Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 88 (2002-2003)
Heft: 1

Artikel: Les sources du Nozon (Vaulion/VD)
Autor: Perrin, Jérôme
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-281419

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. 88.1: 59-75 ISSN 0037-9603

Les sources du Nozon (Vaulion/VD)

par

Jérôme PERRIN[1]

Abstract.–PERRIN J., 2002. The springs of the Nozon (Vaulion, Switzerland). *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 88.1*: 59-75.
The Nozon karstic springs are located in an erosion valley which cut the Vaulion cretaceous syncline. Springs issued from the cretaceous aquifer have favoured the deepening of the reculee. As a counterpart, the aquifer drainage system had to adapt to the progressive lowering of the base level. This evolution is illustrated by the speleological network, which allow to distinguish three successive karstification phases: in the Urgonian, in the lower Barremian and then in the Hauterivian limestone. At present, only the lower Barremian of the reculee W slope and the Hauterivian are aquifers. Groundwater from these two units has different physico-chemical properties. It illustrates the partitioning of flow systems within the Cretaceous. A few tracing experiments confirmed the existence of several small independent karstic systems. Water balances calculated for the karstic springs show that most of the infiltrated water in the Barremian and Hauterivian of the syncline emerges at the Nozon springs. Hence, leakage of Cretaceous groundwater to the underlying Malm aquifer appears to be limited.

Keywords: karstification, karstic aquifer, Jura, Cretaceous, water physico-chemistry.

Résumé.– PERRIN J., 2002. Les sources du Nozon (Vaulion, VD). *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 88.1*: 59-75.
Les sources karstiques du Nozon sont situées dans un vallon d'érosion entaillant le synclinal à cœur de Crétacé de Vaulion. La formation de la reculée a été encouragée par le travail d'érosion des eaux issues du Crétacé. En contrepartie l'abaissement progressif du niveau de base a nécessité un réajustement du système de drainage. L'exploration du réseau spéléologique permet de mettre en évidence trois phases de karstification successives: dans les calcaires de l'Urgonien, puis dans ceux du Barrémien inférieur et finalement dans l'Hauterivien. Actuellement seuls le Barrémien inférieur du flanc W de la reculée et l'Hauterivien sont aquifères. Les eaux issues de ces deux unités ont des propriétés physico-chimiques différentes, illustrant la compartimentation des écoulements dans le Crétacé. Plusieurs essais de traçage ont confirmé l'existence de petits systèmes karstiques indépendants. Les bilans hydrologiques des différentes sources montrent que la majorité des eaux infiltrées dans le Barrémien et l'Hauterivien du synclinal réapparaissent aux sources du Nozon. De fait, la drainance des eaux du Crétacé vers l'aquifère du Malm doit être très limitée.

Mots clés: karstification, aquifère karstique, Jura, Crétacé, physico-chimie des eaux.

[1]Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, 11 Rue Emile-Argand, CH-2007 Neuchâtel.
E-mail: jerome.perrin@unine.ch

CODEN: BSVAA6

© Société vaudoise des Sciences naturelles
Droits de reproduction réservés

INTRODUCTION

Le Nozon est une rivière vaudoise de moyenne importance: il prend naissance au-dessus du village de Vaulion, quitte le chaînon jurassien par un défilé d'origine structurale, traverse le village médiéval de Romainmôtier puis gagne la plaine de l'Orbe en aval de Pompaples. La rivière reçoit plusieurs affluents lors de son parcours: son débit moyen passe de 70 l/s aux sources à 600 l/s au niveau du village d'Orny à l'entrée dans la plaine de l'Orbe (PETCH 1970).

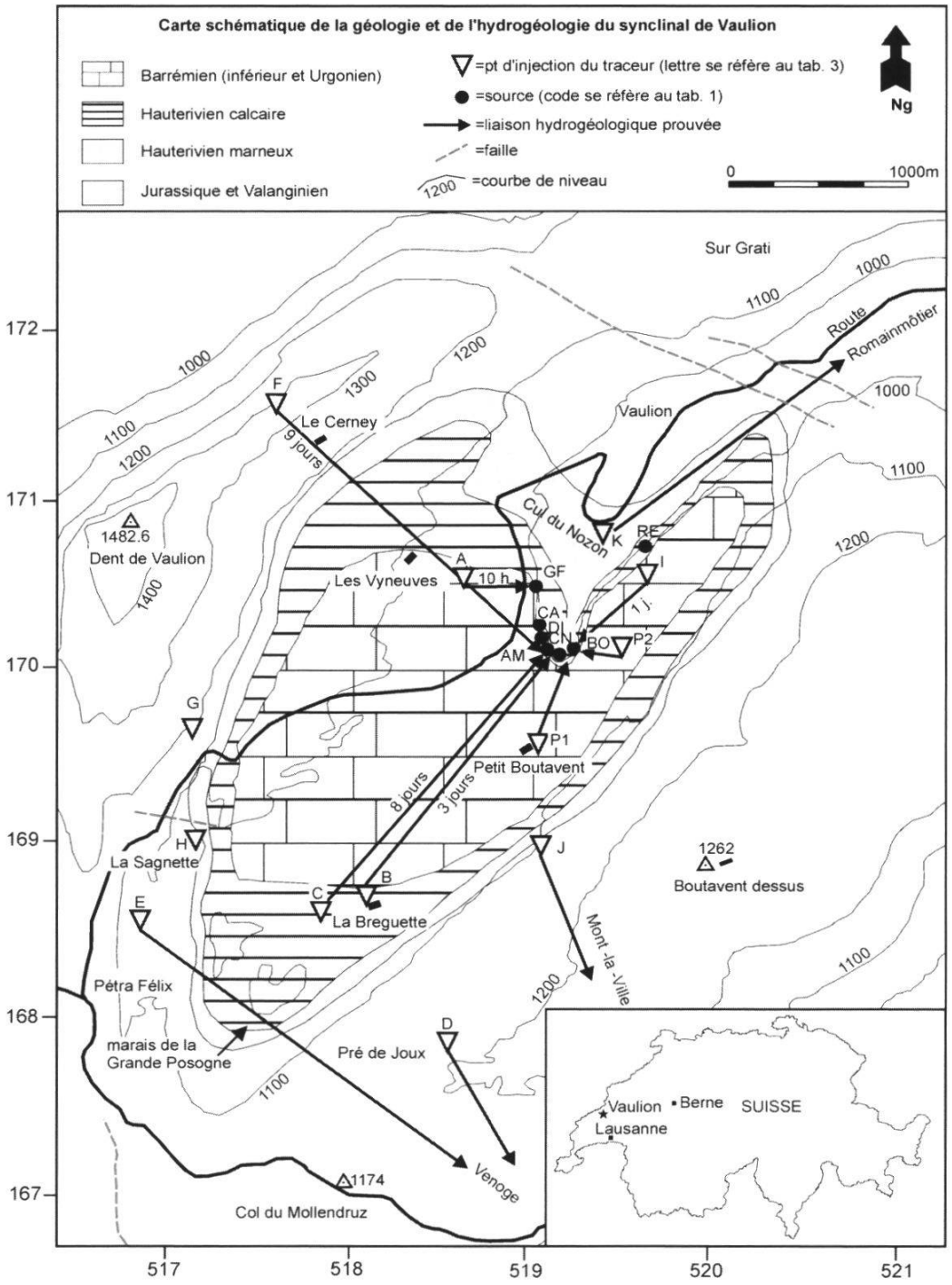


Figure 1.–Localisation des sources du Nozon et représentation simplifiée de la géologie régionale. Les sources représentées et les essais de traçage sont décrits dans les tableaux 1 et 3.

