

La karstification profonde dans le Jura à partir des observations faites lors du percement du tunnel du LEP (Ain et canton de Genève)

Jean-Claude Fourneaux, B. Landru, Laure Sommeria

Citer ce document / Cite this document :

Fourneaux Jean-Claude, Landru B., Sommeria Laure. La karstification profonde dans le Jura à partir des observations faites lors du percement du tunnel du LEP (Ain et canton de Genève). In: Karstologia : revue de karstologie et de spéléologie physique, n°16, 2e semestre 1990. pp. 1-8;

doi : <https://doi.org/10.3406/karst.1990.2239>

https://www.persee.fr/doc/karst_0751-7688_1990_num_16_1_2239

Fichier pdf généré le 04/05/2018

Résumé

Le percement du tunnel du LEP s'est fait en partie sous la première chaîne du Jura, au Nord de Genève, dans les formations calcaires du Crétacé inférieur. Cela a permis de nombreuses observations sur la karstification profonde, sur les relations entre le karst actif et les formes profondes ainsi que sur les remplissages dont l'analyse montre l'existence d'un développement ancien de la karstification. Une explication de la karstification sous le niveau de base est proposée.

Abstract

The LEP tunnel drilling, in part under the first Jura range (north of Geneva), in lower Cretaceous limestone formations, gave the opportunity of many observations about the deep karstification, the connexion between these deep forms and the active karst and also about the karstic fillings. It is possible to find three kinds of deposits : the first is green and dating from Cretaceous, the second is red and dating from Oligocene and the third is brown and dating from Quaternary. The karstification is developed under the basic level and an explanation of this development is given here. But the hydrogeologic behaviour of these formations is in connexion with the fissuration like a tracing experiment shown it. If in surface, a big karstic spring have a flow varying from 10 l/s to 10 m³/s, in the tunnel the flow did never overpass ISO Us.



A KARSTIFICATION PROFONDE DANS LE JURA à partir des observations faites lors du percement du tunnel du LEP (Ain et canton de Genève)

□ J.-Cl. FOURNEAUX Laboratoire d'hydrogéologie, Institut Dolomieu,
 et Bruno LANDRU 15 rue Maurice Gignoux, 38031 Grenoble Cedex (Fr.)
 □ Laure SOMMERIA Géologue Conseil, Metz-Tessy, 74370 Pringy (Fr.)

RESUME :

Le percement du tunnel du LEP s'est fait en partie sous la première chaîne du Jura, au Nord de Genève, dans les formations calcaires du Crétacé inférieur. Cela a permis de nombreuses observations sur la karstification profonde, sur les relations entre le karst actif et les formes profondes ainsi que sur les remplissages dont l'analyse montre l'existence d'un développement ancien de la karstification. Une explication de la karstification sous le niveau de base est proposée.

Mots-clés : karst profond, tunnel, hydrogéologie, niveau de base, remplissages, paléokarst, Jura.

ABSTRACT :

The LEP tunnel drilling, in part under the first Jura range (north of Geneva), in lower Cretaceous limestone formations, gave the opportunity of many observations about the deep karstification, the connexion between these deep forms and the active karst and also about the karstic fillings. It is possible to find third kinds of deposits : the first is green and dating from Cretaceous, the second is red and dating from Oligocene and the third is brown and dating from Quaternary. The karstification is developed under the basic level and an explanation of this development is given here. But the hydrogeologic behaviour of these formations is in connexion with the fissuration like a tracing experiment shown it. If in surface, a big karstic spring have a flow varying from 10 l/s to 10 m³/s, in the tunnel the flow did never overpass 180 l/s.

Key-words : deep karst, tunnel, hydrogeology, base level, karstic fillings, paleokarst, Jura.

INTRODUCTION

Le tunnel du LEP (Large Electron Positon Collider) est un anneau presque circulaire, de près de 9 km de diamètre, creusé, entre 1983 et 1988, au Nord de Genève, pour un quart sous le territoire du Canton de Genève et pour trois quarts sous le pays de Gex, dans l'Ain (fig. 1), à une profondeur comprise entre 70 et 140 m sous la surface du sol.

Plus de 3 km ont été creusés sous la première chaîne du Jura au sein des formations calcaires du Crétacé inférieur. De nombreuses observations ont pu être faites au cours des études et lors des travaux de percement sur la karstification et en particulier sur la karstification profonde de cette zone. En effet, le tunnel se trouve non seulement plus bas que le niveau de base actuel, mais aussi plus bas que le niveau de base le plus bas ayant existé au cours du Quaternaire et d'une grande partie du Tertiaire.

Les conditions géologiques et hydrogéologiques étaient là très différentes de celles rencontrées lors du percement des autres tunnels dans le Jura et qui ont été décrites par ailleurs (BERGER, 1981). L'analyse de ces observations et des mesures hydrogéologiques faites au même moment permet d'apporter quelques éléments nouveaux sur les remplissages karstiques de ce secteur et sur les phénomènes de genèse de la karstification profonde.

I. GEOLOGIE DU SITE

Les conditions géologiques du percement du tunnel du LEP sous le Jura ont déjà fait l'objet de plusieurs publications récentes (FOURNEAUX, 1988, 1 & 2). Le tunnel a pénétré dans les calcaires de l'Hauterivien dans une zone où ils sont recouverts en discordance par les formations de base du Tertiaire, connues ici sous le nom de Gompholite

et datées du Chatien (BERGER & al., 1986). Cette formation, constituée d'argilites rouges et de conglomérats, est probablement parfois confondue avec les remplissages attribués à l'Eocène : le Sidérolithique. Le tunnel a ensuite rencontré des formations de plus en plus anciennes jusqu'aux calcaires marneux noirs du Purbeckien. A partir de là, compte tenu de la structure géologique et de sa courbure, le tunnel a commencé à remonter la série pour venir buter sur une grande faille, la faille de l'Allondon et retrouver rapidement les formations tertiaires (fig. 2 & 3).

