

Observations géologiques et hydrogéologiques dans les gouffres de Longirod et du Narcoleptique (Jura vaudois)

Jérôme Perrin¹ et Marc Luetscher²

Résumé: Les gouffres de Longirod et du Narcoleptique s'ouvrent dans le flanc SE de l'anticlinal du Crêt de la Neuve - Mont Tendre, premier chaînon du Jura vaudois. Leur importante extension a permis de faire d'intéressantes observations géologiques: l'épaisseur des calcaires du Malm a pu être précisée et de nouveaux repères stratigraphiques ont été mis en évidence. Une coupe géologique détaillée a été construite à partir de ces observations. De plus, les deux gouffres se développent en partie sur un important décrochement dextre. Des mesures effectuées sous terre permettent de proposer une géométrie du décrochement différant de celle proposée auparavant.

Un essai de traçage réalisé dans le gouffre de Longirod a montré une liaison rapide avec différentes sources situées au pied du Jura. Ces données, complétées d'observations hydrogéologiques dans le gouffre, donnent des informations originales sur le fonctionnement de l'aquifère du Malm. La source de l'Aubonne et son trop-plein le Toleure apparaissent comme des émergences importantes à l'échelle régionale. Elles drainent largement le flanc SE de l'anticlinal du Crêt de la Neuve et une partie du synclinal des Amburnex situé au NW. La rivière souterraine de Longirod témoigne du débordement de la nappe karstique du synclinal vers la source de l'Aubonne. La mise en charge de la nappe en période de crue provoque la mise en activité de plusieurs trop-pleins situés à quelques kilomètres de part et d'autre de l'émergence.

Abstract: The Longirod and Narcoleptique caves are located in the SE limb of the Crêt de la Neuve - Mont Tendre anticline, which is the first ridge of the Vaud Jura. Their important extension allowed interesting geological observations: the Malm limestone thickness could be more precisely measured and new stratigraphic markers have been discovered. From these data, a geological cross-section has been constructed. Moreover, both caves followed closely an important dextral strike slip fault. Measures collected underground lead to a different interpretation of the fault than proposed in previous studies.

A tracing test carried out in Longirod cave showed a rapid transit to several springs located at the foot of the anticline. The data of this experiment completed with direct hydrogeological observations in the cave give original information on the Malm aquifer behaviour. The Aubonne spring and the associated Toleure temporary spring appear to be important karstic springs at a regional scale. They drain a large part of the SE limb of the Crêt de la Neuve anticline and a zone of the Amburnex syncline situated to the NW. The Longirod underground river illustrates the overflow of the syncline saturated zone towards the Aubonne spring. Piezometric levels increase during flood events generates overflowing at different temporary springs located a few kilometres apart.

Introduction

Les gouffres de Longirod et du Narcoleptique s'ouvrent dans le Jura vaudois non loin du col du Marchairuz, sur le flanc sud-est de la chaîne du Crêt de la Neuve - Mont Tendre. Les récentes explorations ont permis de faire diverses observations scientifiques intéressantes. En 1999 le gouffre de Longirod a livré la première rivière souterraine du Jura plissé alimentée par de l'infiltration purement diffuse. Son exploration donne une image originale de la structure du drainage dans la zone non-saturée pour un tel type de contexte géologique.

Les résultats présentés dans cette note restent préliminaires puisque l'exploration continue et que des études complémentaires sont d'ores et déjà prévues. Des informations sur l'exploration proprement dite et sur la description des cavités peuvent être trouvées dans PERRIN et al. (2001) et CHRISTEN et al. (2000).

Géologie régionale et observations dans les cavités

Les deux gouffres s'ouvrent dans le flanc sud-est de l'anticlinal du Crêt de la Neuve (FALCONNIER 1931, 1950) et se développent entièrement dans les calcaires et marno-calcaires du Malm. Leur genèse est largement tributaire du décrochement dextre de la combe d'Aragne, d'où l'intérêt de décrire les deux cavités en parallèle. Ce décrochement traverse entièrement le flanc sud-est de l'anticlinal et vient mourir dans le synclinal des Amburnex au nord-ouest. Il se marque en surface par une combe que l'on peut suivre entre les deux gouffres. Elle passe environ 30 m au nord de l'entrée de Longirod et 20 m au sud de l'entrée du Narcoleptique.

Cette discontinuité se rattache à une série d'autres décrochements dextres découpant le premier chaînon Jurassien et orientés en moyenne vers N100°. Les décrochements sénestres complémentaires sont orientés en moyenne vers N160°. Leur manifestation la plus spectaculaire dans la région est le charriage de l'anticlinal de la Dent de Vaulion sur le synclinal de la Vallée de Joux par le jeu du décrochement sénestre Vallorbe-Pontarlier et des décrochements dextres de Vaulion (AUBERT 1953, 1959). Dans la zone des gouffres par contre, le système de fracturation sénestre n'est que peu développé.

Gouffre de Longirod

Stratigraphie

La zone d'entrée se situe dans des strates subverticales du sommet de l'étage du Kimméridgien (fig. 1). Dans la première

