partie septentrionale du Causse de Gramat. Comme les autres causses du Quercy (Limogne, Cajarc et Martel), ce plateau rocailleux est formé par une assise de calcaires jurassiques. Il se situe à la limite occidentale du Massif Central cristallin, en bordure externe du bassin d'Aquitaine (Fig. 1).

C'est un plateau d'altitude modérée (200 à 400 m). Il n'y a pratiquement pas d'eau en surface et la roche calcaire affleure un peu partout. Les rares écoulements s'enfoncent sous terre dès qu'ils en trouvent l'occasion dans d'innombrables dolines et fissures. Même les rivières qui drainent les bassins versants marneux contigus disparaissent sous terre dès qu'elles atteignent la limite des calcaires jurassiques. Les pertes d'Auru, de Battut, de Goubert et d'Andrieu sont ainsi situées exactement à la limite de la Limargue marneuse et du causse calcaire (Fig. 2 et 3).

B. Lithostratigraphie

Les causses constituent la marge nord-est du bassin sédimentaire d'Aquitaine qui vient recouvrir ici, en discordance, le Massif Central cristallin. Dans cette

série sédimentaire, ce sont les calcaires du Jurassique moyen et supérieur (Dogger et Malm) qui intéresseront le spéléologue et le karstologue.

Ils forment un ensemble compact et assez homogène de 500 m d'épaisseur. Ils correspondent à un ancien récif corallien qui a bordé la zone émergée du Massif Central pendant plusieurs dizaines de millions d'années, au Jurassique. Comme toute formation récifale, cette série comporte de fortes variations latérales de faciès, mais cela ne modifie pas la nature d'ensemble de la série : des calcaires massifs bien karstifiables.

Les calcaires du Dogger reposent partout sur 60 à 80 mètres de marnes du Toarcien (Jurassique inférieur). Ces marnes constituent le soubassement imperméable de l'aquifère du Dogger.

C. Structures géologiques

Les couches de calcaires jurassiques sont très peu déformées. Depuis leur dépôt, il y a 160 millions d'années, elles n'ont pratiquement pas été plissées. Les pendages sont très faibles (moins de 10° en général). Seules quelques grandes failles découpent les causses. La plus remarquable est la faille de Padirac. Il s'agit d'un grand accident d'orientation est-ouest qui forme la limite méridionale du causse de Padirac. Son rejet vertical est suffisant pour ramener au jour les marnes du

Toarcien dont l'affleurement constitue la Limargue.

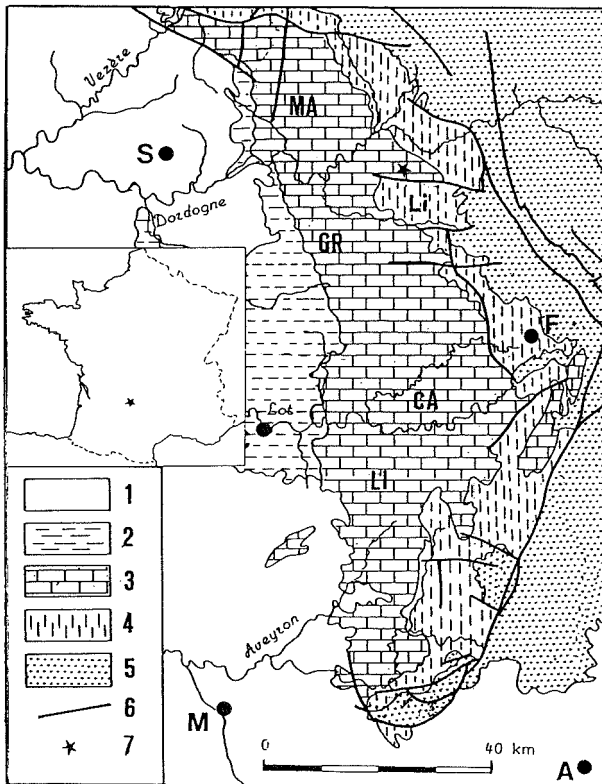


Figure 1. Carte géologique simplifiée des causses du Quercy et situation du gouffre de Padirac.

1 : terrains post-jurassiques non karstifiables (Crétacé, Tertiaire, Quaternaire).

2 : Jurassique supérieur marno-calcaire peu karstifiable.

3 : Jurassique moyen et supérieur très karstifiable (Aalénien à Kimméridgien inférieur).

4 : Jurassique inférieur peu karstifiable, à l'exception d'une barre de calcaires sinémuriens.

5 : socle cristallin et Trias détritique non karstifiable.

6 : faille.

7 : gouffre de Padirac.

A : Albi. C : Cahors. F : Figeac. M : Montauban.

S : Sarlat. CA : Causse de Cajarc. GR : Causse de Gramat. LI : Causse de Limogne. MA : Causse de Martel. Li : Limargue.

