

Observations hydrogéologiques dans la région du Vanil Noir (Préalpes fribourgeoises)

Autor(en): **Müller, Imre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **69 (1976)**

Heft 2

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164522>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Observations hydrogéologiques dans la région du Vanil Noir (Préalpes fribourgeoises)

Par IMRE MÜLLER¹⁾

RÉSUMÉ

Dans la région du Vanil Noir, l'unification du drainage des eaux souterraines est assurée par des réseaux d'écoulement karstiques. L'interprétation de la grande variabilité des paramètres physico-chimiques des émergences karstiques est facilitée par l'analyse des «sources types». Les caractéristiques de certaines sources, isolées par des structures tectoniques favorables, peuvent être considérées comme typiques d'une seule formation donnée et renseignent sur les propriétés hydrogéologiques et géochimiques de celle-ci. Par recoupement et par superposition, l'ensemble des sources types permet d'établir de nombreux renseignements sur les caractéristiques hydrogéologiques du massif et aident à préciser certaines modalités du drainage souterrain.

1. Introduction

Il existe de nombreuses publications sur la géologie des Préalpes fribourgeoises, mais exception faite de quelques rapports d'expertises (DE GIRARD 1911; SCHARDT 1915, 1927, 1928; BÜCHI 1931; TERCIER 1949, 1951), l'hydrogéologie de cette région est encore mal connue. La présente note, basée sur deux années d'observation, n'est cependant qu'une approche des problèmes en cours d'étude.

2. Objectifs et méthode de travail

Le but des recherches est une tentative de caractériser l'hydrogéologie des différentes formations lithologiques, de préciser la perméabilité des roches en examinant leur mode d'altération et leur degré de karstification. Mettre en évidence la variabilité de différents paramètres physico-chimiques de l'écoulement souterrain en fonction des facteurs géologiques et morphologiques. Délimiter les bassins versants.

Le réseau d'observation météorologique et hydrologique de cette région d'environ 200 km² reste trop modeste pour permettre d'aborder l'étude hydrogéologique d'une manière classique. Mis à part un limnigraphe (ARKON), en service depuis août 1973 à l'exutoire du bassin versant de Jaun (fig. 1) et un pluviomètre totalisateur installé au Gros Mont (alt. 1400 m) en novembre 1973, on ne dispose actuelle-

¹⁾ Université de Neuchâtel, Centre d'Hydrogéologie, 11, rue E. Argand, CH-2000 Neuchâtel, et Université de Fribourg, Institut de Géologie, Pérolles, CH-1700 Fribourg.

ment d'aucun autre appareil à l'intérieur du massif pour se faire une idée objective sur l'ordre de grandeur des paramètres hydro-météorologiques qui seraient indispensables pour aboutir à un bilan. Faute de forage, les variations des niveaux piézométriques restent également inconnues. De plus, la complexité de la série stratigraphique avec des lacunes et variations latérales du faciès, les difficultés d'ordre tectonique dues à des décrochements, à des laminations et la présence des nappes de recouvrement empêchent de fixer avec quelque précision les conditions limites des bassins versants.

Pour essayer de contourner certaines de ces difficultés, la méthode de travail consiste à exploiter les données qu'on peut tirer de l'hydrochimie. Certaines sources, isolées par des structures tectoniques favorables, présentent un faciès hydrochimique qui est typique pour une ou plusieurs formations lithologiques définies. Les caractéristiques physico-chimiques de ces «sources types», ainsi que leur variabilité au cours du cycle annuel, peuvent être considérées comme typiques pour toute l'étendue régionale de la formation, à condition que des variations latérales de faciès ne modifient ces propriétés. Une attention particulière doit être apportée aux problèmes de contaminations dues à la présence du Quaternaire. Une zonation de la série stratigraphique par des sources types permet d'étudier ensuite les modalités du drainage par les réseaux karstiques dont les paramètres physico-chimiques et l'évolution de celles-ci sont corrélables avec celles des sources types.

En 1974, l'échantillonnage était mensuel dans soixante sources et onze ruisseaux. Dans les émergences karstiques, la surveillance était hebdomadaire. A part la température, tous les autres paramètres ont été mesurés en laboratoire. Le transport des eaux a été effectué dans une valise thermostatée entre 5 et 10°C. Les analyses ont été faites le plus rapidement possible. Les mesures portaient sur les paramètres suivants:

- Dureté totale: par complexométrie avec Complexon III 0,01 m, indicateur noir erichrome T, tamponné à pH 10 (Standard methods).
- Dureté temporaire (TAC) par titration à HCl 0,1 n jusqu'à la valeur de pH 4,2 avec Multi-Bürette Metrohm E485, précision 0,02 ml (RODIER 1966).
- Dureté permanente: dureté totale - TAC.
- pH ramenés à 20°C, mesurés avec pH-Meter E 516 Metrohm, précision $\pm 0,05$.
- Concentration d'ion Calcium: $[Ca^{++}]$ par complexométrie avec Complexon III 0,01 m, indicateur Calconcarbonic acid Fluka, tamponné à pH 13.
- Concentration d'ion Magnesium: $[Mg^{++}]$, par la différence de Dureté totale - $[Ca^{++}]$. (Ceci implique une certaine erreur quand la concentration des cations bivalents autres que Mg^{++} est importante).
- Conductibilité électrique κ (mS): ramenée à 20°C, mesurée par Konduktometer Metrohm E 527, précision meilleure que $\pm 2\%$ de la valeur mesurée.

Les résultats de ces mesures sont présentés sous forme de moyennes annuelles pour quelques unes des sources types et les ruisseaux (tableaux 1 et 2) tandis que pour trois émergences karstiques, les moyennes mensuelles sont également détaillées (tableaux 3, 4 et 5).