L'affluent le plus important est la source karstique de la Diey en amont du village de Romainmôtier. Les sources du Nozon sont situées dans un cirque encaissé connu sous le nom de «Cul-du-Nozon» (fig. 1). Elles sourdent des calcaires crétacés par de nombreuses émergences étagées, pérennes ou temporaires. Des grottes importantes permettent d'explorer certaines émergences alors que d'autres cavités fossiles témoignent des écoulements souterrains passés (DUTRUIT 1984, WITTWER 1990). Cette zone sourcière est d'une importance vitale pour le village de Vaulion puisque il en extrait toute son eau potable.

Cette étude hydrogéologique se base sur des données existantes (CSD, rapport non publié), sur les informations récoltées lors des explorations spéléologiques (WITTWER 1990) et sur des relevés géologiques et hydrogéologiques complémentaires.

ELÉMENTS DE GÉOLOGIE RÉGIONALE

Le «Cul-du-Nozon» se situe au cœur du synclinal crétacé de Vaulion, d'orientation NE-SW. Celui-ci est le prolongement du synclinal des Amburnex à l'E du décrochement sénestre Montricher-Vallorbe-Pontarlier. Ce synclinal présente un plongement axial d'environ 6° vers le NE. Il est encadré au NW par l'anticlinal de la Dent de Vaulion, décapé de sa couverture crétacée en sa partie sommitale, et au SE par l'anticlinal Mollendruz-Pré Derrière dominant le bassin molassique lémanique (AUBERT 1963, CUSTER 1935).

Quelques kilomètres au NE passe le décrochement dextre de Vaulion (failles de Vaulion et de Sur Grati, AUBERT 1943) se prolongeant jusqu'au horst calcaire du Mormont, situé dans le bassin molassique. C'est ce décrochement qui a favorisé le passage du Nozon vers la plaine de l'Orbe.

A l'échelle locale, une étude géologique de base fut entreprise dans le but de préciser le rôle des différentes lithologies sur la structure de l'aquifère: suite à l'établissement d'un profil stratigraphique détaillé, une carte géologique au 1:5000 a été levée (fig. 2 et fig. 3). Ces relevés sont basés sur une description macroscopique des roches et les noms de faciès et d'étages sont repris des travaux d'AUBERT (1963) et de PETCH (1970). La série débute par les marnes grises de l'Hauterivien inférieur qui affleurent dans la partie aval du vallon (unité 1). L'unité 2 se caractérise par un passage progressif à des calcaires jaunes en petits bancs d'une dizaine de mètres de puissance (Pierre jaune inférieure). Au-dessus viennent 5 m de marnes bleutées (Marnes des Uttins, unité 3). L'unité 4 correspond au faciès de la Pierre jaune supérieure: calcaires oolithiques gris-jaune en bancs décimétriques. Puis le Barrémien inférieur débute par des marno-calcaires à patine grise (unités 5a et 5b). Suivent des calcaires gris fossilifères d'aspect massif (unités 5c et 5d). Une passée marneuse

de moins de 2 m d'épaisseur (unité 5e) marque le passage aux calcaires compacts de l'Urgonien (unité 6).

Ces différentes unités peuvent être cartographiées aisément car elles déterminent la morphologie des versants du vallon: les calcaires se marquent par des falaises et les intercalations marneuses par des pentes.

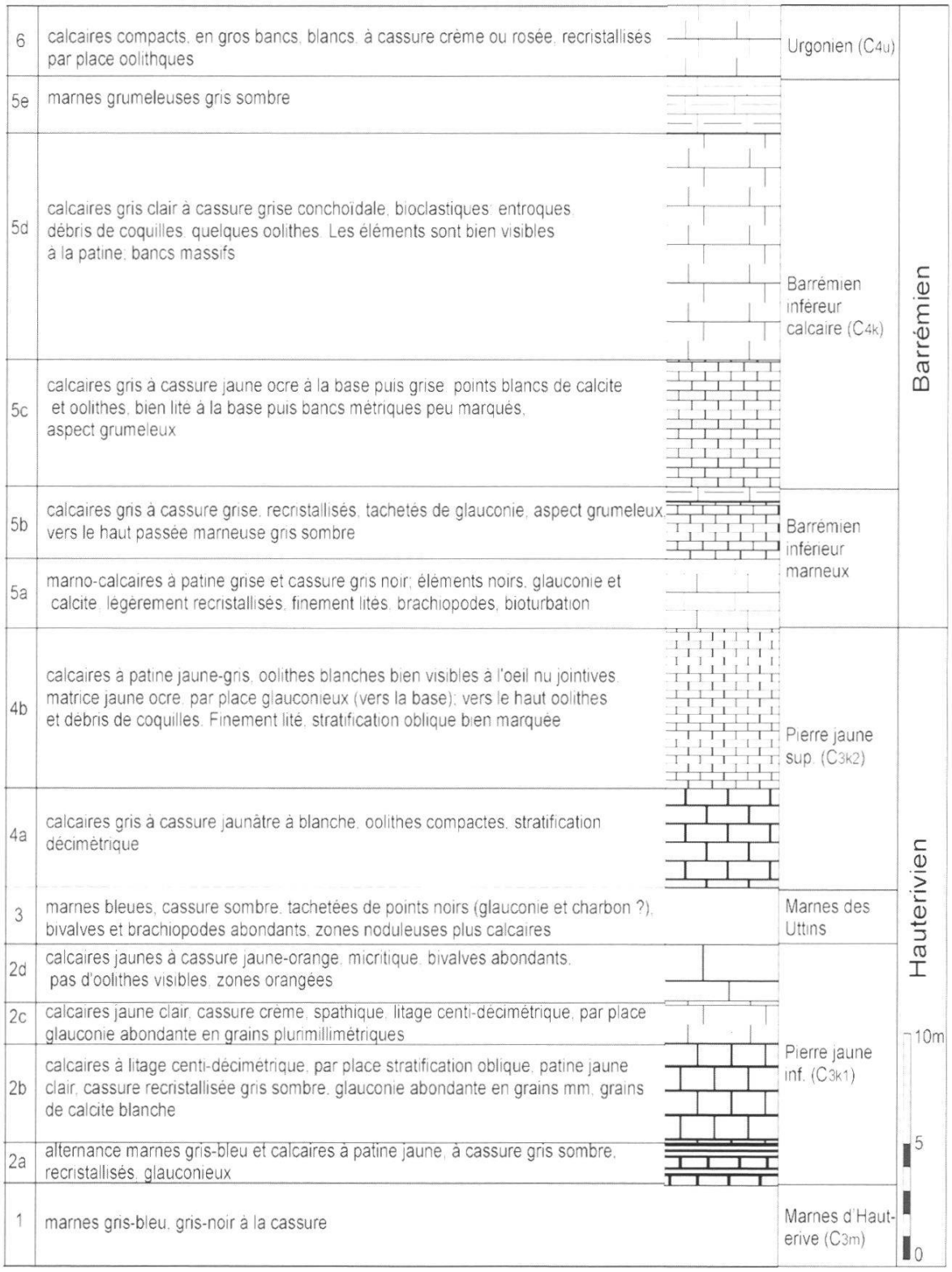


Figure 2.–Profil stratigraphique de l'Hauterivien au Barrémien, Cul du Nozon, Vaulion/VD. Coordonnées de la base de la coupe: 519.240/170.370, 970 m.