D. L'aquifère de Padirac

Il est entièrement situé dans la dalle des calcaires du Jurassique (une dalle qui atteignait 500 m de puissance avant toute érosion). L'aquifère est limité au nord par la vallée de la Dordogne qui tranche l'affleurement des calcaires et les recoupe jusqu'aux marnes imperméables du Toarcien. A l'ouest (Fig. 2), les calcaires s'envoient progressivement sous les marno-calcaires peu perméables du Kimméridgien. Du côté méridional, l'aquifère de Padirac est alimenté par les eaux de quelques rivières

qui drainent de petits bassins versants marneux du Limargue, dont la superficie totale atteint 24 km^2 . A l'est, la limite de l'aquifère passe à travers les calcaires. L'ensemble karstique ainsi délimité fait 92 km^2 , auxquels viennent s'ajouter les 24 km^2 de bassin affluent non calcaire.

E. Hydrologie

Le Causse reçoit 900 mm de pluie en année moyenne. Les précipitations sont assez bien réparties sur toute l'année, avec 60 à 80 mm de précipitations en moyenne pour chaque mois de l'année.

La plus grande partie des eaux qui s'infiltrent dans les calcaires (au niveau des pertes ou à travers les innombrables fissures et dolines des plateaux) ressort à Montvalent, dans un chapelet de sources disposées à la base de l'escarpement des calcaires, dans la vallée de la Dordogne (Fontaines Saint Georges, du Lombard, du Gourget et de la Finou). Quelques percées hydrogéologiques ont été prouvées (Fig. 2).

D'après l'étendue du bassin versant, en considérant une lame d'eau infiltrée de 400 mm, le débit total peut être estimé à une cinquantaine de millions de m^3 par an, soit $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ en moyenne.

II. LE RESEAU SOUTERRAIN

A. Description

Le réseau de Padirac est constitué principalement par la rivière De Lavour, que l'on peut suivre sur 8,5 km, depuis le gouffre d'entrée jusqu'au siphon. De ce siphon aux résurgences de Montvalent, il y a encore plus de 5 km à vol d'oiseau. Cette partie du réseau est pour l'essentiel noyée. Huit affluents se raccordent au réseau principal. Le plus long d'entre eux (l'affluent De Joly) a pu être exploré pratiquement jusqu'à la surface et il contient un riche gisement paléontologique (des ossements de mammifères qui ont été étudiés par Michel Philippe). Dans l'ensemble, la rivière De Lavour est une suite de biefs profonds, où l'on circule en canot. Ces biefs sont séparés par des barrières de calcite et des éboulis en amont desquels il peut y avoir de très fortes mises en charge. La partie centrale du réseau est constituée par des galeries anciennes sèches, l'eau ayant disparu pendant 1500 m dans des éboulis.

B. Historique des explorations

Martel a réalisé les premières explorations de Padirac en 1889. Vivement impressionné par l'immensité des galeries, il considère alors ce réseau comme "la plus belle de (ses) découvertes". En 1937, les explorations

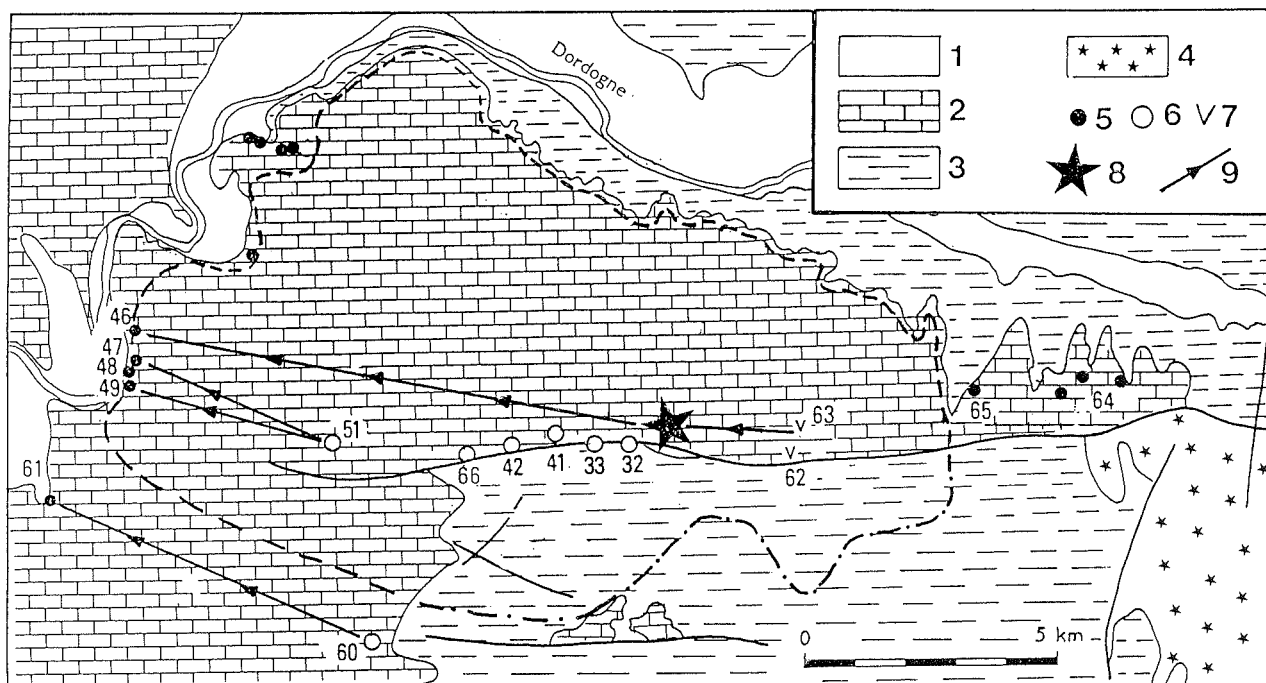


Figure 2. Le bassin hydrogéologique de Padirac.