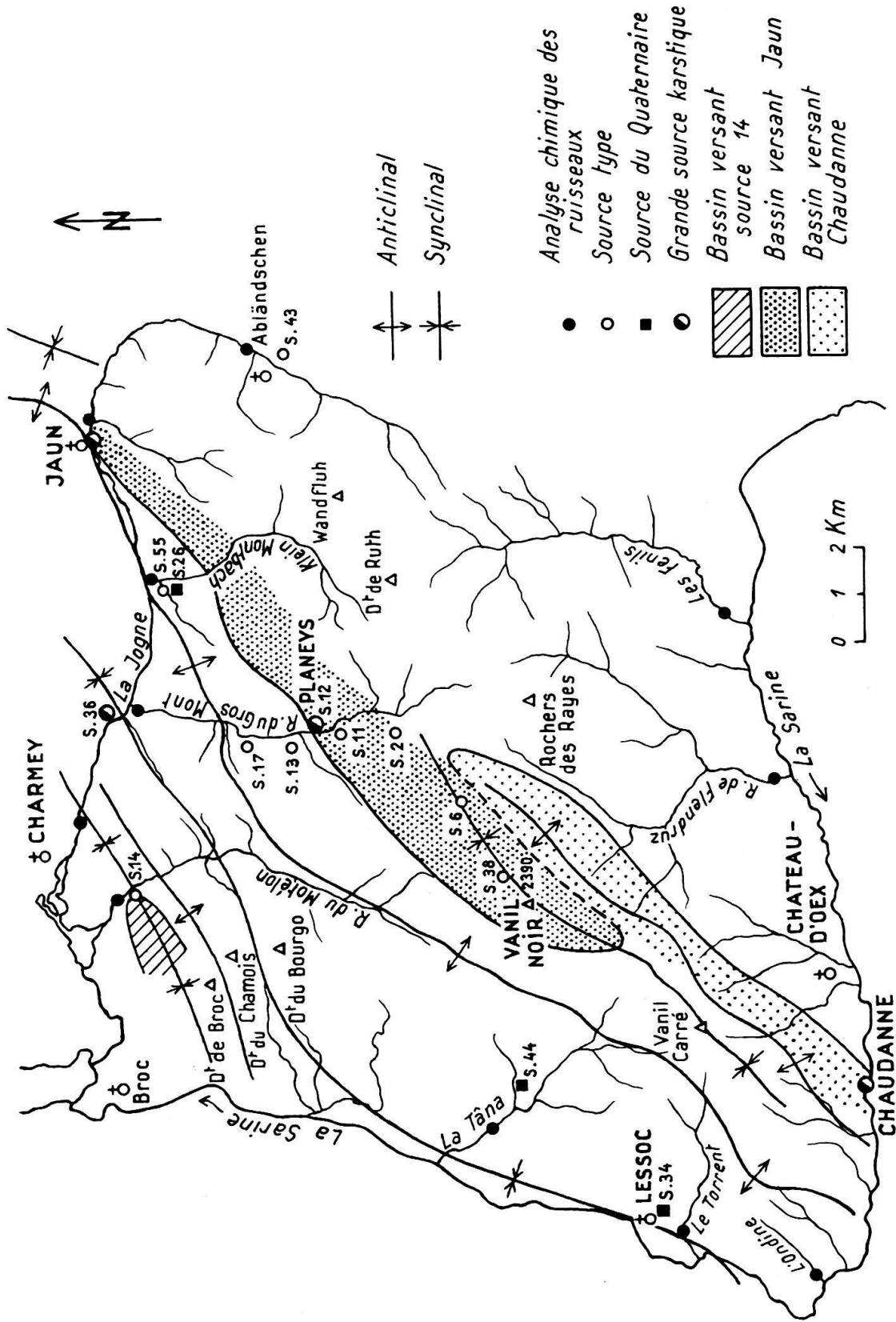


Fig. 1. Esquisse tectonique, hydrographique et hydrogéologique dans la région du Vanil Noir.

Les débits des ruisseaux ont été estimés. Ceux des sources types et émergences karstiques ont été mesurés par jaugeage chimique à NaCl et par le «Tauchstab nach Jens» (HYDRO-BIOS).

3. Situation géographique, stratigraphique et tectonique

Le massif du Vanil Noir comprend la chaîne des Préalpes entre Charmey et Château-d'Oex (fig. 1). Les séries sédimentaires qui le constituent font partie de la nappe des Préalpes médianes et les nappes supérieures. Pour résumer la stratigraphie par un log très simplifié (fig. 2), je me base sur les travaux de CHATTON (1947), de CHENEVART (1945), de SPOORENBERG (1952) et de PAGE (1969).

- Le Keuper est constitué de faciès lagunaire gypso-dolomitique (1, 2) et d'argilites (3).
- Le Lias comprend des faciès néritiques: calcaires oolithiques (4) et spathiques, souvent siliceux (5, 7, 8) dont l'épaisseur et l'extension latérale varient rapidement.
- Le Dogger englobe des faciès de plateforme, marno-pélitiques (9, 10, 11) avec des bancs oolithiques lenticulaires.
- Le Malm est formé de calcaires néritiques et pélagiques en gros banc (12, 13).
- Le Crétacé inférieur est pélagique et comprend des calcaires en plaquettes à silex (14).
- Le Crétacé supérieur est pélagique, formé par des calcaires marneux dits «Couches rouges» (16) qui surmontent les schistes intermédiaires (15).
- Au Paléocène, s'accumulent encore des Couches rouges et peut-être du flysch gréseux dont le dépôt sera interrompu par l'arrivée des nappes supérieures (17).
- Le Quaternaire comprend des masses glissées, des éboulis et des moraines (18).

Ces formations sont intensément plissées et forment un synclinal étroit au Vanil Noir (fig. 1) et dans la vallée des Morteys, dont la descente axiale s'oriente vers le NE. Le synclinal du Vanil Noir vient buter sur un accident tectonique au niveau de la plaine du Gros-Mont. Il est ensuite en partie recouvert par les unités des nappes supérieures (flyschs), de telle sorte que sa relation avec la chaîne des Gastlosen (Dent de Ruth, Wandfluh) reste cachée. Vers le SW, le synclinal du Vanil Noir s'ennoie par les anticlinaux de Bimmis-Dorenaz et Tinnière-Stockhorn. Ce dernier connu aussi sous le nom de l'anticlinal de Jaun est relayé vers le NW par le vaste synclinal gruyérien, auquel succèdent l'anticlinal du Combes-Spitzfluh et le synclinal de la Dent de Broc (TERCIER & PUGIN 1967).

4. Les caractéristiques hydrogéologiques des formations

L'infiltration des eaux, leur transit à travers les formations, la capacité de rétention de celles-ci et l'unification du drainage d'une région karstique dépendent de l'état de fissuration des roches. Les fissures peuvent être fermées ou ouvertes selon les conditions locales de tension ou de compression. La perméabilité du karst est une fonction de l'état de la fissuration ouverte ou efficace. De plus, l'anisotropie

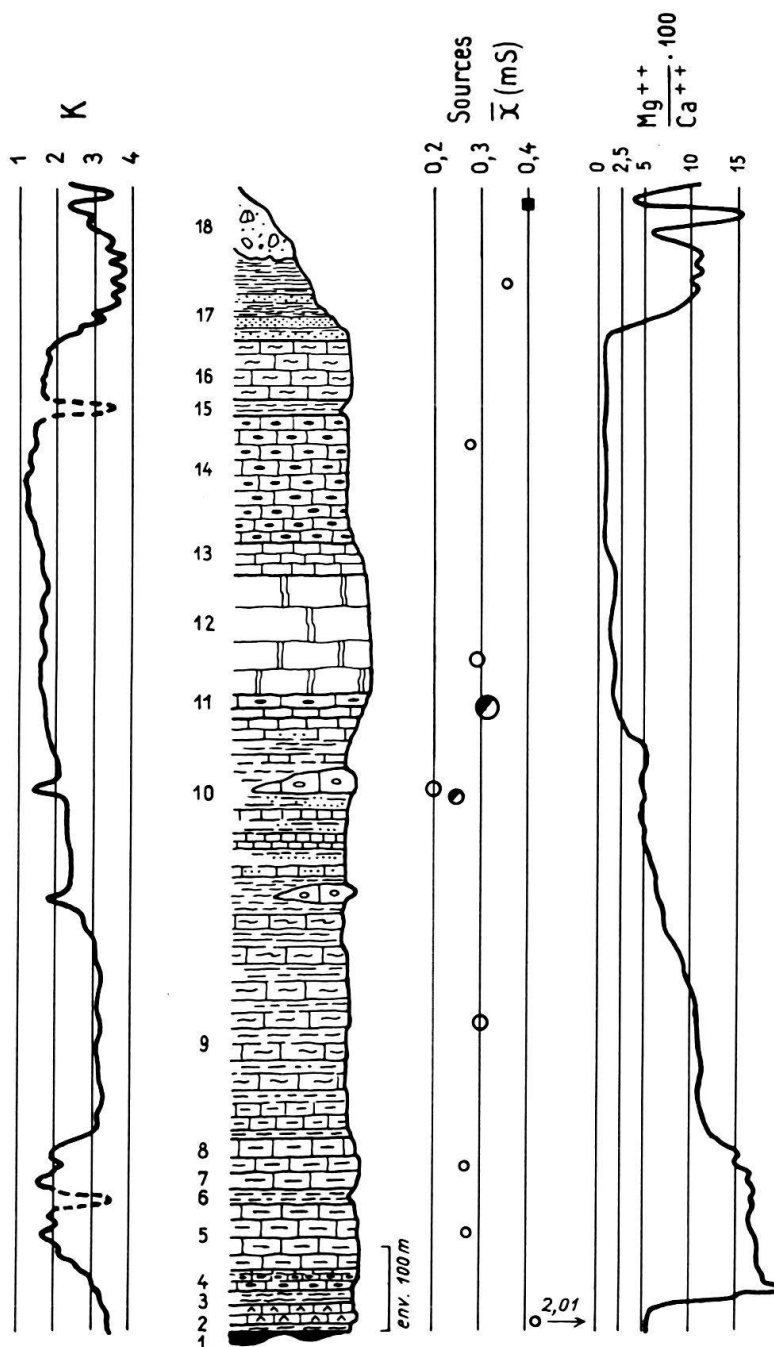


Fig. 2. Schéma stratigraphique dans la région du Vanil Noir.

