Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 98 (2019)

Artikel: Hydrogéochimie des eaux minérales suisses en bouteille
Autor: Sahli, Valentin / Derron, Marc-Henri
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-846636

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: 15.07.2025

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

Hydrogéochimie des eaux minérales suisses en bouteille

Valentin SAHLI[1,*] & Marc-Henri DERRON[2]

Sahli V. & Derron M.-H., 2019. Hydrogéochimie des eaux minérales suisses en bouteille. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 98: 35-52.

Résumé

Afin de décrire l'influence des divers soubassements rocheux, les analyses chimiques de 59 eaux suisses naturelles, sans ajout de CO_2, en bouteille ont été collectées, principalement à partir des étiquettes, et étudiées (éléments majeurs, pH, température et charge totale en solution). Le point de captage de chaque eau a été localisé avec précision et la géologie de l'aquifère définie. Quatre lithologies au sens large sont distinguées: 26 eaux sont associées à des roches gypseuses, 7 à des granites/gneiss, 16 à des calcaires et 10 à la molasse (40 proviennent des Alpes ou Préalpes, 12 du Plateau et 7 du Jura). La température est connue pour 41 d'entre elles: 29 sont froides (T < 12 °C), 2 sub-thermales (12 °C < T < 20 °C) and 10 thermales (T > 20 °C). Les charges dissoutes totales sont élevées pour les eaux des roches gypseuses (>1000 mg/L), intermédiaires pour celles des calcaires ou de la molasse (200-700 mg/L), et faibles pour celles des granites/gneiss (<200 mg/L). La nature du soubassement rocheux est clairement identifiable dans la composition chimique de ces eaux. Le calcium est le cation largement dominant dans toutes ces eaux, exception faite de quelques eaux particulières relativement enrichies en sodium et dont la composition est influencée par des échanges ioniques. Sa concentration est contrôlée par la solubilité du gypse quand celui-ci est présent dans la roche, et par la calcite et la pression partielle de CO_2 dissout dans les autres cas. Ces eaux minérales en bouteille ne sont pas significativement différentes d'un point de vue physico-chimique des eaux de sources alpines. La surreprésentation des eaux en bouteille de nature gypseuse par rapport à l'occurrence naturelle de ce type d'eau découle plus d'aspects historiques et légaux que géologiques. La nécessité d'un débit important joue également un rôle dans le choix des sources commerciales.

Mots-clés: source, dissolution, roche, composition chimique, éléments majeurs, Alpes, gypse.

Sahli V. & Derron M.-H., 2019. Geochemistry of Swiss bottled watere. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 98: 35-52.

Extended abstract

In order to investigate the influence of various bedrock types, 59 chemical analyses of Swiss bottled waters were collected by reading the bottle labels or by contacting the producers. The analyses include major cations and anions and usual physicochemical parameters when available (pH, temperature and total dissolved solids). All the springs or wells corresponding to these waters were accurately mapped and the geological context (type of bedrock forming the aquifer) was reported from the 1:25'000 national geological atlas (table 1, figure 1).

[1] Faculté des Géosciences, Géopolis, Université de Lausanne, 1015 Lausanne (lors de la rédaction)
Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie, UniMail, Université de Neuchâtel, 2000 Neuchâtel.
[2] Institut des Sciences de la Terre, Géopolis, Université de Lausanne, 1015 Lausanne. Marc-Henri.Derron@unil.ch
* Correspondance: valentin.sahli@unine.ch

© Société Vaudoise des Sciences Naturelles, 2019. Tous droits de reproduction réservés. CODEN: BSVAA6 ISSN: 0037-9603

40 waters are from the Alps or Prealps, 12 from the Plateau and 7 from the Jura mountain range. This distribution is indicative as some waters extracted at the same location are sold with different brand names (figure 1). 26 waters are issued from an aquifer in gypseous dolomites, 7 in granite/gneiss, 16 in limestone and 10 in molasse (table 1, and supplementary material on-line). Temperature is known for 41 waters: 29 are cold (T < 12 °C), 2 subthermal (12 °C < T < 20 °C) and 10 thermal (T > 20 °C) (figure 2). pH ranges from 6.2 to 8.2 and there is no obvious relationship between pH and TDS or geology. TDS is high for waters in contact with gypseous dolomites (>1000 mg/L), intermediate for waters issued from limestone or molasses (200-700 mg/L), and low from waters circulating in granite/gneiss (<200 mg/L). Classical tools of hydrogeochemistry are used to characterize these waters: 1) Schoeller diagram for the absolute concentrations (figure 3), 2) Piper diagram and Jaeckli's facies for the relative concentrations (figure 4, table 1). Calcium is the dominant cation in solution, much more abundant than Na or Mg, in all the waters except two that underwent ionic exchange leading to a higher sodium concentration (figure 5). Concentration of Ca is limited by gypsum solubility when gypsum is present, and by calcite and CO_2 partial pressure otherwise (figure 7). Five waters are relatively rich in Na and Cl, indicating ionic exchange with clays (figure 6). From the whole list, two of them have nitrate concentrations higher than 10 mg/L, which is still well under the legal limitations (figure 6). In general, the imprint of aquifer bedrock is well marked on the chemical composition of these waters, mostly in terms of sulphate, calcium or sodium concentrations. Temperature is of secondary importance. These commercial mineral waters are not significantly different from usual alpine spring waters (figure 8), with respect to the bedrock type. Interestingly a relatively high number of gypsum-related waters are proposed on the market (26 of 59), whereas gypseous rocks are of limited spatial extents in the Swiss Alps. This statement is due to former laws specifying that only highly mineralized waters (TDS > 1000 mg/L) could be commercialized as mineral water. Such high dissolved solid contents are reached only by waters in contact with gypseous dolomites of evaporitic origin in Switzerland.

Keywords: spring, dissolution, rock, chemical composition, major elements, Alps, gypsum.

Introduction

La nature du soubassement rocheux influence significativement la composition chimique des eaux de surface (Littré 1877, MeyBeck 1986, Drever 1988, Pfeifer *et al.* 2000, Appelo & Postma 2005). Dans nos régions, le type de substrat rocheux (carbonate, silicate ou sulfate) joue un rôle de premier ordre dans le contrôle des teneurs en éléments majeurs dissous dans les eaux de source. Dès les années 30, des travaux mettent en relation le contexte géologique régional et l'hydrochimie des eaux souterraines (Cadisch 1936). Dans un remarquables ouvrage, Nussberger *et al.* 1937 ont compilé les compositions chimiques de plus d'une centaine d'eaux minérales ou thermales suisses (pour une huitantaine de localités). Sur la carte de cet ouvrage, modifiée d'après Cadisch (1936), la répartition géographique des sources diffère peu de celle établie pour les eaux en bouteilles actuelles (figure 1). Les analyses de Gübeli-Litscher (1948) viennent compléter un peu plus tard cette synthèse. Une seconde importante synthèse des compositions chimiques des eaux suisses est celle de Högl (1980), incluant une septantaine de sources (souvent thermales). À la même période, des travaux liés au projet d'entreposage des déchets nucléaires produisent des données importantes sur la composition des eaux souterraines suisses (Schmassman 1980, 1984), ainsi que sur leurs compositions en isotopes stables (Pearson *et al.* 1991). Pour les éléments traces, on pourra se référer à Parriaux *et al.* (1990) ou Kilchmann *et al.* (2004), et pour les eaux thermales à Sonney & Vuataz (2008).

Ce travail n'a pas pour but de faire une nouvelle synthèse hydrochimique des eaux souterraines suisses, mais de s'intéresser à la signature géologique des eaux vendues en bouteille. Que nous disent les compositions chimiques indiquées sur les étiquettes des bouteilles ? Est-il possible de distinguer l'influence du substrat rocheux via ces compositions chimiques ?

Pour répondre à ces questions, les analyses de 59 eaux minérales suisses, en état naturel (sans CO_2 gazeux ajouté artificiellement) et commercialisées en bouteille, ont été collectées. Ces analyses comprennent les teneurs en ions majeurs, parfois quelques paramètres physicochimiques et/ou le nom de la source. Chaque source ou point de captage a été localisé avec précision, son contexte géologique ainsi que la nature du substrat rocheux ont été déterminés. Un examen détaillé de ces analyses a été conduit à l'aide des outils classiques de l'hydrogéochimie.

Données et méthodes

En Suisse, l'eau potable est définie par *l'Ordonnance du DFI sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public – OPBD* comme étant « une eau destinée à la boisson, la cuisson, la préparation de denrées alimentaires ou au nettoyage d'objets usuels » (DFI 2016). Parmi les eaux commercialisées, distinction est faite entre eau minérale naturelle et eau de source. Toutes deux sont définies par *l'Ordonnance du DFI sur les boissons* (DFI 2016). La première est présentée comme étant « une eau microbiologiquement irréprochable, ayant pour origine une nappe ou un gisement souterrain et provenant d'une source exploitée par une ou plusieurs émergences naturelles ou forées » (Art. 5 al. 1). Selon sa composition, la dénomination spécifique eau minérale naturelle peut être complétée par diverses mentions (Art. 9). La deuxième est « une eau d'origine souterraine commercialisée en respectant son état d'origine » (Art. 12). Toujours selon la même ordonnance, une source

est définie comme « une eau souterraine spécifique, définissable d'un point de vue hydrogéologique » (Art. 5 al. 2).