1 : alluvions de la Dordogne. 2 : calcaires jurassiques. 3 : marnes et calcaires liasiques. 4 : Trias et socle cristallin.

5 : sources et résurgences. 6 : pertes. 7 : gouffre pénétrable. 8 : gouffre de Padirac. 9 : percée hydrogéologique prouvée par traçage. Les numéros indiqués sur la carte renvoient aux échantillons d'eau analysés. 32 : perte de Andrieur. 33 : perte de Goubert. 41 : perte du Batut. 42 : perte d'Auru. 46 : fontaine Saint Georges. 47 : fontaine du Lombard. 48 : fontaine du Gourget. 49 : fontaine de la Finou. Ces quatre fontaines constituent les résurgences de Montvalent. 51 : perte de Roque de Cor. 60 : perte de Réveillon. 61 : résurgence des Limons. 62 : aven de Teulier. 63 : aven de Rouquet. 64 : sources Tourd, Mandine et Merdaillou. 65 : source d'Autoire. 66 : perte de Lavalade.

reprennent, sous l'impulsion de De Lavour, dont le nom reste attaché à la rivière principale. Le siphon est atteint en 1962 par une équipe entraînée par Lesur. Depuis, de nombreux affluents ont été explorés, portant l'ensemble du développement à plus de 20 km. La zone noyée a été explorée sur plus de 2 km à partir de la résurgence (Fontaine Saint Georges) et sur 2 km à partir du siphon.

HI. PHYSICO-CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES

A. Les études hydrochimiques à Padirac : méthodes et objectifs

Lors des expéditions de 1974, 76 et 77, des mesures physico-chimiques ont été réalisées tout au long du réseau (COUS TOU, 1979).

Plus récemment (expéditions 1985 et 1989), Robert Fabriol a procédé à des mesures et des analyses in situ. En 1985, les mesures ont été réalisées pendant une

période sans pluie (31/3 au 5/4). En 1989, l'expédition a eu lieu pendant une période de fortes pluies (2/4 au 7/4) avec des crues très nettes qui ont perturbé les mesures.

Au cours de l'expédition 1991, Bernard Collignon et Jean François Fabriol ont étudié systématiquement les eaux souterraines du réseau de Padirac, les pertes qui l'alimentent, quelques petites sources alimentant ces pertes et les résurgences connues. Sur le terrain, ils ont dosé le CO_2 atmosphérique, le CO_2 dissous et HCO_3^- et mesuré la température et le pH. Les autres paramètres chimiques (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl) ont été mesurés au Laboratoire d'hydrogéologie de l'université d'Avignon (équipe du Pr Blavoux), qui s'est spécialisé dans l'étude chimique et isotopique des eaux karstiques.

Pendant la campagne de 1991 (2/3 au 8/3), bien que ce fût l'hiver, les débits étaient assez faibles. Certaines