L'hydrogéologie régionale

Les sources du «Cul-du-Nozon» sont les exutoires principaux de l'aquifère karstique de la série Hauterivien-Barrémien du synclinal de Vaulion. Elles sont situées dans le creux du synclinal à l'endroit où l'Hauterivien marneux, pouvant être considéré comme une barrière étanche, est entaillé par le vallon (Aubert *et al.* 1979, Ducommun 1979). Ces sources sont pérennes; toutefois, lors d'étiages prononcés, l'eau des sources s'infiltre dans le lit de la rivière en amont du village de Vaulion pour rejoindre les calcaires du Malm et réapparaître à des sources situées en aval du village de Romainmôtier selon un essai de traçage cité par Aubert *et al.* (1979).

L'aquifère du «Malm», situé sous les marnes de l'Hauterivien, est constitué par les calcaires du Valanginien, les marnes peu épaisses du Purbeckien et les calcaires massifs du Malm. Il a ses exutoires essentiellement au niveau du plateau de Romainmôtier-Croy (Ducommun 1979). Plusieurs sources ayant des débits d'étiage soutenus en témoignent: la plus importante est la source de la Diey sise en amont du village de Romainmôtier. L'existence de cette zone de décharge remonte probablement au Pré-Würm lorsque le vallon de Fontaine Vive (en bordure des villages de Croy et de Romainmôtier) était parcouru par la rivière de l'Orbe (Aubert 1956). Ce vallon constituait alors le niveau de base régional de l'aquifère karstique.

En crue, la mise en charge de la nappe permet un déversement par le seuil du Mollendruz d'une partie de l'eau du synclinal de Vaulion vers les sources de la Venoge. Cette liaison a été vérifiée par un essai de traçage réalisé au pâturage de la Sagnette (Lavanchy 1988).

La connexion entre les aquifères du Crétacé et du Malm semble limitée efficacement par les marnes de l'Hauterivien. Toutefois on ne peut exclure une drainance du Crétacé vers le Malm en conditions hydrauliques normales.

Observations karstologiques et spéléologiques

Le synclinal de Vaulion a constitué un point bas topographique depuis la mise en place de la chaîne du Jura. Il a été remodelé par le passage récurrent de glaciers au Quaternaire. Il est probable que l'incision des calcaires en fond de vallon a été générée par les torrents de fonte glaciaire. Dès que le premier niveau marneux (niveau 5e sur le profil stratigraphique) a été atteint dans le lit de ces paléo-torrents, des sources karstiques de versant ont pu apparaître. Cet apport d'eau de source dynamisa le travail d'incision pour façonner la reculée actuelle.

L'observation de la morphologie des cavités karstiques (Wittwer 1990) et leur emplacement stratigraphique (fig. 3) permet de retracer l'évolution des écoulements au cours du temps.

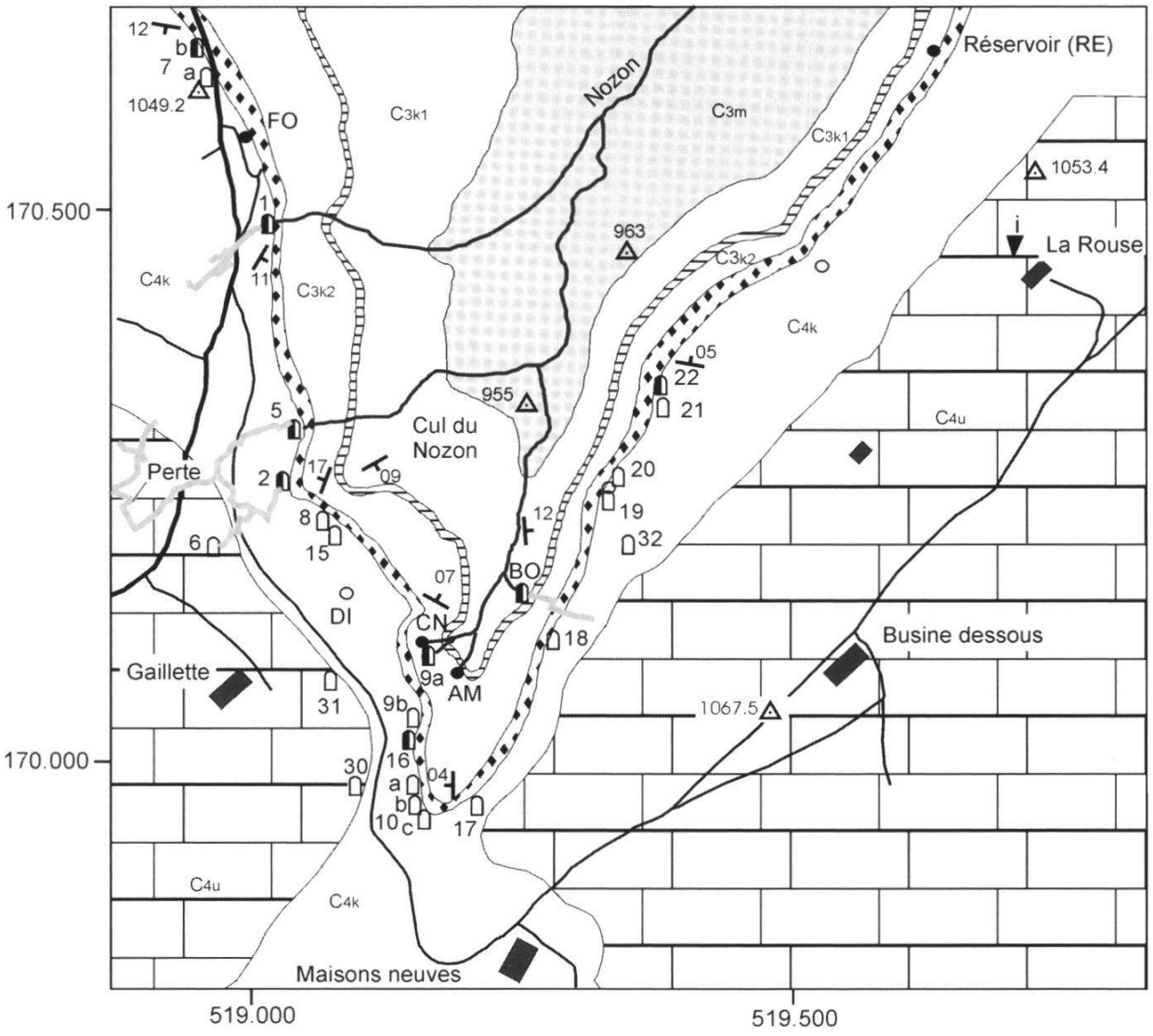
Phase 1: karstification de l'Urgonien

Dans un premier temps les calcaires urgoniens (unité 6 du profil stratigraphique, fig. 2) sont karstifiés, les écoulements se font en charge puis en régime vadose dès que le fond du vallon atteint les marnes sous-jacentes (niveau 5e). Plusieurs cavités pénétrables (Abri de la Gaillette, Boyau du Cycliste, n° 6 et 30, fig. 3) et impénétrables fossiles témoignent de l'évolution du régime d'écoulement: le conduit phréatique d'origine est surcreusé par un écoulement vadose postérieur donnant aux galeries un profil caractéristique en « trou de serrure ». Sous l'Abri de la Gaillette, une légère dépression se prolonge dans l'axe de la pente bien en dessous de la grotte. Il s'agit probablement de la trace du torrent qui devait sourdre de l'Abri. En effet, étant donné le diamètre de certains conduits, le débit a pu être relativement important. Actuellement les cavités de l'Urgonien sont entièrement fossiles, y compris en période de fortes précipitations.