D'un point de vue juridique, deux différences majeures distinguent ces deux catégories d'eau. Premièrement, aucune référence à la composition de l'eau ne peut être faite sur les bouteilles contenant des eaux dites de source, ceci afin d'éviter une confusion avec la catégorie des eaux minérales naturelles. Deuxièmement, des eaux provenant de captages différents peuvent être vendues sous la même dénomination commerciale (marque) d'eau de source (en faisant néanmoins mention du captage exploité). Ce n'est pas le cas des eaux minérales naturelles pour lesquelles chaque marque est associée à un seul et unique captage.

Pour ce travail, seules les eaux minérales naturelles répondant aux critères suivants ont été sélectionnées: provenir d'une source ou d'un captage localisé en Suisse, ne pas être gazéifiées (eau naturelle sans ajout de CO_2) et être vendues en bouteille. Au total 59 marques satisfont à ces conditions. Leurs analyses ont été collectées par simple lecture des étiquettes, via les sites internet des producteurs ou, lorsqu'aucune information n'était accessible, en contactant directement ces derniers. Toutes les analyses ont une balance ionique inférieure à 5 % ce qui indique que la composition chimique fournie est de bonne qualité (Rodier *et al.* 1996). Une de ces 59 eaux n'est plus commercialisée depuis les années 1950, mais fait partie du patrimoine vaudois. C'est la Montreux Alcaline dont une copie de l'étiquette, avec analyse, nous a gracieusement été fournie par le Musée de Montreux.

Les analyses chimiques comprennent les teneurs en éléments majeurs, généralement: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, F^{-} et NO_3^{-}. Cinq d'entre-elles n'incluent pas de mention du HCO_3^{-} qui a dès lors été calculé en mettant la balance ionique à zéro. Lorsqu'un des autres ions précités n'était pas indiqué, sa concentration a été considérée comme nulle. Des mesures de température, pH et charge totale dissoute complètent parfois les analyses chimiques.

L'ensemble des données (inclus les sources d'information pour chaque eau) est fourni comme matériel supplémentaire en ligne, sous la forme d'un fichier MS-Excel.

Température [°C]

La température des eaux de source est connue pour 41 des 59 eaux. L'information provient de l'ouvrage de Högl (1980, 31 mesures), de l'analyse fournie par les producteurs (6 mesures) ou de la plateforme cartographique suisse (Swisstopo 2019, 4 mesures). Trois classes de température sont distinguées selon Vuataz (1982): les eaux froides avec $T < 12$ °C, les eaux subthermales avec 12 °C $< T <$ 20 °C et les eaux thermales avec $T > 20$ °C.

Acidité [pH]

Le pH est indiqué pour 46 des 59 eaux: 9 sont légèrement acides ($6 < pH < 6{,}9$), 10 sont neutres ($6{,}9 \leq pH \leq 7{,}1$) et 27 sont légèrement basiques ($7{,}1 < pH < 8{,}0$). Les méthodes utilisées pour mesurer ces pH ne sont pas documentées.

Balance ionique

La balance ionique a servi à vérifier la qualité des analyses chimiques indiquées. Dans une eau, la somme des charges positives est toujours égale à la somme des charges négatives. Seules les analyses ayant une balance ionique inférieure à 5 % ont été retenues:

Balance ionique = $[(Cat - An) / (Cat + An)] * 100 < 5$ %

Cat et An = somme des concentrations en cations et anions respectivement (en milliéquivalent par litre, Mazor 2004).

Total des solides dissous TDS [mg/L]

Une valeur de TDS est indiquée sur la bouteille ($TDS_{bouteille}$) pour 54 analyses. Pour les 5 eaux restantes, le TDS a été calculé (TDS_{calc}) sur la base de l'analyse chimique, d'après Howard (1933):

$$TDS_{calc} = [Ca] + [Mg] + [Na] + [K] + [HCO_3]/2.03 + [SO_4] + [Cl] + [NO_3] + [SiO_2]$$

TDS et concentrations sont exprimés en mg/L. La concentration de HCO_3 est pondérée lors de la transformation en équivalent CO_3 comme suit: la moitié du HCO_3 provient du CO_2 atmosphérique et non pas de la roche, avec le facteur: $2*MHCO_3/MCO_3 = 2*61/60 = 2.03$ (M = masse molaire).

Les faciès hydrochimiques de Jaeckli (1970)

La classification en faciès hydrochimiques est souvent utilisée en hydrogéologie pour décrire la composition chimique des eaux naturelles. Les principes de cette classification sont: 1) Seules les concentrations relatives en ions dissous supérieures à 10 % milliéquivalent sont considérées; 2) Les cations sont listés en ordre décroissant de concentration, puis les anions de la même façon; 3) Les concentrations supérieures à 50 % sont soulignées et celles entre 10 % et 20 % mises entre parenthèses.

Localisation des sources et contexte géologique

Les noms des sources sont indiqués sur les bouteilles ou fournis par les producteurs. Les sources ont été localisées sur les cartes géologiques à disposition (Atlas géologique au 1 :25'000, carte géologique et carte lithologique et pétrographique de la Suisse au 1: 500'000 – SwissTopo 2019). Une lithologie a été associée à chaque source. Au total quatre types de lithologie ont été distingués: les gypses dolomitiques, les calcaires, les granites/gneiss et la molasse (roche sédimentaire détritique de type grès, à ciment argilo-calcaire et faiblement indurée). À l'instar de l'eau d'Henniez, certaines sources sont localisées dans des dépôts Quaternaires (Parriaux 1978). Nous n'avons pas pris en compte l'influence possible de ces dépôts Quaternaires (généralement plus perméables que le soubassement) sur la composition de ces eaux qui ont toutes circulé plus en profondeur.

Les sources ou points de captage des 59 eaux étudiées sont représentés sur un fond géologique (pour des raisons de lisibilité, c'est la carte tectonique suisse, simplifiée, qui sert de fond plutôt que la géologique (figure 1)). 40 eaux proviennent des Alpes et Préalpes, 12 du Plateau et 7 du Jura. Le contexte karstique et la vulnérabilité aux pollutions des eaux du Jura expliquent la moindre exploitation des celles-ci à but commercial. C'est en Valais, dans les Grisons et dans le triangle Bâle-Berne-Zürich que se situent les principales exploitations d'eaux minérales. Certaines eaux provenant d'une même localité (mais pas de la même source, par obligation légale (*Ordonnance du DFI sur les boissons*, Art. 10 al. 3 - DFI 2016)) sont commercialisées sous divers noms par des entreprises différentes. Un exemple particulièrement frappant est le cas d'Adelboden dont l'eau est commercialisée sous 8 marques différentes (Adelbodner cristal, Adello, Alpenrose, Buffy, Cristal Suisse, Denner Mineralwasser, Farmer Mineral bleue et Oeybad-Quelle).

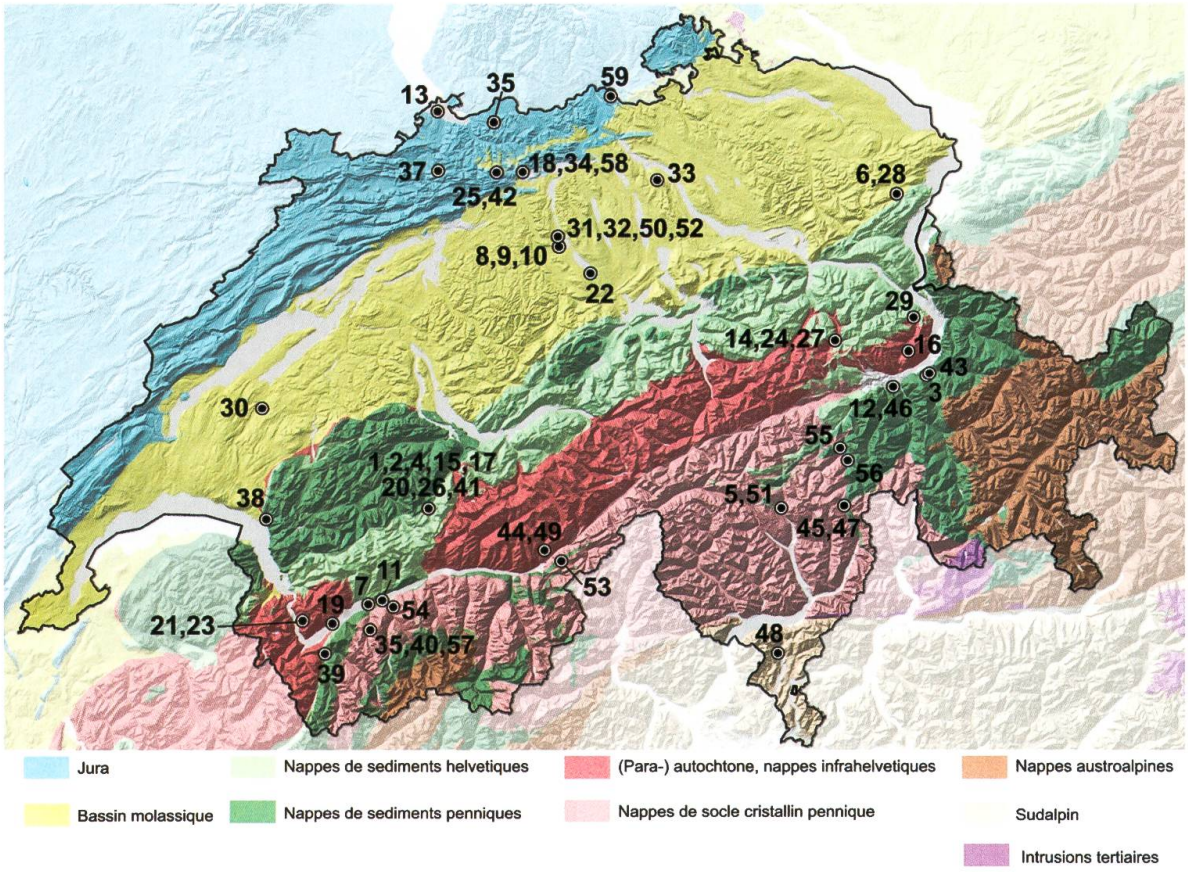

Figure 1. Carte tectonique suisse simplifiée (Swisstopo, 2019) et localisation des 59 eaux minérales en bouteille étudiées (tableau 1).