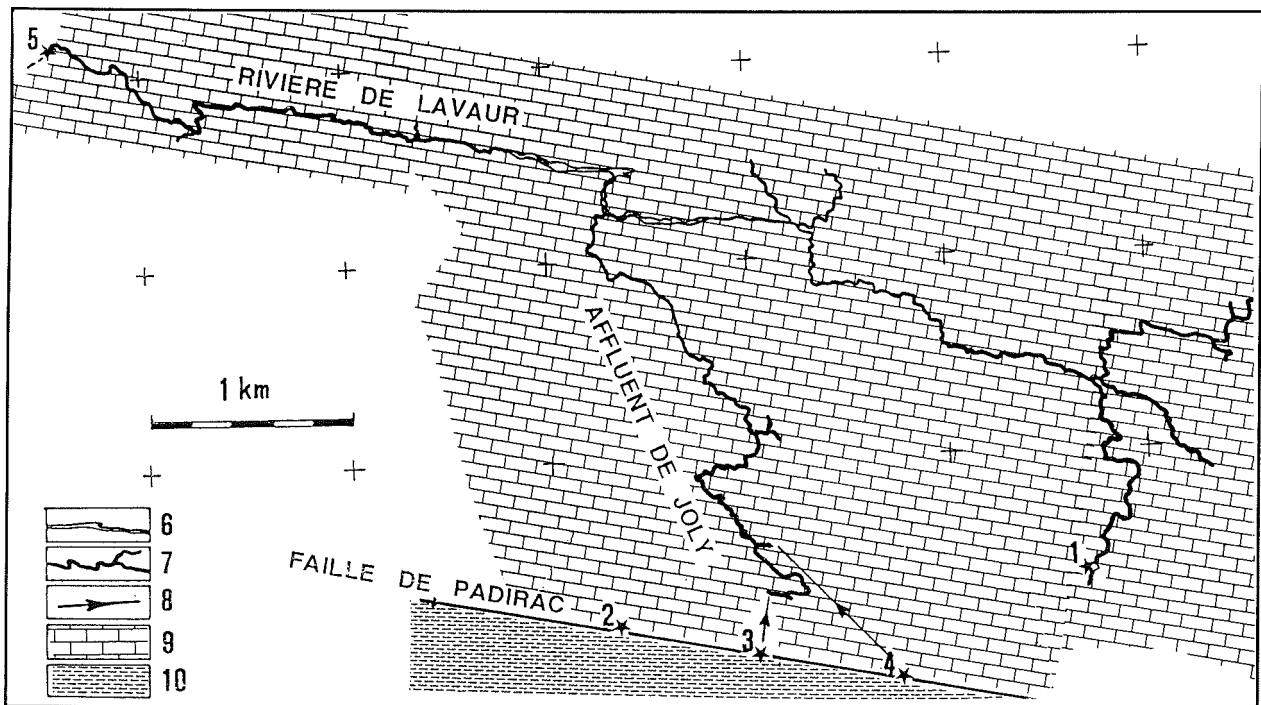


Figure 3. Plan du réseau souterrain de Padirac.

1 : gouffre d'entrée. 2 : perte du Battut. 3 : perte de Goubert. 4 : perte d'Andrieu. 5 : siphon. 6 : galerie sèche. 7 : galerie occupée par une rivière. 8 : traçage. 9 : calcaires aquifères du Dogger. 10 : marnes et calcaires du Lias peu perméables.

perdes étaient tariées (Roque de Cor, Salvage). Et la Fontaine Saint Georges comme la rivière De Lavour ne charriaient guère plus de 100 l/s (alors que leur module annuel est de 1000 à 2000 l/s). Ces faibles débits s'expliquent par une longue période de déficit pluviométrique (1988/1990). Début 1991, les aquifères superficiels (l'épikarst) sont vides et les pluies de l'hiver ne les ont pas encore saturés. Le débit de la rivière pendant la campagne de mesure était donc comparable à celui d'un léger étéage.

B. La température de l'eau

La température de l'eau est un des indicateurs qui sont le plus simples à mesurer. Elle donne des informations intéressantes sur la durée du séjour souterrain des eaux et elle permet souvent de discriminer des eaux d'origine différente. Voici les observations de 1991.

1. La température de l'eau est assez stable tout au long de la rivière De Lavour, croissant légèrement depuis 12,0 °C au niveau du gouffre jusqu'à 12,5 au siphon et 13,1 à la résurgence.
2. Les petits écoulements qui correspondent à "l'essorage" du karst sont relativement chauds (températures > 12,5 °C). Il s'agit soit de petites arrivées d'eau incrustante au plafond des galeries ou de

suintements sur les joints ou les diaclases. Ces écoulements sont toujours fortement sursaturés par rapport à la calcite, ce qui témoigne de leur long temps de séjour souterrain au contact de la roche calcaire.

3. Par contre, on trouve les eaux les plus froides dans l'affluent De Joly (10,5 °C en aval du chaos Fabriol). Il est intéressant de noter que c'est aussi le seul affluent qui soit non saturé par rapport à la calcite. Tout ceci concorde bien avec le fait que cet affluent soit alimenté rapidement par les pertes de rivières exogènes et non par l'aquifère karstique lui-même (la communication rapide avec les pertes de Goubert et Andrieu a été prouvée par les traçages du CDS Lot, en 1984 et 1985).

C. Le CO₂ atmosphérique

Nous avons mesuré la teneur de l'atmosphère souterraine en gaz carbonique (en utilisant un compteur DRAEGER). Cette teneur est très stable à la surface de la Terre (0,03 %). Par contre, elle varie fortement d'une grotte à l'autre. Plusieurs grottes du Lot sont d'ailleurs réputées pour leur atmosphère riche en CO₂. Ce gaz ne se forme pas dans les grottes elles-mêmes. Il provient de la respiration et de la décomposition des organismes vivant dans le sol. Il est entraîné sous terre par les eaux d'infiltration et par densité, à travers le réseau de fissures (Ex & GEWELT, 1985).

1. A Padirac, les taux de CO_2 que nous avons mesurés début mars 1992 sont assez faibles (0,04 à 0,55 %), à comparer aux valeurs plus fortes observées par Coustou en septembre 76 (0,5 à 1,8 %). Explication probable : en hiver, l'activité biologique du sol est très faible et les eaux d'infiltration n'entraînent donc que peu de gaz carbonique sous terre. Au contraire, à la fin de l'été, l'atmosphère souterraine est encore très riche du CO_2 qui a été entraîné sous terre, par la rivière, tout au long du printemps et de l'été.