Phase 2: karstification du Barrémien inférieur

Au-dessous de l'Urgonien, le Barrémien inférieur calcaire (unité 5d) renferme le deuxième niveau de cavités: les grottes du Gros-Fort et de la Pernon (n° 1 et 2, fig. 3), situées sur le versant ouest, sont les plus importantes connues dans le vallon. Leur tracé est partiellement représenté sur la figure 3. La grotte du Gros-Fort (n° 1) est constituée d'une galerie en interstrates essentiellement rectiligne, d'orientation SW. La source permanente émerge d'une fissure située à 30 m de l'entrée en paroi de droite. La galerie en amont est parcourue par un ruisseau pouvant s'assécher en période d'étiage. Après 100 m le conduit descend sous le niveau piézométrique, limitant les explorations plus en amont. La grotte de la Pernon (n° 2) présente plus de 1000 m de galeries. Un écoulement dans la zone d'entrée est alimenté localement par des infiltrations du versant boisé situé au-dessus. Ensuite la galerie devient fossile jusqu'à la bifurcation avec le conduit rejoignant la grotte de la Cascade (n° 5). Cette cavité est le trop-plein de la source de la Cascade (CA) située 6 m au-dessous au pied de la paroi. En crue, une belle cascade de plusieurs litres par seconde sort du porche. Cet écoulement pérenne parcourt uniquement la partie amont de la grotte de la Pernon (tracé en dehors de la figure 3 et remontant 400 m au sud-ouest) et se perd par un soutirage indiqué « perte » sur la figure 3. La majorité des galeries sont creusées en interstrates donnant un caractère horizontal à la cavité puisque la dénivellation maximale atteinte à l'amont est de 23 m.

Les conduits creusés en régime noyé peuvent être contemporains de la phase de karstification antérieure (phase 1); toutefois, toutes les galeries, fossiles ou actives, ont été remodelées ultérieurement par des écoulements vadoses, lorsque le vallon entama les marnes sous-jacentes du Barrémien (unités 5a et 5b).



Carte géologique du Cul du Nozon

Légende:

- Urgonien (C4u)
- C4k Barrémien inférieur calcaire
- Barrémien inférieur marneux
- C3k2 Pierre jaune supérieure
- Marnes des Uttins
- C3k1 Pierre jaune inférieure
- C3m Marnes d'Hauterive
- =pendage de la strati.
- =source permanente
- =source temporaire
- =grotte fossile (n° inventaire)
- =grotte active (n° inventaire)
- =point injection traceur (i)
- =réseau karstique

0 200m

Ng

n° inventaire	nom de la cavité	développement
1 (GF)	grotte du Gros Fort	182 m
2	grotte de la Pernon	1161 m
5 (CA)	grotte de la Cacade	40 m
6	abri de la Gaillette	17 m
7	grottes de la Route	11 m
8	grotte Basse	25 m
9a	grotte faille du Cul du Nozon	8 m
9b	abri du Cul du Nozon	9 m
10a	grotte de la Grenouille	22 m
10b	abri du Cirque du Nozon	9 m
10c	grotte du Cirque du Nozon	8 m
14 (BO)	émergence des Cascatelles	84 m
15	grotte Basse n° 2	9 m
16	grotte du Tube	70 m
17	grotte de l'Ancienne Décharge	5 m
18	grotte du Joint	14 m
19	grotte Cachée	9 m
20	grotte Fourrée	12 m
21	grotte Perchée	4 m
22	grotte du Ruisseau	8 m
30	boyau du Cycliste	9 m
31	grotte à Drobie	6 m
32	grotte des 3 Colonnes	9 m

Figure 3.–Carte géologique détaillée du Vallon du Nozon et localisation des cavités karstiques.

Presque toutes les cavités du flanc E du vallon situées dans la même unité stratigraphique sont fossiles. Pourtant certaines présentent des remplissages de sable et de galets ainsi que des sections de galeries témoignant d'importantes circulations.

Phase 3: karstification de l'Hauterivien

Cette phase regroupe tous les phénomènes karstiques situés dans les calcaires de l'Hauterivien (unités 2b à 4b). La seule cavité pénétrable est l'exurgence des Cascatelles (n° 14, fig. 3) située dans le flanc est du vallon; le ruisseau issu de cette grotte est capté par la commune de Vaulion et peut être parcouru sur une centaine de mètres jusqu'à une fissure infranchissable. Dans le flanc ouest émergent les sources les plus importantes du secteur, celles du Cul-du-Nozon (CN) et de l'Américain (AM), toutes deux captées pour l'eau potable de la commune. Cette phase de karstification est donc en pleine activité et la majorité des écoulements, limités par le niveau de base local des marnes de l'Hauterivien, se font en régime noyé. En effet ces marnes ne sont recoupées par l'érosion qu'à l'aval des sources (fig. 3).

Trois phases de karstification ont pu être mises en évidence; elles correspondent à l'approfondissement progressif de la reculée du «Cul-du-Nozon». Le karst urgonien actuellement fossile est connecté au karst du Barrémien dont le drainage est illustré par les grottes du Gros-Fort (n° 1) et de la Pernon (n° 2) sur le versant W du vallon. Sur le versant E par contre, les deux unités sont hydrauliquement connectées à l'aquifère de l'Hauterivien alimentant plusieurs émergences situées vers le fond du vallon: Cascatelles, Cul-du-Nozon, Américain.

L'HYDROGÉOLOGIE LOCALE

Les écoulements souterrains actuels peuvent être compartimentés en plusieurs unités: les écoulements sur le Barrémien inférieur marneux, les écoulements limités par les marnes d'Hauterive et les écoulements rejoignant l'aquifère du Malm. Cette séparation du Crétacé en différentes unités hydrogéologiques n'est possible qu'à l'échelle locale. En effet toutes les couches marneuses sont relativement peu épaisses (maximum 40 m pour l'Hauterivien marneux) et sont donc perméables à grande échelle, comme en témoigne la combe des Amburnex, prolongement du synclinal du Nozon vers le SW. Celle-ci est entièrement située dans les couches du Crétacé et alimente l'aquifère du Malm comme l'ont montré par exemple PERRIN et LUETSCHER (2001).