¹ Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel;
Groupe spéléo Lausanne

² Institut Suisse de Spéléologie et de Karstologie (ISSKA);
Spéléo Club Nyon

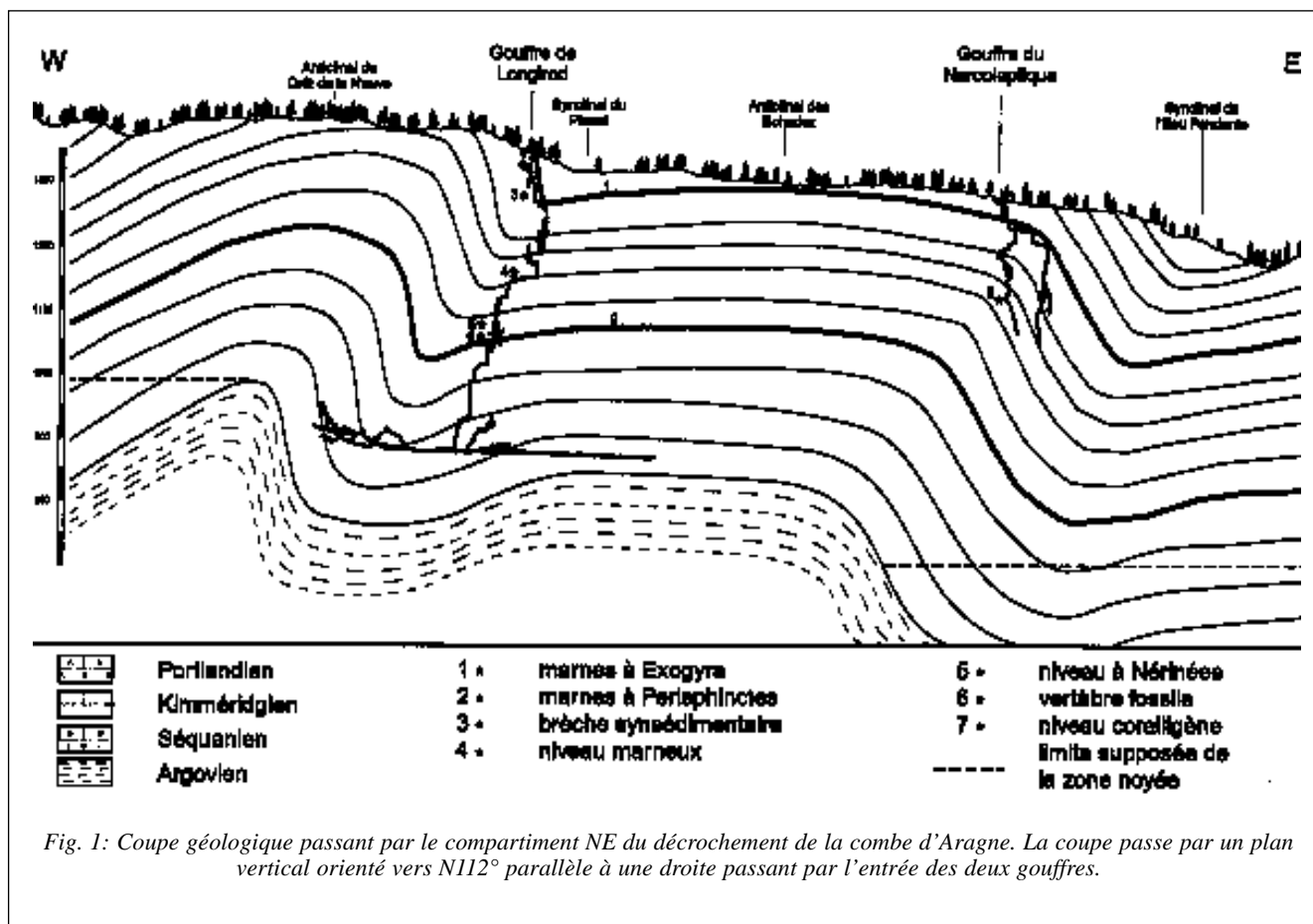


Fig. 1: Coupe géologique passant par le compartiment NE du décrochement de la combe d'Aragne. La coupe passe par un plan vertical orienté vers N112° parallèle à une droite passant par l'entrée des deux gouffres.

cheminée vers -20 m, des débris fossilifères font penser à un fragment d'os indéterminé. Dans le puits de 20 m vers -80 m, une charnière synclinale bien visible ramène le pendage des couches à l'horizontale. Dans ce même puits on observe un niveau de brèche marneuse synsédimentaire d'une épaisseur de 80 cm. Ce niveau se répète quelques mètres plus bas dans la série, où il ne fait plus que 20 cm de puissance. A notre connaissance, ces niveaux de brèches n'ont pas été décrits ailleurs dans la région. Au-dessous, le gouffre traverse des calcaires relativement massifs jusqu'au méandre de -200 m marqué par un interlit marneux de 5 à 10 cm d'épaisseur. Les gros volumes rencontrés vers -280 m semblent liés à la présence d'une couche plus marneuse. Toutefois les observations de faciès sont rendues difficiles par la présence de plans de faille associés au

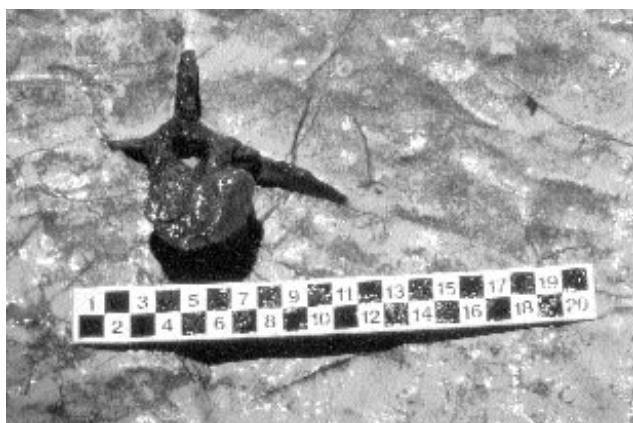


Fig. 2: Vertèbre observée dans les calcaires du Kimméridgien inférieur vers -300 m dans le gouffre de Longirod (Point 6 de la fig. 1) (Photo P. Beerli).

décrochement dextre. Vers -300 m, plusieurs puits parallèles traversent un même banc à Nérinée d'une épaisseur de 1,5 m, pouvant correspondre à celles décrites par RAVEN (1932) en France voisine. Environ 15 m au-dessous, une vertèbre mise en relief par la dissolution différentielle a été observée (fig. 2). Celle-ci pourrait appartenir à un crocodilien du genre *Steneosaurus* sp. par analogie aux restes fossiles trouvés dans les calcaires du Kimméridgien inférieur et dans les marno-calcaires à *Perisphinctes* quelques kilomètres au nord-ouest (GUIGNARD & WEIDMANN 1977).

La courte galerie située à -315 m se développe sur un niveau de marnes de 50 cm, il est probable qu'il s'agisse du niveau repère à *Perisphinctes achilles* marquant le passage dans l'étage du Séquanien. La base du puits de 55 m, à -415 m, correspond au passage dans les marno-calcaires du Séquanien inférieur et tout le fond du gouffre se développe dans ce niveau.

L'amont du collecteur recoupe à nouveau le synclinal traversé vers -80 m: la salle amont se situe dans les couches subverticales de son flanc nord-ouest. On constate que le flanc sud-est de celui-ci se creuse vers la profondeur puisqu'une mesure effectuée à la base du puits de 55 m donne un pendage de 58° vers N320°. L'aval du collecteur recoupe le flanc sud-est du synclinal puis suit les couches subhorizontales.

Nos observations n'ont pas permis de mettre en évidence le niveau des marnes du Banné séparant le Kimméridgien inférieur et supérieur. Il est possible que localement ce niveau se réduise de manière drastique, et de fait pourrait correspondre à l'interlit marneux du méandre du Broyage à -200 m.