Figure 1. Simplified Swiss tectonic map (Swisstopo, 2019) and location of the 59 studied mineral waters (Table 1).

Résultats

Le tableau 1 décrit le nom, la localité, le faciès hydrogéochimique, le contexte géologique, la charge totale dissoute et la température des 59 eaux minérales en bouteilles étudiées. 26 eaux sont associées un soubassement gypso-dolomitique, 7 à des granites, 16 à du calcaire et 10 à de la molasse. Les analyses chimiques complètes sont fournies dans le matériel supplémentaire en ligne.

Paramètres physico-chimiques

Parmi les 41 eaux dont la température est connue, 29 sont froides (T < 12 °C), 2 sont subthermales (12 °C < T < 20 °C) et 10 sont thermales (T > 20 °C) (figure 2). Les eaux les plus chaudes ne sont pas les plus minéralisées, la charge totale en solution étant avant tout contrôlée par la lithologie. Une température élevée indique que l'eau a circulé en profondeur.

Selon les données récoltées, il n'y a pas de corrélation entre le pH et le TDS, ni entre le pH et le contexte géologique (figure 2). Dans la figure de droite, le regroupement de valeurs à un pH = 7,5 pourrait être un biais de mesure et nous incite à être prudents avec ces données dont on ne peut juger la qualité et la représentativité. Le pH des eaux naturelles est un paramètre délicat à mesurer, susceptible de varier selon l'appareillage utilisé et les conditions de mesures (Mazor 2004).

Tableau 1. Eaux minérales suisses naturelles sans ajout de CO_2 vendues en bouteille. Numéros de référence pour ce travail, noms, localité, faciès selon JÄCKLI (1970), géologie simplifiée de l'aquifère de la source (type de roche), TDS et température. Les valeurs de TDS en gras ont été calculées faute d'indication des producteurs d'eau. Informations supplémentaires disponibles en annexe.

Table 1. Natural swiss mineral waters without adjunction of CO_2 sold in bottle. Reference number for this work, name, location, water type according to JÄCKLI' s classification (1970), simplified geology of the spring aquifer (rock type), TDS and temperature. TDS values in bold were calculated due to a lack of information from water producers. Additional information available in the appendix.

#	Nom	Localité	Faciès de Jäckli	Géologie simplifiée	TDS [mg/l]	T [°C]
1	Adelbodner cristal	Adelboden (BE)	Ca-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2185	8
2	Adello	Adelboden (BE)	Ca-(Mg)-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2000	8
3	Allegra	Malix (GR)	Ca-Mg-HCO3-(SO4)	Calcaire	549	-
4	Alpenrose	Adelboden (BE)	Ca-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2200	8
5	Aperto Mineral Wasser	Caslascio (TI)	Ca-Mg-(Na)-HCO3-SO4-(NO3)	Granite - Gneiss	39	25
6	Appenzell Mineral	Gontenbad (AI)	Ca-Mg-HCO3	Calcaire	550	8,4
7	Aproz Classic (rouge)	Aproz (VS)	Ca-Mg-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	1650	9,4
8	AQA	St. Erhard (LU)	Ca-Mg-HCO3	Molasse	670	-
9	Aqua Premium	St. Erhard (LU)	Ca-Mg-HCO3	Molasse	567	-
10	Aqua St. Erhard	St. Erhard (LU)	Ca-Mg-HCO3	Molasse	670	-
11	Aquella rouge	Bouillets (VS)	Ca-Mg-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	1495	-
12	Arkina	Rhäzüns (GR)	Ca-Mg-HCO3-(SO4)	Calcaire	444	14,7
13	Basler Trinkwasser	Bâle (BS)	Ca-HCO3	Calcaire	500	-
14	Berg	Elm (GL)	Ca-HCO3-SO4	Calcaire	**390**	7,3
15	Buffy	Adelboden (BE)	Ca-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2010	8
16	Calanda Aqua	Calanda (GR)	Ca-Mg-HCO3-(SO4)	Calcaire	251	-
17	Cristal Suisse	Adelboden (BE)	Ca-(Mg)-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2161	8
18	Cristallo	Lostorf (SO)	Ca-Mg-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	1169	27
19	Cristalp Saxon	Saxon (VS)	Ca-Mg-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	716	26
20	Denner Mineralwasser	Adelboden (BE)	Ca-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2140	8
21	Edelvia (Dorénaz)	Dorénaz (VS)	Ca-(Mg)-HCO3-SO4	Granite - Gneiss	**120**	-
22	Edelvia (Homelwaldquellen)	Neuenkirch (LU)	Ca-(Mg)-HCO3	Calcaire	470	-
23	Eden Dorénaz	Dorénaz - (VS)	Ca-(Mg)-HCO3-SO4	Granite - Gneiss	129	-
24	Elmer Mineralwasser	Elm (GL)	Ca-HCO3-SO4	Calcaire	497	7,3
25	Eptinger	Eptingen (BL)	Ca-Mg-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2391	5,5
26	Farmer Mineral bleue	Adelboden (BE)	Ca-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2136	8
27	Fontessa Elm	Elm (GL)	Ca-HCO3-SO4	Calcaire	497	7,3
28	Gontenbad	Gontenbad (AI)	Ca-Mg-HCO3	Calcaire	553	8,4
29	Heidiland	Mels (SG)	Ca-Mg-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	545	37
30	Henniez bleue	Henniez (VD)	Ca-Mg-HCO3	Molasse	571	9,7
31	Knutwiler	Bad Knutwill (LU)	Ca-Mg-HCO3	Molasse	537	11,1
32	Levista-N	Bad Knutwill (LU)	Ca-Mg-HCO3	Molasse	537	11,1
33	Lokales Wasser 37	Zürich (ZH)	Ca-Mg-HCO3	Molasse	**255**	9,7
34	Lostorfer	Lostorf (SO)	Ca-Mg-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	1420	27
35	Magdalenenquelle	Magden (AG)	Ca-Mg-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2448	11,5

Tableau 1. (suite).
Table 1. (continued).

#	Nom	Localité	Faciès de Jäckli	Géologie simplifiée	TDS [mg/l]	T [°C]
36	M-Budget	Nendaz (VS)	Ca-Mg-HCO3-SO4	Calcaire	535	-
37	Meltina	Meltingen (SO)	Ca-Mg-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2579	10
38	Montreux Alcaline	Montreux (VD)	Ca-(Mg)-HCO3-(SO4)	Calcaire	**437**	11,2
39	My Sembrancher	Sembrancher (VS)	Ca-Mg-HCO3-SO4	Calcaire	261	-
40	Nendaz	Nendaz (VS)	Ca-Mg-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	410	-
41	Oeybad-Quelle	Adelboden (BE)	Ca-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	1960	8
42	OK.-	Eptingen (BL)	Ca-Mg-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	2391	5,5
43	Passugger	Passug (GR)	Ca-(Mg)-(Na)-HCO3	Calcaire - Marnes	1130	8
44	Prix Garantie Mineralwasser	Bitsch (VS)	Ca-Mg-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	838	-
45	Pure Swiss	San Bernardino (GR)	Ca-Mg-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	385	5,7
46	Rhäzünser	Rhäzüns (GR)	Ca-Na-(Mg)-HCO3-(SO4)	Calcaire - Marnes	1718	14,7
47	San Bernardino	San Bernardino (GR)	Ca-(Mg)-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	2542	6
48	San Clemente	Mte Tamaro (TI)	Ca-(Mg)-(Na)-HCO3-SO4-(NO3)	Granite - Gneiss	39	25
49	Swiss Alpina rouge	Termen - Bitsch (VS)	Ca-Mg-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	986	-
50	SwissBaker	Bad Knutwill (LU)	Ca-Mg-HCO3	Molasse	537	11,1
51	SwissEau	Caslascio (TI)	Ca-Mg-(Na)-HCO3-SO4-(NO3)	Granite - Gneiss	49	25
52	SwissMountain	Bad Knutwill (LU)	Ca-Mg-HCO3	Molasse	540	11,1
53	Termen	Termen (VS)	Ca-(Mg)-SO4-(HCO3)	Gypse dolomitique	**1299**	-
54	Valais	Aproz (VS)	Ca-Mg-HCO3-SO4	Calcaire	485	28
55	Valser	Vals (GR)	Ca-(Mg)-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	1826	30
56	Valser Silence	Vals (GR)	Ca-HCO3	Calcaire	220	4,8
57	Valvita	Nendaz (VS)	Ca-Mg-HCO3-(SO4)	Granite - Gneiss	80	-
58	Volg Mineralwasser	Lostorf (SO)	Ca-Mg-SO4-HCO3	Gypse dolomitique	1169	27
59	Zurzacher	Zurzach (AG)	Na-SO4-HCO3-Cl	Granite - Gneiss	923	39,9

Compositions chimiques

L'examen des compositions chimiques de ces eaux permet de retracer le type de soubassement rocheux au travers duquel les eaux ont circulé. Cette influence est susceptible de se marquer sur (1) les concentrations absolues et (2) les concentrations relatives des ions en solutions. Des outils classiques d'hydrochimie ont été développés pour cette caractérisation : le diagramme de Schoeller (1955, figure 3) pour comparer les concentrations absolues, et le diagramme de Piper (1944, figure 4) et les faciès hydrogéochimiques de Jaeckli (1970, tableau 1) pour les concentrations relatives.