Physico-chimie des sources

Le tableau 1 présente la synthèse des mesures de débits, conductivités et températures aux principales sources. Ces mesures ponctuelles furent

Tableau 1.–Principales sources du Vallon du Nozon et leurs caractéristiques physico-chimiques. Moyennes sur 5 mesures (excepté * = une mesure).

code source	nom de la source	coordonnées	altitude	débit moy. (l/s)	bassin d'alim. (km^2)	temp. moy. (°C)	cond. moy 25°C (µS/cm)	remarques
CN	Cul du Nozon	519.160/170.125	985 m	50.0	CN+AM = 1.5	6.4	427	captage
AM	Américain	519.200/170.100	980 m	5.0	-	6.4	421	captage
BO	Cascatelles	519.240/170.160	970 m	5.0	0.15	6.7	443	captage
RE	Réservoir	519.670/170.780	960 m	0.5	?	7.1	427	captage
GF	Gros Fort	519.020/170.510	1025 m	10.0	0.30	7.1	571	ancien captage
CA	Cascade	519.055/170.335	1025 m	4.0	CA+PE = 0.15	7.0	532	
PE	Pernon	519.050/170.270	1025 m	1.0	?	7.5	599	
DI	La Diaz	519.100/170.160	1035 m	0.5	?	6.3*	930*	captage

effectuées à plusieurs reprises (29.10.95, 02.06.96, 16.08.96, 21.01.01). Pour les sources CN, AM, BO et RE s'ajoutent les données du rapport CSD (rapport non publié) effectuées deux fois par mois entre le 27.01.91 et le 07.10.91.
Les sources les plus basses (CN, AM, BO), exutoires de l'Hauterivien, sont significativement plus froides et moins minéralisées que les sources issues du Barrémien situées au-dessus (GF, CA, PE). Un tel résultat confirme les observations spéléologiques et géologiques qui suggéraient l'existence de deux aquifères superposés. Les températures plus basses des sources de l'Hauterivien semblent indiquer un bassin d'alimentation plus élevé. Les minéralisations plus faibles suggèrent des temps de transit plus courts. De plus, les sources issues du Barrémien précipitent d'importantes quantités de tuf depuis de nombreuses années; inversement les sources de l'Hauterivien ne présentent pas trace de précipitations vers leur exutoire. Ces faits renforcent les déductions basées sur les mesures ponctuelles de conductivité.

Il faut toutefois constater que les conductivités mesurées sont rarement au-dessous de 400 µS/cm. Ces valeurs sont typiques des aquifères dans le Crétacé et se distinguent nettement des eaux de l'aquifère du Malm dont la conductivité moyenne est d'environ 330 µS/cm. Cette différence avait été illustrée par PETCH (1970) qui montra que les sources du Crétacé sont enrichies en Ca^{2+} et HCO_3^- ainsi qu'en SO_4^{2-} et Cl^-. Ces résultats tendent à prouver que l'aquifère du Malm ne peut qu'alimenter très partiellement les sources du Cul-du-Nozon.

Le tableau 2 et la figure 4 présentent les analyses chimiques des échantillons récoltés le 21 janvier 2001, en période d'étiage. Quatre groupes de sources se différencient clairement: le premier englobe la source de la Diaz (DI, fig. 3),

l'écoulement à l'entrée de la grotte de la Pernon (n° 2) et la Fontaine (FO) située sous la route cantonale, toutes issues du Barrémien calcaire (unité 5d). Ces émergences sont fortement contaminées par les chlorures et le sodium indiquant une influence directe du salage de la route passant à proximité. Le deuxième groupe comprend la grotte du Gros-Fort et la source de la Cascade, drainant également le Barrémien. Ces eaux ont des duretés comparables au premier groupe mais sont moins contaminées, indiquant un bassin d'alimentation plus étendu permettant de réduire les effets de la route par un apport d'eau non influencée par le salage. Le troisième groupe est constitué des sources CN et 9a de composition chimique clairement identique. Elles se caractérisent par une eau également légèrement contaminée mais moins minéralisée (environ 7 mg/l de Ca^{2+} et 20 mg/l de HCO_3^- de moins que le groupe 2). Le dernier groupe est représenté par l'émergence des Cascatelles qui montre des concentrations naturelles en NaCl mais apparaît légèrement contaminée par les nitrates.

Tableau 2.–Analyses chimiques des principales sources du Vallon du Nozon. Ions majeurs analysés en chromatographie ionique, bicarbonates déterminé par titrage, conductivité, température et pH mesurés sur le terrain. Indice de saturation en calcite (IS) calculé avec le programme Phreeqe.

Source	Date	Débit (l/s)	Cond. (µS/cm)	T (°C)	pH	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	SO_4 (mg/l)	NO_3 (mg/l)	HCO_3 (mg/l)	IS calcite
CN	21.01.01	3.00	478	6.5	7.55	3.68	0.96	2.34	93.4	7.50	2.80	5.95	295	0.62
9a	21.01.01	2.50	478	6.5	7.56	3.68	0.96	2.35	94.0	7.45	2.78	5.93	303	0.44
BO	21.01.01	12.00	476	6.4	7.65	1.25	0.80	3.10	102.9	3.76	2.74	8.16	329	1.04
GF	21.01.01	5.00	531	6.7	8.04	5.17	2.37	2.20	102.4	10.69	2.89	5.56	333	0.58
CA	21.01.01	2.00	499	6.9	7.92	4.15	1.22	1.27	98.7	8.76	2.16	5.35	311	0.26
PE	21.01.01	0.08	686	5.4	8.34	25.18	3.78	2.48	110.8	55.31	29.53	12.19	289	0.82
DI	21.01.01	0.21	930	6.3	7.76	69.17	0.61	1.57	117.1	127.57	3.49	6.18	340	0.67
FO	21.01.01	0.15	611	6.5	7.83	15.40	1.94	2.21	105.0	33.17	4.74	3.97	333	0.28

Ces analyses chimiques confirment la compartimentation des écoulements dans le synclinal crétacé et montrent que la qualité des eaux est fortement dépendante des activités anthropiques dans les bassins d'alimentation respectifs. Ces analyses confirment également la plus faible minéralisation des eaux issues des calcaires hauteriviens représentées par les sources CN et 9a.

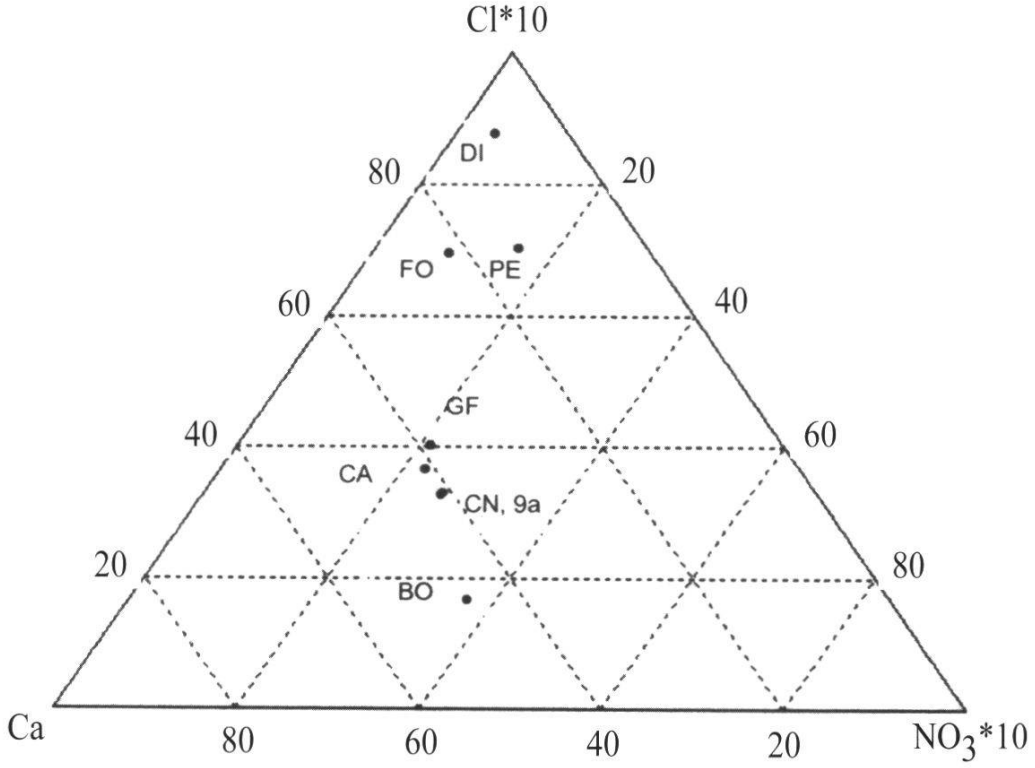


Figure 4.–Représentation des analyses chimiques sur un diagramme ternaire Ca^{2+}, Cl^- et NO_3^- . Les concentrations en Cl^- et NO_3^- sont multipliées par 10. (DI=Diaz, FO=Fontaine, PE=Pernon, GF=Gros-Fort, CN et 9a=Cul-du-Nozon, CA=Cascade, BO=Cascatelles).