Fracturation et fissuration ont été relativement peu importantes sauf aux abords immédiats de la faille de l'Allondon, malgré la position sur le flanc d'un pli anticlinal très marqué. De nombreuses traces de mouvements bancs sur bancs ont d'ailleurs été observées. Les failles et fractures visibles en surface ou détectées par les études sur photo aérienne ou par radar n'ont pas été retrouvées en profondeur pour la plupart.

II. LA KARSTIFICATION SUPERFICIELLE

Les formes karstiques sont nombreuses en surface, essentiellement dans les calcaires massifs (Marbre batard) du Valanginien, dans la formation de la Coraterie et dans les calcaires de Thoiry (Berriasien). Il s'agit d'abord de puits verticaux (photo 2) qui peuvent avoir plusieurs dizaines de mètres de profondeur et un diamètre de l'ordre du mètre. Ils sont, la plupart du temps, comblés au moins en surface, par les produits de lessivage des moraines. De ce fait, ils ne sont visibles que dans les carrières. Compte tenu de la pente et de la verticalité de ces puits, ceux-ci ne peuvent être que postérieurs aux plissements qui ont affecté cette zone du Jura. On observe aussi de nombreux chenaux sur des joints de bancs ; ceux-ci ont une forme en amande caractéristique (fig. 4).

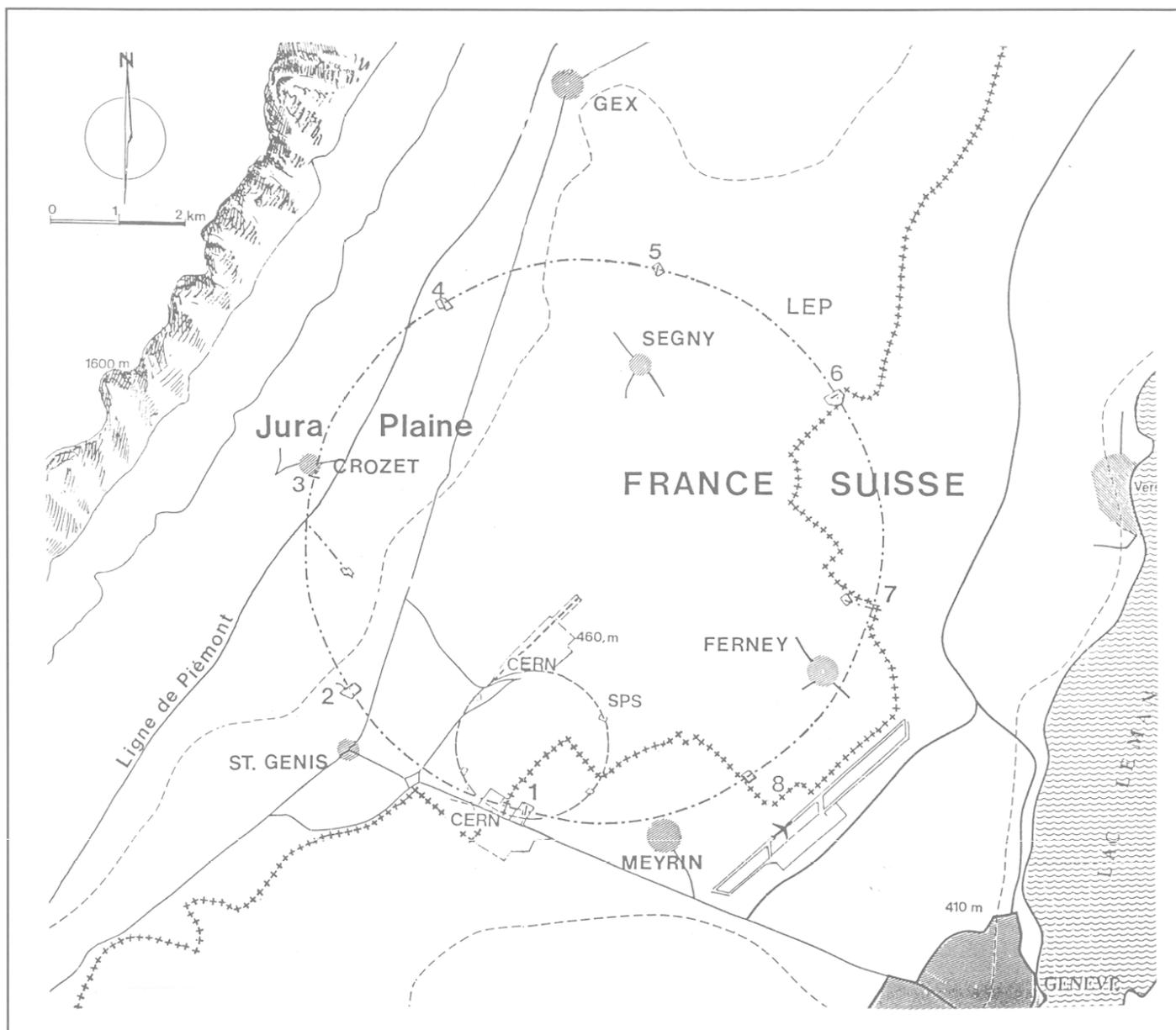


Figure 1 :
Carte de situation du tunnel du LEP (Large Electron Positon Collider).
Situation map of the LEP tunnel (Large Electron Positon Collider).