Fracturation

Des plans de failles associés au décrochement de la combe d'Aragne peuvent être observés tout au long de la descente dans le gouffre (fig. 3). Sur 12 mesures, l'orientation moyenne est

N120° et le pendage varie de plusieurs degrés vers le nord ou vers le sud. Ces variations ne suivent aucune logique apparente: vers -160 m par exemple, l'inclinaison passe subitement de 56° à 88°. En ce point le mouvement dextre a pu être établi avec certitude. Dans le méandre du Broyage, vers -200 m, le miroir de faille est couvert d'une fine pellicule d'oxydes rougeâtres.

Un deuxième plan de fracturation a joué un rôle important dans l'orientation des conduits: il s'agit de fractures subverticales orientées en moyenne vers N40°. Une partie de la rivière amont et les affluents sont largement tributaires de cette fracturation.

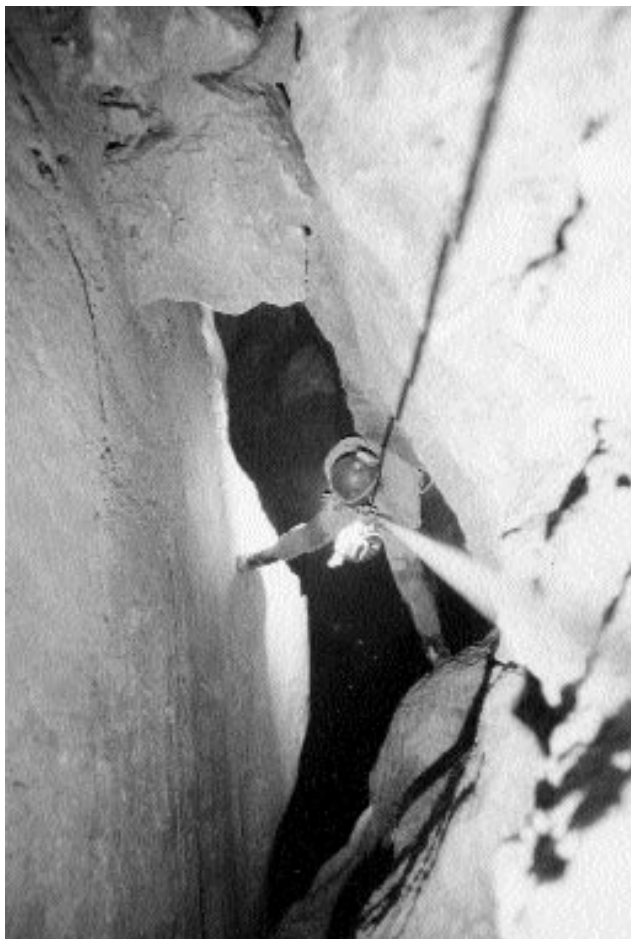


Fig. 3: Miroir de faille correspondant au décrochement de la combe d'Aragne dans le puits de 28 m vers -140 m, gouffre de Longirod (photo P. Beerli).

Gouffre du Narcoleptique

Stratigraphie

L'entrée est située dans les calcaires finement lités de la base du Portlandien présentant un pendage de 22° vers N110° (fig. 1). Vers -30 m, la salle des Ours doit sa présence à l'évidement des marnes à *Exogyra virgula*, d'une épaisseur de 2 m. Celles-ci marquent d'autre part l'entrée dans les calcaires du Kimméridgien. Le reste du gouffre se développe dans les bancs massifs du Kimméridgien. De beaux calcaires à coraux peuvent être observés à la base du puits de 25 m dans le réseau de l'Hibernation. Dans cette partie du gouffre le pendage des couches passe à 80° en direction de N110° (interstrates du ressaut de 23 m, voir topographie in CHRISTEN et al. 2001). Les couches se redressent aussi de la sorte dans le réseau du Rêveur indiquant que le gouffre est traversé par le plan axial d'un anticlinal. On retrouve la charnière de cet anticlinal à la voûte de la grande salle de la glacière de St-George, située à proximité.

Fracturation

Le décrochement de la combe d'Aragne s'observe très nettement dans la première partie de la cavité: il détermine la paroi sud de la salle d'effondrement et du puits du Miroir. Le début du réseau du Rêveur est entièrement creusé sur cette faille. Dans le réseau de l'Hibernation, des pendages locaux anormaux montrent l'influence de la faille. Deux familles ont pu être mesurées: la première à pendage SSE de direction moyenne N80° et la seconde à pendage N avec une direction moyenne N100°.

Un second plan de fracturation, bien développé dans le réseau de l'Hibernation, montre une direction moyenne N20°, et est fortement incliné en direction ENE.

Synthèse des observations géologiques

La coupe géologique construite à partir des observations dans les gouffres (fig. 1) donne 210 m d'épaisseur aux calcaires du Kimméridgien et 230 m aux calcaires et marno-calcaires du Séquanien. Ces valeurs sont supérieures à celles observées par FALCONNIER (1950) dans la région, soit 150 à 180 m et 160 à 200 m respectivement. Toutefois les coupes dessinées par FALCONNIER concordent avec les données récoltées sous terre et l'altitude du toit de l'Argovien sur la coupe de la figure 1 est en parfait accord avec la carte structurale dessinée par AUBERT et al. (1979).

Les plans de failles associés au système décrochant dextre de la combe d'Aragne mesurés dans les gouffres sont projetés sur un canevas de Schmidt (fig. 4). Il apparaît que le décrochement tourne légèrement vers l'est entre les gouffres de Longirod et du Narcoleptique. Les valeurs mesurées montrent que FALCONNIER (1950) a donné un pendage trop faible à ce décrochement (25° vers le NNE).

Il est intéressant de constater que le deuxième plan de fracturation observé (non représenté sur la fig. 4) subisse une même rotation anti-horaire entre le gouffre de Longirod (N40°) et le gouffre du Narcoleptique (N20°).

Hydrogéologie du gouffre de Longirod

1. Essai de traçage

Cet essai fut réalisé par le Groupe spéléo Lausanne et le Spéléo Club Vallée de Joux le 19 avril 1998 dans le gouffre de Longirod, alors que l'exploration était encore stoppée par le méandre de -170 m. Quatre kilos d'uranine dilués dans 12 litres d'eau furent déposés vers 12h45 à -40 m dans le lit d'un ruisseau temporaire, à sec lors de l'injection. D'après les données météorologiques, le ruisseau a dû s'activer vers 20h00 le 20.04 suite à des pluies sur le manteau neigeux et pousser le traceur vers la zone saturée. C'est cette deuxième date qui est prise dans les calculs de temps de transit. Les sources surveillées sont: Toleure, Aubonne, Malagne, Etremble, Veyron, Saubrette, Outard, Combe, Montant et Brassus.

