

Hydrochimie et géothermie de la région de Saillon (Valais, Suisse)

par J.-D. Dubois^{**}, E. Mazor^{**}, F. Jaffé^{***} & G. Bianchetti^{*}

ABSTRACT

In the region of Saillon, in Switzerland's canton of Valais, a study of ten springs and boreholes over a surface of approximately 1.5 km² was carried out over a full hydrological cycle of one year (1981-1982). From one point to another, the temperature varies between 6.9 and 24.7°C, and the total mineral content in dissolved mineral salts (TSD) between 177 and 1'335 mg/l. Measurements and series of samples taken revealed major variations in the degrees of mixing between at least two types of groundwater.

Two distinct groups of outflows were identified :

Group A (outflows of the lower Salentze and Sarvaz) show temperatures from 6.9 to 24.7°C and mineral content of between 177 and 1'050 mg/l. The chemical composition is of the type Ca>Mg>Na>Sr> K and SO₄>HCO₃>>Cl. The main infiltration of this water took place after 1954 at an average altitude of approximately 2'100 m.

Group B (outflows of the "Ancien Bains" area) show temperatures from 19.3 to 19.7°C and mineral content of between 1'228 and 1'335 mg/l. The chemical composition is of the type Ca>Na>Mg>Sr=K and SO₄>HCO₃>Cl. The infiltration of this water took place prior to 1954 at an average altitude of approximately 1'700 m.

The thermal water group A basically flows within calcareous Jurassic formations of the Morcles nappe (Bajocian) and evaporitic formations (Triassic from the autochthonous cover of the crystalline basement of the Aiguilles Rouges).

The sub-thermal water in group B flows within siliceous limestones of the Lotharingian, in evaporitic formations (Trias from the autochthonous cover of the crystalline basement of Mont-Blanc and Helvetic from the Morcles nappe) and in the crystalline basement of the Mont-Blanc.

The two groups (A and B) of groundwater flow within independent aquifer structures separated by low permeability formations consisting of argillaceous schists.

KEY WORDS

Geochemistry, geothermics, isotope, hydrogeology, thermal spring, Saillon, Valais

* Centre de Recherches Scientifiques Fondamentales et Appliquées, Industrie 45, CH-1951 Sion.

** Weizmann Institute of Science, ESER, 76100 Rehovot, Israël.

*** Université de Genève, Département de Minéralogie, R. des Maraîchers 13, CH-1211 Genève.

+ Actuellement : CSD Ingénieurs Conseils SA, Ch. de Maillefer 36, CH-1052 Le Mont-sur-Lausanne.

RÉSUMÉ

Dans la région de Saillon, Valais, Suisse, 10 sources et forages, répartis sur une surface d'environ 1.5 km², ont été étudiés sur un cycle hydrologique complet (1981-1982). D'un point à l'autre, la température varie de 6.9 et 24.7°C, et la minéralisation totale en sels dissous (TSD) entre 177 et 1335 mg/l. D'importantes variations saisonnières de débit ont également été observées. Les mesures et échantillonnages répétés ont mis en évidence des degrés variables de mélange entre au moins deux types d'eau souterraines.

Deux groupes distincts d'émergences ont été déterminés :

Le groupe A (émergences de la basse Salentze et Sarvaz) présente des températures de 6.9 à 24.7°C et des minéralisations de 177 à 1050 mg/l. La composition chimique est de type Ca>Mg>Na>Sr>K et SO₄>HCO₃>>Cl. L'infiltration principale de ces eaux a eu lieu après 1954 à une altitude moyenne de l'ordre de 2100 m.

Le groupe B (émergences de la zone des anciens Bains) présente des températures de 19.3 à 19.7°C et des minéralisations de 1228 à 1335 mg/l. La composition chimique est de type Ca>Na>Mg>Sr=K et SO₄>HCO₃>Cl. L'infiltration de ces eaux a eu lieu avant 1954 à une altitude moyenne de l'ordre de 1700 m.

Les eaux thermales du groupe A circulent essentiellement dans les formations calcaires jurassiques de la nappe de Morcles (Bajocien) et évaporitiques (Trias de la couverture autochtone du Massif cristallin des Aiguilles Rouges).

Les eaux subthermales du groupe B circulent avant tout dans les calcaires siliceux du Lotharingien, dans les formations évaporitiques (Trias de la couverture autochtone du Massif cristallin du Mont-Blanc et Helvétique de la nappe de Morcles) et dans le socle cristallin du Massif du Mont-Blanc.

Les deux groupes (A et B) d'eau souterraine circulent dans des structures aquifères indépendantes séparées par des formations peu perméables constituées de schistes argileux.

MOTS-CLÉS

Géochimie, géothermie, isotopie, hydrogéologie, sources thermales, Saillon, Valais.

1. Introduction

Les sources de la région de Saillon (Figure 1) présentent un intérêt scientifique particulier lié à leur comportement karstique et thermal (DUBOIS 1983). Entre 1975 et 1990 quatre forages d'une profondeur de 35 m, 41 m, 75 m et 448 m ont été réalisés dans le but d'alimenter les centres thermaux de Saillon (Anciens et Nouveaux Bains). Les forages ont tous rencontré des eaux souterraines, parfois en quantité très importante, mais toujours avec des températures relativement basses, de 19.0 à 24.7°C.

Le but de cette étude est de définir les caractéristiques des différentes eaux souterraines en présence, de comprendre les phénomènes de mélange ainsi que de déterminer l'origine de la (ou des) composante(s) thermale(s) profondes du système hydrogéologique de Saillon.