Essais de traçage

Le tableau 3 et la figure 1 représentent tous les essais de traçage connus dans la région. Seul l'essai A effectué au chalet des Vyneuves (calcaires urgoniens) a montré une relation avec une émergence du Barrémien (grotte du Gros Fort) avec une vitesse moyenne de 28 m/h. Ce traçage a donné des résultats douteux (surveillance sur fluocapteurs) aux sources du Cul-du-Nozon (CN) et de l'Américain (AM) dans l'Hauterivien. Les autres essais de traçage sont réapparus aux émergences situées dans l'Hauterivien: les traceurs injectés dans les calcaires hauteriviens de la Breguette (essai B et C) sont sortis aux sources CN et AM avec des vitesses comprises entre 4 et 24 m/h. Les essais effectués dans l'Urgonien du versant est du vallon (I et pollutions P1 et P2) ont établi la connexion hydraulique entre les calcaires urgoniens et les sources de la grotte des Cascatelles (BO) et de l'Américain (AM) situés dans l'Hauterivien. L'essai I, réalisé en étiage, montre une vitesse moyenne de 42 m/h.

Finalement les injections effectuées dans les calcaires du Malm et du Valanginien ont soit donné des résultats négatifs soit montré un lien avec des sources situées au pied du Jura (Venoge). Seul l'essai F au chalet du Cerney fait exception et montre que l'aquifère du Malm peut alimenter les sources de l'Hauterivien (CN et AM). Ce résultat est surprenant car il nécessite une charge

Tableau 3.–Liste des essais de traçage réalisés dans le synclinal de Vaulion. E = échantillonnage, FC = fluocapteurs.

Code essai	Lieu d'injection	Date d'injection	Géologie pt. d'injection	Traceur	Conditions d'injection		sources surveillées	type, durée de surv.	Détection	Vitesse	Remarques	Auteur
					locales	hydrodyn.						
A	Vyneuves 518.660 / 170.500 / 1090 m	11/6/68	Urgonien+ moraine	Fluorescéine 2kg	3 m^3 d'eau épandu		GF, CN, AM	FC, visuel	GF, (CN, AM)	GF: 28 m/h CN-AM: 2 m/h		Labo. cantonal
B	Breguettaz 518.180 / 168.480 / 1080 m	7/14/82	calc. Haut. Supérieur	Fluorescéine 5kg			CN, AM, BO	FC	CN, AM	CN-AM: 24 m/h		J. Mautner
C	Breguettaz 517.830 / 168.520 / 1075 m	10/25/83	calc. Haut. sup.+moraine	Fluorescéine 5kg	100 m^3 d'eau à 8 l/min.	étiage	?	FC, visuel	CN, AM	CN: 11 m/h AM: 4 m/h		J. Mautner
D	Pré de Joux 518.550 / 167.750 / 1200 m	11/1/85	doline base calc. Val.	Fluorescéine 5kg	24 m^3 d'eau		CN, AM, BO	FC	-		Venoge colorée	P. Blanc
E	Sagnette 516.850 / 168.500 / 1080 m	5/18/87	limite Val. inf-Purbeckien	Sulforhod. 5kg	16 m^3 d'eau	crue	CN, GF	E + FC	-		Venoge colorée	Y. Lavanchy
F	Cerney 517.745 / 171.580 / 1320 m	7/4/91	doline sommet Portlandien	Fluorescéine 5kg	3 m^3 d'eau	étiage	CN, AM	E + FC	CN, AM	CN: 9 m/h AM: 6 m/h		CSD
G	Bois de Blanchard 517.150 / 169.600 / 1175 m	7/4/91	Valanginien inférieur	Naphtionate 5kg	3 m^3 d'eau dans grotte	étiage	CN, AM, BO	E + FC	douteux			CSD
H	La Sagnette 517.150 / 169.000 / 1075 m	7/4/91	Valanginien supérieur	Duasyne 5kg	3 m^3 d'eau dans perte	étiage	CN, AM, BO	E + FC	-			CSD
I	La Rouse 519.680 / 170.500 / 1055 m	7/4/91	Urgonien	Fluorescéine 1kg	3 m^3 d'eau	étiage	BO, RE	E + FC	BO	BO: 42 m/h		CSD
J	Boutavent 519.050 / 168.970 / 1100 m	?	Valanginien	?	?	?	?	?	Mont-la-Ville	?	?	d'après Aubert et al. (1979)
P1	Petit Boutavent 519.100 / 169.520 / 1062 m	10/9/71	Barrémien inférieur	purin				odeur...	BO, AM		pollution	
P2	Busine dessous 519.580 / 170.150 / 1068 m	?	Urgonien	purin				odeur...	BO		pollution	
K	Vaulion 519.375 / 170.725 / 945 m	?	Hauterivien	?	?	?	?		Romainmôtier	?		d'après Aubert et al. (1979)

hydraulique du Malm supérieure à celle de l'aquifère de l'Hauterivien. Cette charge devrait être d'au minimum 1000 m alors que les exutoires régionaux de la Diey et de la Venoge se situent à 700 m. Une telle différence de charge n'est pas à exclure en période de fortes précipitations: le Crétacé, bien drainé, garde un niveau piézométrique relativement peu influencé alors que le Malm moins transmissif pourrait se mettre en charge sur plus de 200 m. Pourtant l'essai F a été réalisé en période d'étiage.

Ces essais de traçage permettent d'apporter quelques éléments nouveaux sur l'hydrogéologie locale: Les vitesses de transit dans le Barrémien sont au moins aussi élevées que dans l'Hauterivien. Un temps de séjour plus élevé de l'eau dans le Barrémien ne peut donc pas expliquer une minéralisation et une température plus élevées. Ces différences physico-chimiques doivent être liées à d'autres causes: un bassin d'alimentation plus élevé pour les sources de l'Hauterivien explique les températures plus basses. Les conductivités plus élevées des eaux du Barrémien sont essentiellement liées aux fortes concentrations en calcium et bicarbonates (tableau 2), les paramètres indicateurs de contamination ne jouant qu'un rôle mineur (estimé à 1/5 de la différence de conductivité). Ces concentrations plus élevées sont vraisemblablement causées par des pressions partielles de CO_2 plus importantes dans les sols drainés par le Barrémien, plus épais et plus bas en altitude.

L'Urgonien du versant W du vallon semble alimenter essentiellement les sources du Barrémien alors que l'Urgonien du versant E alimente les sources de l'Hauterivien. Ce résultat rejoint l'observation concernant l'absence de cavités actives dans le Barrémien du flanc E du vallon. La compartimentation des écoulements est illustrée par ces résultats.