Pour la numérotation du log lithologique, voir dans le texte. K = coefficient de perméabilité. Pour les valeurs, voir dans le texte. κ (mS) = conductivité électrique à 20°C en mili-Siemens. Petit cercle = source type dont le débit moyen est inférieur à 10 l/s. Grand cercle = source type dont le débit moyen dépasse 10 l/s. Petit cercle mi-noirci = les sources des Planeys. Grand cercle mi-noirci = émergence de la Chaudanne et Cascade de Jaun. Carré noirci = les sources du Quaternaire. $Mg^{++}/Ca^{++} \cdot 100$ = rapport en pourcentage du magnésium-calcium dans les eaux des sources types (extrapolé à partir de nombreuses mesures).

et l'hétérogénéité de la perméabilité des calcaires fissurés, comme l'avait montré KIRALY (1969, 1970), ne peuvent être estimées que par une étude statistique de la fissuration. Dans le cadre complexe des séries préalpines, l'étude de la fissuration n'a pas encore pu être entreprise et la perméabilité des différentes formations n'est qu'estimée. En s'appuyant sur la variabilité du régime des sources types, on peut distinguer quatre catégories de perméabilité allant de très bonne (1) à très faible (4). La figure 2 illustre les valeurs du coefficient de perméabilité, K (cm/sec), auquel on peut attribuer les ordres de grandeurs suivants:

1 = très bonne	$K \geq 10$ cm/sec
2 = bonne	$10 > K > 10^{-3}$ cm/sec
3 = faible	$10^{-3} > K > 10^{-5}$ cm/sec
4 = très faible	$K \geq 10^{-5}$ cm/sec

Le *Keuper*, d'après l'examen de la source 55 (fig. 1), comprend des terrains peu à très peu perméables. La grande stabilité thermique et chimique de cette source en est le témoin. Son débit, faible en toute saison, ne varie presque pas. Sa minéralisation exceptionnellement élevée, due au gypse, prouve un long séjour souterrain, ce qui est un argument de plus pour attribuer à cette formation une faible perméabilité.

Le *Lias* comprend des formations variées, mais du point de vue hydrogéologique seuls les calcaires échinodermiques siliceux sont vraiment intéressants. Ces derniers fournissent par endroit (groupes des sources types 17 dans la vallée du Gros-Mont) de l'eau en grande quantité malgré la modeste superficie des affleurements. La silicification étant diffuse, l'altération solubilise la fraction carbonatée et transforme ces roches en une éponge siliceuse dont la porosité réelle dépasse le 30%. Si on admet que l'altération n'est pas forcément superficielle, mais par l'intermédiaire de la fissuration et les joints de stratification, elle affecte des masses importantes, on conçoit mieux pourquoi ces sources débitent encore des quantités importantes d'eau, même en période d'étiage (40 à 60 l/sec dans la vallée du Gros-Mont). Les eaux du *Lias* sont peu minéralisées et possèdent des caractères thermiques et chimiques très stables qui découlent de la nature même de cette porosité un peu particulière.

Les schistes intermédiaires (6) sont des niveaux très peu perméables, mais ils sont souvent réduits ou laminés (SPOORENBERG 1952). Actuellement, on ne leur attribue qu'une perméabilité hypothétique.

Les formations du *Dogger*, du point de vue hydrogéologique, sont peut-être aussi difficiles à analyser que du point de vue stratigraphique. Il est tentant de les diviser en deux catégories: le *Dogger* inférieur, peu perméable, dont les caractéristiques sont illustrées par la source 13 (fig. 1) et le *Dogger* supérieur, un peu plus perméable, dont l'hétérogénéité n'est peut-être pas suffisamment mise en évidence par la source type 11 seule. Les grandes failles jouent un rôle important dans le régime d'écoulement de ces sources. Les rapides crues et décrues sont accompagnées par des variations non négligeables des différents paramètres physico-chimiques.

Certaines de ces sources sont temporaires. La perméabilité de ces terrains est avant tout liée à de grandes fissures de type faille. Les petites fissures semblent être

en grande partie colmatées par les produits d'altération de ces roches. Les caractères hétérogènes et anisotropes de la perméabilité sont particulièrement accentués dans ces masses où l'écoulement sera guidé par les dimensions, la fréquence et l'orientation des failles. C'est ainsi que la source type 13 fonctionne comme un gigantesque piézomètre par des arrivées d'eau qui s'échelonnent le long d'une grande faille. Les sources du Planeys (source 12, fig. 1) constituent l'exemple le plus remarquable pour illustrer ce phénomène de drainage par faille (TERCIER 1951). Les colorations ont mis en évidence que ce groupe de sources n'est qu'un drainage latéral du bassin versant Jaun, où, d'après mes jaugeages, 20% du débit de l'exutoire principal échappe aux mesures limnigraphiques. Après avoir constaté de nombreux cas analogues, on peut formuler quelques réserves quant à l'étanchéité des bassins versants des Préalpes plastiques au niveau du Dogger.

Les calcaires du *Malm* n'ont pas pu être isolés encore par l'intermédiaire d'une source type. L'étude hydrogéologique simultanée du Malm et du Crétacé inférieur par contre est possible dans le synclinal de la Dent de Broc, par le petit bassin de la source type 14. En comparaison d'une source type du Crétacé inférieur, la différence relative au Malm se laisse déduire. Ces calcaires en gros banc possèdent une très bonne perméabilité. (Les écart-types des paramètres de la source 14 sont beaucoup plus importants que ceux de la source 2).

Le *Crétacé* constitué de calcaires plaquetés (14), d'un complexe schisteux intermédiaire (15) et de Couches rouges (16) remplit la plupart des synclinaux des Préalpes médianes plastiques. Ces formations constituent des lapiez en altitude. Le régime d'écoulement des sources types et la relative stabilité des paramètres physico-chimiques des eaux indiquent que la fissuration est bien développée, mais reste fine. Ces calcaires et calcschistes stratifiés en petit banc se comportent, malgré la présence de quelques grandes fissures et gouffres, comme un milieu perméable en petit. Ceci se vérifie par la capacité de rétention de ces masses qui fournissent même en altitude (sources 6 et 38, fig. 1) et en période de sécheresse des débits de l'ordre de 5 à 10 l/s. A part les complexes schisteux intermédiaires dont le rôle hydrogéologique reste hypothétique, les calcaires plaquetés du Crétacé possèdent une très bonne perméabilité et constituent dans les Préalpes de véritables réservoirs en altitude.

Les *flyschs* par leur grande complexité stratigraphique et tectonique ne peuvent pas être abordés ici en détail. En règle générale, les sources types révèlent des caractères physico-chimiques très stables. La minéralisation est élevée en comparaison avec les sources types des terrains calcaires (voir fig. 2). Les débits sont faibles et très peu influencés par les saisons. Il est possible que la perméabilité des flyschs soit à la fois interstitielle et de fissure.