Les eaux associées aux gypses dolomitiques se distinguent par des concentrations absolues et relatives en Ca et SO_4 (et souvent aussi Mg) nettement plus élevées que pour toutes les autres eaux. Elles ont toutes des faciès hydrogéochimiques dominés par Ca-SO_4, pour une charge totale dissoute comprise entre 385 et 2579 mg/L, médiane = 1893 mg/L.

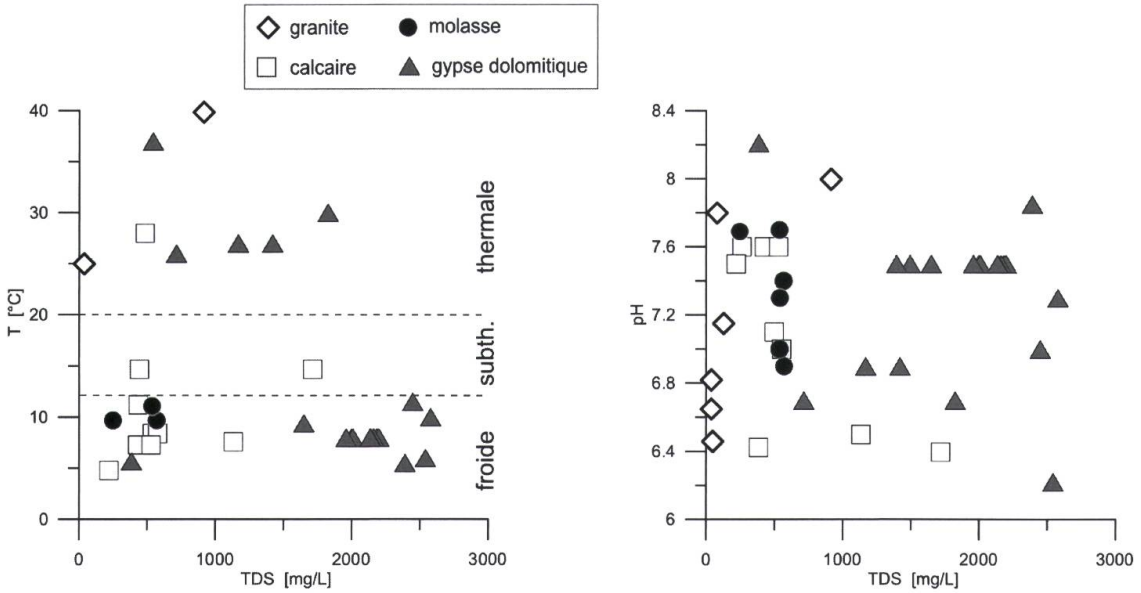

Figure 2. Température et pH en fonction de la charge totale dissoute (TDS).
Figure 2. Temperature and pH as a function of Total Dissolved Solids (TDS).

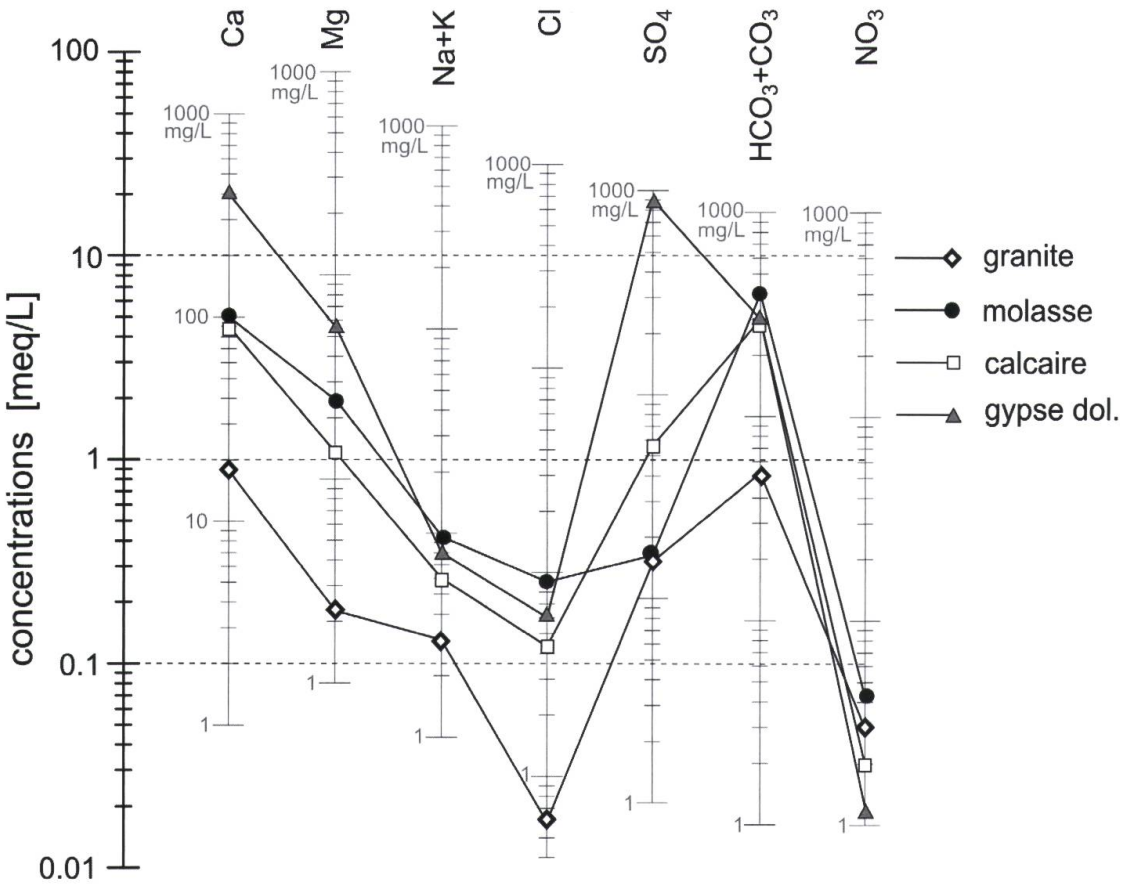

Figure 3. Diagramme de Schoeller avec valeurs médianes de chaque type d'eau.
Figure 3. Schoeller Diagram with median values for each type of water.

Les eaux provenant des roches granitiques et gneissiques sont les moins minéralisées (TDS compris entre 39 et 923 mg/L, médiane = 80 mg/L). Elles sont souvent relativement enrichies en Na par rapport aux autres cations, ou plus exactement appauvries en autres cations; néanmoins Ca et HCO_3 demeurent les ions dominants. Une de ces eaux (Zurzacher N° 59) a une minéralisation plus élevée que le restant de cette catégorie (TDS = 923 mg/L). Cette concentration s'explique par un temps de résidence souterraine élevé (montré par la température de 39,9 °C). Il s'agit également de la seule eau où la concentration en Na est supérieure à celle en Ca.

La distinction entre les eaux ayant circulé dans des calcaires (TDS compris entre 220 et 1718 mg/L, médiane = 497 mg/L) et celles provenant de la molasse (TDS compris entre 255 et 670 mg/L, médiane = 538,5 mg/L) n'est pas possible à partir des analyses en éléments majeurs. Toutes ont des faciès hydrogéochimiques dominés par Ca et HCO_3. Une tendance à des teneurs légèrement plus élevées en SO_4 dans les eaux des calcaires et en Mg dans celles de la molasse se dessine dans le diagramme de Piper (figure 4). Deux des eaux influencées par une lithologie calcaire (Passuger N° 43 et Rhäzünser N° 46) ont un TDS > 1000 mg/L ainsi qu'une composante sodique supérieure à 10 %. Ces deux sources sont situées dans les calcschistes marneux nord-penniques (Bündnerschiefer) aux Grisons, roches sujettes à d'important processus d'échanges ioniques (Calmbach *et al.* 1994).