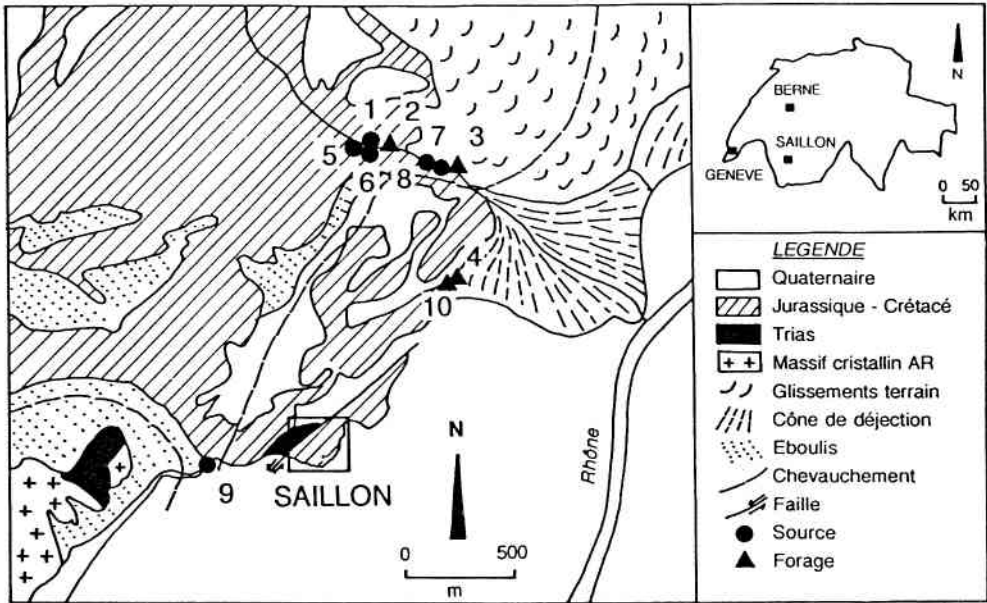


Figure 1 : Carte géologique schématique de la région de Saillon et situation des émergences (d'après BADOUX 1971). La source thermique naturelle de Leytron (No 1) ainsi que la plupart des émergences étudiées se situent à l'entrée des gorges de la Salentze (au nord de la carte). Pour les légendes des No 1 à 10, se référer au tableau 1.

2. Résultats et discussion

Les émergences thermales se situent dans le flanc renversé de la nappe de Morcles, l'unité inférieure du domaine Helvétique (BADOUX 1971). Cette nappe se présente comme un immense pli-couché vers le NW qui chevauche les terrains autochtones constitués par le cristallin des Aiguilles Rouges et sa couverture triasico-liasique. Les racines de la nappe de Morcles, qui se trouvent à l'aplomb du village de Saillon, sont fortement pincées en profondeur entre le socle cristallin des Aiguilles Rouges et un élément surélevé et légèrement chevauchant du socle cristallin du Massif du Mont-Blanc. Cette zone est marquée par une discontinuité tectonique majeure (faille de Saillon) qui affecte le substratum cristallin en profondeur (Figures 1 et 2).

L'étude des émergences de Saillon a été menée en pratiquant la méthode du suivi hydrogéologique spatio-temporel sur un cycle hydrologique complet d'une année (MAZOR 1976). Neuf sources et forages (Figure 1) ont été mesurés et prélevés à sept reprises entre 1981 et 1982. Trois points d'eau ont encore été mesurés une année plus tard (décembre 1983). Enfin, un dernier forage a été réalisé en 1990 et il a fait l'objet d'une mesure et d'un prélèvement.

Une sélection de résultats (périodes basses et hautes eaux ainsi que toutes les mesures isotopiques disponibles) sont donnés dans les tableaux 1 et 2.