Résultats

Les deux sources les plus importantes situées dans le prolongement de la rivière de Longirod sont la source de l'Aubonne à Bière et l'émergence temporaire de Toleure, située entre Bière et Saubraz. Cette dernière a été depuis longtemps considérée comme un trop plein de l'Aubonne (ANON. 1927).

La source du Toleure

Le 19 et 20.04 la source montre un débit de légère crue estimé à 2 m³/s; la crue démarre dans la nuit du 20 au 21.04: le débit est d'environ 6 m³/s à 9h30 le 21.04, et passe à 8 m³/s dans la soirée (estimation à 20h30). Le 22.04 au matin (8h30) le débit de crue est stable et le torrent est légèrement teinté par l'uranine.

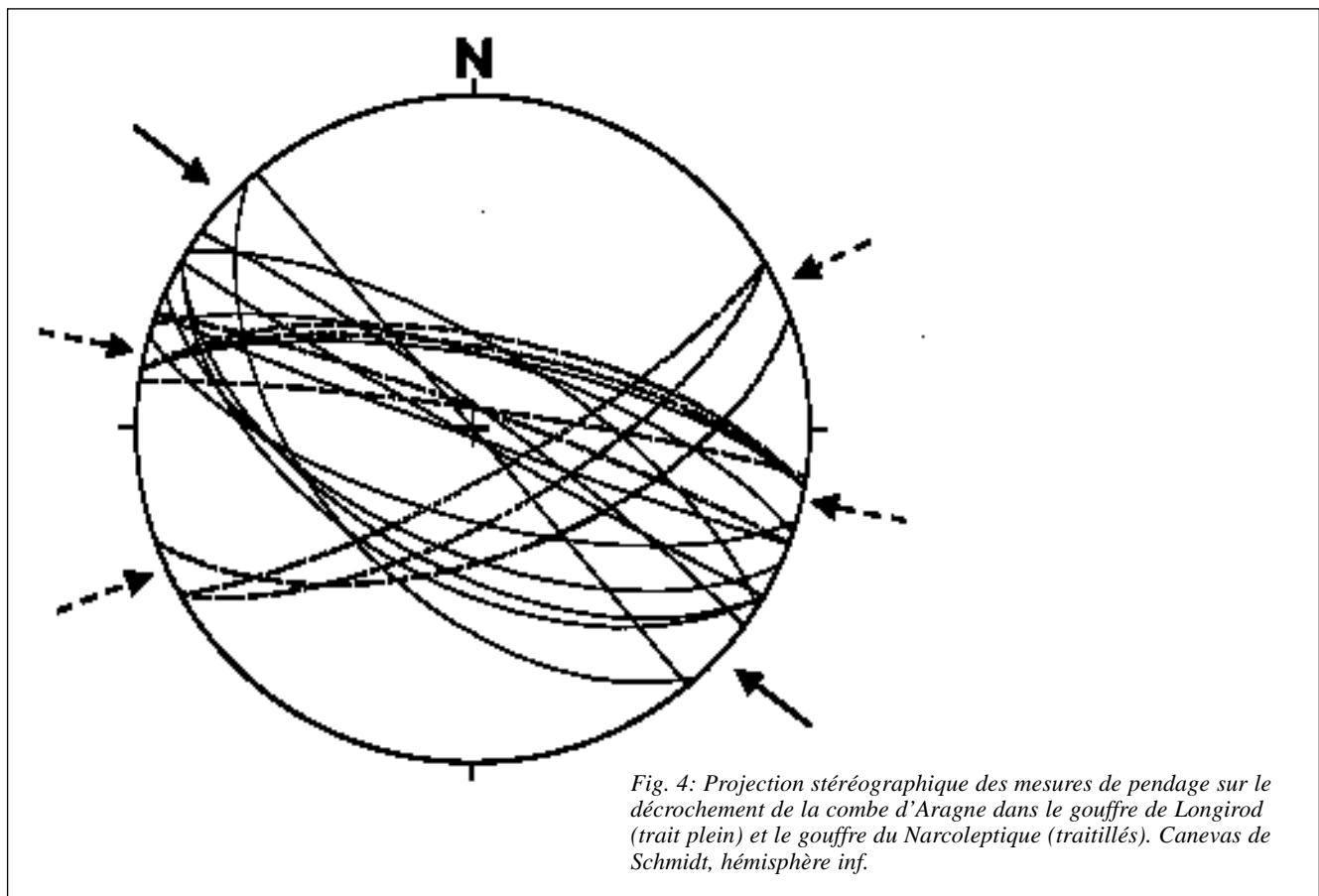


Fig. 4: Projection stéréographique des mesures de pendage sur le décrochement de la combe d'Aragne dans le gouffre de Longirod (trait plein) et le gouffre du Narcoleptique (traitillés). Canevas de Schmidt, hémisphère inf.

La coloration est visible jusqu'au soir en tout cas (observation à 19h20). Ces observations visuelles sont confirmées par les analyses de laboratoire utilisées pour la fig. 5. Le débit diminue dans la nuit du 26 au 27.04 et avoisine les 5 m³/s à 9h00 le 27.04.

La source de l'Aubonne

Les débits de l'Aubonne sont déterminés par une station de mesure automatique de niveaux d'eau installée par le Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel. Cette station est doublée d'une mesure de la hauteur d'eau par un limnigraphe mécanique à flotteur.

Le 22.04 à 8h10, la source montre une teinte verdâtre claire, et la coloration dure en tout cas jusqu'au soir. La courbe de restitution de la fig. 5 a été obtenue par mesure en continu avec un fluorimètre. Les concentrations sont calibrées avec 13 échantillons analysés au laboratoire.

Les sources du Veyron, Malagne et Etreuble

Ces sources sont situées en terrain morainique. Le Veyron n'est que partiellement alimenté par les eaux du karst. L'Etreuble et la Malagne sont des sources temporaires essentiellement karstiques situées plus en altitude; la première, plus basse, coule plus fréquemment que la seconde. DAVIT et al. (1990) estiment le débit de crue de la Malagne à 5 m³/s. Le Veyron et l'Etreuble sont des émergences nettement plus modestes.