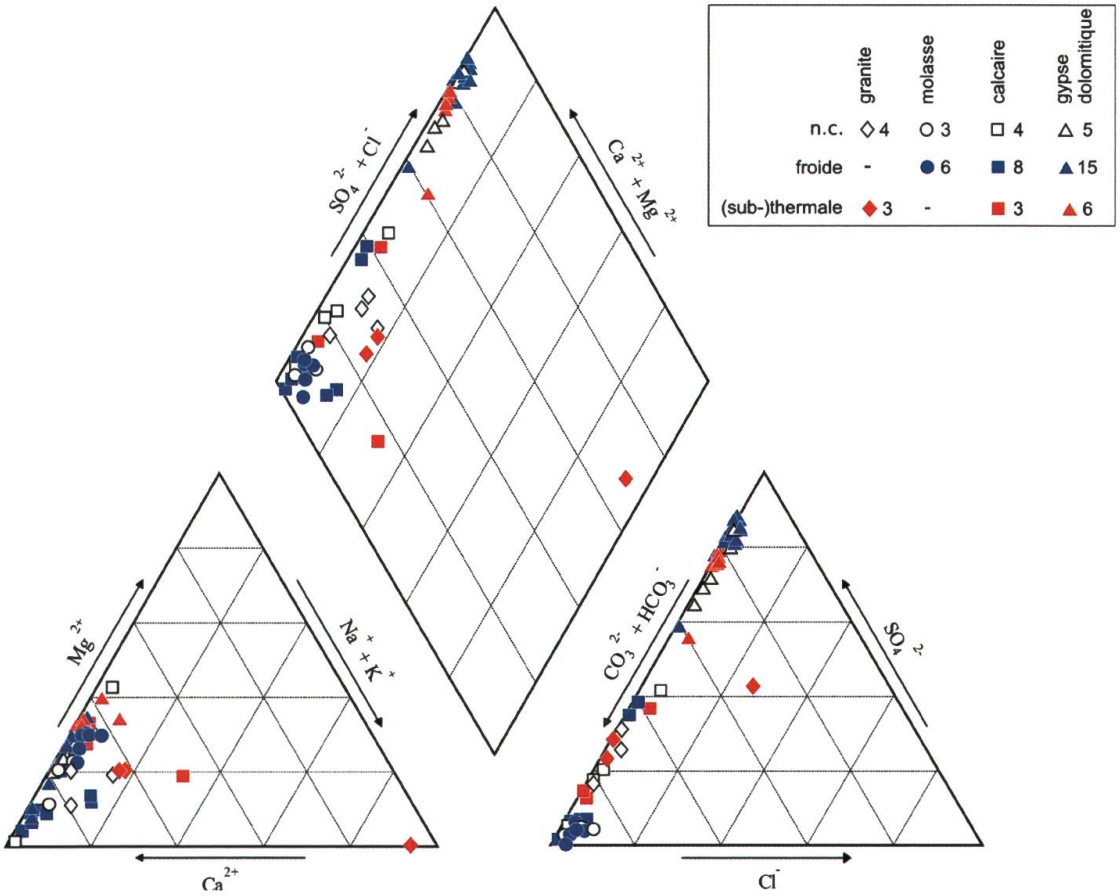

Figure 4. Diagramme de Piper, en fonction de la géologie et de la température.

Figure 4. Piper diagram, as a function of geology and temperature.

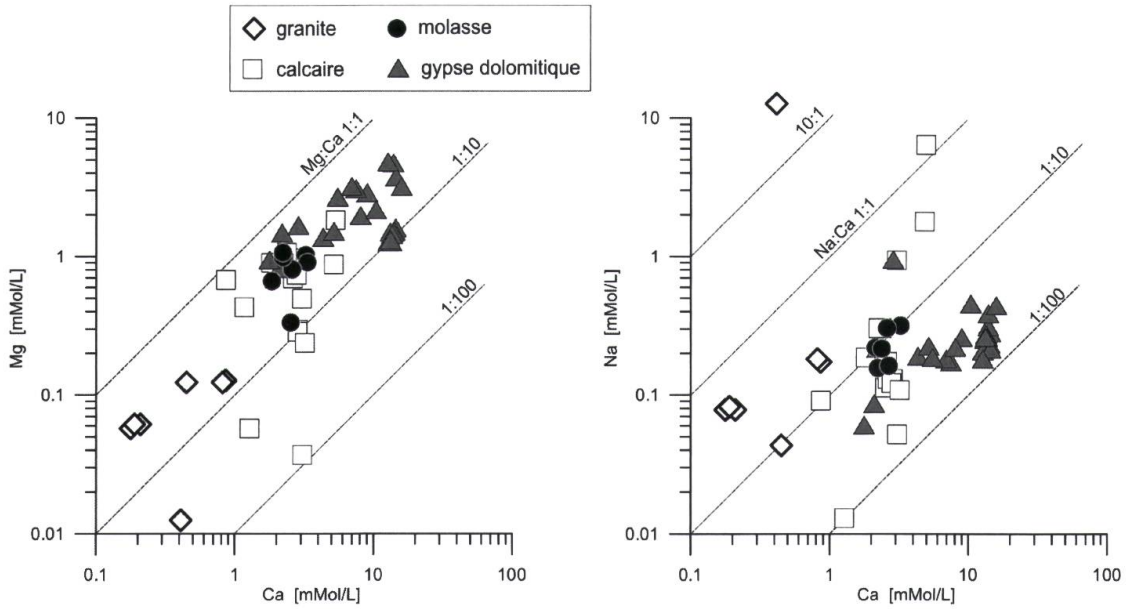

Figure 5. Concentrations en solution de Mg et Na en fonction de Ca.

Figure 5. Solution concentrations of Mg and Na as a function of Ca.

Quelques observations particulières

Bon nombre des eaux des gypses ou provenant de la molasse sont riches en magnésium, avec des concentrations supérieures à 1 mMol/L (= 24 mg/L). Mais le Mg n'est le cation dominant dans aucune d'entre-elles (figure 5). Plus généralement, il est rare qu'il y ait plus de Mg que de Ca dans les eaux alpines; cette spécificité est la plupart du temps réservée aux eaux ayant circulé à travers des roches ultramafiques (Pfeifer 1977, Schlegel 1997, Pfeifer *et al.* 2000, Derron & Pfeifer 2017), ce qui n'est le cas d'aucunes des eaux minérales de ce travail.

Certains éléments chimiques, à l'exemple du sodium, des chlorures et des nitrates sont susceptibles d'indiquer des interactions eau-roche particulières ou des contaminations d'origine anthropique, telles que le salage des routes ou l'infiltration d'engrais. Cinq eaux sont relativement riches en Na et Cl (figure 6), avec des valeurs de sodium supérieures à 0,9 Mol/L (= 20 mg/L) : la Passuger (41,2 mgNa/L), la Rhäzünser (148 mgNa/L), la Zurzacher (296 mgNa/L), la Montreux Alcaline (21,6 mgNa/L) et une eau thermale, la Cristalp Saxon (21,9 mgNa/L). Quelques eaux des granites et de la molasse sont significativement plus riches en Na qu'en Cl, indiquant une autre source de sodium que le sel halite (NaCl), telle que des plagioclases sodiques ou des échanges ioniques avec des couches d'argiles (Calmbach *et al.* 1994). Rien n'indique une contamination d'origine anthropique des eaux précitées.

Deux eaux en bouteille ont une concentration en nitrate qui dépasse légèrement 10 mg/L (0,1 mMol/L), l'Henniez et la Basler Trinkwasser (figure 6). Ces deux eaux sont captées pour l'une en ancienne zone agricole et pour l'autre en zone urbaine. Ces nitrates, dont les teneurs sont supérieures à la moyenne suisse proviennent en grande partie du lessivage de sols où l'usage de produits phytosanitaires était important. La tendance se retrouve de manière marginale pour les eaux du Plateau, avec une teneur moyenne de 5 mg/L. Elle est de 1,4 mg/L pour celles des Alpes et Préalpes et de 0,6 mg/L pour celles du Jura. Les nitrates sont couramment utilisés comme indicateur de la pollution d'une eau (Birke & Reimann 2010). La norme suisse définit 40 mg/L comme limite de potabilité et 25 mg/L comme objectif de qualité (DFI 2016).

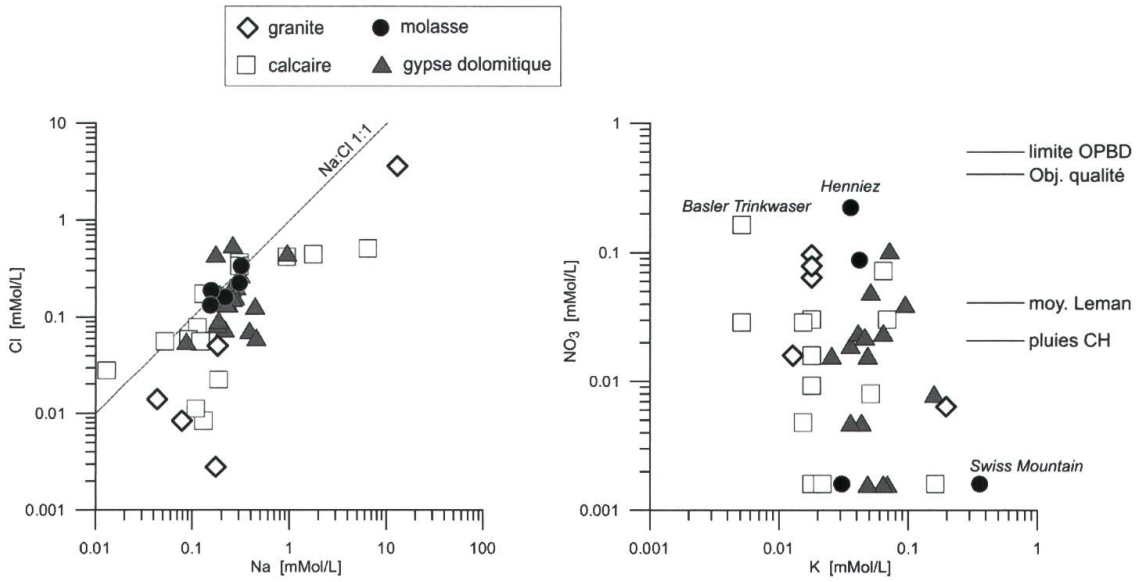

Figure 6. Concentrations en solution de Na vs Cl, et NO_3 vs K. Limite OPBD = concentration maximale pour les eaux potables suisses (=40 mg/L). Obj. qualité = objectif de qualité défini dans le manuel suisse des denrées alimentaires (=25 mg/l).