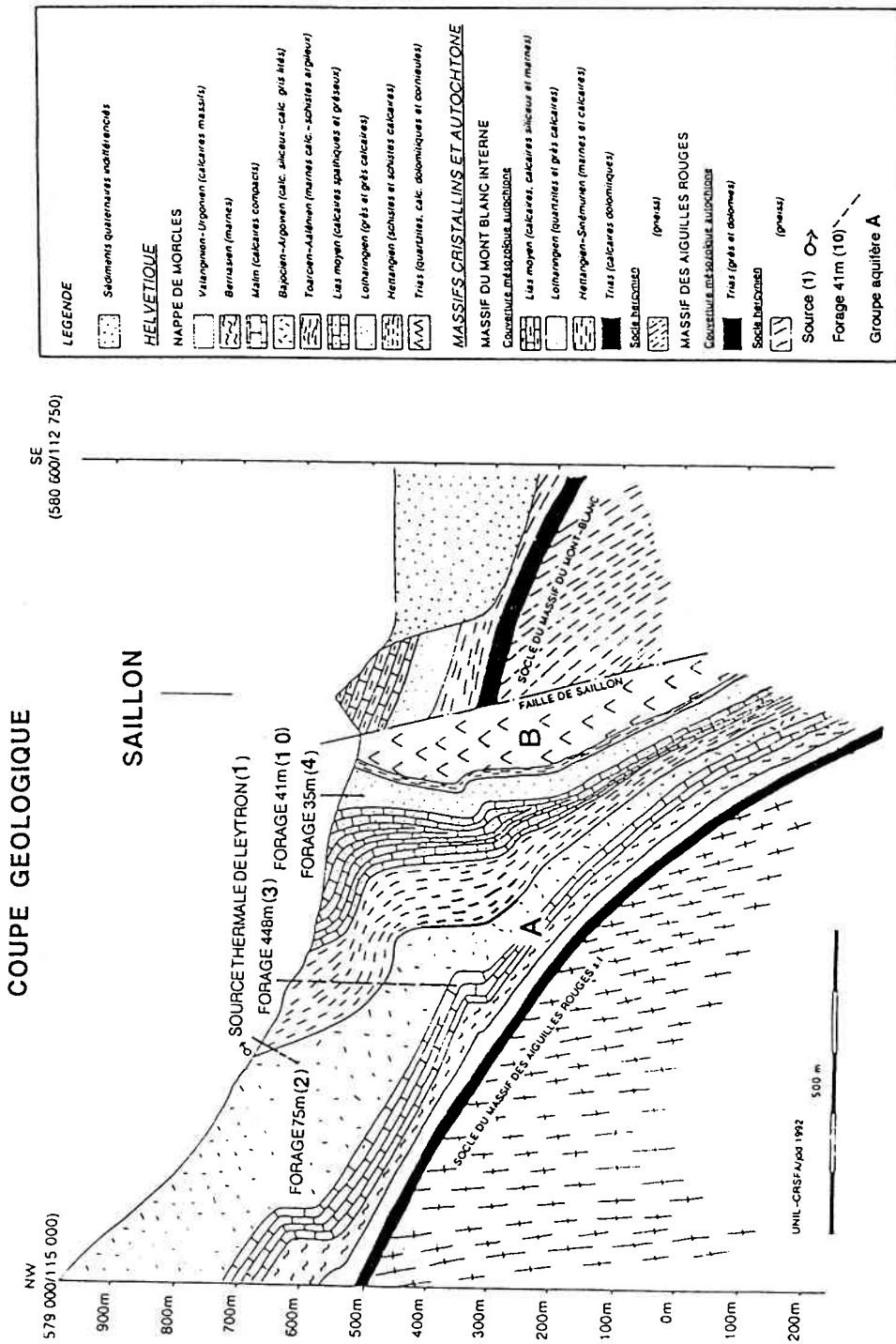


Figure 2 : Coupe géologique de la zone des sources et des forages de Saillon (d'après MASSON & RIOND in CRSFA/92.05). Les principales émergences sont représentées de manière projetée afin d'illustrer leur relation avec les différentes structures aquifères. La composition chimique des eaux thermales du groupe A correspond essentiellement à celle d'eau circulant dans les formations calcaires jurassiques de la nappe de Morcles (Bajocien) et évaporitiques (Trias de la couverture autochtone du Massif cristallin des Aiguilles Rouges). Les eaux subthermales du groupe B transitent dans les calcaires siliceux du Lotharingien, dans les formations évaporitiques (Trias de la couverture autochtone du Massif cristallin du Mont-Blanc et Helvétique de la nappe de Morcles) et très probablement dans le socle cristallin du Massif du Mont-Blanc.

EMERGENCES	N°	Date	Débit (l/mn)	Temp (°C)	pH	Cond. (μ S/cm)	Na [mg/l]	K [mg/l]	Mg [mg/l]	Ca [mg/l]	Sr [mg/l]	Cl [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	TSD [mg/l]	TID [meq/l]	TRITIUM [UT]	18-O δ (0/00)	2-H δ (0/00)
Source thermique de Leyton	1	22.01.82	150	23.5	7.80	1062	10.2	0.5	42	198	2.6	4.0	190	500	12.6	960	27.48	47	-13.78	-101.5
		03.06.82	222	23.8	7.25	1165	9.5	0.5	34	215	2.7	4.6	209	520	12.0	1007	28.39	43	-13.82	-102.1
		20.12.83	120	24.0		1070	11.0	0.7	43	208	2.3	5.2	187	500	12.0	969	28.08	45	-13.98	-104.4
Forage 75m	2	22.01.82	240	23.0	7.20	1076	10.2	0.6	42	186	2.6	5.7	187	500	13.7	948	26.89	53	-13.78	-100.2
		03.06.82	287	23.2	7.38	1205	11.0	0.5	34	192	2.7	6.1	178	525	12.0	961	26.94	51	-13.82	-101.5
Forage 448m	3	22.01.82	0	24.7	7.60	920	9.3	0.4	34	152	1.0	4.0	157	310	2.9	671	19.98	42	-13.98	-100.0
		03.06.82	3500	21.8	7.76	703	5.2	0.2	22	130	0.7	3.6	140	260	3.0	565	16.35	42	-14.28	-103.2
		20.12.83	0	23.0		1070	7.1	1.0	48	208	2.2	2.1	162	500	10.5	941	27.83	38	-14.00	-102.2
Forage 35m (B)	4	22.01.82	200	19.4	7.12	1490	12.0	4.2	56	186	4.8	12.0	331	485	16.5	1323	38.23	8	-12.95	-96.1
		03.06.82	200	19.4	7.03	1650	10.9	3.7	44	192	4.4	11.9	356	480	16.9	1325	37.32	7	-12.85	-96.0
		20.12.83	200	19.0		1504	12.1	4.5	53	200	4.1	12.2	293	440	13.6	1251	37.21	7	-13.02	-97.6
Cascade	5	03.06.82	80	12.0	7.60	446	0.0	0.0	14	80	0.7	2.5	177	93	3.0	370	10.07			
Source sous la cascade	6	03.06.82	20	11.2	7.74	434	0.0	0.2	14	58	0.7	3.3	176	82	3.4	338	8.75			
Sources diffuses	7	03.06.82	700	11.3	7.72	439	0.0	0.1	12	65	1.3	6.3	166	166	2.6	439	11.61			
Sources diffuses	8	03.06.82	90	9.9	7.54	378	0.0	0.1	11	68	1.2	5.1	151	75	2.4	314	8.51			
Source de la Sarvaz	9	22.01.82	15'000*	7.5	7.50	352	1.0	0.0	12	58	0.8	2.5	148	72	1.1	295	7.94	40	-14.00	-101.2
		03.06.82	380'000*	6.9	6.90	212	0.0	0.0	7	33	1.0	1.0	116	18	1.1	177	4.55	40	-14.83	-101.0
		20.12.83		7.0		298	0.6	0.1	7	60	0.1	1.0	137	39	1.6	247	6.70	38	-13.84	-101.0
Forage 41m (B)	10	15.11.90	570	19.7		1555	117.0	4.3	53	165	4.8	150.0	397	430	13.2	1335	37.59			

* Débit en l/s

Tableau 1 : Données physiques, chimiques et isotopiques des eaux souterraines de la zone de Sailion (DUBOIS 1983; CRSFA/92/105; BIANCHETTI, à paraître).

Groupe	N°	Emergence	Débit (l/mn)	Temp (°C)	TSD (mg/l) ¹	Type chimique ²
A	1	Source	120 - 260	23.5 - 24.4	901 - 1015	Ca > Mg > Na > Sr > K SO ₄ > HCO ₃ >> Cl
	2	Forage 75 m	210 - 220 ³	23.0 - 23.7	921 - 1051	idem
	3	Forage 448 m	0 - 3500 ³	20.4 - 24.7	524 - 954	idem
	5	Source	0 - 100	12.0 - 12.3	343 - 370	idem
	6	"	0 - 20	11.2	338	idem
	7	"	0 - 700	9.8 - 11.3	319 - 507	idem
	8	"	0 - 300	7.3 - 9.9	262 - 425	idem
	9	"	15'000 à 380'000	6.9 - 7.6	177 - 321	Ca > Mg > Na > Sr > K HCO ₃ > SO ₄ >> Cl
	B	4	Forage 35 m	200	19.3 - 19.4	1228 - 1323
10		Forage 41 m	570	19.7	1335	idem

Tableau 2 : Domaines de variation et type chimique des eaux de Saillon.

¹TSD (mg/l) = Total des Sels Dissous (y compris la silice)

²Les types chimiques sont établis à partir de la composition exprimée en meq/l.