Les trois sources montrent une légère restitution de traceur: le soir du 22.04, le Veyron présente une concentration en uranine de l'ordre de 5 µg/l alors que pour la Malagne la concentration est de près de 2 µg/l. A l'Etreuble la concentration maximum en uranine, environ 1 µg/l, est atteinte le matin du 23.04. Les concentrations baissent les jours qui suivent pour atteindre des valeurs pré-traçage deux à trois jours après le pic de restitution (fig. 6).

Les autres sources

Toutes les autres sources surveillées n'ont présenté aucune trace d'uranine durant la période de surveillance, soit jusqu'au 30.04.98.

Interprétation des résultats

Trajet du traceur (fig. 5)

Les explorations ultérieures dans le gouffre permettent de reconstituer le parcours de l'uranine dans la zone non saturée: le ruisseau de -40 m se perd vers -60 m dans une fissure impénétrable pour réapparaître dans la cheminée du Colorant vers -150 m. Pour la suite, le traceur suit le parcours principal du gouffre jusqu'à la rivière des Mille et une nuit. On peut estimer que quelques heures ont suffi au traceur pour rejoindre le collecteur à -470 m. Puis le nuage s'est mêlé à la rivière pour rejoindre la zone noyée devant débiter environ 1000 m en aval, au droit de l'anticlinal des Echadex qui fait plonger le niveau de base sous l'altitude des sources (fig. 1). Les diffusions observées doivent se dérouler dans la zone noyée où des conduits actifs uniquement en crue permettent une connexion rapide jusqu'aux sources de la Malagne, de l'Etreuble et du Veyron.

Taux de restitution

Pour l'Aubonne on peut obtenir une bonne estimation de la restitution car le débit est relativement bien connu (fig. 5). En prenant un débit moyen de 4 m³/s et une concentration de 2,5 µg/l pendant 48 heures, la masse de traceur restituée est de 1,7 kg. Pour le Toleure, les débits sont mal connus, on connaît toutefois le débit journalier au barrage de l'Aubonne quelques kilomètres en aval des sources (SEFA, comm. orale). La valeur moyenne est de 13 m³/s entre les 23 et le 26.04 et représente l'Aubonne et le Toleure réunis ainsi que la vidange de l'aquifère quaternaire. En estimant les apports du quaternaire au quart du débit total au

	Distance [m]	Temps 1 ^{er} arrivée	Vitesse [m/h]	Temps pic	Vitesse [m/h]
Toleure	6500	25 h (?)	260 (?)	34 h (?)	190 (?)
Aubonne	8000	29 h	275	38 h	210

barrage, on obtient un débit moyen de 6 m³/s au Toleure, valeur correspondant aux observations visuelles. Avec une concentration moyenne d'uranine de 2 µg/l pendant 48 heures, on obtient une masse de traceur restituée de 2,1 kg.

Pour la Malagne, Etremble, Veyron, le débit total doit approcher les 4 m³/s; une concentration moyenne de 1 µg/l sur 24 heures donne une restitution de 0,3 kg environ.

Au total la masse de traceur retrouvée est de 4,1 kg. Le taux de restitution dépasse les 100%! Malgré les incertitudes sur les débits, on peut affirmer que les eaux du gouffre de Longirod ressortent essentiellement au Toleure et à l'Aubonne alors qu'une petite partie rejoint le système Malagne-Etremble-Veyron.

Vitesse du traceur

Ces valeurs sont calculées en considérant le départ effectif du traceur le 20.04 à 20h00 (début de la crue dans le gouffre). Les données pour le Toleure sont trop fragmentaires pour obtenir des vitesses autres que qualitatives; toutefois il semble que les vitesses soient plus faibles sur la source du Toleure.

Pour le système Malagne-Etremble-Veyron, le temps d'arrivée du traceur est d'environ 48 heures. En prenant une distance moyenne de 12 km, on obtient une vitesse de transit de 250 m/h comparable aux vitesses obtenues à l'Aubonne.

Système Aubonne-Toleure

L'essai de traçage au gouffre de Longirod montre la connexion entre les sources de l'Aubonne et du Toleure. La source du Toleure, 30 m plus élevée, fonctionne comme trop-plein de l'Aubonne. Elle tarit quelques mois par année. En période de crue par contre, le débit du Toleure devient plus important que celui de l'Aubonne. C'est le cas lors de la crue suivant l'essai de traçage.

Les courbes de restitution aux deux sources se ressemblent. La courbe fragmentaire obtenue pour le Toleure ne permet pas de pousser la comparaison plus loin.

Le traceur ayant été injecté juste avant une crue, on peut tenter d'estimer le volume d'eau dynamique poussé par l'eau d'infiltration à la source de l'Aubonne avant que le traceur n'arrive. Ce volume est d'environ 300'000 m³. Ces deux sources sont dans le prolongement du décrochement de la combe d'Aragne qui doit jouer le rôle de drain. La vitesse du traceur est plus faible pour le Toleure et peut s'interpréter en termes de taille de conduits: les conduits alimentant la source de l'Aubonne plus jeunes donc plus étroits saturent lors d'événements de crue et provoquent la mise en charge de la nappe qui se déverse par des conduits plus anciens et de plus gros diamètre au Toleure.

Système Malagne-Etremble-Veyron

Ces trois sources sont alignées dans le prolongement du décrochement sénestre Pontarlier-Vallorbe. Leur connexion hydraulique n'est donc pas surprenante et la relation Etremble-Malagne avait déjà été prouvée par un précédent essai de traçage (LAVANCHY et al. 1988).

Conclusions

La relation entre les systèmes Malagne et Aubonne avait déjà été démontrée par LAVANCHY et al. (1988) lors d'une injection de Naphthionate à la glacière de Druchaux en période de crue. Lors de cet essai le traceur était arrivé d'abord à la Malagne puis quelque 20 jours plus tard à l'Aubonne. Au gouffre de Longirod l'arrivée du traceur dans les deux systèmes est beaucoup plus rapprochée (14 heures plus tard à la Malagne). Il est toutefois surprenant de constater que la relation peut se faire dans les deux sens, soit de la Malagne vers l'Aubonne et vice-versa. Il est