Figure 6. Solution concentrations of Na as a function of Cl, and NO_3 as a function of K. Limite OPBD = maximum concentration for Swiss drinking water (=40 mg/L). Obj. qualité = quality objective for Swiss drinking water (=25 mg/l).

Cinq eaux en bouteille ont une concentration en potassium supérieure à 0.1 mMol/L (3,9 mg/L); La Montreux Alcaline, la Rhäzünser, la San Bernardino, la SwissMountain et la Zurzacher. Seule l'eau SwissMountain, de Bad Knutwill (canton de Lucerne) sur le Plateau molassique sort du lot avec une teneur supérieure à 14 mg/L. Cependant, en comparant les minéralisations de l'ensemble des eaux provenant de cette localité (Knutwiler, Levista-N, SwissBaker, Swiss Mountain), il apparaît que cette valeur inhabituelle est très probablement erronée. La teneur en potassium des trois autres eaux est de 1,2 mg/L ce qui correspond à une différence de facteur 10. Comme la composition de la SwissMountain (obtenue directement sur le site du fabricant) est donnée en mg/100mL (1,4 mg/100 mL donc 14 mg/L) au lieu des mg/L habituels on peut penser à une erreur d'ordre de grandeur lors d'une retranscription de l'analyse chimique. Le même cas de figure se présente pour les sulfates; 0,2 mg/100mL (2 mg/L) pour la SwissMountain contre 20 mg/L pour les trois autres eaux.

Discussions

Qualité des données

Toutes les compositions chimiques de cet article proviennent soit de la lecture des étiquettes des bouteilles soit d'une communication des producteurs. La balance ionique sert à tester la cohérence de l'analyse chimique; elle devrait être inférieure à 5 %. Toutes les analyses rassemblées satisfont à cette condition. Cependant beaucoup de compositions chimiques sont partielles. En particulier les concentrations en HCO_3 manquent pour cinq eaux bien que cet anion soit toujours parmi les plus abondants en solution. Pour ces eaux, les concentrations de HCO_3 ont été recalculées en bouclant la balance ionique à zéro.

Les autres éléments non listés sont des éléments souvent peu abondants comme K, Cl, NO_3 ou H_2SiO_3. En mettant leurs concentrations à zéro, la balance ionique n'est que peu altérée. L'alinéa 2a de l'article 10 de *L'ordonnance du DFI sur les boissons* (DFI 2016) précise que l'indication de la quantité des composants caractéristiques de l'eau minérale naturelle doit figurer sur le récipient. Toutefois, les composants caractéristiques variant pour chaque eau, il n'existe pas de liste des éléments à faire figurer obligatoirement sur chaque étiquette.

Les mesures de pH sont de l'ordre de ce que l'on peut attendre d'une eau de subsurface, entre 6,2 et 8,2, soit entre le pH d'une eau de pluie et celui d'une eau en équilibre avec un calcaire (Pfeifer *et al.* 2000, Appelo & Postma 2005). La mesure du pH est délicate et susceptible de varier selon le protocole utilisé (mesure sur le terrain ou au labo par exemple). Le regroupement de valeurs à un pH = 7,5 (figure 2) indique un probable arrondi des mesures à la demi-unité.

Il y a trois façons de mesurer la charge totale dissoute TDS. (a) La méthode originelle consiste à mesurer le résidu après évaporation d'un litre d'eau, mais elle est rarement utilisée car peu pratique (Rodier *et al.* 1996). (b) La seconde méthode, appliquée ici pour les étiquettes sans informations, est de calculer le TDS à partir de l'analyse chimique selon la méthode de Howard (1933) (c) Finalement, le TDS est couramment estimé en mesurant la conductivité électrique de l'eau, avec une simple relation de proportionnalité: TDS = k*EC. Bien que le coefficient k soit susceptible de varier de 0,5 à 1,0 selon le type d'eau (Derron & Pfeifer 2017), un k moyen de 0,65 est généralement utilisé (Birke & Reimann 2010). Sans plus d'information sur la procédure de mesure, les valeurs des charges dissoutes sont à considérer de façon semi-quantitative.

Interactions eau-roche

Le calcium est le cation le plus abondant dans toutes ces eaux en bouteille, exception faite de deux eaux influencées par des processus d'échanges ioniques. Dans les eaux qui n'ont pas été en contact avec des sulfates, c'est le rapport stœchiométrique HCO_3: Ca = 2 correspondant à la dissolution de la calcite en présence de CO_2 qui transparaît. La quantité maximale de calcite qui peut être dissoute dépend étroitement de la pression partielle de CO_2 (figure 7). Dans une eau à l'équilibre avec le CO_2 atmosphérique ($pCO_{2atm} = 10^{-3.5}$ atm), environ 0,5 mMol/L de calcite peut être mis en solution. Cependant, la pression partielle de CO_2 des eaux souterraines peut fortement dépasser la concentration atmosphérique (Stumm & Morgan 1996), permettant de dissoudre près de dix fois cette quantité de calcite.

Pour les eaux associées au gypse dolomitique, le rapport stœchiométrique SO_4 : Ca = 1 indique la prédominance de la réaction de dissolution du gypse ou de l'anhydrite (réaction indiquée dans la figure 7). La quantité maximale de ions Ca et SO_4 en solution est limitée par la solubilité des minéraux précités. La calcite, le gypse et l'anhydrite se distinguent par des solubilités et surtout vitesses de dissolution élevées relativement aux autres minéraux (Derron & Pfeifer 2017).

Les eaux minérales ayant interagi avec du calcaire ou du gypse dolomitique ont une composition semblable aux eaux de sources alpines ayant traversé la même lithologie (figure 8). Celles provenant du Plateau molassique se retrouvent dans le faciès des eaux de source alpine calcique plutôt enrichi en Mg. Toutefois, les faciès variés au sein de la molasse influencent la composition des eaux souterraines (Hesske 1995) et le nombre d'analyses disponibles pour cette lithologie est trop faible pour être représentatif de cette variété. De même, on ne dispose que de très peu de compositions pour des eaux minérales granitiques ou gneissiques, dont la plupart sont en plus des eaux thermales.

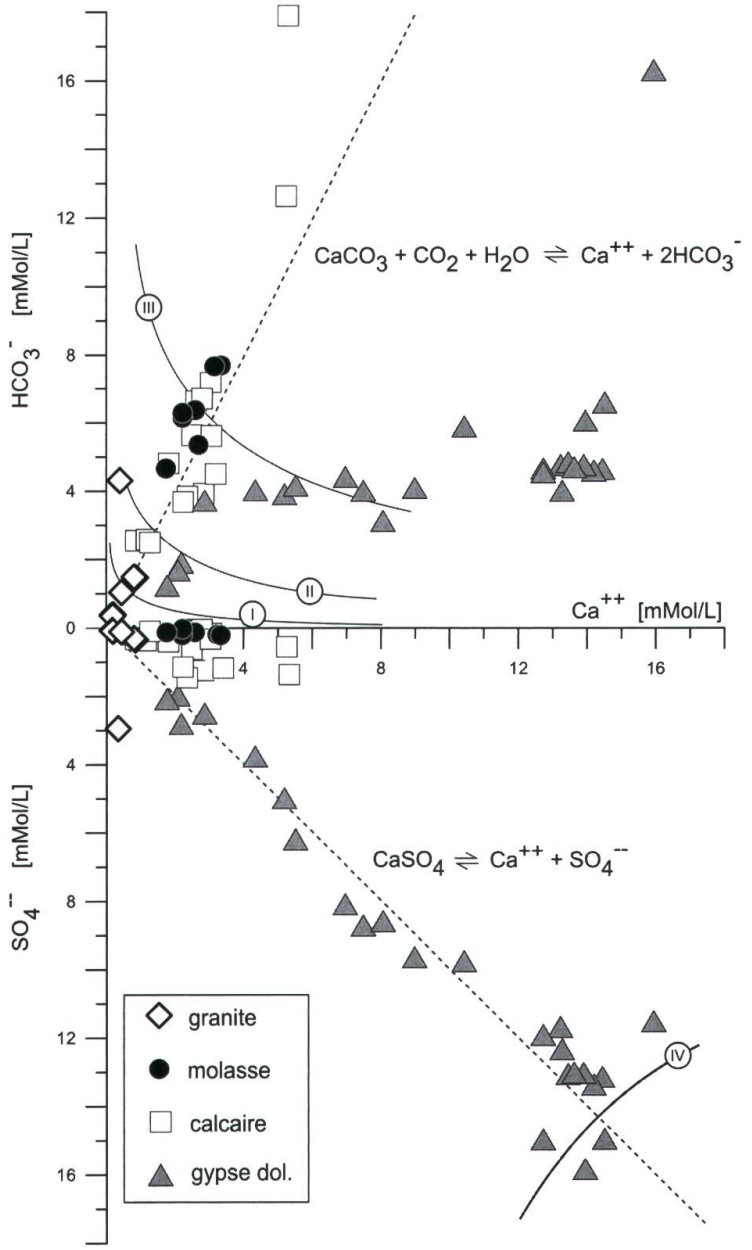

Figure 7. Concentrations en solution de HCO_3 et SO_4 en fonction de Ca. Les équations et les droites correspondent à la dissolution de la calcite et du gypse aux conditions de surface. Les courbes I à III correspondent à la saturation en calcite pour respectivement une pression partielle de CO_2 atmosphérique standard ($pCO_{2atm} = 10^{-3.5}$atm), 10 x pCO_{2atm} et 100 x pCO_{2atm} (à 12 °C). La courbe IV correspond à la saturation du gypse à 12 °C.