³Débit artésien

La figure 3 présente sous forme de diagrammes de corrélation l'ensemble des mesures et analyses de toutes les émergences observées en fonction de la minéralisation (total des ions dissous, TID en meq/l). Ce type de représentation met en évidence deux groupes distincts:

Groupe A (zone de la basse Salentze et Sarvaz)

Les résultats analytiques des sources et forages No 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 se répartissent sur la plupart des graphiques sous forme de droites de corrélation. Cette répartition est particulièrement marquée par les relations existant entre la minéralisation totale (TID) et la température, Na, K, Mg, Ca, Cl ainsi que SO₄.

Cette répartition indique que le groupe A résulte d'un mélange d'eau froide et peu minéralisée avec une composante minéralisée plus chaude. Les caractéristiques de la composante chaude et minéralisée est représentée par les sources No 1 et No 2, dont la composition chimique est du type (en meq/l) Ca > Mg > Na > Sr > K et SO₄ > HCO₃ >> Cl, alors que la composante peu minéralisée et froide est de type Ca > Mg > Na > Sr > K et HCO₃ > SO₄ >> Cl (Figure 3).

La nature chimique des eaux du groupe A met en évidence un écoulement souterrain des eaux dans des roches carbonatées, principalement des calcaires (Bajocien de la nappe de Morcles), et dans une moindre mesure avec des roches évaporitiques contenant du gypse (Trias de la couverture autochtone du Massif cristallin des Aiguilles Rouges, MANDIA 1991).

La composante thermominérale est essentiellement en relation avec les calcaires bajociens profonds et les formations évaporitiques triasiques.

La composante froide du système aquifère de Saillon est avant tout liée aux zones karstifiées peu profondes constituées également en grandes parties par les calcaires bajociens.

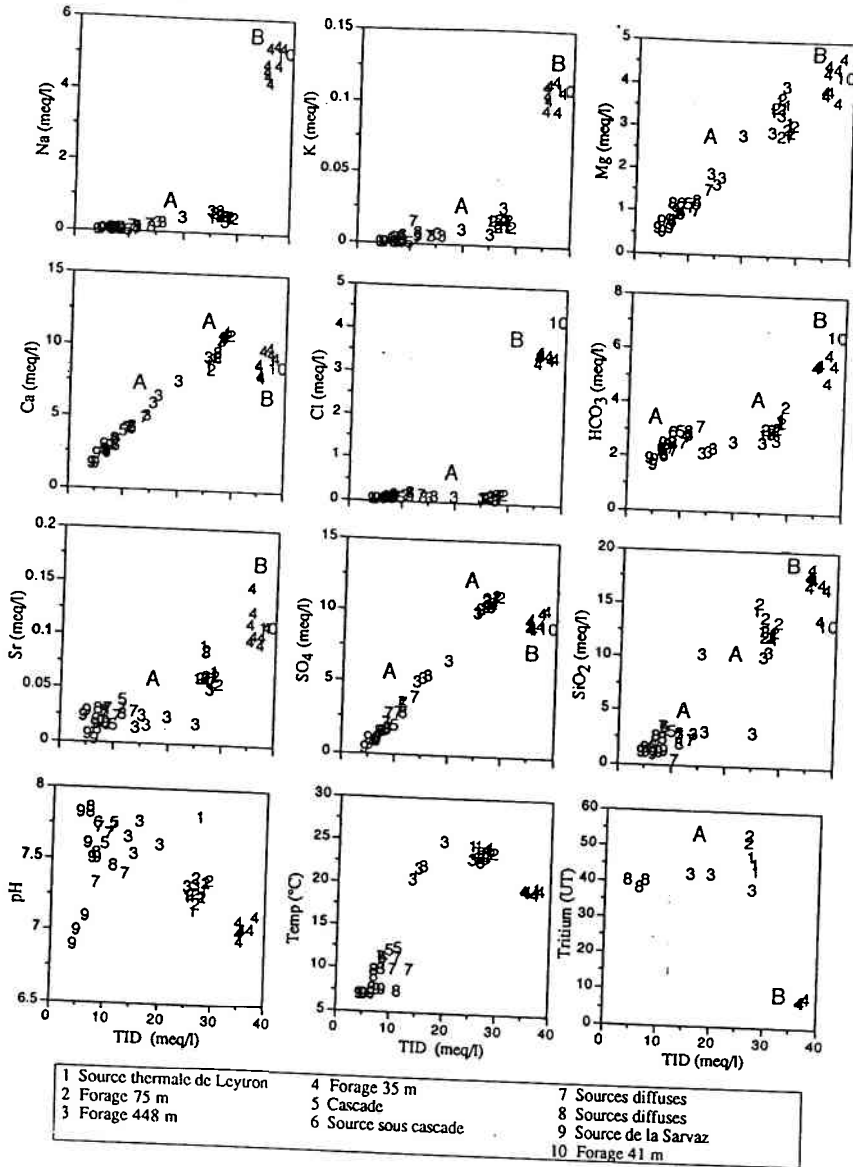


Figure 3 : Comportement des principaux paramètres physiques, chimiques et isotopiques de en fonction de la minéralisation. La répartition linéaire des paramètres Na, Mg, Ca, SO₄ du groupe A en fonction de la minéralisation totale (TID), souligne les processus de mélange d'une composante thermominérale profonde par des eaux froides faiblement minéralisées de subsurface. Les paramètres du groupe B se répartissent en "grappes" et mettent en évidence un contexte géologique et hydrodynamique différent de celui des eaux du groupe A. Le contraste entre ces deux groupes est essentiellement souligné par Na, K, Ca, Cl, SO₄ et tritium.

Groupe B (zone des Anciens Bains)

La composition chimique du groupe B, comprenant les eaux des forages No 4 et No 10, est du type (en meq/l) $Ca > Na > Mg > Sr = K$ et $SO_4 > HCO_3 > Cl$.

Il apparaît que le groupe B diffère du groupe A essentiellement par les concentrations élevées en Na, K, HCO_3 et Cl. L'abondance de ces éléments démontre que les eaux ont probablement circulé au contact du socle cristallin du Massif du Mont-Blanc (albite et orthose, DUBOIS 1991, BIANCHETTI, à paraître) et ceci probablement par le biais de la faille de Saillon qui affecte ce dernier (CRSFA 1992). De surcroît les eaux de ce groupe ont également transité dans les calcaires siliceux du Lotharingien (formation dans laquelle les eaux sont captées) et dans les formations évaporitiques du Trias (Hélvétique de la nappe de Morcles et de la couverture autochtone du Massif cristallin du Mont-Blanc).

Le cloisonnement de ces deux groupes d'aquifères est dû aux formations schisto-argileuses peu perméables de l'Aalénien, qui permettent l'existence de deux systèmes aquifères totalement indépendant (Figure 2).