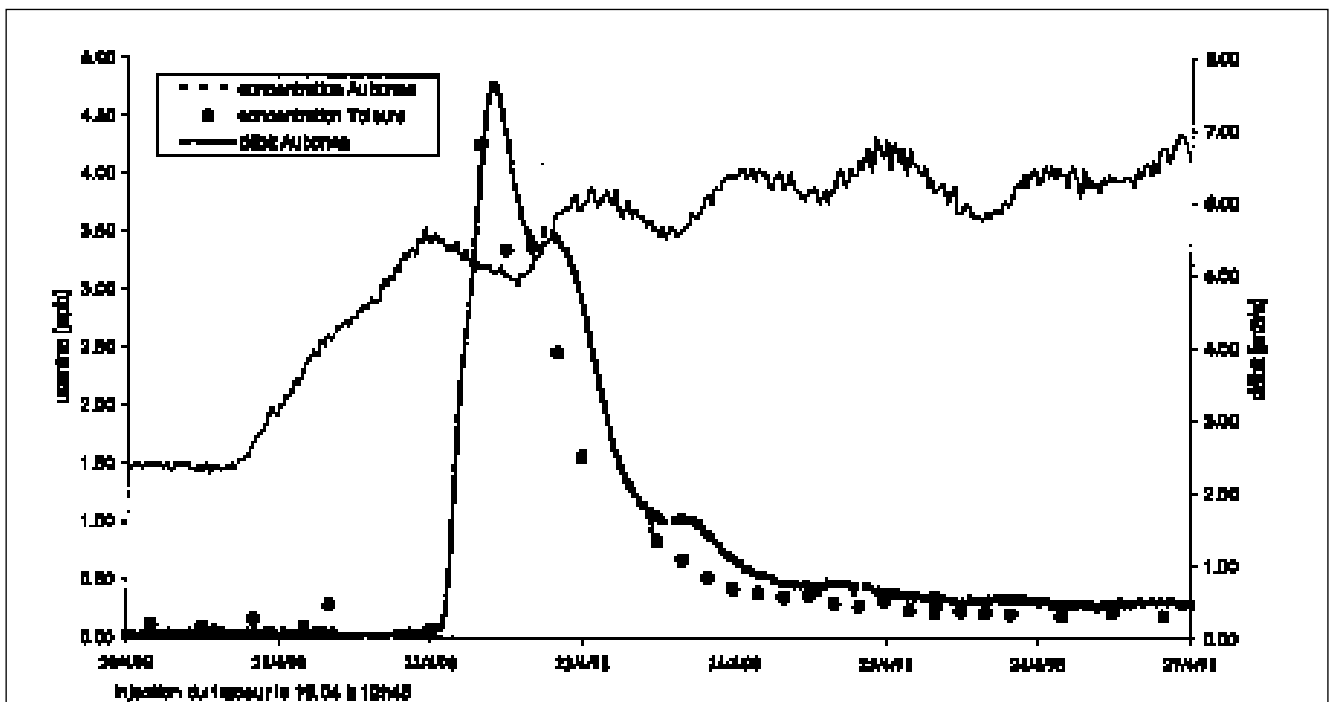
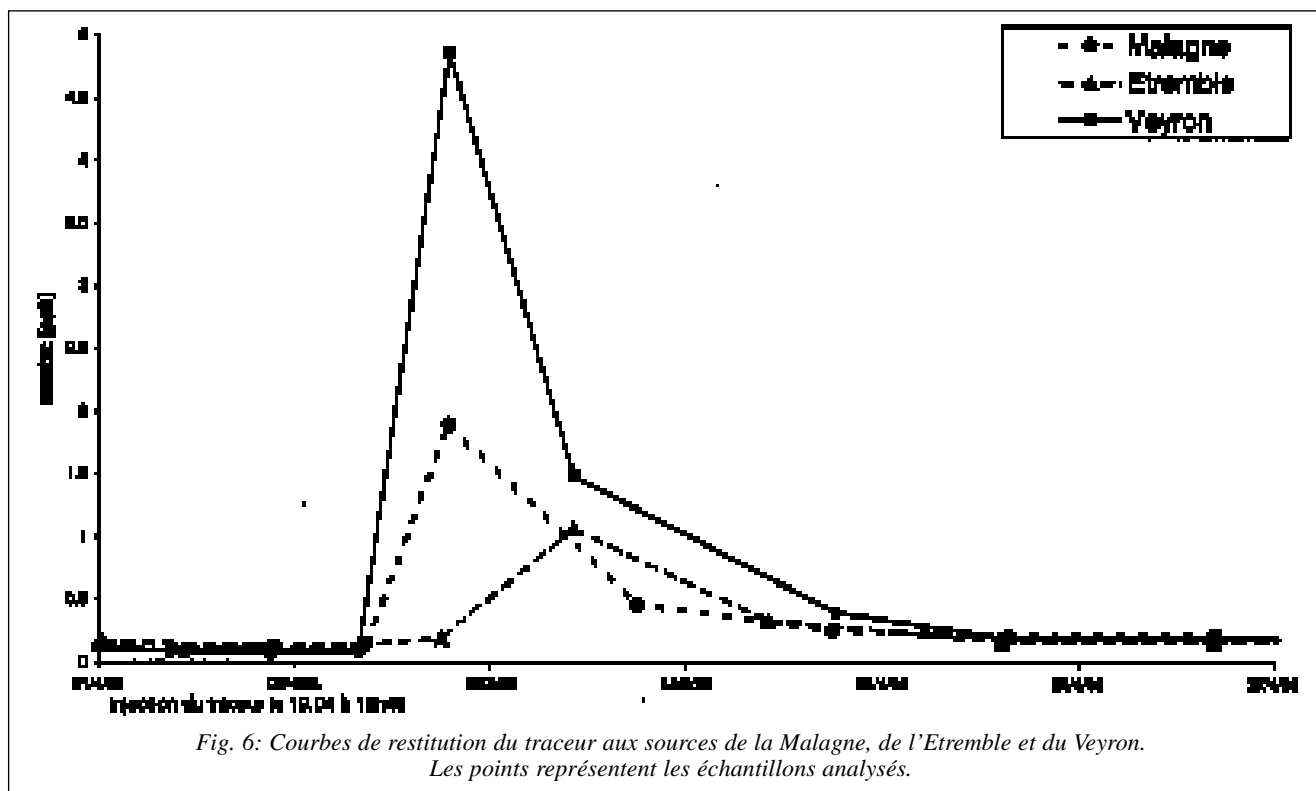


Fig. 5: Restitution du traceur aux sources de l'Aubonne et du Toleure. Les concentrations sur l'Aubonne ont été mesurées par un fluorimètre in situ. Pour le Toleure, des échantillons ont été analysés au laboratoire. Le débit de l'Aubonne, mesuré en continu par une sonde de pression, est également représenté.



probable que le phénomène est fortement dépendant de l'état de la nappe et des conditions hydrodynamiques pendant la durée de l'essai.