Plus haut, sur la partie sommitale de cette chaîne, existent de nombreux puits pénétrables, des dolines et d'autres formes karstiques typiques. Même si la morphologie karstique est peu développée, on trouve des puits pénétrables sur plus de 300 m (La Lésine de la Calame : - 306 m). Les gouffres des Bragognons et Simon, moins profonds, sont eux aussi développés dans les calcaires kimméridgiens. Les galeries du réseau de la Calame ont une orientation prédominante N075°, très voisine de la direction de la faille de la Calame (N080-090°). Le réseau des Bargognons a une orientation N150°, très voisine de l'orientation du système de failles décrochantes senestres visibles dans le secteur

(HUGOT, 1983). On trouvera une description de ces différentes cavités dans l'inventaire spéléologique des Monts du Jura de l'Ain publié par le Bresse-Bugey Spéléo-Club en 1978.

III. LA KARSTIFICATION PROFONDE

En profondeur, c'est-à-dire là où est passé le tunnel, de nombreuses observations ont pu être faites. Des traces d'une karstification importante anté-oligocène ont été vues au contact entre la Gompholite et l'Hauterivien (photo 1). On observe une galerie de près d'un mètre de large et d'un peu plus d'un mètre de haut, entièrement comblée

par des argilites brun-rouge, avec un bloc du toit qui a dû tomber alors que les sédiments du remplissage n'étaient pas encore complètement consolidés. Cela concorde avec d'autres observations faites dans ce secteur qui montrent des zones de calcaires hauteriviens en petits bancs, très fissurés, avec des argilites aussi bien dans les fissures que dans les inter-bancs. Cela semble traduire les effets d'une activité séismique intense pendant le dépôt de la Gompholite à l'Oligocène (FOURNEAUX, 1988).

Partout où il a été observé, le contact Gompholite/Hauterivien montre une surface très irrégulière, portant des traces de dissolution anciennes.

Des chenaux décimétriques à

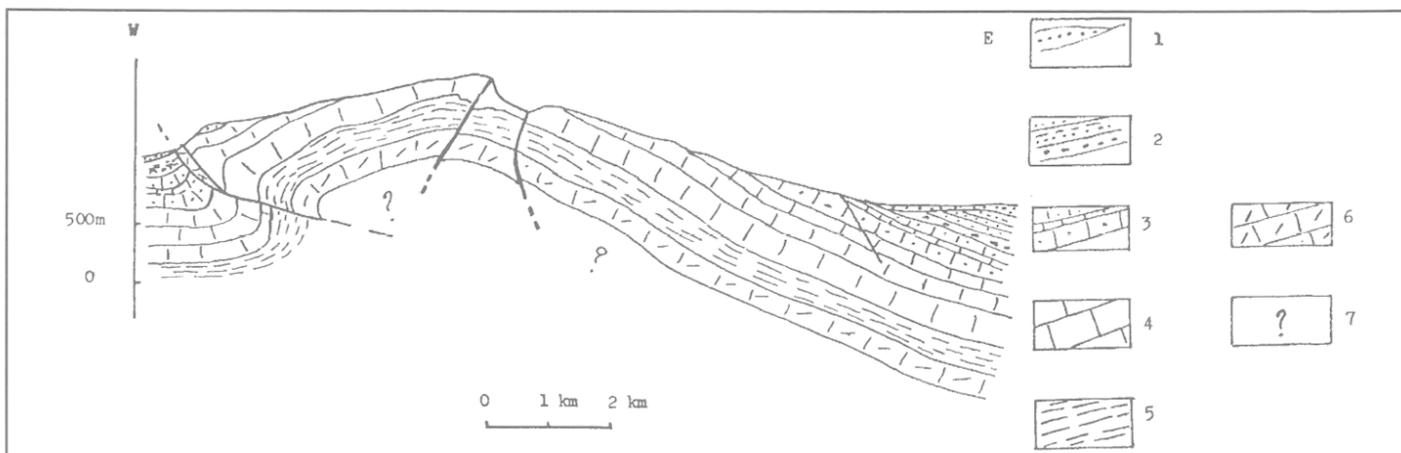


Figure 2 : Coupe géologique schématique de la première chaîne du Jura. 1. Quaternaire. 2. Molasse tertiaire. 3. Crétacé inférieur. 4. Jurassique supérieur. 5. Jurassique moyen. 6. Lias. 7. ? : Le Trias n'est pas connu.
Schematic geological section of the first Jura range. 1. Quaternary. 2. Molasse of the Miocene and Oligocene. 3. Lower Cretaceous. 4. Upper Jurassic. 5. Middle Jurassic. 6. Lias. 7. ? : The Trias is unknown here and we do not know what is under the Lias.

pluri-décimétriques ont été retrouvés dans le Marbre Batard, dans la formation de la Coraterie et dans les calcaires de Thoiry. Il s'agit là de formes plus fraîches, donc soit plus récentes, soit rafraîchies au cours de la fin du Tertiaire et du début du Quaternaire. En effet, partout des traces de remplissages post-glaciaires ont été découverts. Les chemins rencontrés en profondeur étaient

toujours liés à la présence d'une fracture, avec des orientations le plus souvent comprises entre N080° et N100°.

IV. LES REMPLISSAGES KARSTIQUES

Trois types principaux de remplissages karstiques ont été observés. Il s'agit d'argilites vertes relativement

rare, de dépôts rouges et enfin d'un remplissage brun-ocre.