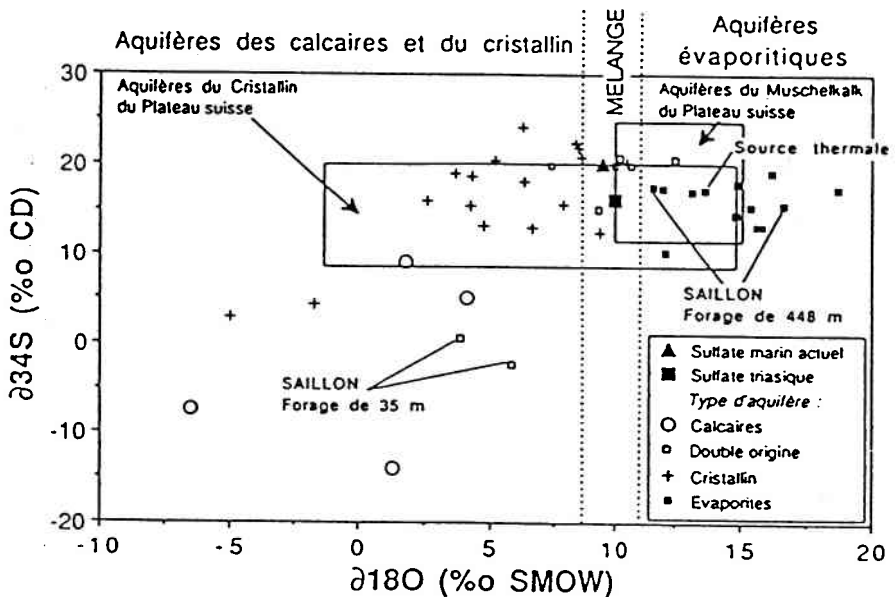


Figure 4 : Relation entre le soufre-34 ($\delta^{34}S$) et l'oxygène-18 ($\delta^{18}O$) des sulfates dissous dans les eaux souterraines (BIANCHETTI, à paraître). Des mesures effectuées par la CEDRA (Coopérative pour l'Entreposage de Déchets Radioactifs) sur les aquifères profonds du socle cristallin du nord de la Suisse ont également été représenté afin de les comparer avec celles acquises à Saillon. La distinction isotopique entre les eaux des groupes A et B est très nette. Le groupe A se situe dans le domaine des caractéristiques isotopiques des aquifères évaporitiques alors que le groupe B se trouve dans ceux de de type calcaire et cristallin.

Les analyses isotopiques des sulfates (^{34}S et ^{18}O) confirment l'existence d'une composante d'eau souterraine liée au Cristallin (BIANCHETTI, à paraître, figure 4). En effet, les eaux thermales de la source de Leytron (No 1, groupe A) et de celles du forage de 448 m (No 3, groupe A) se situent dans le domaine des valeurs isotopiques caractéristiques des aquifères évaporitiques alors que les eaux subthermales du forage de 35 m (No 4, groupe B), bien que marquées également par le Trias, se situent dans le domaine des aquifères de type calcaire et cristallin, car l'influence de la composition isotopique du socle est ici prédominante (Figure 4).

Variations temporelles

La distinction entre les groupes A et B est également très marquée par la différence constante au cours du temps de la concentration des ions en solution (Figures 5 et 6).

Les mesures régulières de débit n'ont été possibles que dans le cadre du groupe A (source thermique de Leytron, No 1 et forage de 75 m, No 2). Le groupe B est constitué de forages (35 m, No 4 et 41 m, No 10) dont les débits sont liés aux pompages d'exploitation.

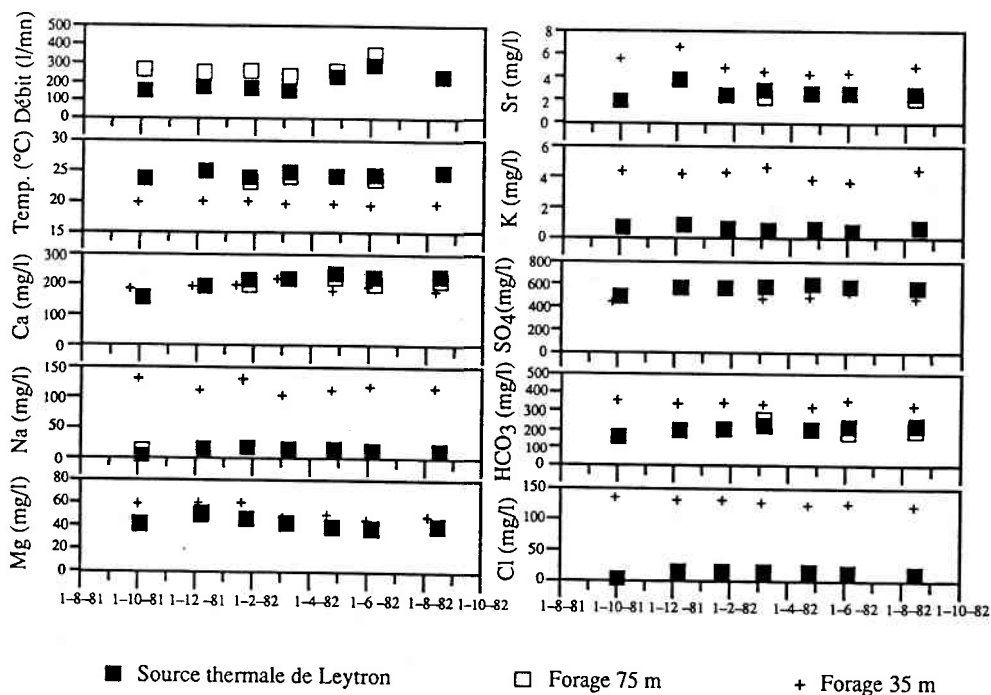


Figure 5 : Variations temporelles des principaux paramètres physiques et chimiques de la source thermique de Leytron (No 1), des forages de 75 m (No 2) et 31 m (No 4). Ces variations soulignent une origine et un comportement identique des eaux thermales (No 1 et No 2). Les fluctuations saisonnières des trois émergences sont relativement faibles.

Il est intéressant de constater que les variations de débit dans le groupe A, à l'exception du forage de 448 m (No 3) et de la source de la Sarvaz (No 9), ne sont pas accompagnés de variations correspondantes de la salinité et de la température. Ce phénomène indique que le réservoir profond est de grande capacité, permettant ainsi l'équilibre et l'homogénéisation des eaux dans l'aquifère (Figure 5).