Les *terrains quaternaires* sont de nature variable, allant de l'éboulis très perméable aux moraines argileuses qui le sont beaucoup moins. Les sources importantes du Quaternaire prennent leur origine dans les moraines et se font tout de suite remarquer par leur forte minéralisation. Les captages de Lessoc (source 34) et de Grandvillard (source 44), de même que les sources au Sud de Villette (source 26) sont des sources morainiques à débit important. La perméabilité dans les formations

du Quaternaire est interstitielle, ce qui explique bien la forte minéralisation de ces sources en comparaison des eaux d'origine karstique.

5. Le traçage naturel des eaux

En dehors des méthodes de traçages par des colorants dont l'effet est limité dans l'espace et dans le temps, il est commode d'utiliser, comme traceur naturel, la présence de certains ions ou leur rapport réciproque. Pour cela, il est toutefois nécessaire de connaître les caractéristiques chimiques de la série stratigraphique. Du point de vue géochimique, les formations lithologiques des Préalpes sont encore inexplorées. Quelques analyses ont montré que le rapport Mg^{++}/Ca^{++} décroît dans les roches quand on monte dans la série des Préalpes médianes plastiques (MÜLLER 1975). L'analyse systématique des sources types permet d'établir et de quantifier les modifications du rapport Mg^{++}/Ca^{++} pour chacune des formations importantes de cette série (fig. 1; tabl. 1).

On constate que depuis la base du Lias jusqu'au sommet du Crétacé, parallèlement à l'approfondissement de la mer, la teneur en Mg^{++} des sources diminue progressivement, pour redevenir de nouveau important avec l'arrivée des nappes supérieures. Le rapport Mg^{++}/Ca^{++} peut, par ce fait, remplir le rôle de traceur naturel dans l'interprétation du drainage karstique. D'autres traceurs naturels, notamment par des éléments mineurs, sont actuellement à l'expérimentation.

6. L'hydrologie de surface

La surveillance continue et simultanée de tous les cours d'eau du massif n'est actuellement pas possible. Seules les variations chimiques ont été étudiées (tabl. 2). L'emplacement des prélèvements est indiqué par la figure 1. Les débits ne sont qu'estimés pour avoir un ordre de grandeur approximatif.

Les analyses mettent en évidence les paramètres physico-chimiques des eaux de surface. Elles viennent appuyer les observations concernant les sources types. Le rapport Mg^{++}/Ca^{++} se situe autour de 10 à 14% dans les cours d'eau qui drainent les flyschs, comme la Jogne à Abländschen ou les Riaux de Flendruz et Fénils. Ce rapport monte à 17% pour les ruisseaux qui drainent le Lias, tels que La Tâna et le Torrent. L'homogénéisation des valeurs des paramètres physico-chimiques est réalisée à Charmey, à l'exutoire du massif où la Jogne a déjà traversé de nombreuses structures en drainant toutes les formations qui constituent la région. Les mesures traduisent à cet endroit l'ordre de grandeur globale des valeurs qui caractérisent l'unification du drainage des eaux de surface dans la région du Vanil Noir. La bonne corrélation de ces valeurs avec celles de la Cascade de Jaun permet de supposer que cette grande émergence karstique réalise l'unification du drainage souterrain de cette même région. En effet, entre les moyennes annuelles de dureté totale, dureté carbonatée, dureté permanente, la conductibilité électrique et le rapport Mg^{++}/Ca^{++} , le coefficient de régression linéaire est de 0,98. La régression d'après l'équation: $y = a_1x + a_0$ prend l'expression suivante si y = les paramètres de la Jogne et x = les paramètres de la Cascade de Jaun: $y = 0,91x + 0,6$

Tableau 1: Moyennes annuelles de quelques paramètres physico-chimiques des sources types dans la région du Vanil Noir.

No Source	Coord. Lambert	Formation	T (°C)	D tot.	D pas.	D per.	κ (mS)	pH	Ca ⁺⁺ / mg/l	Mg ⁺⁺ / mg/l	$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} \cdot 100$	Q
S.34 Alt. 880m	150 350 571 288	Quatern.	n=12 7,35 s=0,34	n=12 24,05 s=0,74	n=12 23,53 s=0,73	n=12 0,52 s=0,19	n=12 0,4033 s=0,0122	n=12 7,79 s=0,11	n=12 76,87 s=2,55	n=12 11,85 s=0,45	n=12 15,45 s=0,54	25 à 60 l/s
S.43 Alt. 1200m	158 375 589 200	Flysch Simme	n=12 5,69 s=0,24	n=12 21,43 s=0,32	n=12 20,46 s=0,23	n=12 0,97 s=0,14	n=12 0,3675 s=0,0079	n=12 7,63 s=0,03	n=12 72,63 s=1,23	n=12 8,05 s=0,56	n=12 11,18 s=0,85	30 l/m ± 40%
S.2 Alt. 1390m	155 749 581 600	Crétacé	n=6 6,16 s=0,6	n=6 16,3 s=0,64	n=6 16,22 s=0,65	n=6 0,08 s=0,07	n=6 0,2797 s=0,0102	n=6 7,73 s=0,08	n=5 64,17 s=2,47	n=5 0,7 s=0,19	n=5 1,098 s=0,3	8 l/s ± 70%
S.14 Alt. 890m	161 275 578 150	Crétacé + Malm	n=15 6,64 s=0,09	n=15 16,95 s=1,03	n=15 16,58 s=1,21	n=15 0,36 s=0,25	n=15 0,2900 s=0,0168	n=15 7,71 s=0,07	n=15 65,87 s=3,99	n=15 1,23 s=0,4	n=15 1,868 s=0,59	5 à 100 l/s
S.11 Alt. 1130m	157 112 581 350	Dogger sup.	n=11 5,63 s=0,36	n=11 12,1 s=1,5	n=10 12,09 s=1,36	n=10 0,24 s=0,19	n=11 0,2102 s=0,0261	n=11 7,88 s=0,1	n=10 45,57 s=5,28	n=10 2,24 s=0,4	n=10 4,98 s=0,62	0 à 50 l/s
S.13 Alt. 1090m	157 750 581 150	Dogger inf.	n=12 6,45 s=0,13	n=12 17,56 s=1,27	n=12 17,26 s=1,24	n=12 0,3 s=0,12	n=12 0,2975 s=0,0208	n=12 7,84 s=0,12	n=12 59,33 s=4,34	n=12 6,64 s=0,9	n=12 11,218 s=1,58	15 à 200 l/s
S.17 Alt. 980m	158 900 581 212	Lias	n=12 5,70 s=0,14	n=12 15,64 s=0,1	n=12 15,1 s=0,14	n=12 0,54 s=0,12	n=12 0,2695 s=0,0011	n=12 8,15 s=0,05	n=12 48,5 s=0,5	n=12 8,61 s=0,19	n=12 17,758 s=0,53	3 à 10 l/s
S.55 Alt. 950m	160 400 584 575	Keuper	n=5 8,02 s=0,06	n=2 156,12 s=0,4	n=4 25,13 s=0,26	n=2 131,07 s=0,47	n=4 2,0127 s=0,0183	n=4 7,12 s=0,03	n=2 571 s=5,33	n=2 33,21 s=2,27	n=2 5,828 s=0,45	3 l/s ± 20%

Tableau 2a: Moyennes annuelles de quelques paramètres physico-chimiques des cours d'eau dans la région du Vanil Noir.