Selon les résultats de l'essai F, l'aquifère du Malm alimente partiellement les sources de l'Hauterivien. Ce résultat reste à confirmer car la connexion hydraulique Malm-Hauterivien n'est en principe possible qu'en période de hautes eaux et tel n'était pas le cas lors de l'essai réalisé en juillet 1991.

Les vitesses de transit des traceurs dans l'aquifère du Crétacé sont comparables à celles obtenues pour l'aquifère du Malm. Des essais réalisés en étiage sur les bassins d'alimentation de la Venoge, au pied du Jura, de la Lionne et du Brassus, à la Vallée de Joux, montrent des vitesses s'échelonnant entre 10 et 40 m/h (LAVANCHY 1988).

Bassins d'alimentation

L'altitude moyenne des bassins d'alimentation peut être estimée à 1100 m sur la base de l'extension du Crétacé (fig. 1). Le module pluviométrique annuel est de 1580 mm à cette altitude pour le Jura central (PETCH 1970). L'évapotranspiration annuelle moyenne à cette altitude est d'environ 450 mm pour le système de l'Orbe situé à proximité (WACKER et WITTWER 1982). Ces

valeurs donnent un débit spécifique moyen de 36 l/s/km^2, proches d'autres valeurs obtenues ailleurs dans le Jura (TRIPET 1973, PERRIN *et al.* 2000).

Les débits des sources du Cul-du-Nozon sont mal connus, toutefois des estimations basées sur des mesures ponctuelles sont données dans le tableau 1. Ces valeurs permettent d'estimer grossièrement la superficie des bassins d'alimentation des différentes sources, les valeurs sont reportées dans le tableau 1. La surface des calcaires crétacés situés au-dessus de l'Hauterivien marneux correspond relativement bien à la taille des bassins d'alimentation. L'alimentation des sources de l'Hauterivien par l'aquifère du Malm semble donc très limitée.

Le bassin d'alimentation de CN et AM doit comprendre les calcaires de l'Hauterivien situés au sud du chalet du Cerney (fig. 1), puis l'axe du synclinal Barrémien allant du Petit Boutavent à La Breguette. Il englobe ensuite les calcaires de l'Hauterivien jusque vers la Grande Posogne comme l'a montré l'assèchement des marécages alentours qui a sensiblement abaissé le débit d'étiage des sources (DUCOMMUN 1979). La source des Cascatelles (BO) draine les calcaires du Barrémien et de l'Hauterivien s'étendant à l'E et au NE de l'émergence. Finalement, le plateau Barrémien au S du chalet des Vyneuves est drainé du N au S par la grotte du Gros-Fort (GF), le système Pernon-Cascade (CA) et la source de la Diaz (DI).

Pollutions

Les eaux du Nozon sont sujettes à des contaminations bactériennes fréquentes: l'essentiel du bassin d'alimentation est occupé par des pâturages et de nombreux chalets d'alpage. Les eaux du Barrémien sont les plus vulnérables: les écoulements se font en régime vadose et les drains ne sont situés que quelques dizaines de mètres au-dessous des pâturages. Les spéléologues ont souvent remarqué des odeurs de purin dans les ruisseaux des grottes de la Pernon et du Gros-Fort. Le ruisseau de cette dernière fut utilisé par la commune pour son alimentation en eau potable mais des pollutions successives aboutirent à l'abandon du captage.

Les sources de l'Hauterivien sont aussi vulnérables, preuve en sont les deux cas de pollution ayant eu pour origine le Petit Boutavent et la Busine-Dessous. La situation devrait s'améliorer suite à l'établissement de zones de protection (CSD, rapport non publié).

MODÈLE DE FONCTIONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE

Les eaux résurgeant dans le vallon du Cul-du-Nozon sont essentiellement issues du synclinal crétacé de Vaulion, les marnes d'Hauterive séparant de manière efficace l'aquifère du Crétacé de l'aquifère du Malm (fig. 5). On ne

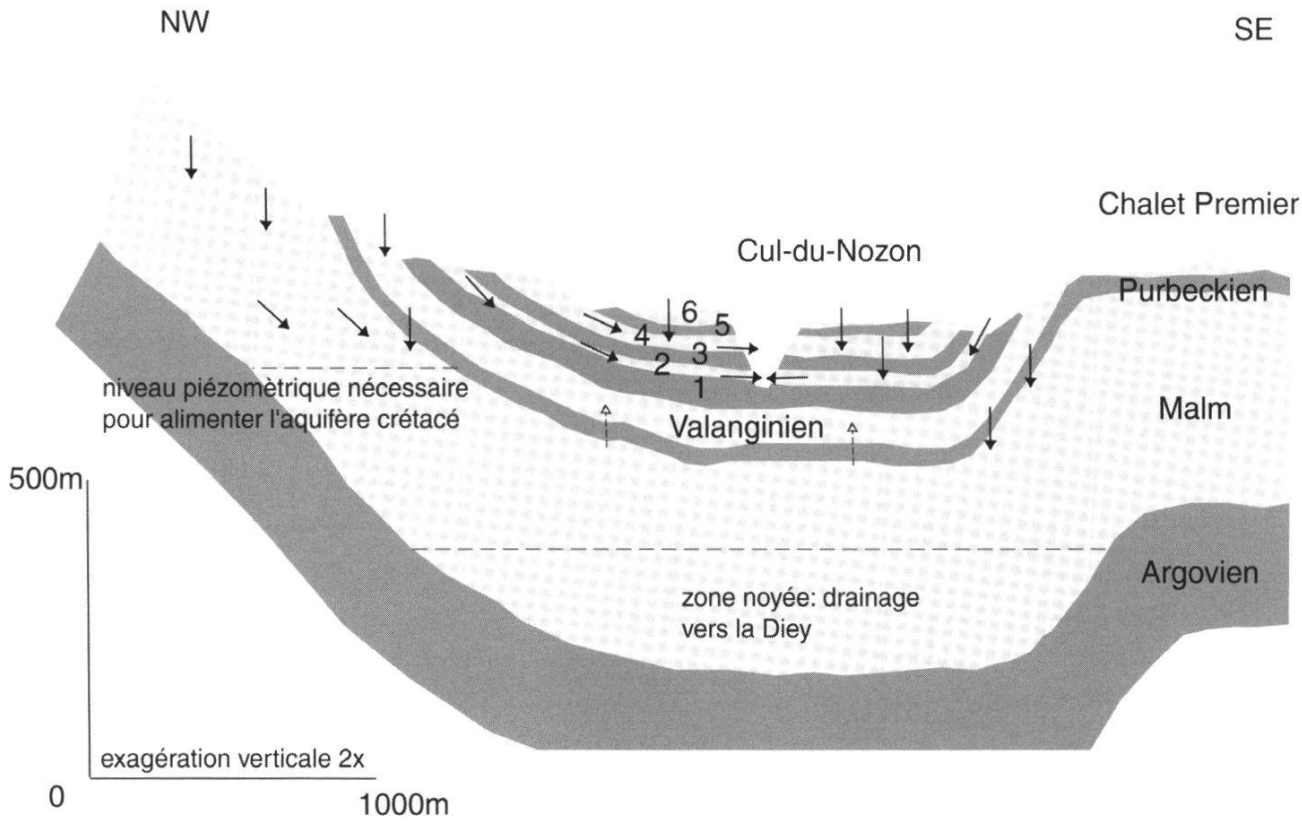


Figure 5.–Représentation schématique du fonctionnement hydrogéologique du synclinal de Vaulion. Les chiffres correspondent aux différentes unités géologiques définies dans la figure 2.

peut exclure un drainage du Crétacé vers le Malm en étiage et l'inverse en crue, mais le phénomène doit être limité comme le montre les bilans hydrologiques et la physico-chimie typique des eaux du Crétacé. Les 5 km^2 de superficie correspondante (fig. 1) sont en bonne adéquation avec les débits annuels moyens observés aux sources.