Les variations temporelles du forage thermal de 448 m (No 3), qui appartient au groupe A, sont représentées sur la figure 6. Ces dernières sont particulièrement spectaculaires, puisque le débit de ce forage était nul entre décembre 1981 et mars 1982, alors qu'un débit artésien jaillissant s'est manifesté entre avril et novembre 1982 avec des pointes de l'ordre de 3500 l/mn en juin (Figure 6). Les concentrations des ions en solution présentent un comportement inversement proportionnel au débit; en effet, les plus faibles concentrations sont associées aux débits les plus élevés. Ces phénomènes indiquent que le forage de 448 m (No 3) est alimenté par au moins deux types d'eau souterraine, une relativement minéralisée et chaude, et une moins minéralisée subthermale ou froide.

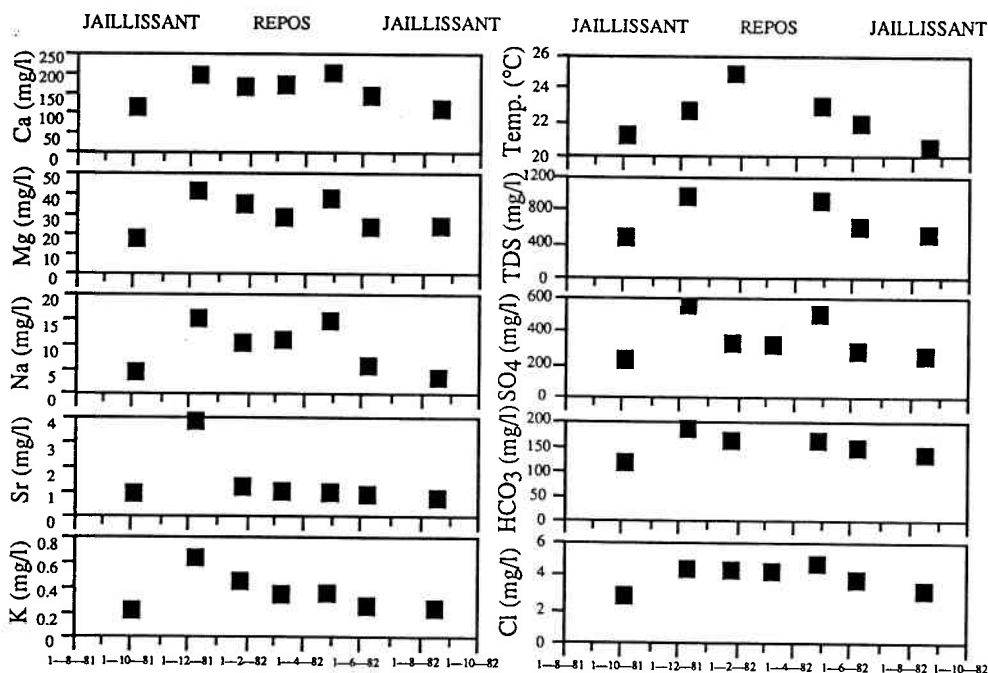


Figure 6 : Variations temporelles des principaux paramètres physiques et chimiques du forage géothermique de 448 m (No 3). Les paramètres présentent une très nette augmentation de leurs valeurs et relation avec la diminution du débit jaillissant du puits. Ce comportement illustre le processus de mélange par des eaux plus froides et moins minéralisées qui affectent les eaux thermominérales.

Il faut encore signaler que le débit du forage thermal de 448 m présente un comportement synchrone à celui de la source karstique froide de la Sarvaz (No 9), ce qui démontre l'influence directe de la composante karstique froide (type source de la Sarvaz, No 9) sur une partie du système thermal de Saillon (forage 448 m, No 3). En revanche, le régime karstique de la Sarvaz et du forage de 448m n'influence pas de manière significative la source thermale de Leytron (No 1) ni le forage de 75 m (No 2) situés à proximité (PARRIAUX 1983; DUBOIS 1983). Ce contraste de comportement hydrodynamique résulte du caractère complexe et très hétérogène des formations aquifères de la zone de Saillon, qui favorise des circulations d'eaux souterraines cloisonnées et indépendantes, y compris au sein du groupe A.

Tritium

Les teneurs en tritium ont montré entre 1982 et 1983 des valeurs de 38 à 53 UT pour les eaux du groupe A et 7 à 8 UT pour les eaux du groupe B (Tableau 1 et figure 3).

Une fois encore, les eaux des deux groupes se distinguent nettement. Les eaux du groupe A sont d'âge postérieur au début des essais thermonucléaires dans l'atmosphère (1954), alors que les eaux du groupe B présentent une composante ancienne, d'âge antérieur au début des tests.

Isotopes stables de l'eau

Les valeurs de δ deutérium et δ oxygène-18 distinguent à nouveau les groupes A et B (Tableau 3).

La relation des teneurs isotopiques des eaux de précipitation avec l'altitude dans les Alpes a été établie par VUATAZ (1982). Les équations retenues pour l'évaluation des altitudes moyennes de recharges des eaux de la zone de Saillon sont les suivantes :

$$\text{Alt (m)} = -367 \times \delta^{18}\text{O} (\text{‰}) - 3110$$

$$\text{Alt (m)} = -45.9 \times \delta \text{D} (\text{‰}) - 2650$$

En appliquant ces équations aux valeurs isotopiques mesurées dans la zone d'étude, l'évaluation des altitudes de recharge ont été calculées et rassemblées dans le tableau 3.

Dans le groupe A, les droites de mélange observées dans la figure 3 semble également se répéter en ce qui concerne la relation entre l'altitude et la minéralisation totale des eaux souterraines (Figure 7). Les eaux les moins minéralisées (représentées par la source de la Sarvaz No 9) se rechargent à une altitude moyenne de 2000 à 2300 m, alors que les eaux les plus minéralisées (représentées par les sources No 1 et 2) ont une altitude de recharge moyenne plus basse, de l'ordre de 2000 m.