Figure 7. Solution concentrations of HCO_3 and SO_4 as a function of Ca. Equations and straight lines correspond to the dissolution of calcite and gypsum under surface conditions. Curves I to III correspond to calcite saturation for a partial pressure of standard atmospheric CO_2 ($pCO_{2atm} = 10^{-3.5}$atm), 10 x pCO_{2atm} and 100 x pCO_{2atm} (at 12 °C) respectively. Curve IV corresponds to gypsum saturation at 12 °C.

Spécificité des eaux minérales suisses

Une observation inattendue de cette étude est la surreprésentation des eaux minérales commerciales marquées par des gypses dolomitiques par rapport à l'occurrence naturelle de ces eaux. Cette lithologie est beaucoup moins présente que les calcaires, les grès-marnes de la molasse ou les roches silicatées sur le territoire suisse et les eaux de source de faciès Ca-SO_4 sont moins fréquentes dans la nature que celles de faciès Ca-HCO_3 (Derron & Pfeifer 2017). Or 26 des 59 eaux en bouteille suisses (44 %) sont associées à un soubassement de gypse. En comparaison européenne, seul 18 % des eaux en bouteille, pour un échantillonnage de 884 eaux, ont plus de 100 mg/L de SO_4 (Reimann & Birke 2010). La raison de cette surreprésentation en Suisse est plus légale que géologique. Au début du XXe siècle, plusieurs pays européens ont introduit des réglementations réservant l'appellation « eau minérale » à des eaux très minéralisées (TDS > 1000 mg/L) ou ayant des compositions considérées comme particulières (Evers 2009). Ces réglementations ont été reprises par la suite par des organisations internationales

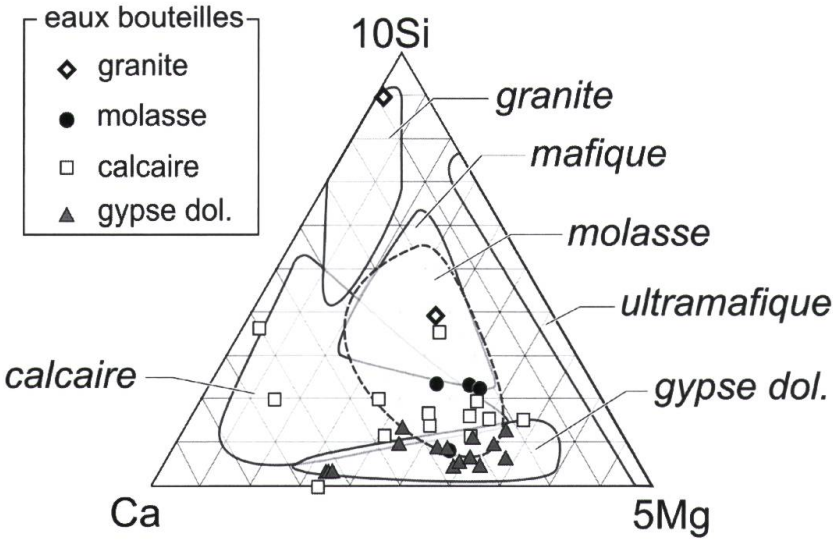

Figure 8. Diagramme ternaire typologique des eaux de sources. Les symboles représentent les eaux minérales, les champs représentent les aires occupées par chaque type de roche des eaux de sources alpines (Derron & Pfeifer 2017) ainsi que celle des eaux de source liées à la molasse (analyses compilées de Hesske 1995).

Figure 8. Typological ternary diagram of spring waters. Symbols represent mineral waters, fields represent area defined by different rock types of alpine spring waters (Derron & Pfeifer 2017) and spring waters from the molasse (analyses compiled from Hesske 1995).

(FAO/WHO 1972, Carlé 1975, Evers 2009), puis progressivement abandonnées depuis les années 1980 sous la pression de certains producteurs d'eau. Cette condition de minéralisation afin de prétendre à l'appellation d'eau minérale ne figure plus dans les normes suisses depuis 1996 (EU 2009, DFI 2016, Evers 2009).

Conclusions

Cette étude tente de donner une image aussi complète que possible des compositions chimiques des eaux naturelles sans ajout de CO_2 en bouteille produites en Suisse. En tout, 59 eaux sont commercialisées, dont certaines petites productions sont destinées à des marchés de niche. L'eau d'une même localité peut être vendue sous plusieurs marques. Deux grands types d'eaux se distinguent, les eaux de faciès Ca-SO_4 liées aux gypses dolomitiques (formation géologique: Trias) et celles de faciès Ca-HCO_3 pour les autres lithologies. À ces eaux s'ajoutent quelques eaux au chimisme particulier, souvent thermales et sodiques, potentiellement liées à des processus d'échange ionique dans des sédiments argileux. Les compositions chimiques de ces eaux, ainsi que les processus d'interaction eau-roche qui y sont liés, ne diffèrent que peu des eaux de source et de surface habituelles (Hesske 1995, Derron & Pfeifer 2017).

Les analyses de composition chimique des eaux minérales suisses naturelles et sans ajout de CO_2 vendues en bouteille ont permis de déterminer l'influence du substrat rocheux sur leur minéralisation. Pour pouvoir aller plus loin, il serait nécessaire de pouvoir procéder à des analyses indépendantes et plus détaillées (incluant les éléments traces et les isotopes stables) des eaux précitées.

Pour conclure, il revient à tout naturaliste de se poser la question de la pertinence de consommer des eaux minérales en bouteille par rapport à celle du réseau (eau du robinet). En 2018, presque un milliard de litres d'eau minérale (973,3 millions) ont été consommés en Suisse, dont environ 60 % d'origine indigène (SMS 2019). En termes de consommation par habitant, ces valeurs sont stables depuis une dizaine d'années. Néanmoins, en terme absolu, elle est en constante augmentation depuis plusieurs décennies. Or les eaux minérales suisses ne sont pas fondamentalement différentes des eaux du réseau, si ce n'est par une propension à proposer des eaux en bouteille plus fortement minéralisées. Cette particularité suisse résulte avant tout de raisons historiques liées à d'anciennes législations. Une étude récente montre que les consommateurs préfèrent des eaux peu minéralisées lors de dégustation à l'aveugle (Platikanov *et al.* 2017). D'autre part, Botto *et al.* (2011) estime qu'un litre d'eau indigène en bouteille PET a une empreinte carbone environ 250 fois plus élevées qu'un litre du réseau ; c'est bien sûr pire pour des eaux importées. Les eaux en bouteilles ne sont non plus pas exemptes de toute contamination ; en nitrates dans les zones agricoles, ou liées à leur conditionnement en bouteille et à leur exposition aux UV (Reimann & Birke 2010, Reimann *et al.* 2010, Bach *et al.* 2012), tout en restant dans les normes sanitaires légales. Le prix au consommateur d'un litre d'eau en bouteille (~50 ct/L) est environ 250 fois plus élevé que celui de l'eau du réseau (~2.- par m^3). Finalement, la pollution par les (micro-)plastiques est une préoccupation qui concerne aussi la Suisse (Faure *et al.* 2015, Scheurer & Bigalke 2018), même si le taux de recyclage du PET a atteint 82 % en 2016 (petRecycling 2018). Seuls des aspects environnementaux ont été mentionnés ici. Des considérations gustatives et médicales, ou autres propriétés thérapeutiques prêtées à certaines eaux, peuvent aussi influencer la décision du consommateur, ainsi que les effets d'un puissant marketing des producteurs d'eaux en bouteille (Debbeler *et al.* 2018, Etale *et al.* 2018).