Les plus anciens, rencontrés uniquement à l'état de traces dans des fissures de l'Hauterivien, de couleur verte, sont probablement différents de ceux attribués aux lessivages des formations de l'Albien qui se seraient produits au cours du Crétacé supérieur (MEIA & POCHON, 1980). On retrouve dans l'analyse aux rayons X de la fraction argileuse d'un échantillon de ce type de remplissage, des smectites et de la pyrite. Ils ont été vus essentiellement dans l'Hauterivien. Il s'agit probablement des traces d'évolution de matières organiques ; ils sont d'ailleurs souvent associés aux hydrocarbures de ce secteur. Il est difficile de dire s'ils ont été remaniés ou s'ils sont en place. Dans ce dernier cas, il ne s'agirait pas de remplissages karstiques (photo 1).

Les deuxièmes sont de couleur rouge ou rose. Ils sont constitués de matériaux gompholitiques. On les trouve d'ailleurs là où les calcaires sont recouverts en discordance par cette formation. Ces remplissages "rouges" sont attribués à la Gompholite compte tenu de la présence de cette formation juste au-dessus. Les analyses de quatre échantillons de ce type de remplissage donnent des résultats très dispersés (tableaux 1 et 2).

Les compositions minéralogiques de la fraction argileuse sont différentes de celles des dépôts sidérolithiques présentées par MEIA et POCHON (1980). La Gompholite se distingue bien du Sidérolithique. Cela n'implique pas que ce dernier soit totalement absent dans ce

Tableau n° 1 : Roche totale en pourcentages absolus

Echant.	Calcite	Quartz	Phyllo.	Plagio.	Goethite	indosés
1	53,1	13,7	8,1	—	—	25,1
2	0,8	24,6	13,4	—	0,7	60,5
3	39,8	8,6	17,3	—	2,2	32,1
4	60,2	13,6	5,2	0,3	1,9	18,8

L'échantillon n° 2 provient d'argiles bleues sédimentées dans une fracture ouverte. Il s'agit probablement du produit d'un lessivage secondaire avec décalcification quasi totale.

Tableau n° 2 : Fraction argileuse 2-16 µm en pourcentages relatifs.

Echant.	Micas	Kaolinite	Smectites	
1	13	8	traces	présence de minéraux hydroxyles
2	—	21	79	
3	3	15	82	
4	15	—	85	

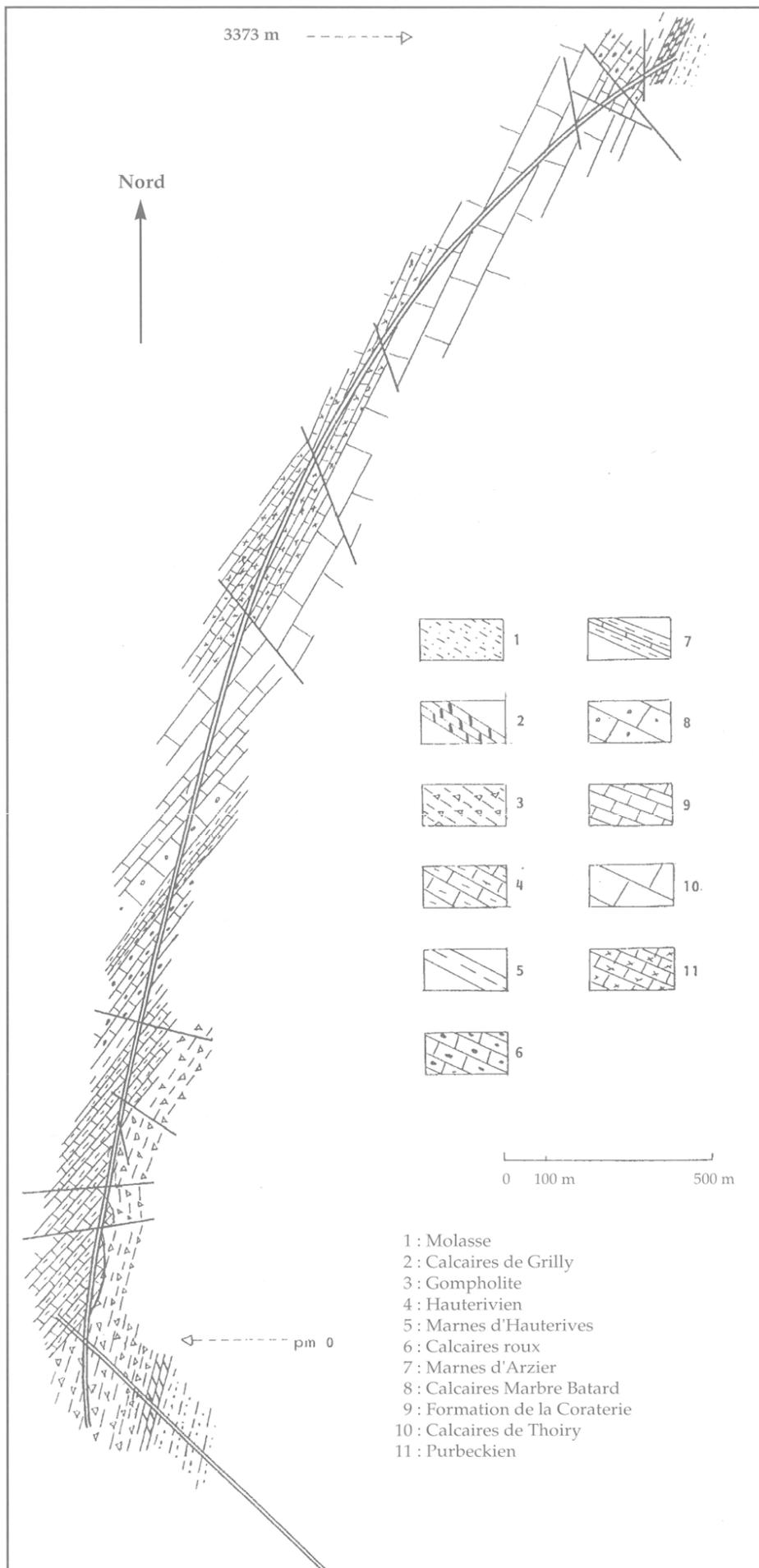


Figure 3 :

Carte géologique au niveau du tunnel du LEP.