2. Les taux de CO_2 atmosphérique sont régulièrement croissants de l'amont (0,03 % au gouffre et aux pertes) vers l'aval (0,5 % au siphon). Coustou avait observé le

même phénomène en 1974 et 1976 (Fig. 4).

Explications possibles de cette évolution amont-aval :

- dans la zone d'entrée, les échanges avec l'atmosphère extérieure sont intenses ; plus on pénètre sous terre, plus ces échanges diminuent et plus l'atmosphère souterraine se rapproche de l'état d'équilibre avec l'eau chargée de gaz carbonique ;

- les petites arrivées d'eau incrustante que l'on trouve tout au long de la rivière sont très chargées en gaz carbonique et contribuent à l'enrichissement de l'atmosphère.

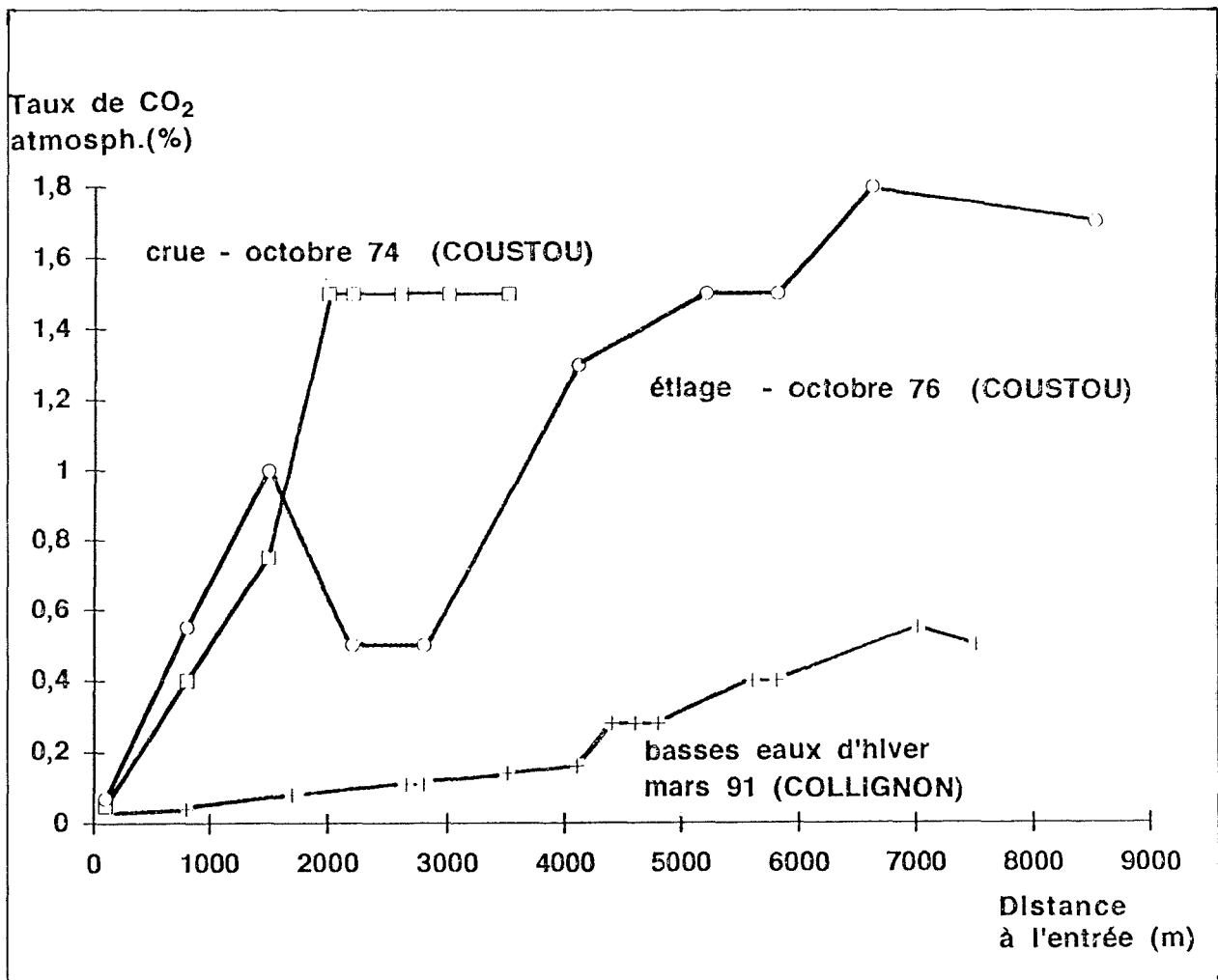


Figure 4. Evolution de la teneur atmosphérique en CO_2 le long de la rivière souterraine de Padirac, en fonction de la distance au gouffre d'entrée.