	T (C°)	D. tot.	D. pass.	D. per.	κ (mS)	pH	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} \cdot 100$	\bar{Q} est. l/s
La Jogne à Abländschen	n=12 5,61 s=3,22	n=12 16,62 s=1,12	n=12 16,45 s=1,09	n=12 0,17 s=0,17	n=12 0,2826 s=0,0177	n=12 8,3 s=0,085	n=12 53,5 s=3,77	n=12 7,95 s=0,59	n=12 14,89% s=0,91	300
La Jogne à Jaun	n=12 6,38 s=2,24	n=12 19,41 s=1,66	n=12 15,56 s=0,97	n=12 3,85 s=1,22	n=12 0,3305 s=0,0288	n=12 8,3 s=0,07	n=12 66,14 s=6,53	n=12 7,07 s=1,51	n=12 10,84% s=3,14	800
La Jogne à Charmey	n=12 7,68 s=2,56	n=12 19,58 s=2,14	n=12 15,75 s=1,21	n=12 3,82 s=1,1	n=12 0,3344 s=0,0364	n=12 8,19 s=0,08	n=12 68,31 s=6,93	n=12 6,16 s=1,07	n=12 8,96% s=0,9	3000
Klein Montbach	n=12 6,17 s=5,15	n=12 25,13 s=3,81	n=12 15,38 s=1,64	n=12 9,86 s=4,28	n=12 0,4263 s=0,0636	n=12 8,29 s=0,08	n=12 90,58 s=13,52	n=12 5,81 s=1,4	n=12 6,44% s=1,45	200
Riau du Gros Mont	n=12 7,44 s=3,09	n=12 17,96 s=1,87	n=12 15,45 s=1,26	n=12 2,51 s=0,84	n=12 0,3048 s=0,0318	n=12 8,38 s=0,05	n=12 61,46 s=5,85	n=12 6,35 s=1,11	n=12 10,27% s=1,17	300
Riau du Motélon	n=12 7,28 s=3,13	n=12 18,65 s=1,35	n=12 16,58 s=1,04	n=12 2,08 s=0,9	n=12 0,3162 s=0,0272	n=12 8,32 s=0,1	n=12 64,06 s=4,36	n=12 6,84 s=1,83	n=12 10,6% s=2,55	500
La Tâna	n=12 7,28 s=2,26	n=12 17,41 s=1,5	n=12 16,22 s=1,25	n=12 1,2 s=0,41	n=12 0,2960 s=0,0258	n=12 8,42 s=0,05	n=12 54,57 s=3,42	n=12 9,22 s=1,78	n=12 16,79% s=2,58	400
Le Torrent	n=12 7,4 s=4,31	n=12 17,19 s=1,21	n=12 16,34 s=1,1	n=12 0,85 s=0,18	n=12 0,2906 s=0,0196	n=12 8,45 s=0,05	n=12 53,42 s=3,18	n=12 9,39 s=1,36	n=12 17,56% s=2,18	100

Tableau 2b: Moyennes annuelles de quelques paramètres physico-chimiques des cours d'eau dans la région du Vanil Noir (suite)
et de l'Emergence du Pont du Roc.

	T (C°)	D.tot.	D.pass.	D.per.	κ (mS)	pH	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} \cdot 100$	\bar{Q} est. l/s	
L'Ondine	n=11 8,66 s=4,15	n=11 22,14 s=1,05	n=11 20,91 s=0,9	n=11 1,28 s=0,38	n=11 0,3723 s=0,0166	n=11 8,25 s=0,07	n=11 70,2 s=3,99	n=11 11,26 s=1,38	n=11 16,1 s=2,52	10	
	n=12 7,14 s=4,28	n=12 17,62 s=1,03	n=12 16,06 s=1,39	n=12 1,56 s=0,84	n=12 0,3016 s=0,0178	n=12 8,37 s=0,09	n=12 60,75 s=4,19	n=12 5,94 s=1,4	n=12 9,87 s=2,92		400
	n=12 6,93 s=4,97	n=12 16,14 s=1,17	n=12 16,08 s=1,14	n=12 0,08 s=0,09	n=12 0,2758 s=0,019	n=12 8,38 s=0,08	n=12 54,88 s=3,77	n=12 5,93 s=0,81	n=12 10,79% s=1,29		
Emergence du Pont du Roc (S. 36)											
Moyenne annuelle	n=8 6,65 s=0,48	n=8 13,7 s=2,97	n=8 13,56 s=2,73	n=8 0,22 s=0,14	n=8 0,2367 s=0,0496	n=8 7,73 s=0,1	----	----	n=7 2,82 s=1,1	200 ± 100 %	

7. Les émergences karstiques

Il existe de nombreuses émergences karstiques dans la région du Vanil Noir, mais seules les deux plus grandes sont comparées dans cette étude (fig.3): la Cascade de Jaun et l'émergence de la Chaudanne. Les bassins versants respectifs sont délimités d'une manière provisoire et hypothétique sur la figure 1.

Grâce à la connaissance des sources types, on peut arriver à certaines déductions pour se faire une idée sur les mécanismes et l'étendue du drainage de ces grandes sources karstiques.

- La thermométrie dans les deux grandes sources révèle un décalage régulier de température qui ne provient pas de la différence d'altitude des bassins mais plutôt de leur orientation géographique, donc de leur degré d'ensoleillement. On constate que les variations thermiques à la Chaudanne suivent de près les conditions météorologiques, tandis que la Cascade de Jaun réagit avec un certain retard et avec moins d'amplitude aux influences pluviométriques.