L'évolution dans le temps des valeurs isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$ et D) du forage géothermique de 448 m (No 3), confirme les processus de mélange qui ont été mis en évidence avec l'interprétation des fluctuations des paramètres physiques et chimiques. En effet, les isotopes du forage de 448 m révèlent que l'augmentation de l'altitude de la zone de recharge en période de crue (mois de juin) correspond à une diminution de la minéralisation de l'eau

thermale. Il apparaît que la fonte massive du stock neigeux en moyenne montagne (2000 - 2500 m), dont les valeurs sont représentées par les teneurs isotopiques des eaux de la source karstique froide de la Sarvaz, influence le système thermal de Saillon, et en particulier le forage de 448 m (Tableau 3, figure 7).

Groupe	Émergences		Date	Alt	Date	Alt	Date	Alt	Alt moy (m)
			22.01.82	(m)	30.06.82	(m)	20.12.83	(m)	
A	Sarvaz 9	∂ D	-101.2	1990	-107.1	2260	-101.0	1980	2077
		∂ ¹⁸ O	-14.00	2030	-14.84	2330	-13.80	1970	2110
		TSD	295		177		251		
	Forage 448 m 3	∂ D	-100.0	1940	-103.2	2080	-102.2	2040	2020
		∂ ¹⁸ O	-13.98	2020	-14.28	2130	-14.00	2030	2060
		TSD			565		941		
	Source Leytron 1	∂ D	101.5	2010	-102.1	2030	-104.4	2140	2060
		∂ ¹⁸ O	-13.78	1950	-13.82	1960	-13.98	2020	1977
		TSD	960		998		976		
	Forage 75 m 2	∂ D	-100.2	1940	-101.5	2010			1975
		∂ ¹⁸ O	-13.78	1950	-13.82	1960			1955
		TSD	948		1019				
B	Forage 35 m 4	∂ D	-96.09	1780	-96.00	1750	-97.60	1830	1787
		∂ ¹⁸ O	-12.95	1640	-12.85	1600	-12.85	1670	1637
		TSD	1323		1325		1215		

Tableau 3 : Teneurs en deutérium et en oxygène-18, altitudes moyennes de recharge et minéralisation des eaux de Saillon. Les altitudes sont calculées pour chaque campagne de mesure, la dernière colonne donne l'altitude moyenne des zones de recharge établie pour l'ensemble des observations.

Une fois encore, les eaux du groupe B se démarquent du groupe A en présentant des altitudes de recharge plus basses (Tableau 3, figure 7). La situation géographique de la zone de recharge des eaux du groupe B n'a pas pu être déterminée. Bien qu'aucune preuve scientifique puissent actuellement l'affirmer, il est toutefois possible, que les eaux souterraines de ce dernier groupe s'infiltrer sur les reliefs du versant gauche du Rhône. Les eaux du groupe B pourraient être également en relation avec le système thermal de Saxon (coord. approximatives 579 150/110 500).

Une information supplémentaire concernant la localisation de la zone de recharge de la source de la Sarvaz (No 9) a été obtenue lors de traçages artificiels à l'uranine (DÉPARTEMENT DES TRAVAUX PUBLICS DU CANTON DU VALAIS 1951) et confirmée en 1992 à l'aide de traceurs activables (BESSON 1993). En effet, les traceurs ont été injectés dans le Lac de Fully (coord. approximatives : 573 150/114 200, alt 2140 m) et dans les dolines de la région d'Euloi (environ à 6 km à l'ouest de la Sarvaz, coord. approximatives : 575 300/116 400), qui se situent à une altitude de l'ordre de 2100 m, ce qui est en parfait accord avec les altitudes calculées à l'aide des isotopes (Tableau 3). Le traceur a été détecté à la source karstique de la Sarvaz (No 9) 27 heures après son injection (BESSON 1993).

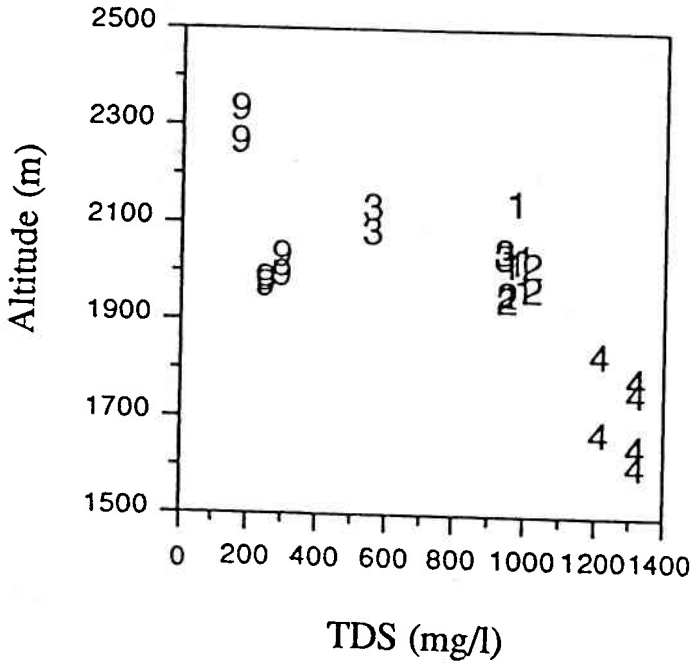


Figure 7 : Relation entre l'altitude moyenne de recharge, calculée avec la composition en isotopes stables de l'eau et la minéralisation totale des eaux souterraines (pour la situation géographique des émergences, voir figure 1).

Température des eaux et profondeur des circulations

L'étude de la température des eaux de la région de Saillon conduit aux conclusions suivantes :

Les eaux souterraines les moins minéralisées et les plus froides du groupe A (représentées par la source No 9) indiquent des températures de l'ordre de 7°C, donc plus froide que la température de l'air de la zone d'émergence des sources, qui se situe approximativement entre 9 et 10°C. Ceci confirme la présence de circulations rapides en milieu karstique, largement influencées par les effets de la fonte des neiges dans la zone de recharge.

Les températures les plus élevées (représentées par les émergences thermales No 1 et 2), observées aussi dans le groupe A, sont de l'ordre de 24°C, ce qui est supérieur d'environ 15°C de la température moyenne du lieu. En considérant un gradient géothermique de 2.5°C/100 m (milieu alpin), on obtient une profondeur minimum de circulation de l'ordre de 600 m pour les eaux thermales du groupe A. Pour les eaux subthermales du groupe B, dont les températures à l'émergence sont d'environ 19°C, la profondeur de circulation est alors de l'ordre de 400 m.