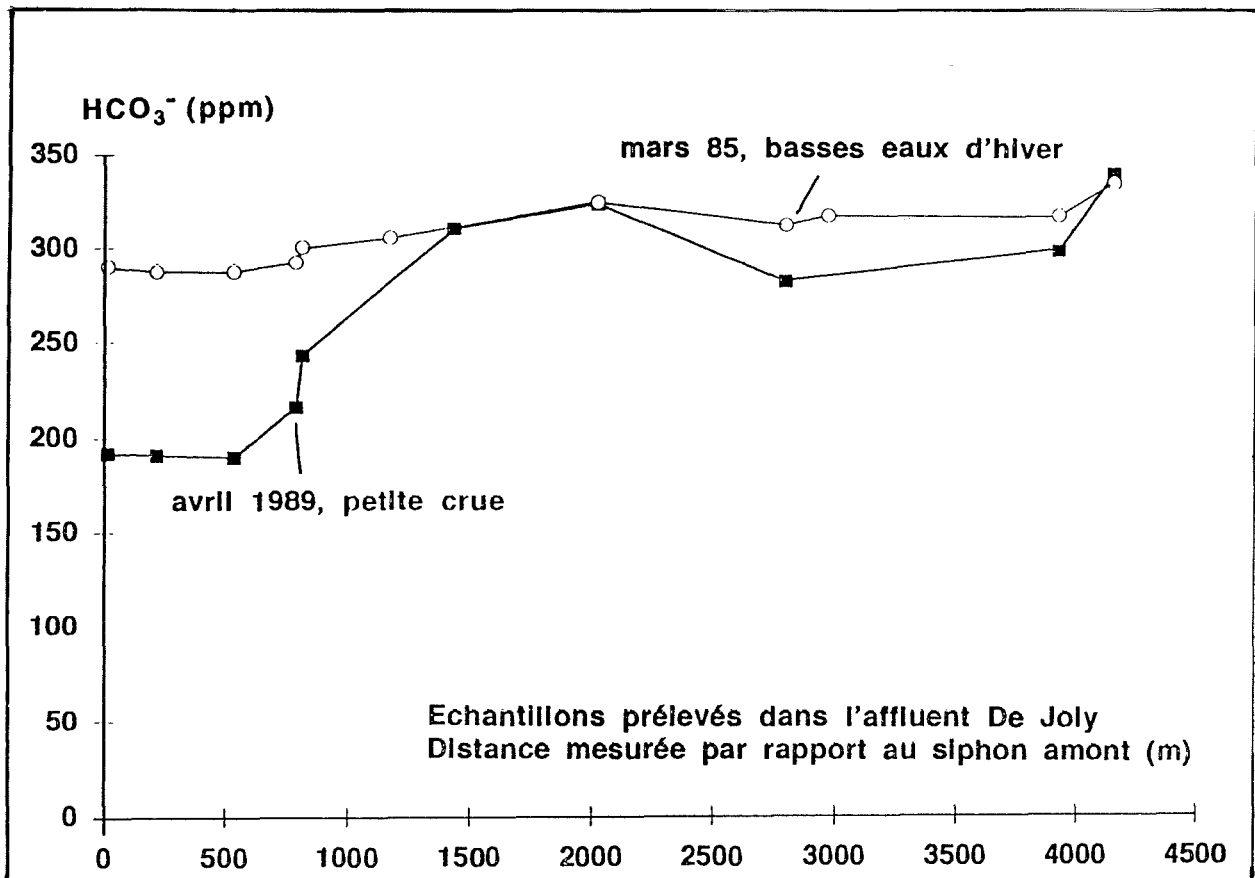


Figure 5. Comparaison de la charge carbonatée des eaux de l'affluent De Joly en basses eaux (3/1985) et en hautes eaux (4/1989). On voit que le contraste entre les deux séries de mesures est fort à proximité du siphon, puis s'atténue progressivement vers l'aval, au fur et à mesure que les eaux atteignent l'équilibre chimique avec la roche et l'atmosphère souterraine.

D. Les équilibres calco-carboniques

Toutes les eaux analysées sont typiques d'un aquifère calcaire, c'est-à-dire qu'elles sont essentiellement bicarbonatées calciques, pauvres en chlorure et sulfate. A un échantillon près, les bicarbonates représentent toujours plus de 80% des anions et le calcium plus de 88% des cations.

Lors des campagnes de mesures en basses eaux, tous les échantillons étudiés étaient fortement chargés en bicarbonates (290 à 370 mg/l en 1985 et 275 à 380 mg/l en 1991) et la plupart d'entre eux étaient sursaturés par rapport à la calcite. Ces eaux n'avaient donc aucun potentiel corrosif à cette époque de basses eaux hivernales. Au contraire, elles étaient susceptibles de déposer de la calcite pour former des gours. Leur taux de sursaturation peut être exprimé par la différence entre le pH mesuré et le pH d'équilibre d'une eau contenant les mêmes quantités de Ca²⁺ et de HCO₃⁻ (1979). Dans la rivière De Lavour, ces "delta pH" varient entre 0,14 et 0,79.