Lors du même traçage, LAVANCHY établissait une relation avec la Saubrette. L'essai à Longirod ne montre rien de tel. Le résultat obtenu par LAVANCHY est discutable étant donné la forte charge en matière lors des crues de la Saubrette. L'utilisation du Naphtionate, qui a une longueur d'onde d'excitation similaire à certaines molécules organiques, a pu conduire à une interprétation erronée.

Cet essai au gouffre de Longirod montre clairement l'existence de deux drains majeurs (Aubonne-Toleure et Malagne-Etremble-Veyron) situés au droit de décrochements, en connexion hydraulique au moins en période de crue. Les vitesses de transit sont comparables dans ces deux drains. Il montre aussi que les sources de l'Aubonne et du Toleure réagissent de manière similaire et que le Toleure constitue, au moins en partie, le trop-plein de l'Aubonne. Similairement, la Malagne et dans une moindre mesure l'Etremble fonctionnent comme trop-plein du Veyron.

Cet essai apporte les premiers résultats quantitatifs sur le système Aubonne-Toleure qui est l'exutoire le plus important du Jura vaudois après la résurgence de l'Orbe. En hautes eaux le système dépasse allègrement les 25 m³/s, avec des pointes avoisinant les 40 m³/s.

Une estimation de la superficie du bassin d'alimentation donne environ 90 km², ce qui montre que le bassin s'étend bien au-delà de la crête sommitale et englobe la combe des Amburnex en tout cas.

2. Estimation du bassin d'alimentation de la rivière des Mille et une nuits

Un seul jaugeage chimique a été réalisé sur la rivière souterraine en période d'étiage lors de l'été 2000. Un débit de 17,4 l/s a été mesuré en amont de l'affluent du Bel Effort. En parallèle la source de l'Aubonne donnait 480 l/s, soit un rapport d'environ 1 à 30. Des observations visuelles régulières semblent

appuyer ce rapport en conditions hydrodynamiques normales. De fait, le débit moyen de la rivière des Mille et une nuits doit être de l'ordre de 100 l/s, soit un bassin d'alimentation d'environ 3 km². Les limites hypothétiques de ce bassin ont été dessinées sur la fig. 7 dans le prolongement de l'axe de drainage créé par le décrochement. La rivière serait donc alimentée en partie par la combe des Amburnex, jusqu'à la Sèche des Amburnex. Les zones situées au nord-ouest de l'anticlinal du Mont Tendre semblent être drainées vers le bassin lémanique par des décrochements tels que celui de Longirod.

Le système Aubonne-Toleure a donc un bassin d'alimentation qui déborde largement en dehors de son bassin topographique limité par la crête du Mont Tendre - Crêt de la Neuve.

Synthèse sur les observations hydrogéologiques

La découverte de la rivière du gouffre de Longirod apporte la preuve de la participation du synclinal des Amburnex à l'alimentation des sources karstiques du pied du Jura. Une telle relation pouvait être supposée par une lecture attentive de la carte structurale du toit de l'Argovien proposée par AUBERT et al. (1979). Le noyau argovien de l'anticlinal des Begnines situé au NW culmine à 1500 m d'altitude et empêche de ce fait le déversement des eaux des Amburnex en direction des sources de la Vallée de Joux. On aurait pu supposer que les eaux suivent la gouttière synclinale vers le SW selon le plongement axial, mais la présence du décrochement de la combe d'Aragne abaisse suffisamment le seuil argovien de l'anticlinal du Crêt de la Neuve pour permettre aux eaux des Amburnex de s'écouler par cette discontinuité vers les sources de l'Aubonne. Ces eaux forment une véritable nappe perchée dans les calcaires du Malm vers 1000 m d'altitude environ (fig. 1). Il est probable que cette altitude ne varie guère en fonction des conditions météorologiques car les drains rencontrés dans le gouffre de Longirod offrent une grande capacité d'évacuation. De fait, cette nappe perchée doit rester régionalement en dessous de l'altitude

Carte synthétique de l'essai de traçage dans le gouffre de Longirod, 10.04.95

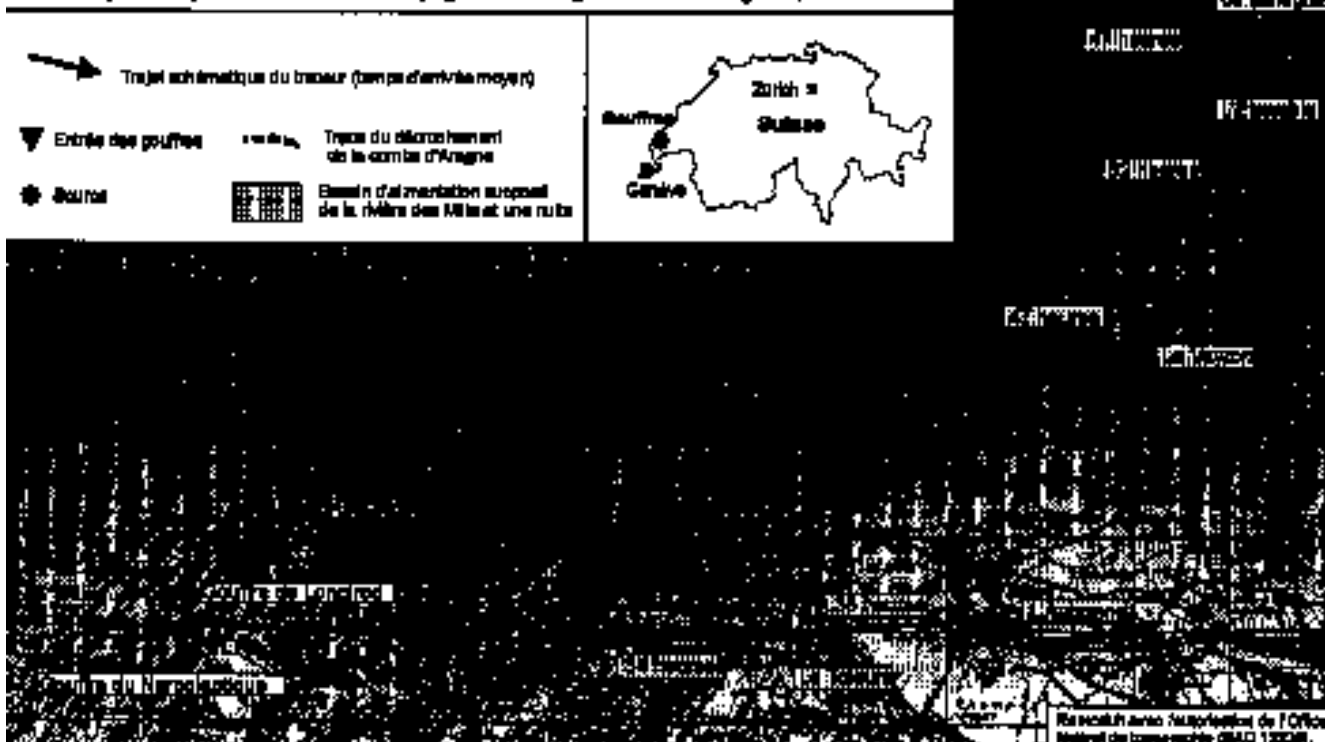


Fig. 7: Carte synthétique des circulations mises en évidence lors de l'essai de traçage au gouffre de Longirod.

des émergences karstiques de la Vallée de Joux et elle ne peut se vidanger que vers les exutoires du pied du Jura.