Geological map at the LEP tunnel level.

secteur. Tous les remplissages "rouges" n'ont pas été analysés, loin s'en faut.

Les derniers remplissages sont de couleur ocre ou brune et sont les produits de lessivage des dépôts glaciaires qui tapissent tout le flanc de la première chaîne du Jura. Ces remplissages sont riches en quartz ; ils contiennent une proportion non négligeable de feldspaths plagioclases. La fraction argileuse est caractérisée par la présence d'illite et de chlorite. Ces minéraux sont toujours absents des formations rouges ou vertes. On retrouve là les caractéristiques des argiles liées aux moraines et à leur lessivage (APRAHAMIAN & al., 1970). Il s'agit de remplissages prélevés dans une carrière, en surface, donc dont l'origine est indiscutable (photo 2). Dans la galerie, ces remplissages quaternaires présentaient parfois des faciès plus complexes. Associées aux illites et chlorites, on pouvait trouver des argiles traduisant une histoire plus longue avec des indices d'oxydation importante. On a aussi trouvé des galets avec des tailles dépassant 5 cm. Tout cela implique des circulations importantes au sein de chenaux relativement grands, avec des débits importants. De telles circulations ont bien évidemment remanié les remplissages plus anciens qui pouvaient subsister, ainsi que des dépôts superficiels ou des sols datant de périodes chaudes interglaciaires ou antérieures à la première glaciation. Ces remplissages, en général peu ou pas consolidés et donc instables, ont donné lieux à de nombreux déboussages accompagnés le plus souvent de venues d'eaux lorsqu'ils ont été rencontrés par la galerie.

V. HYDROGEOLOGIE

La présence d'importantes sources à caractère karstique bien marqué pouvait laisser craindre des venues d'eaux importantes en galerie avec des augmentations brutales de débit lors de fortes précipitations sur le Jura. Il n'en a rien été.

Les premières venues d'eau ont été rencontrées lors de la traversée du Marbre Batard où la plus importante n'a atteint que 4 l/s. Elle était accompagnée d'importantes venues de sables et d'argiles.

Lors des travaux engagés pour étancher cette venue d'eau, on a même pu trouver des petits galets de roches cristallines dans les produits de débouillage. Cela confirme bien l'origine glaciaire de ces produits, les galets de granite ou de roches métamorphiques ne pouvant provenir que du lessivage de moraines. Les venues d'eau les plus importantes ont été rencontrées lors du passage des calcaires de Thoiry. Les débits les plus élevés ont atteint 180 l/s (fig. 5). Si l'influence des précipitations était sensible, le débit en galerie est toujours resté sans commune mesure avec les débits de la source de l'Allondon (FOURNEAUX, 1988). Lorsqu'il a atteint 180 l/s, il a dépassé 10 m³/s à la source de l'Allondon. On peut se poser la question de savoir pourquoi il n'y a pas de relation entre ce karst profond et le réseau karstique en liaison avec la source de l'Allondon. Les fissures recoupées par la galerie et dont le remplissage a débouillé, ne sont pas en relation avec le karst rapide probablement en raison de la présence de ce remplissage. Celui-ci n'a pas été, et de loin, complètement lessivé par les venues arrivant dans la galerie, même si les volumes mis en mouvement ont dépassé 20 000 m³.

Alors que la karstification récente a créé de nouveaux chenaux ou réactivé d'anciens conduits colmatés dans la

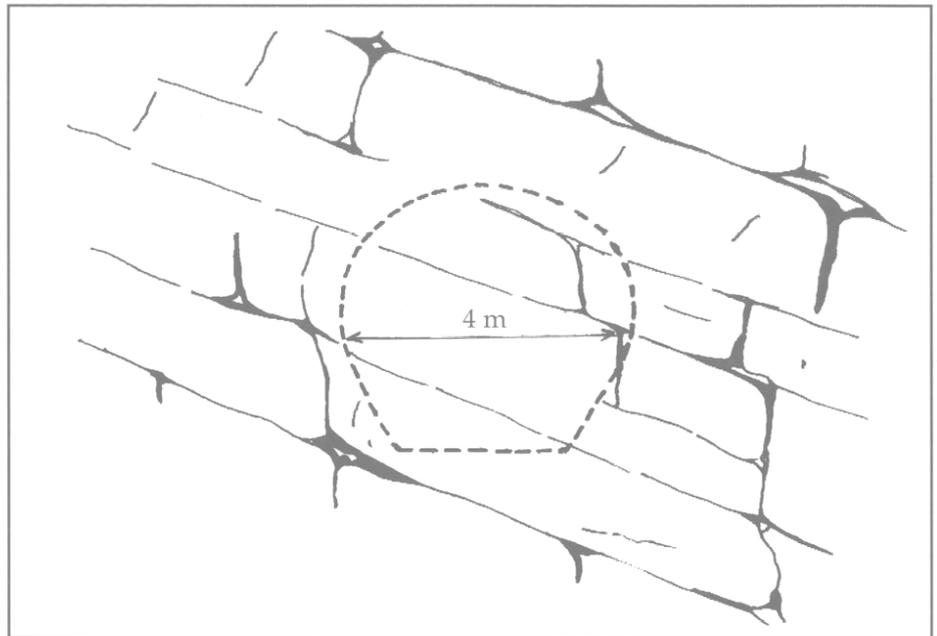


Figure 4 :
Schéma des dissolutions dans les calcaires de Thoiry au niveau du tunnel
Diagram of the dissolution in the Thoiry limestones at the tunnel level.

zone située au-dessus du niveau de base actuel, le développement d'une karstification profonde récente est probablement limité par la présence du remplissage qui est très peu entamé, même si la zone fissurée profonde est bien réelle.