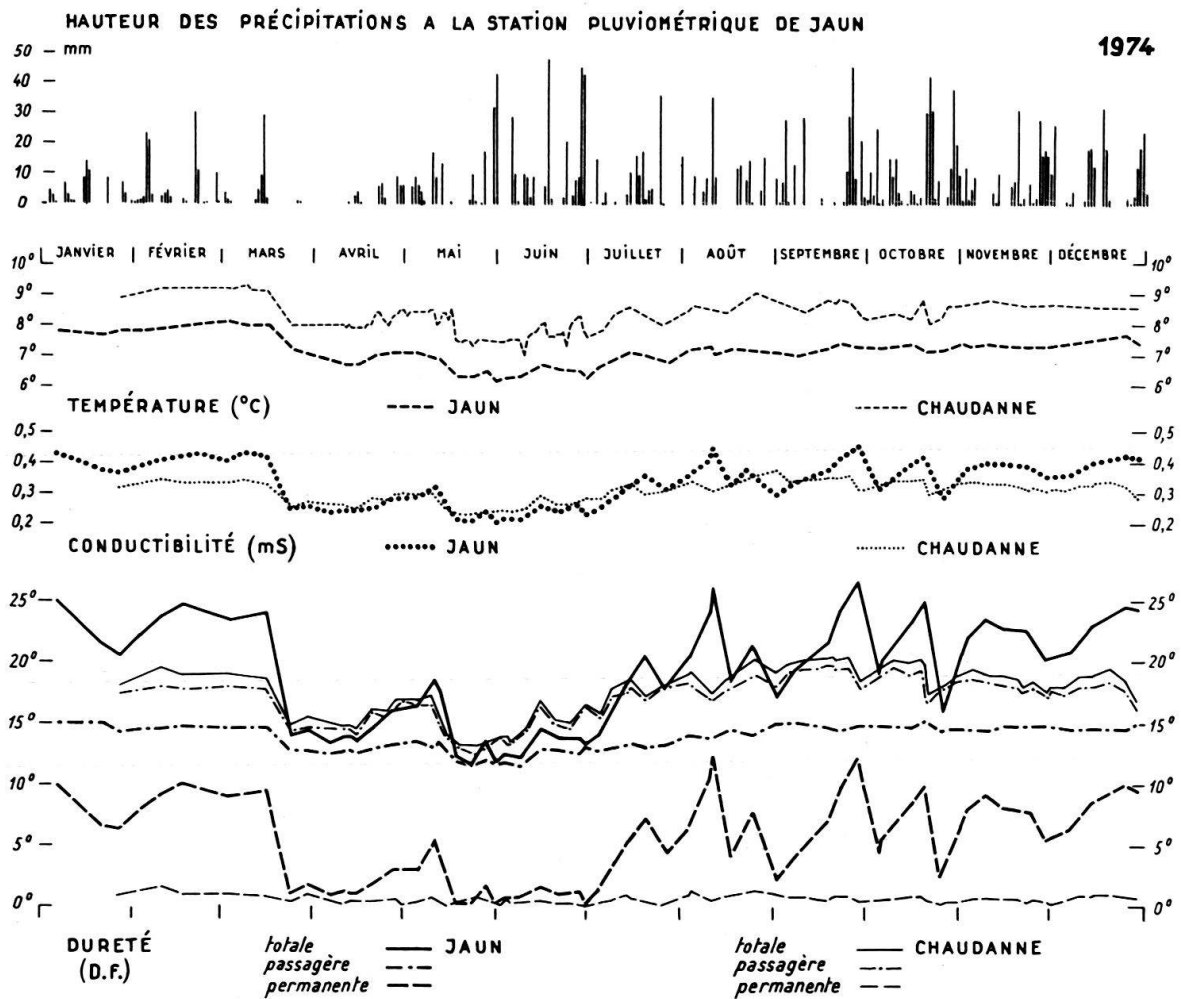


Fig.3. Comparaison de quelques paramètres physico-chimiques entre la Cascade de Jaun et l'émergence de la Chaudanne en fonction de la pluviosité en 1974. (Dégel fin mars).

- La conductibilité électrique est une mesure très sensible (BURGER 1961) et traduit parfaitement la minéralisation totale de l'eau. La comparaison de ces paramètres montre que les eaux de la Cascade de Jaun sont plus minéralisées en période d'étiage (hivers) que les eaux de la Chaudanne. Au printemps et après les gros orages, ces valeurs sont inversées.
- La dureté totale reflète les mêmes tendances que la conductibilité électrique. On constate que la Cascade de Jaun réagit avec plusieurs jours de retard, par rapport à la Chaudanne, aux événements pluviométriques (fig.3, orages du 10 août ou de fin septembre).
- La dureté carbonatée ou passagère est très différente pour les deux sources. Tandis que la dureté carbonatée constitue la quasitotalité des minéraux dissouts à la Chaudanne, ce même paramètre semble être «tamponné» à la Cascade de Jaun par la dureté permanente dont les variations considérables sont indépendantes de la dureté carbonatée.
- La dureté permanente à la Cascade de Jaun est due aux sulfates (gypse), qui, par contre, sont pratiquement absents des eaux de la Chaudanne.

Ces quelques considérations suffisent pour montrer, grâce à l'étude des sources types, que la Cascade de Jaun draine des formations lithologiques plus variées que la Chaudanne. Le traceur naturel, le rapport Mg^{++}/Ca^{++} , mérite une attention particulière. Ce rapport est plus élevé à la Cascade de Jaun qu'à la Chaudanne: 7,97% contre 7,09%. L'étendue de la variation (écart-type) autour de la moyenne annuelle est importante à Jaun: 1,95. Par contre, à la Chaudanne, la dispersion des valeurs autour de la moyenne n'est que 0,8. En somme, la grande variabilité du rapport Mg^{++}/Ca^{++} à Jaun montre que cette émergence en période d'étiage collecte les eaux des formations peu perméables dont la teneur magnésienne est élevée, tels les flyschs ou le Lias. En période de crue, quand le rapport Mg^{++}/Ca^{++} est faible, le débit est avant tout assuré par le Crétacé et le Malm. La variabilité beaucoup plus restreinte de ce même rapport Mg^{++}/Ca^{++} à la Chaudanne semble indiquer que cette source ne draine que des formations dont la teneur Mg^{++}/Ca^{++} ne dépasse pas le 9%, c'est-à-dire le Dogger (les flyschs et le Lias n'y participeraient pas). Les crues dues à la fonte de neige, par contre, n'abaissent pas ce rapport dans la même mesure qu'à la Cascade de Jaun, d'où l'on peut déduire que la participation du Crétacé est nulle ou faible.

En résumé et jusqu'à plus ample information, les deux grandes résurgences draineraient les formations suivantes:

<i>Cascade de Jaun:</i>	<i>Emergence de la Chaudanne:</i>
- Keuper	
- Lias	
- Dogger	- Dogger
- Malm	- Malm
- Crétacé	
- Flyschs	

Les sources des Planeys constituent un exutoire latéral du bassin versant Jaun. Les eaux de cette source ne sont pas gypseuses (donc pas encore influencées par les

Tableau 3: Moyennes mensuelles et annuelles (1974) de quelques paramètres physico-chimiques de la Cascade de Jaun (alt. 1040 m).

Date	T (°C)	Dureté totale	Dureté passagère	Dureté permanente	κ (mS) conductibilité élect.	pH	Mg ⁺⁺ / Ca ⁺⁺ · 100	Q l/s Débit
Janv.	n=3 7,77 s=0,06	n=3 22,38 s=2,26	n=3 14,78 s=0,38	n=3 7,59 s=2,04	n=3 0,3896 s=0,0348	n=3 7,85 s=0,23	n=3 9,07% s=1,37	360 s=73
Févr.	n=3 7,87 s=0,06	n=3 23,57 s=1,23	n=3 14,57 s=0,15	n=3 9,0 s=1,08	n=3 0,4066 s=0,0199	n=3 7,68 s=0,06	n=3 9,58% s=0,79	280 s=31
Mars	n=5 7,66 s=0,52	n=4 18,96 s=5,57	n=4 13,64 s=1,11	n=4 5,32 s=4,47	n=5 0,3491 s=0,0933	n=4 7,8 s=0,12	n=5 10,66% s=2,85	787 s=606
Avril	n=6 6,83 s=0,18	n=6 14,28 s=1,03	n=6 12,68 s=0,29	n=6 1,6 s=0,75	n=6 0,2480 s=0,0174	n=6 7,83 s=0,06	n=4 5,66% s=1,86	1241 s=402
Mai	n=6 6,66 s=0,33	n=6 15,11 s=2,94	n=6 12,53 s=0,89	n=6 2,58 s=2,14	n=6 0,2623 s=0,0483	n=6 7,89 s=0,06	n=6 5,6% s=2,32	1970 s=912
Juin	n=7 6,39 s=0,19	n=7 13,34 s=1,24	n=7 12,25 s=0,69	n=7 1,09 s=0,81	n=7 0,2321 s=0,0225	n=7 7,9 s=0,02	n=7 4,19% s=1,42	2800 s=1026
Juil.	n=4 6,89 s=0,2	n=4 17,75 s=2,66	n=4 13,08 s=0,25	n=4 4,67 s=2,46	n=4 0,3090 s=0,0476	n=4 7,84 s=0,07	n=4 7,45% s=2,27	1680 s=757
Août	n=6 7,17 s=0,1	n=6 22,91 s=3,19	n=6 14,01 s=0,32	n=6 8,91 s=3,47	n=6 0,3946 s=0,0534	n=6 7,81 s=0,02	n=6 9,54% s=1,68	895 s=297
Sept.	n=6 7,23 s=0,15	n=6 22,36 s=3,63	n=6 14,69 s=0,37	n=6 7,67 s=3,94	n=6 0,3836 s=0,06	n=6 7,79 s=0,05	n=6 8,6% s=2,16	864 s=331
Oct.	n=6 7,26 s=0,09	n=6 20,29 s=3,39	n=6 14,77 s=0,29	n=6 5,53 s=3,16	n=6 0,3469 s=0,0556	n=6 7,66 s=0,03	n=6 7,3% s=1,9	765 s=322
Nov.	n=7 7,35 s=0,05	n=7 22,26 s=1,34	n=7 14,63 s=0,16	n=7 7,63 s=1,41	n=7 0,3868 s=0,0216	n=7 7,62 s=0,03	n=7 9,09% s=1,33	743 s=247
Déc.	n=4 7,51 s=0,13	n=4 23,12 s=1,69	n=4 14,61 s=0,19	n=4 8,56 s=1,61	n=4 0,3991 s=0,0258	n=4 7,65 s=0,04	n=4 8,88% s=1,1	676 s=293
An	n=63 7,14 s=0,47	n=62 19,29 s=4,51	n=62 13,77 s=1,09	n=62 5,53 s=3,68	n=63 0,3351 s=0,0767	n=63 7,77 s=0,12	n=12 7,97% s=1,95	n=12 1088 s=728,4

Tableau 4: Moyennes mensuelles et annuelles (1974) de quelques paramètres physico-chimiques de la Source des Planeys (S. 12).