D'après la carte structurale, toute la région allant du col du Marchairuz au Planet (en dessus de Le Vaud) présente une structure similaire et on peut imaginer d'autres rivières souterraines drainant la nappe perchée des Amburnex vers les émergences de la plaine. Plus au NE, de telles conditions se répètent lors de l'abaissement axial de l'anticlinal du Mont Tendre lié au décrochement de Montricher-Vallorbe-Pontarlier. La nappe perchée située au NW de l'anticlinal doit se déverser vers l'importante source de la Venoge au pied du Jura.

Lors de l'essai de traçage, des sources séparées de plusieurs kilomètres ont été colorées. Ce résultat montre l'importance des circulations latérales (parallèles à l'axe des plis) dans la zone saturée en période de crue. Ce fait avait déjà été relevé lors de précédentes expériences (LAVANCHY et al. 1988, REY et al. 1985).

Conclusions et perspectives

Ces récentes découvertes spéléologiques offrent des informations novatrices sur l'hydrogéologie et la géologie régionale. Toutefois il est nécessaire de poursuivre les observations et les expériences afin d'exploiter au maximum le potentiel d'un tel site d'étude.

Des mesures plus détaillées de la fracturation dans les gouffres et en surface apporteraient une meilleure connaissance régionale de la tectonique cassante. Une étude sur les remplissages du gouffre de Longirod permettrait de proposer un modèle de genèse du système karstique. La suite des explorations dans l'aval devrait apporter des informations intéressantes sur la structure de la zone de drainage dans la zone non-saturée. Il est prévu de réaliser un essai de traçage en conditions d'étiage afin de tester la variabilité temporelle des temps de transit. Des mesures de débit sous différentes conditions sur la rivière des

Mille et une nuits permettraient d'esquisser le régime de la rivière et de mieux estimer la taille de son bassin d'alimentation. A une échelle plus régionale, il faut espérer qu'un multitraçage pourra donner une meilleure connaissance des dimensions du bassin d'alimentation du système Toleure-Aubonne. Un essai réalisé par le Spéléo Club de Nyon au printemps 2000 a établi un lien à priori surprenant entre des gouffres situés à proximité du Creux du Croue et la source du Toleure (LUETSCHER & PERRIN 2001). Les données de débit et de conductivité enregistrées sur les émergences devront être interprétées et la synthèse de toutes ces informations devrait déboucher sur un modèle de fonctionnement cohérent de l'aquifère.

Remerciements

De nombreux spéléologues n'ont pas ménagé leurs efforts pour rendre ces cavités accessibles, qu'ils en soient vivement remerciés! Plusieurs d'entre eux ont participé activement à la collecte des échantillons lors de l'essai de traçage. Le Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, par l'intermédiaire de P.-Y. Jeannin et P.-A. Schnegg, a permis de réaliser le traçage dans des conditions plus qu'avantageuses.

Bibliographie

- ANON. (1927). Géographie illustrée du canton de Vaud. Attinger, 470 p.
- AUBERT D. (1953). La tectonique du Mont d'Or (Jura vaudois) et le décrochement de Vallorbe-Pontarlier. *Eclogae Geologicae Helveticae* 46 (2), 175-186.
- AUBERT D. (1959). Le décrochement de Pontarlier et l'orogénèse du Jura. *Mémoires de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 12 (4), 93-152.

- AUBERT D.; BADOUX H.; LAVANCHY Y. (1979). La carte structurale et les sources du Jura vaudois. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles 74 (4), 245, 333-343.
- PERRIN J.; HEISS G.; CHRISTEN D. (2001). Le gouffre de Longirod. Actes du 11^e Congrès national de spéléologie, Genève, 2001, 41-45.
- CHRISTEN F.; CROISIER P.; PERRIN J.; CHRISTEN D. (2000). Le gouffre du Narcoleptique. Stalactite 2/2000, 73-80.
- CHRISTEN F.; CROISIER P.; PERRIN J.; CHRISTEN D. (2001). Le gouffre du Narcoleptique, topographie. Stalactite 1/2001, 39-40.
- DAVIT A.; JAFFÉ F. C. (1990). The problem of groundwater protection in a composed karstic and fluvioglacial aquifer at the foot of the Jura chain. Memoirs of the 22nd Congress of IAH, Lausanne, 1144-1153.
- FALCONNIER A. (1931). Etude géologique de la région du Col du Marchairuz. Matériel Carte Géologique Suisse, Nouvelle Série, 27^e livraison, 32 p.
- FALCONNIER A. (1950). Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000, Feuille n° 25 (Marchairuz).
- GUIGNARD J.-P.; WEIDMANN M. (1977). Nouveaux gisements de crocodiliens dans le Malm du Jura. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles 73 (3), 297-304.
- LAVANCHY Y.; SCVJ (1988). Réalisation d'un traçage triple dans la région Mont-Tendre - Col du Marchairuz. Actes du 8^e Congrès national de spéléologie, Vallée de Joux, 18-20 septembre 1987, Supplément n° 12 à Stalactite, 97-103.
- LUETSCHER M.; PERRIN J. (2001). Multitraçage dans la région de Noirmont (Jura vaudois). Résultats préliminaires. Actes du 11^e Congrès national de spéléologie, Genève, 2001, 107-110.
- RAVEN T. (1932). Etude géologique de la région de Morez-Les Rousses. Laboratoires de Géologie de l'Univ. de Lyon, Fasc. XX, mém. 17.
- REY J.-P.; SCVJ (1985). Coloration au Gouffre du Petit-Pré. Stalactite 35 (1) 1/85, 20-23.