Son existence a pu être mise en

évidence par une opération de traçage. De la fluorescéine a été injectée dans un piézomètre, à 170 m au-dessus de la galerie. Elle est apparue dans trois venues d'eau en galerie, sur une distance de près de 500 m, avec des vitesses relativement faibles. Cela s'explique probablement en grande partie par la présence du remplissage quaternaire qui assure une solution de continuité analogue à un milieu poreux entre des zones très ouvertes ou simplement fissurées. Les vitesses correspondent à des circulations en milieu fissuré et pas à des circulations en chenaux compte tenu des gradients et des distances.

Tableau 3 : Résultats de l'opération de traçage.

Venues d'eau	pm 2600	pm 2700	pm 2890
Débit	0,2 l/s	0,3 l/s	10 l/s
Distance horizontale du point d'injection pm 2564	36 m	136 m	326 m
Gradient	4,7	1,2	0,5
Masse de traceur restituée	13 g	78 g	166 g
Temps d'arrivée des premières traces	12 h	3 h	6 h
Temps d'arrivée des pics	120 h	20 h	50 h
Vitesse maximale (*)	3 m/h	45 m/h	54 m/h
Vitesse moyenne (**)	0,3 m/h	6,8 m/h	6,5 m/h
Rapport des vitesses	10	6,6	8,3

(*) Vitesse des premières arrivées calculée sur la distance horizontale.

(**) Vitesse correspondant au temps au bout duquel 50 % de la masse restituée est passée.

VI. RELATION ENTRE L'HYDROGEOLOGIE ET LA KARSTIFICATION PROFONDE

La faiblesse relative des débits est en contradiction avec la nature du remplissage. En effet, celui-ci ne peut n'avoir été apporté que par des eaux circulant dans des chenaux larges, avec de forts débits, ce qui est la caractéristique des écoulements liés au karst rapide. Or les fissures contenant les remplissages avec des galets de granite ont été trouvées dans une zone située beaucoup plus bas que le niveau de base non seulement actuel, mais aussi quaternaire. Les travaux de reconnaissance du LEP et les nombreuses prospections géophysiques effectuées dans tout le secteur ont montré que le toit de la Molasse, là où il



Photo 1 : ▲

Galerie karstique (à droite) fossilisée par des argilites rouges de la Gompholite et traces de pétrole (à gauche) dans les calcaires hauteriviens. Echelle photo : 2 m x 3 m environ.

Karstic gallery (right side) fossilized by oligocene clays and traces of oil (left side) in the hauterivian limestones. Scale : 2 m x 3 m.

Photo 2 :

Puits karstique dans les calcaires du Valanginien avec remplissage argilo-sableux quaternaire. Echelle photo : 4 m x 6 m environ.

Karstic wells in valanginian limestones with fillings of quaternary clays and sandstones. Scale : 4 m x 6 m.