Date	T (°C)	Dureté totale	Dureté passagère	Dureté permanente	κ (mS) conductibilité électrique	pH	$\frac{\text{Mg}^{++}}{\text{Ca}^{++}} \cdot 100$
Janv.	4,8	16,04	15,5	0,54	0,2776	7,92	8,84 ‰
Févr.	4,8	16,5	16,2	0,3	0,2823	7,99	7,7 ‰
Mars	4,9	16,58	16,25	0,33	0,2858	7,96	8,04 ‰
Avril	5,75	n=2 14,26 s=0,23	n=2 13,80 s=0,07	n=2 0,46 s=0,06	n=2 0,2487 s=0,0011	n=2 7,74 s=0,06	n=2 6,97 ‰ s=0,45
Mai	n=5 5,83 s=0,15	n=5 12,58 s=1,48	n=5 12,21 s=1,28	n=5 0,37 s=0,23	n=5 0,2185 s=0,0247	n=5 7,82 s=0,06	n=5 5,92 ‰ s=1,3
Juin	n=5 5,78 s=0,1	n=5 12,3 s=0,95	n=5 12,06 s=0,85	n=5 0,24 s=0,17	n=5 0,2135 s=0,0159	n=5 7,84 s=0,07	n=5 5,83 ‰ s=0,48
Juil.	6,05	12,87	12,6	0,27	0,2276	7,79	9,04 ‰
Août	n=3 6,8 s=0,33	n=3 15,29 s=0,37	n=3 14,95 s=0,33	n=3 0,34 s=0,1	n=3 0,2665 s=0,0066	7,8	9,61 ‰
Sept.	7,55	16,2	15,85	0,35	0,2811	7,95	9,53 ‰
Oct.	6,35	16,39	15,9	0,49	0,2786	7,68	7,57 ‰
Nov.	5,85	16,12	16,0	0,12	0,2795	7,68	7,91 ‰
Déc.	5,85	15,84	15,45	0,39	0,2750	7,85	7,88 ‰
An	n=23 5,86 s=0,81	n=23 14,14 s=1,89	n=23 13,81 s=1,83	n=23 0,34 s=0,16	n=23 0,2454 s=0,0319	n=23 7,84 s=0,1	n=23 7,31 ‰ s=1,62

Tableau 5: Moyennes mensuelles et annuelles (1974) de quelques paramètres physico-chimiques de l'Emergence de la Chaudanne (alt. 890 m).

Date	T (°C)	Dureté totale	Dureté passagère	Dureté permanente	κ (mS) conductibilité élect.	pH	Mg ⁺⁺ / Ca ⁺⁺ · 100	Q est. l/s
Janv.	8,9	18,1	17,3	0,8	0,3167	7,55	7,82%	---
Févr.	n=2 9,2	n=2 19,3 s=0,45	n=2 17,9 s=0,14	n=2 1,4 s=0,3	n=2 0,3370 s=0,0069	n=2 7,45 s=0,07	n=2 7,04% s=1,02	---
Mars	n=4 8,58 s=0,67	n=4 17,1 s=2,15	n=4 16,25 s=1,97	n=4 0,85 s=0,26	n=4 0,2977 s=0,0402	n=4 7,61 s=0,1	n=4 7,59% s=0,6	---
Avril	n=6 7,98 s=0,13	n=8 15,65 s=0,95	n=8 15,28 s=0,97	n=8 0,38 s=0,19	n=8 0,2721 s=0,0165	n=8 7,67 s=0,05	n=2 6,38% s=1,73	621 s=371
Mai	n=4 7,89 s=0,5	n=7 14,82 s=1,82	n=7 14,34 s=1,76	n=7 0,47 s=0,26	n=7 0,2563 s=0,0305	n=7 7,72 s=0,05	n=4 7,04% s=0,79	971 s=649
Juin	n=4 7,6 s=0,18	n=8 14,99 s=1,24	n=8 14,66 s=1,31	n=8 0,34 s=0,18	n=8 0,2585 s=0,0199	n=8 7,62 s=0,14	n=7 5,6% s=1,09	1184 s=864
Juil.	n=2 8,48 s=0,18	n=6 17,74 s=1,09	n=6 17,15 s=0,96	n=6 0,59 s=0,32	n=6 0,3088 s=0,0181	n=6 7,57 s=0,06	n=5 8,02% s=1,69	774 s=555
Août	n=5 8,61 s=0,26	n=5 19,0 s=1,04	n=5 17,98 s=0,8	n=5 1,02 s=0,28	n=5 0,3306 s=0,0195	n=5 7,5 s=0,06	n=5 8,35% s=0,54	---
Sept.	n=4 8,68 s=0,29	n=10 19,84 s=0,8	n=10 19,09 s=0,75	n=10 0,76 s=0,2	n=10 0,3455 s=0,0193	n=10 7,52 s=0,04	n=9 7,21% s=1,26	456 s=464
Oct.	n=3 8,58 s=0,23	n=8 19,04 s=1,08	n=8 18,41 s=0,93	n=8 0,63 s=0,26	n=8 0,3263 s=0,017	n=8 7,53 s=0,04	n=8 6,29% s=0,95	562 s=490
Nov.	n=2 8,7 s=0,14	n=7 18,65 s=0,65	n=7 18,03 s=0,52	n=7 0,62 s=0,14	n=7 0,3231 s=0,0121	n=7 7,57 s=0,02	n=7 7,24% s=1,12	473 s=310
Déc.	n=3 8,58 s=0,06	n=8 18,5 s=0,84	n=8 17,7 s=0,68	n=8 0,8 s=0,26	n=8 0,3200 s=0,0161	n=8 7,6 s=0,05	n=8 6,51% s=0,95	463 s=269
An	n=40 8,38 s=0,51	n=74 17,63 s=2,09	n=74 16,98 s=1,92	n=74 0,65 s=0,32	n=74 0,3056 s=0,0368	n=74 7,59 s=0,09	n=12 7,09% s=0,8	

formations du Keuper), mais le rapport Mg^{++}/Ca^{++} est déjà pratiquement le même qu'à la Cascade de Jaun. Le magnésium pourrait être pris dans les terrains flyschs, ou dans le Dogger. MISEREZ (1973) a montré que les eaux peuvent s'enrichir assez rapidement en Mg^{++} quand elles sont encore agressives. Le temps pendant lequel les eaux sont en contact avec ces terrains reste encore inconnu.

Une autre grande source au Pont du Roc (source 36) ne débite que des eaux très pauvres en Mg^{++} . Par la connaissance des sources types, on peut en déduire que cette émergence temporaire ne draine que le Crétacé et le Malm (tabl. 2b).