Pas de dissolution en basses eaux ? Quand les galeries se creusent-elles donc ? En périodes de hautes eaux. Les mesures réalisées en 1989 dans l'affluent De Joly illustrent bien ce phénomène. Elles ont été réalisées en période de crue. On voit alors des eaux relativement peu chargées sortir du siphon amont (avec seulement 190 mg/l de bicarbonates). Elles se chargent petit à petit en attaquant la roche. Après 1500 m de parcours, elles deviennent aussi chargées que celles que l'on rencontre à l'étiage (Fig. 5).

E. La pollution par les nitrates

Dans les pays développés, la pollution des eaux souterraines par les nitrates constitue l'un des problèmes les plus aigus de dégradation de l'environnement. Cette pollution est principalement causée par des pratiques agricoles peu soucieuses de l'environnement : l'emploi d'engrais azotés en excès par rapport aux besoins des plantes et les fortes concentrations de production animale. Dans les régions calcaires fortement cultivées, cette pollution atteint des niveaux préoccupants, qui

dépassent souvent le taux de 45 mg/l de nitrates admis pour l'eau potable (COLLIGNON, 1991).

Qu'en est-il sous un plateau calcaire comme le causse de Gramat ? Il ne porte certes guère de céréales ni d'autres cultures fortes consommatrices d'engrais. Mais le Quercy est réputé pour ses moutons et tous les causses sont pâturés. De plus, les petites agglomérations comme Miers rejettent directement vers l'aquifère leurs eaux usées.

Bonne surprise ! Les eaux analysées contiennent relativement peu de nitrates. 80 % des échantillons contiennent moins de 6 mg/l de nitrates (dont toutes les résurgences). De ce point de vue, elles sont d'une excellente qualité chimique. Seuls 10 % des échantillons en contiennent plus de 10 mg/l, sans qu'aucun ne dépasse 22 mg/l. Parmi ces échantillons relativement pollués, la perte d'Auru, qui recueille les eaux usées du village de Miers

Conclusion : la situation de la pollution nitratée des eaux souterraines du Quercy reste "globalement positive". Les égouts des villages du plateau sont à l'origine de pointes de pollution assez fortes.

F. Fer et manganèse

Le fer et le manganèse ne constituent que des éléments traces dans les eaux du karst (elles en contiennent moins de 1 mg/l en général). Pourquoi ? Parce qu'il y en a très peu dans les calcaires eux-mêmes et parce que ces éléments, transportés dans les galeries souterraines bien aérées, ont tendance à s'oxyder et à précipiter alors sous forme d'hydroxydes et de carbonates peu solubles. Ils forment ainsi de minces couches de patine noire que les spéléos ont l'habitude de trouver sur les parois des rivières souterraines.

Effectivement, à Padirac, nous avons trouvé des eaux contenant généralement moins de 0,4 mg/l de fer et moins de 0,1 mg/l de manganèse. Les concentrations mesurées varient rapidement d'un point de l'écoulement à l'autre, en fonction des conditions d'oxydation locales (agitation de l'eau, épaisseur de la couche d'eau,...).

En basses eaux d'hiver, on observe une baisse sensible des teneurs depuis l'amont vers l'aval. Le fer et le manganèse se sont déposés en cours de route. Les patines noires sont effectivement très abondantes tout au long de la rivière De Lavaur et de l'affluent De Joly. Les eaux de l'affluent De Joly sont plus chargées, ce qui correspond à son alimentation par les pertes toutes proches. Le fer et le manganèse ainsi transportés jouent vraisemblablement un rôle dans la fossilisation des

ossements que l'on trouve dans ce réseau.

En période de hautes eaux, il est vraisemblable qu'une partie du fer et du manganèse déposés en basses eaux soit remobilisée par les eaux plus agressives. La corrosion redémarre sur les parois des galeries et le fer et le manganèse sont évacués vers l'aval avec les transports solides.

IV. BACTERIOLOGIE

Les aquifères karstiques sont particulièrement vulnérables à la pollution bactérienne, car les eaux s'y infiltrent très rapidement. Ainsi, les processus naturels d'auto-épuration n'ont pas le temps de jouer et les bactéries peuvent transiter jusqu'aux résurgences qui sont souvent captées pour l'alimentation en eau potable. Les sources karstiques sont ainsi celles qui sont les plus vulnérables à la pollution.

Qu'en est-il sous les causses du Quercy ? On pourrait les croire à l'abri du danger car ils sont relativement peu peuplés.

Nous avons analysé 20 échantillons d'eau. Deux tiers des échantillons contenaient de très fortes charges bactériennes (plus de 500 colonies par 100 ml). Il était même difficile de distinguer parmi elles les coliformes, c'est-à-dire celles qui sont des indicateurs directs de la pollution fécale. A l'avenir, il faudra prévoir des prélèvements beaucoup plus petits (5 à 10 ml), pour pouvoir mieux étudier les cultures.