Les circulations d'eau dans l'aquifère crétacé sont fortement compartimentées. Sur le versant W, les écoulements situés dans le Barrémien et l'Hauterivien forment deux systèmes séparés: le Barrémien est drainé par différentes cavités dont les plus importantes sont les grottes de la Pernon et du Gros Fort, les circulations se font essentiellement en régime vadose. Ce système est plus vulnérable aux pollutions et les eaux ont une température et une conductivité plus élevée que le système Hauterivien. Celui-ci se caractérise par un écoulement essentiellement noyé et une meilleure unification. En effet, lors des essais de traçage plusieurs sources sont en général colorées en même temps.

Sur le versant E du vallon, le Barrémien et l'Hauterivien sont drainés essentiellement par l'exurgence des Cascatelles (BO) située dans l'Hauterivien et présentant un écoulement libre.

L'organisation différente des écoulements entre les flancs E et W peuvent s'expliquer par un réseau de fracturation différent: plus développé sur le flanc E, il aurait permis un soutirage précoce des écoulements du Barrémien vers le système Hauterivien.

Cette mauvaise unification du karst crétacé est déjà décrite par DUCOMMUN (1979). Les écoulements sont essentiellement contrôlés par les joints de stratification puisque l'alternance de bancs calcaires et marneux rend la perméabilité verticale très variable. De plus cette alternance tend à empêcher le prolongement des diaclases d'un banc à l'autre (AUBERT 1969).
Ces caractéristiques lithologiques, qui diffèrent grandement des bancs massifs du Malm, sont essentielles pour comprendre l'organisation des écoulements dans le karst du Crétacé. Il est toutefois intéressant de constater que les vitesses d'écoulement observées dans les deux aquifères semblent comparables, tout au moins en étiage. Les différences physico-chimiques observées peuvent s'expliquer essentiellement par l'altitude des bassins d'alimentation respectifs. En effet l'altitude contrôle d'une part, directement, la température de l'eau infiltrée, d'autre part, indirectement, la quantité de CO_2 disponible dans les sols. En principe une plus grande quantité de CO_2 disponible à basse altitude permet d'obtenir des eaux souterraines plus minéralisées.

L'essai de traçage de LAVANCHY (1988) et celui cité par AUBERT *et al.* (1979) montrent que le Valanginien et le Malm alimentent essentiellement les sources de la Diey en étiage et, pour partie, les sources du Pied du Jura (Venoge) lors des crues.

CONCLUSION

Le vallon du Nozon est intéressant à plus d'un titre: la géologie environnante est bien connue et relativement simple, de nombreuses cavités autorisent des observations à l'intérieur de l'aquifère du Crétacé, les eaux sont partiellement captées par le village.

Cette étude a permis premièrement de préciser les interactions entre la formation de la reculée du Cul-du-Nozon et l'organisation des écoulements dans l'aquifère crétacé. En effet l'approfondissement du vallon a bénéficié du travail d'érosion des eaux issues de cet aquifère. En contrepartie, le système de drainage a dû s'adapter à l'abaissement progressif du niveau de base. Cette évolution est documentée par le réseau spéléologique qui permet de distinguer trois phases de karstification.

Deuxièmement, la synthèse de données hydrogéologiques a mis en évidence les spécificités de l'aquifère du Crétacé par rapport à l'aquifère du Malm: le premier apparaît fortement compartimenté par la succession de marnes et de calcaires. Les joints de strates jouent un rôle important dans l'orientation des écoulements. Au contraire, l'aquifère du Malm est plus uniforme et la fracturation contrôle la direction des écoulements. Les températures et minéralisations de l'eau sont plus élevées dans l'aquifère du Crétacé: l'altitude plus basse des bassins d'alimentation semble en être la principale raison.

Remerciements

La commune de Vaulion a permis la consultation du rapport des zones de protection de ces sources, qu'elle en soit remerciée car sans ces données, cette synthèse n'aurait pas été possible. Les spéléologues du Groupe Spéléo Lausanne (GSL) méritent la reconnaissance car ils n'ont pas ménagé leurs efforts pour lever le voile sur les mystères souterrains de la région. La relecture constructive de M. Luetscher a permis d'améliorer sensiblement la qualité du manuscrit.

Bibliographie

Aubert D., 1943. Monographie géologique de la Vallée de Joux. Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] 78. 134 p.

Aubert D., 1956. Hydrographie ancienne et tectonique récente de la gorge de l'Orbe. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 66 (291)*: 259-271.

Aubert D., 1963. Carte géologique Orbe. Atlas géol. Suisse 1:25'000 et notice expl.

Aubert D., 1969. Phénomènes et formes du karst jurassien. *Eclogae geol. Helv. 62/2*: 325-399.

Aubert D., Badoux H. et Lavanchy Y., 1979. La carte structurale et les sources du Jura vaudois. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 74.4:* 333-343.

Baron P.-J., 1969. Spéléologie du Canton de Vaud. Ed. Attinger, Neuchâtel. 546 p.

Custer W., 1928. Etude géologique du Pied du Jura vaudois. Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] 59. 72 p.

Custer W., 1935. Carte géologique Cossonay. Atlas géol. Suisse 1:25'000 et notice expl.

Ducommun L., 1979. Approche hydrogéologique des bassins versants du Nozon, de la haute Venoge et du Veyron. Rapport du Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, non publié.

Dutruit J., 1983. La grotte de la Pernon. *Le Trou (J. Groupe spéléo. Lausanne) n° 30.*

Dutruit J., 1984. Les exurgences du Nozon. *Le Trou (J. Groupe spéléo. Lausanne) n° 35.*

Dutruit J., 1985. La grotte de la Pernon. *Le Trou (J. Groupe spéléo. Lausanne) n° 40.*

Lavanchy Y., 1988. Réalisation d'un traçage triple dans la région Mont-Tendre - Col du Marchairuz. *Actes du 8e Congrès Nat. de Spéléologie, Suppl. n° 12 à Stalactite*: 97-103.

Perrin J., Jeannin P-Y. et Lavanchy Y., 2000. Le bassin d'alimentation de la source karstique du Brassus (Jura suisse): Synthèse des essais de traçage. *Eclogae geol. Helv. 93/1*: 93-101.

Perrin J. et Luetscher M., 2001. Observations géologiques et hydrogéologiques dans les gouffres de Longirod et du Narcoleptique (Jura vaudois). *Actes du 11e Congrès Nat. de Spéléologie*: 99-106.

Petch M., 1970. Etude hydrogéologique de la plaine de l'Orbe. Thèse Univ. Lausanne. 95 p.

Tripet J-P., 1973. Etude hydrogéologique du bassin versant de la source de l'Areuse. Matér. Géol. Suisse, Sér. hydrol. 21. 183 p.

Wacker C. et Wittwer C., 1982. Approche hydrogéologique des sources de la reculée de la Dernier et de leurs bassins (Vallorbe, Jura vaudois, Suisse). Publication du Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel. 90 p.

Wittwer M., 1990. Inventaire des cavités de la commune de Vaulion. Publ. Groupe Spéléo. Lausanne. 52 p.

Manuscrit reçu le 22 avril 2002