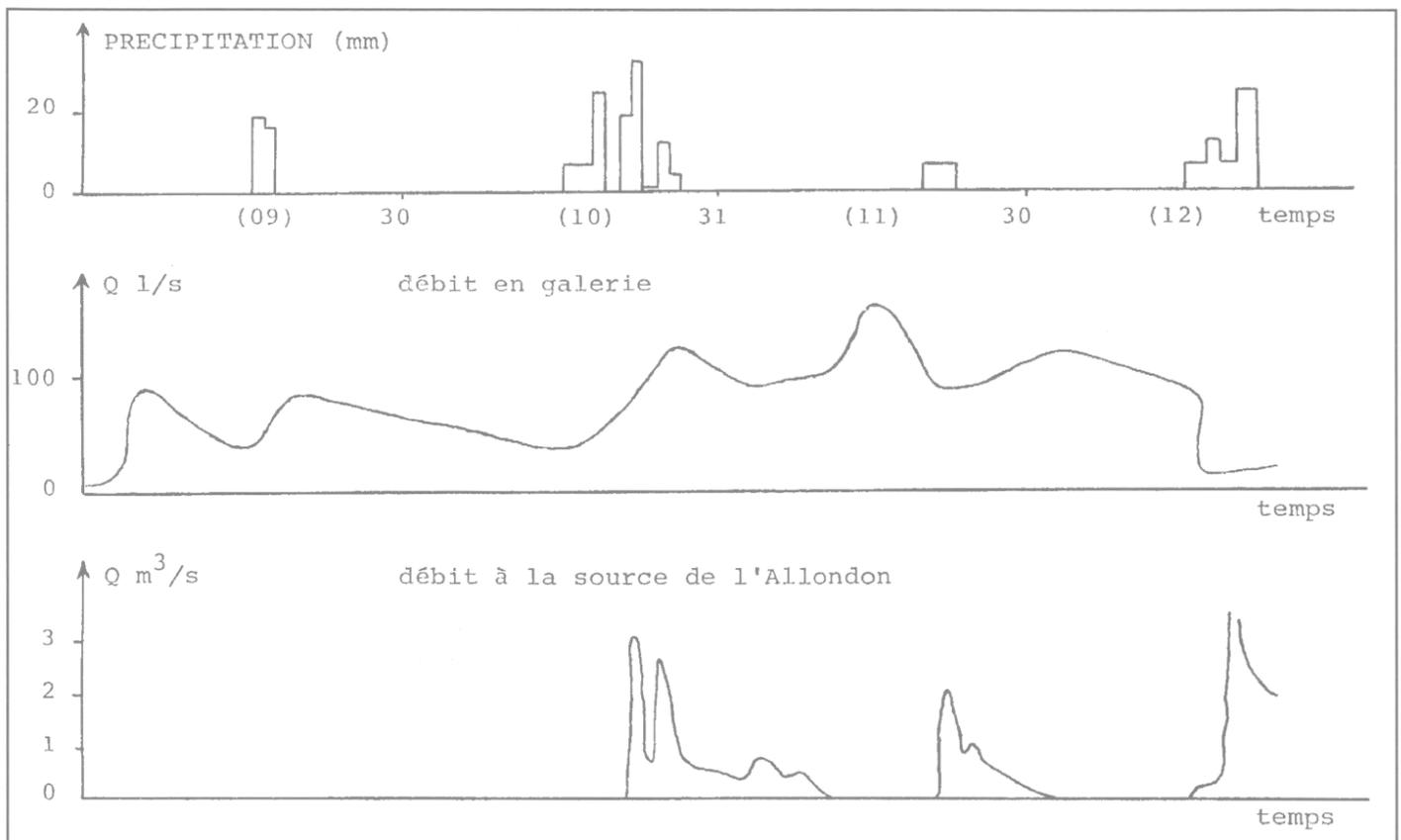


Figure 5 :
Débits comparés à la source de l'Allondon et dans le tunnel, en relations avec les précipitations.
Comparison of the flow rate at the Allondon spring and in the tunnel in connection with the precipitations.

est en contact avec les calcaires, se trouve partout plus haut que le niveau du tunnel.

On peut affirmer que pendant tout le Quaternaire le niveau de base du bassin de l'Allondon a toujours été plus bas que le niveau du tunnel d'au moins 50 m. On a donc la preuve de l'existence de circulations sous le niveau de base, circulations capables d'engendrer des dissolutions et de permettre le transport solide dont on a trouvé les témoins.

En effet, à chaque épisode pluvieux important, le massif se sature sur une grande hauteur et la pression augmente brutalement. Tout cela permet la mise en solution de grandes quantités de CO_2 et donc permet la dissolution des calcaires. Cela correspond au fait qu'aux exutoires karstiques, au début de chaque crue consécutive à une longue sécheresse, on voit sortir des eaux "anciennes". Les fissures profondes sont vidées. Les eaux saturées en carbonates qui s'y trouvaient sont expulsées et remplacées par des eaux chargées en CO_2 et donc agressives. Dans la mesure où la lithologie et la structure le permettent, la dissolution va donc progresser vers le bas. A chaque épisode pluvieux sur le massif provo-

quant une mise en charge, une partie des eaux contenues dans les fissures profondes est chassée et remplacée par des eaux agressives.

En effet, la montée en pression ne se fait pas de façon homogène. Elle peut être très rapide dans les zones en relation avec les chenaux, alors qu'elle est beaucoup plus lente là où il n'y a que des microfissures. La montée en pression dans les chenaux se traduit par un effet piston ("piston flow") dans toutes les fissures qui se répercute beaucoup plus bas que l'exutoire. Un tel phénomène peut se produire plusieurs dizaines de fois par an et ainsi aboutir à l'existence d'une karstification bien développée beaucoup plus bas que le niveau de base.

Cette hypothèse sur le développement de la karstification en profondeur est confirmée par les résultats du traçage évoqué plus haut. La fluorescéine injectée dans un piézomètre est arrivée en différents points de la galerie avec des vitesses très variables. (fig. 5 et tableau 3). L'injection peut être assimilée à un épisode pluvieux dans la mesure où l'on crée une surcharge importante dans le piézomètre pendant un temps assez bref. Dans le cas analy-

sé ici, 6 m³ d'eau ont été injectés dans le piézomètre pour pousser le traceur. Cela a entraîné une surcharge temporaire de plus de 2 bars pendant près d'une heure. Le traceur s'est déplacé avec des vitesses très différentes ; la surcharge n'a pas été répartie de façon homogène. Ceci dépend de la taille des fissures et de la présence d'un remplissage poreux.

De même, lors du traitement des venues d'eau dans la zone comprise entre les pm 2800 et 3000, de nombreuses mesures de pression ont été faites. Les montées en pression, lors des précipitations importantes sur le massif, se produisaient toujours avec un certain décalage dans le temps, très différent d'un point de mesure à l'autre.

Dans la zone où est passé le tunnel, la présence du remplissage empêche probablement le développement actuel de cette karstification profonde.

Il est bien évident que cette explication du développement d'une karstification profonde ne s'applique pas que sur cet exemple. Partout où les conditions lithologiques et structurales le permettent, il y a un tel enfoncement de la karstification.

CONCLUSIONS

Le percement du tunnel du LEP s'est fait en partie sous la première chaîne du Jura. Il a montré l'existence d'un remplissage karstique important mis en place en deux épisodes, l'un daté de l'Oligocène et l'autre du Quaternaire. Les effets de ce dernier ont joué un rôle important lors des travaux de creusement. De plus ce percement a montré l'existence d'un développement de la karstification beaucoup plus bas que le niveau de base tant actuel que plus ancien. Son développement est lié aux variations brutales de pressions dans le massif, lors des épisodes pluvieux, qui ne se produisent pas de façon homogène. Cela implique que partout où les conditions lithologiques et structurales le permettent, la karstification se développe sous le niveau de base d'autant plus aisément que les eaux qui parviennent dans la partie profonde du karst sont plus chargées en CO_2 . C'est le cas lorsqu'il existe des relations rapides entre la surface où le CO_2 peut être mis en solution et la profondeur.