Remerciements

Cet article trouve son origine dans la réalisation d'un travail de Bachelor effectué en Faculté des Géosciences et de l'Environnement (section géologie) à l'Université de Lausanne par le premier auteur. Les auteurs remercient chaleureusement les deux relecteurs, Messieurs Yves Haeberlin et Hans-Ruedi Pfeifer, qui, par leur travail de relecture méticuleux et leurs suggestions de modifications constructives, ont grandement contribué à améliorer la qualité de l'article présenté ici. Nous remercions également Madame Barbara Beck et Messieurs Urs Buff, David Giorgis, Antoine Guérin, Fabio Hubacher, Daniel Hunkeler, Cédric Meier et Pierre Studer pour les informations ou échantillons qu'ils ont généreusement mis à notre disposition.

Bibliographie

Appelo C. A. J. & Postma D., 2005. Geochemistry, groundwater and pollution. 2nd edition. AABalkema, Leiden. 649.

Bach C., Dauchy X., Chagnon M. C. & Etienne S., 2012. Chemical compounds and toxicological assessments of drinking water stored in polyethylene terephthalate (PET) bottles: A source of controversy reviewed. *Water Res* 46: 571-583.

Birke M. & Reimann C., 2010. Geochemistry of European bottled water. Borntraeger, Stuttgart. 268.

Botto S., Niccolucci V., Rugani B., Nicolardi V., Bastianoni S. & Gaggi C., 2011. Towards lower carbon footprint patterns of consumption: The case of drinking water in Italy. *Environmental Science & Policy* 14: 388-395.

Cadisch J., 1932. Zur Geologie der Schweizer Mineral- und Thermalquellen. Verh. Natf. Ges. Basel 42, 138-176.

Cadisch J., 1936. Geologie der Schweizer Mineral- und Heilquellen. Mitt. aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuch. u. Hygiene des Eidg. Gesundheitsamt 27: 216-259.

Calmbach L., Krull L. & Pfeifer H.-R., 1994. Etude des sources bicarbonatées sodiques dans la galerie d'amenée d'eau de Jaman (Préalpes Vaudoises). *Bulletin d'Hydrogéologie CHYN* 13.

Carlé W., 1975. Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa : Geologie, Chemismus, Genese.,Stuttgart. 640.

Debbeler L. J., Gamp M., Blumenschein M., Keim D. & Renner B., 2018. Polarized but illusory beliefs about tap and bottled water : A product- and consumer-oriented survey and blind tasting experiment. *Sci Total Environ* 643: 1400-1410.

Derron M.-H. & Pfeifer H.-R., 2017. Caractérisation hydrogéochimique des eaux de source alpines. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 96: 5-29.

DFI, 2016. Ordonnance du DFI sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public (OPBD). 817.022.11. *Le Département fédéral de l'intérieur.*

DFI, 2016. Ordonnance du DFI sur les boissons. 817.022.12. *Le Département fédéral de l'intérieur.*

Drever J. I., 1988. The geochemistry of natural waters. 2nd edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 437.

Etale A., Jobin M. & Siegrist M., 2018. Tap versus bottled water consumption : The influence of social norms, affect and image on consumer choice. *Appetite* 121: 138-146.

EU, 2009. Directive 2009/54/CE du parlement européen et du conseil du 18 juin 2009 relative à l'exploitation et à la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles. European Parliament, Council of the European Union.

Evers K. W., 2009. Wasser als Lebensmittel : Trinkwasser, Mineralwasser, Quellwasser, Tafelwasser. 1. Aufl edition. Behr, Hamburg. 465.

FAO/WHO, 1972. ALINORM 72/19A - Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Alimentarius Commission. FAO/WHO.

Faure F., Demars C., Wieser O., Kunz M. & de Alencastro L. F., 2015. Plastic pollution in Swiss surface waters : nature and concentrations, interaction with pollutants. *Environmental Chemistry* 12.

Gübeli-Litscher O. 1948. Chemische Untersuchung von Mineralwässern. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 215 p.

Hesske S., 1995. Typologie des eaux souterraines de la molasse entre Chambéry et Linz (France, Suisse, Allemagne, Autriche) - thèse de doctorat. Ecole polytechnique fédérale, Département de Génie civil, Lausanne, Suisse.

Högl O. 1980. Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz. PHaupt, Bern ; Stuttgart. 302.

Howard C. 1933. Determination of total dissolved solids in water analysis. *Industrial and Engineering Chemistry* 5: 4-6.

Jaeckli H., 1970. Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen. Translated Title : Criteria for the classification of ground-water occurrences. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 63: 389-434.

Kilchmann S., Waber H. N., Parriaux A. & Bensimon M., 2004. Natural tracers in recent groundwaters from different Alpine aquifers. *Hydrogeology Journal* 12: 643-661.

Littré É.,1877. Pline l'Ancien : Histoire naturelle. *Tome II* XXXI.

Mazor E., 2004. Chemical and isotopic groundwater hydrology. 3rd edition. M. Dekker, New York. 453.

MeyBeck M., 1986. Composition chimique des ruisseaux non pollués de France. *Sciences Geologiques Bulletin* 39: 77.

Nussberger G., Cadisch J., Keller A., Nussberger A. & Werder J., 1937. Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz. Zimmerman & Co, Bern. 201.

petRecycling., 2018. En ligne : Chiffres et faits. https://www.petrecycling.ch/fr/savoir/chiffres-et-faits/faits. [consulté le 5 décembre 2018].

Parriaux A., 1978. Le gîte des eaux minérales d'Henniez : État des connaissances et données nouvelles sur sa prolongation. Eclogae Geol. Helv., Vol. 71, No. 2, pp. 377-395.

Parriaux A., Dubois J. D., Mandia Y., Basabe P. & Bensimon M. B. P. A., 1990. The AQUITYP Project : towards an aquifer typology in the Alpine Orogen. Mémoires Association Internationale des Hydrogéologues, Memoires International Association of Hydrogeologists 22, Part 1-2: 254-262. Lausanne.

Pearson F., Balderer W., Loosli H., Lehmann B., Matter A., Peters T.J, Schmassmann H, Gautschi A., 1991. Applied isotope hydrogeology : a case study in northern Switzerland. Stud Environ Sci 43: 439.

Pfeifer H.-R., Derron M.-H., Rey D., Schlegel C., Atteia O., Dalla Piazza R., Dubois J.-P. & Mandia Y., 2000. Natural trace element input to the soil-sediment-water-plant system : examples of background and contaminated situations in Switzerland, Eastern France and Northern Italy. *In:* Markert, B. & Friese, K. (eds). Trace elements- their distribution and effects in the environment : Chapter 2, 33-86, Elsevier Science B.V.

Pfeifer H. R., 1977. A model for fluids in metamorphosed ultramafic rocks. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen = Bulletin Suisse de Minéralogie et Pétrographie* 57: 361-396.

Piper A. M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 25: 914-928.

Platikanov S., Hernandez A., Gonzalez S., Luis Cortina J., Tauler R. & Devesa R., 2017. Predicting consumer preferences for mineral composition of bottled and tap water. *Talanta* 162: 1-9.

Reimann C., Birke M. & Filzmoser P., 2010. Bottled drinking water : Water contamination from bottle materials (glass, hard PET, soft PET), the influence of colour and acidification. *Applied Geochemistry* 25: 1030-1046.

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H. & Rodi L., 1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. 8e édition. Dunod, Paris.

Scheurer M. & Bigalke M., 2018. Microplastics in Swiss Floodplain Soils. *Environmental Science & Technology* 52: 3591-3598.Schmassmann H. 1980: Geologie und Genese der schweizerischen Mineral-und Thermalwässer. *In:* Högl (ed.). Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz. Verlag Paul Haupt. Bern und Stuttgart, 47-100.

Schmassmann, H., Balderer W., Kanz, W. & Pekdeger, A., 1984. Beschaffenheit der Tiefengrundwässer in der zentralen Nordschweiz und angrenzenden Gebieten. Nagra techn. Bericht 84-21. Nagra, Wettingen, 335 p.

Schlegel, C., 1997. Contamination des sols, plantes et eaux en Ni, Cr, Co et V au voisinage de roches ultramafiques. Baldissero-Canavese (Italie). Diplôme Université de Lausanne.

Schoeller H., 1955. Géochimie des eaux souterraines ; application aux eaux des gisements de pétrole. *Revue de l'Institut Francais du Pétrole* 10: 181-213.

SMS. 2019. En ligne : https://eau-minerale.swiss/chiffres-cles/le-mache-suisse-de-leau-minerale. Association suisse des sources d'eaux minérales et des producteurs de soft drinks. [consulté le 6 juin 2019].

Sonney R. & Vuataz F.-D., 2008. Properties of geothermal fluids in Switzerland : A new interactive database. Geothermics 37, 496–509.

Stumm W. & Morgan J. J., 1996. Aquatic chemistry chemical equilibria and rates in natural waters. Third edition. Wiley, New York etc. XVI, 1022.

SwissTopo, 2019. Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000. *Office fédéral de topographie swisstopo.*

SwissTopo, 2019. Carte tectonique de la Suisse au 1:500'000. *Office fédéral de topographie swisstopo.*

SwissTopo, 2019. Carte lithologique et pétrographique de la Suisse au 1:500'000. *Office fédéral de topographie swisstopo.*

SwissTopo, 2019. Plateforme en ligne map.geo.admin.ch.

Vuataz F. D., 1982. Hydrogéologie, géochimie et géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions alpines limitrophes. Commission d'Hydrologie, Berne. 174.

Annexes en ligne

Table des compositions chimiques des eaux minérales suisses, naturelles sans ajout de CO_2, en bouteille.