3. Conclusions

L'étude des variations des caractéristiques physiques chimiques et isotopiques des eaux souterraines dans le temps et l'espace, ont mis nettement en évidence l'existence de deux systèmes aquifères totalement indépendants (groupes A et B) transitant au sein de structures très hétérogènes séparées par les schistes argileux peu perméables de l'Aalénien. Les eaux thermales appartenant au groupe A circulent essentiellement dans les formations calcaires jurassiques de la nappe de Morcles (Bajocien) et évaporitiques (Trias de la couverture autochtone du Massif cristallin des Aiguilles Rouges).

Les eaux subthermales du groupe B circulent dans les calcaires siliceux du Lotharingien, dans les formations évaporitiques (Trias de la couverture autochtone du Massif cristallin du Mont-Blanc et Helvétique de la nappe de Morcles) et dans le socle cristallin du Massif du Mont-Blanc.

Les émergences étudiées ont des caractéristiques différentes, qui au sein du groupe A, sont essentiellement le résultat de processus de mélange entre deux types d'eau :

Une composante chaude (24°C) minéralisée (TSD = 1000 mg/l) de composition $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Sr} > \text{K} - \text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$ et une froide (7°C), faiblement minéralisée (TSD = 200 mg/l), de composition $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Sr} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$. Dans chaque émergence la proportion entre les deux composantes varie dans le temps.

Les eaux du groupe B qui sont caractérisées par une grande stabilité de leurs paramètres et dépourvues de processus de mélange significatif.

Calculée à partir des isotopes stables de l'eau, l'altitude moyenne de recharge de la composante chaude et profonde du groupe A est de l'ordre de 2000 m, alors que la composante froide du système possède une altitude moyenne d'alimentation légèrement supérieure (2100 m). L'analyse des conditions structurales de la région, des caractéristiques physiques et chimiques des eaux, ainsi que des résultats des essais de traçage artificiels montrent que les eaux du groupe A s'infiltrent principalement dans la zone d'Euloi et celle proche des Lacs de Fully.

Les compositions isotopiques du groupe B (eaux subthermales) mettent en évidence une altitude moyenne sensiblement inférieure à celle du groupe A, de l'ordre de 1700 m. Dans ce cas, et dans l'état actuel des connaissances la situation géographique n'a pas pu être déterminée. Une origine liée au versant gauche de la vallée du Rhône peut être possible.

Tenant compte des températures des sources et des températures moyennes du lieu d'émergence, la profondeur minimum moyenne de circulation des eaux chaudes et subthermales sont respectivement de l'ordre de 600 m et 400 m.

Sur la base des mesures de tritium, il apparaît que les eaux du groupe A se sont infiltrées après 1954, alors que les eaux du groupe B semblent contenir une composante dont l'infiltration est antérieure à 1954.

Les eaux du groupe A comprennent des émergences thermales dont les variations de débit sont soit relativement faibles (source et forage No 1 et 2) soit très fortes (forage No 3). Dans ce dernier cas, les variations de la charge hydraulique provenant de la zone d'alimentation, fortement influencée par les circulations karstiques froides, se transmettent sur les eaux thermales à une profondeur d'au moins 600 m. Les très fortes variations de type karstique de l'aquifère intercepté par le forage thermal No 3 (groupe A), en particulier sa nature artésienne jaillissante contraste avec la grande stabilité des eaux du groupe B.

La proximité géographique de ces deux systèmes aquifères indépendants ainsi que la très grande différence de comportement de leur régime hydraulique, constituent probablement une des observations les plus intéressantes de la région étudiée.

Remerciements

Les auteurs remercient en premier lieu la Commission fédérale pour l'énergie géothermique et le stockage souterrain de chaleur qui a subventionné les travaux de recherche, ainsi que le CRSFA de Sion et son Directeur M. J.-D. Rouiller pour avoir mis à disposition des données récentes. M. G. Mabillard, ancien Directeur des Bains de Saillon a facilité l'accès aux émergences et a fourni de nombreux documents d'archives. Finalement, nous adressons nos remerciements aux correcteurs, le Professeur A. Parriaux de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, le Professeur F. Zwahlen du Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel, ainsi que le Dr. F.-D. Vuataz du CRSFA pour leurs critiques constructives du manuscrit

Références

- BADOUX H. 1971 : Notice explicative et carte géologique feuille 1305 "Dent de Morcles. – *Commission géologique suisse*, 38 p.
- BESSON O. 1993 : Méthodologie des essais de traçage en milieu fissuré alpin : Exemple du Synclinal permo-carbonifère de Salvan-Dorénaz, Suisse. – *Projet FNRS, No 21-29'024.93, rapport CRSFA/93.29, non publié.*
- BIANCHETTI G. (à paraître) : Hydrogéologie, géochimie et géothermie des systèmes hydrothermaux alpins de la haute Vallée du Rhône et des régions limitrophes. – *Fonds national suisse de la recherche scientifique, projet No 21-26632.89, thèse de doctorat, en préparation.*
- CRSFA 1992 : Programme GEOTHERMOVAL, phase II, rapport final, fascicule No 3, Saillon. – *Rapport CRSFA/92.05, non publié.*
- DÉPARTEMENT DES TRAVAUX PUBLIQUES DU CANTON DU VALAIS 1951 : Correction de la Sarvaz, essais de coloration. – *Rapport non publié.*
- DUBOIS J.-D. 1983 : Étude hydrogéologique et géothermique de la région de Saillon (Valais). – *Commission fédérale pour l'énergie géothermique et le stockage souterrain de chaleur. Département de Minéralogie de l'Université de Genève, non publié.*
- DUBOIS J.-D. 1991 : Typologie des aquifères du Cristallin. Exemple des Massifs du Mont-Blanc et des Aiguilles Rouges (Suisse, France et Italie). – *Thèse EPFL No 950.*
- MANDIA Y. 1991 : Typologie des aquifères évaporitiques du Trias dans le bassin lémanique du Rhône (Alpes occidentales). – *Thèse EPFL No 948.*
- MAZOR E. 1976 : Multitracing and multisampling in hydrogeological studies. Interpretation of environmental isotopes and hydrochemical data in groundwater hydrology. – *IAEA, Vienna, pp. 7-36.*
- PARRIAUX A. 1983 : Expertise hydrogéologique. – *Litige J.M. Gaudard à Leytron et G. Mabillard et consorts à Saxon, rapport non publié.*
- VUATAZ F.-D. 1982 : Hydrogéologie et géochimie et géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions alpines limitrophes. – *Matér. géol. Suisse, sér. Hydrol., 29, 174 p.*