BIBLIOGRAPHIE

APRAHAMIAN J., FOURNEAUX J.-C. & al, (1970) : Observations nouvelles sur les argiles interglaciaires de la vallée de l'Isère. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 271, p. 1071-1074.

BERGER J.-P., CHAROLLAIS J. & HUGUENEY M. (1987) : Nouvelles données biostratigraphiques sur la molasse rouge du bassin genevois. *Arch. Sc. Genève*, juin 1987, N°15, p. 81-88.

BRESSE-BUGEY SPELEO (1978) : Inventaires des Monts Jura de l'Ain.

BURGER A. (1981) : Hydrogéologie des tunnels du Jura Suisse. *Travaux du centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel*.

FOURNEAUX J.-C. (1988) : Les conditions géologiques et hydrogéologiques du percement du tunnel du LEP sous le

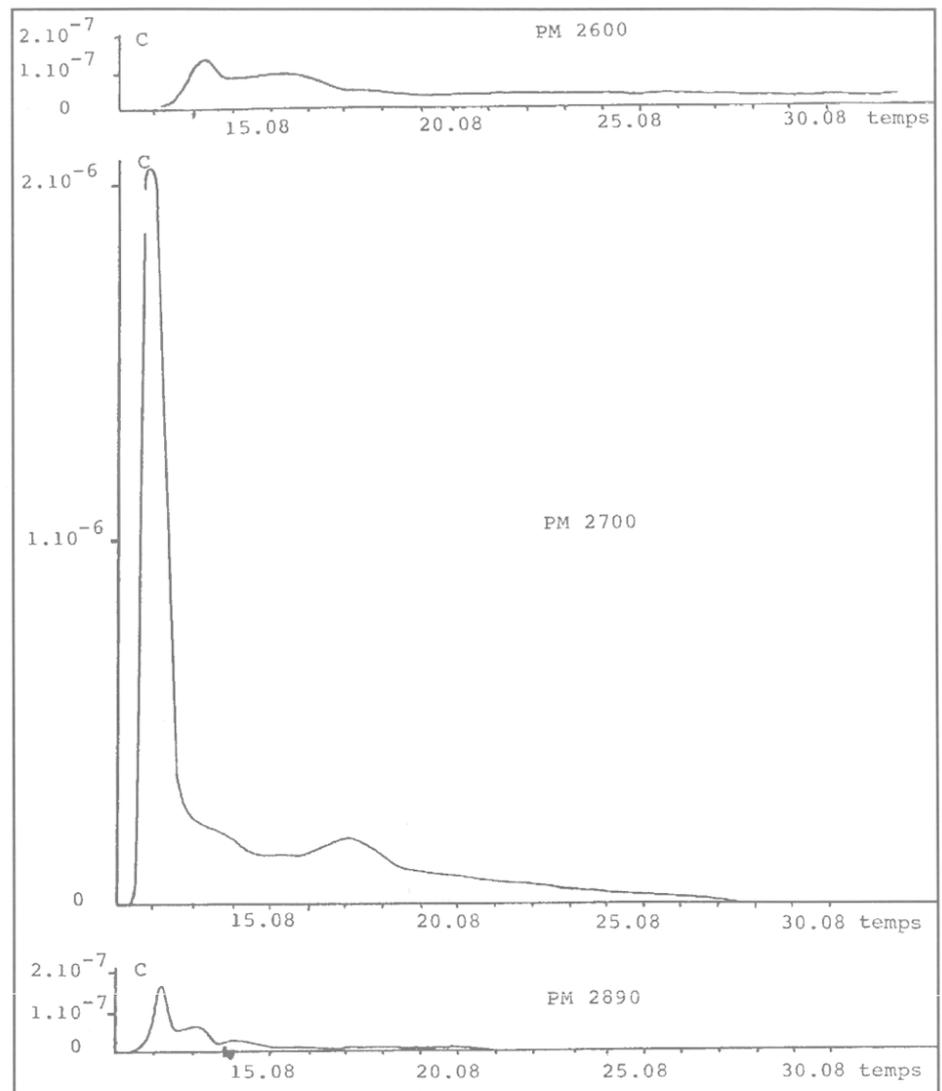


Figure 6 :
Courbes de restitution du traceur en différents points du tunnel.
Restitution diagrams of the tracer in different points in the tunnel.

Jura. Numéro Spécial de la revue TRAVAUX, Juin 1988.

FOURNEAUX J.-C. (1988) : Les conditions hydrogéologiques du percement du tunnel du LEP sous le Jura. *Col. Hydrogéologie en Pays calcaires, Besançon*, t. 2.

FOURNEAUX J.-C. & SOMMERIA L. (1986) : Utilisation de la méthode des traçages pour l'étude des aquifères en milieu calcaires. *Karstologia*, n°7, p. 21-24.

FOURNEAUX J.-C. & MARTINEZ J.-F. (1988) : Définition des conditions d'infiltration et de transfert dans les calcaires fissurés du Jura gessien.

Congrès IANR, YSTAD (Suède).

HUGOT G. (1983) : Hydrogéologie et paléomorphologie glaciaire du Pays de Gex (Ain). *Thèse 3ème cycle Sciences, Univ. J. Fourier, Grenoble*. 252 p.

MARTINEZ J.-F. (1986) : Etude du fonctionnement d'aquifères complexes, Pays de Gex (Ain). *Thèse 3ème cycle Sciences, Université J. Fourier, Grenoble*, 187 p.

MEIA J. & POCHON M. (1980) : Nouvelles observations sur la présence de paléokarst dans la région de Neuchâtel (Jura Suisse). *Bul. Soc. Neuchâteloise des Sc. Nat.*, t. 103, p. 115-128.