D'après les travaux de SHUSTER & WHITE (1971), les variations des divers composants chimiques des eaux sont plus caractéristiques du type d'écoulement que les composants eux-mêmes, à condition que le temps de contact entre l'eau et la roche soit assez long. Ces auteurs définissent les circulations comme tributaires de gros conduits («conduit flow system») quand les écart-types annuels sur les duretés se situent entre 10 et 24%. Pour les systèmes de circulation diffus («diffuse flow system»), ce même rapport serait inférieur à 5%.

Calculé à partir des duretés passagères pour éviter l'influence du gypse, ce rapport prend les valeurs suivantes pour les émergences de la région du Vanil Noir:

Cascade de Jaun:	7,92%
Source des Planeys:	13,25%
Chaudanne:	11,31%
Émergence du Pont du Roc:	20,1 %

Pour estimer la nature du système d'écoulement des sources types d'après les auteurs précédemment cités, voici les valeurs des écart-types sur les duretés passagères:

- Quaternaire:	3,1 %	} "diffuse flow system"
- Flysch Simme:	1,12%	
- Crétacé:	4,01%	
- Crétacé + Malm:	7,3 %	} "conduit flow system"
- Dogger supérieur:	11,25%	
- Dogger inférieur:	7,18%	
- Lias:	0,93%	} "diffuse flow system"
- Keuper:	1,03%	

D'après ces calculs, les conditions d'écoulement dans le bassin versant de Jaun sont régies par une fissuration plus ouverte dans la partie supérieure du bassin que dans la région de l'exutoire principal. Ceci est également confirmé par l'interprétation de la coloration de TERCIER (1951). L'émergence de la Chaudanne possède un réseau d'écoulement plus ouvert que celui de la Cascade de Jaun, ce qui se vérifie par ailleurs par la rapidité des réponses de cette grande source aux sollicitations de la pluviosité. Les plus gros conduits karstiques, d'après les résultats obtenus à l'émergence du Pont du Roc, se développeraient dans les formations du Malm et du Crétacé.

8. Conclusions

Dans la région du Vanil Noir, la complexité stratigraphique et tectonique des séries carbonatées et détritiques ne permet pas encore de délimiter avec précision les différents bassins versants. Le contenu chimique des eaux à l'exutoire des bassins révèle néanmoins, en comparaison avec celui de l'écoulement de surface, que le drainage souterrain s'étend à plusieurs, ou quelquefois à toutes les formations qui constituent la région. La variabilité des paramètres physico-chimiques des eaux à l'exutoire des bassins est étroitement liée aux caractéristiques hydrogéologiques et géochimiques de chacune des formations drainées, et elle potentialise les différentes propriétés de celles-ci. La connaissance des faciès hydrochimiques et hydrogéologiques des principales formations qui constituent la région est possible grâce à des structures tectoniques favorables qui permettent d'isoler les formations et d'y sélectionner des «sources types» dont les différents paramètres sont évidemment propres à la formation isolée. La variabilité des paramètres au cours d'un cycle annuel (s/Dureté) permet d'établir la coexistence dans la région des deux systèmes d'écoulement décrits par SHUSTER & WHITE (1971): «conduit flow system» et «diffuse flow system».

On constate également que le rapport Mg^{++}/Ca^{++} diminue progressivement dans les eaux depuis la base du Lias jusqu'au sommet du Crétacé pour redevenir important dans les sources qui drainent les nappes supérieures. Ce phénomène est exploité pour le traçage naturel des eaux et s'avère très utile pour interpréter l'étendue des zones de drainage des émergences karstiques. Par recoupement, à partir du traçage naturel des eaux (rapport Mg^{++}/Ca^{++}) et de la variabilité annuelle de certains paramètres (s/Dureté), on peut déduire que l'unification du drainage souterrain dans la région du Vanil Noir est assuré par des réseaux d'écoulement karstique qui se développent avant tout dans les calcaires du Malm.

Abréviations utilisées dans le texte et les figures

D.f.	= Dureté en degré français
K	= Coefficient de perméabilité
κ (mS)	= Conductibilité électrique en mili-Siemens
Q	= Débit en l/sec ou l/min
[x]	= Concentration de l'ion x en moles/litre
s	= Ecart-type

Remerciements

L'auteur exprime sa reconnaissance à Monsieur Armin Buchs qui met à disposition, à titre gracieux, un local et l'énergie électrique pour le limnigraphe installé à la Cascade de Jaun.

Que la famille Hämmerli soit également remerciée pour les nombreux prélèvements faits à l'émergence de la Chaudanne.

BIBLIOGRAPHIE

- American Public Health Association (1971): *Standard Methods* (13th ed.). - Washington.
- BÜCHI, O. (1931): *Die Färbung des Rio Morthey und die Quelle von Jaun*. - Bull. Soc. fribourg. Sci. nat. 30, 97-105.
- BURGER, A. (1961): *Proposition pour la normalisation de la mesure de la conductibilité électrique de l'eau*. - Mém. Assoc. int. Hydrogéol. 4, 3-5.
- CHATTON, M. (1947): *Géologie des Préalpes médianes entre Gruyères et Charmey*. - Mém. Soc. fribourg. Sci. nat. 13.
- CHENEVART, CH. (1945): *Les nappes des Préalpes médianes et de la Simme dans la région de la Hochmatt*. - Mém. Soc. fribourg. Sci. nat. 12.
- GIRARD, R. DE (1911): *Rapport géologique sur le Gros-Mont*. - Maurer, St. Paul, Fribourg.
- KIRALY, L. (1969): *Anisotropie et hétérogénéité de la perméabilité dans les calcaires fissurés*. - Eclogae geol. Helv 62/2, 613-619.
- (1970): *L'influence de l'hétérogénéité et de l'anisotropie de la perméabilité sur les systèmes d'écoulement*. - Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 37/91, 50-57.
- MISEREZ, J.J. (1973): *Géochimie des eaux du karst jurassien*. - Thèse Univ. Neuchâtel.
- MÜLLER, I. (1975): *Premiers résultats des études hydrogéologiques dans la région du Vanil Noir*. - Actes 5^e Congr. natl. Spéléol. Interlaken, 1974.
- PAGE, C. (1969): *Observations géologiques sur les Préalpes au NW des Gastlosen orientales*. - Bull. Soc. fribourg. Sci. nat. 58/2.
- RODIER, J. (1966): *L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau*. - Dunod, Paris.
- SCHARDT, H. (1915): *Rapport géologique: Sur le projet de création d'un bassin d'accumulation d'eau au Gros-Mont sur Charmey*. - Maurer, St. Paul, Fribourg.
- (1927): *Exploration du bassin du Gros-Mont et des environs du 17 au 20 août 1927*. - Manuscrit Entreprises Electriques Fribourgeoises.
- (1928): *Essai de coloration du ruisseau des Morthey le 14 sept. 1928*. - Manuscrit Entreprises Electriques Fribourgeoises.
- SHUSTER, E. T., & WHITE, W. B. (1971): *Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers*. - J. Hydrol. 14, 93-128.
- SPOORENBERG, J. (1952): *Les Préalpes médianes au NW de Château d'Oex*. - Thèse Univ. Fribourg.
- TERCIER, J. (1949): *Les conditions géologiques de la région du Gros-Mont*. - Rapp. géol. inéd.
- (1951): *Interprétation géologique des résultats des colorations dans la région du Gros-Mont (Ct. Fribourg)*. - Rapp. géol. inéd.
- TERCIER, J., & PUGIN, L. (1967): *Guide géologique de la Suisse. Excursion 11/11a* (p. 158-174). - Wepf, Basel.