A. Points d'eau peu pollués

Les prélèvements les moins chargés (11 à 150 colonies par 100 ml) sont vraisemblablement les plus potables. Ce sont :

- quatre arrivées d'eau très incrustante, qui correspondent à la lente vidange de l'épikarst ;
- l'affluent Viré et la "Fontaine" du gouffre de Padirac (là où la rivière débouche dans la cavité); leur relativement bonne qualité suggère que ces rivières ne sont pas alimentées directement par des pertes concentrées, mais par le drainage de "magasins" où les eaux ont séjourné plus longtemps ;
- la Fontaine Saint Georges (résurgence principale) ; en dehors des périodes de crue, l'eau n'y parvient qu'après plusieurs mois de transit souterrain, ce qui semble suffisant pour éliminer la pollution bactérienne ; en période de crue, par contre, le transit est alors certainement beaucoup plus rapide (en octobre 1976, un traçage réalisé par Coustou n'a mis que quatre jours pour aller de l'amont de la rivière De Lavaur aux résurgences). La qualité bactériologique des eaux est

alors certainement médiocre, comme cela a été montré plus au sud du causse de Gramat, dans le réseau de l'Ouyse souterraine (BEAUDOING *et al.*, 1988).

B. Points d'eau très pollués

La rivière De Lavaur est fortement polluée du terminus des touristes au siphon. Les sources de contamination potentielle sont nombreuses : toilettes de la station touristique, spéléos, affluents pollués.

Certains affluents sont fortement pollués (De Joly, Marchou). Ils sont vraisemblablement alimentés directement par des pertes concentrées.

Toutes les pertes sont très fortement contaminées, ce qui signifie que le peu de population présent à la surface du causse est largement suffisant pour contaminer les eaux.

Bien qu'ils soient peu peuplés, les causses du Quercy ne sont donc pas à l'abri de la pollution bactérienne, à cause des nombreux égouts dont les eaux sont rejetées sans traitement dans le milieu naturel. Une ressource en eau souterraine très considérable est ainsi gâchée par pure incurie !

V. CONCLUSIONS

Pour les scientifiques, Padirac est un des réseaux les plus intéressants de France, car on peut y suivre, des pertes aux résurgences, la quasi-intégralité d'un grand collecteur souterrain. On y trouve rassemblés tous les types d'écoulements karstiques : pertes concentrées, percolation à travers l'épikarst, écoulement en drains, lacs souterrains, gours, résurgence après un long séjour en magasin.

L'étude fine de tels écoulements nécessite de mesurer sous terre tous les paramètres des équilibres calco-carboniques. C'est un peu délicat, mais pas impossible, même au cours de longues expéditions dans un réseau sportif comme celui-ci.

Les mesures faites dans tout le système hydrologique rangent clairement à part l'affluent De Joly, qui est directement alimenté par des ruissellements de surface (ce qui transparait dans sa forte pollution bactérienne, sa faible température, et sa sous-saturation par rapport à la calcite), au contraire d'autres affluents comme le Bonnebouche. Les paramètres physico-chimiques constituent donc de bons marqueurs de l'origine des eaux, même à l'intérieur d'un système karstique où les faciès chimiques sont peu variés.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- ASTRUC, J.-G. & SOULE, J.-C., 1977. Hydrogéologie du Quercy. Suppl. *Quercy Recherche*, vol.3, 110 p. + carte.
- BAKALOWICZ, M., 1979. Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse (Paris 6). 269 p.
- BEAUDOING, G. *et al.*, 1988. Méthodologie des traceurs appliquée à la détermination des paramètres de transfert de l'eau et du pouvoir auto-épurateur des réseaux karstiques : étude du Causse de Gramat. *Actes 4^e Coll. hydrolog. Pays calcaire (Besançon)* : 1-8.
- COLLIGNON, B., 1991. La pollution des eaux du karst par les nitrates. *Comm. 19^e Congr. F.F.S (Montpellier)*.
- COUSTOU, J.-C., 1979. Mesures et observations sur le CO₂ et la physico-chimie de la rivière souterraine. *In: "Padirac 1979"* : 211-218.
- DELFAUD, J., 1978. Le Jurassique et le Crétacé inférieur (du Quercy). *In "Géologie du Quercy"*, suppl. *Quercy Recherche*, vol.4 : 33-57.
- DURAND, M., 1986. La zone des pertes associées à l'affluent de Joly. *Bull. C.D.S. LOT*, 8 : 52-60.
- EX, C. & GEWELT, M., 1985. Carbon dioxide in caves atmosphere. New results in Belgium and comparison with some other countries. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10 : 173-187.
- FABRIOL, R., 1986. Evolution chimique de l'eau de l'affluent De Joly. *Bull. C.D.S. LOT*, 8 : 41-46.
- LARRIBE, D., 1979. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la rivière souterraine de Padirac. *In: "Padirac 1979"* : 95-133.

Adresses des auteurs :

Bernard Collignon
S.C.Orsay Faculté
2, rue Soljénitsyne, appt. 20
F-91000 EVRY
FRANCE.

Associé au Laboratoire d'hydrogéologie
de la Faculté des sciences d'Avignon.

Robert Fabriol
S.C.Orsay Faculté
45, rue Gustave Flaubert
F-45100 ORLEANS
FRANCE