

La valeur moyenne de l'oxygène dissous est élevée par rapport aux autres sources avec 5.79 mg/l. La médiane est de 5.75 mg/l (la moyenne est légèrement influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 0.64 et le coefficient de variation est de 11.1 %. Le minimum est enregistré le 24 avril (4.7 mg/l) et le maximum est apparu le 25 août (7.75 mg/l). De janvier à mi-juillet, les valeurs sont en-dessous de la moyenne (sauf le 17 mars, le 10 avril et le 17 avril avec des valeurs de 5.95, 5.9 et 6.05 mg/l) puis elles augmentent pour atteindre les pics du 25 août et du 1^{er} septembre (7.45 mg/l). Après, les valeurs diminuent pour être en-dessous de la moyenne à partir de fin octobre et jusqu'à la fin de l'année.

La valeur moyenne du COT est faible par rapport aux autres sources avec 1 mg/l. La médiane est de 0.5 mg/l (la moyenne est influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 1.12 et le coefficient de variation est de 112 %. Le minimum apparaît 23 fois sur 38 analyses (0.5 mg/l) et le maximum se présente le 16 juillet (4.5 mg/l). Les faibles valeurs du début d'année sont en relation avec les périodes de fusion nivale. Le pic du 16 juillet est en lien avec les précipitations du 14 au 16 juillet (29.5 mm de pluie à Thonon). La valeur du 23 septembre (4.21 mg/l) est en rapport avec les précipitations du 16 au 23 septembre (13.2 mm de pluie à Très le Mont). Les valeurs du 27 octobre (3.14 mg/l), du 24 novembre et du 8 décembre, sont en relation avec les précipitations automnales.

La source de Moises 2 (cf. Figure 82)

La valeur moyenne du pH est élevée par rapport aux autres sources avec 7.92 unité pH. La médiane est de 7.9 unité pH (la moyenne est influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 0.11 et le coefficient de variation est de 1.4 %. Le minimum est enregistré le 3 mars (7.64 unité pH) et le maximum est apparu le 16 juillet (8.27 unité pH).

La moyenne de l'oxygène dissous est élevée par rapport aux autres sources avec 5.79 mg/l. La médiane est de 5.73 mg/l (la moyenne est légèrement influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 0.56 et le coefficient de variation est de 9.7 %. Le minimum est enregistré le 7 juillet (4.8 mg/l) et le maximum est apparu le 25 août (7.3 mg/l). De janvier à fin mars, les valeurs sont en-dessous de la moyenne puis elles sont supérieures à la moyenne en période de crue avec un pic à 6.45 mg/l le 9 avril. De juin à mi-août, les valeurs sont inférieures à la moyenne puis elles augmentent pour atteindre les pics du 25 août et du 1^{er} septembre (7.05 mg/l). Après, les valeurs diminuent pour être en-dessous de la moyenne à partir de mi-octobre et jusqu'à la fin de l'année.

La valeur moyenne du COT est modérée par rapport aux autres sources avec 1.47 mg/l. La médiane est de 0.5 mg/l (la moyenne est influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 2.25 et le coefficient de variation est de 178.7 %. Le minimum est enregistré 22 fois sur 38 analyses (0.5 mg/l) et le maximum est apparu le 8 décembre (10.6 mg/l). Les valeurs du début d'année et notamment la valeur du 3 mars (3.9 mg/l) sont en lien avec les périodes de fusion nivale. La valeur du 18 mai (3.41 mg/l) est en rapport avec les précipitations du 8 au 18 mai (36 mm de pluie à Très le Mont). La valeur du 21 juillet (9.2 mg/l) est en relation avec les précipitations du 17 au 19 juillet (47.2 mm de pluie à Très le Mont). La valeur du 13 août (2.05

mg/l) est une réponse aux précipitations du 8 au 10 août (38.2 mm de pluie à Très le Mont). Les valeurs du 30 septembre (2.77 mg/l), du 10 novembre (2.65 mg/l), du 24 novembre (2.87 mg/l) et du 8 décembre (10.6 mg/l), sont en lien avec les précipitations automnales.

La source de Moises 3 (cf. Figure 83)

La valeur moyenne du pH est faible par rapport aux autres sources avec 7.71 unité pH. La médiane est de 7.68 unité pH (la moyenne est influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 0.12 et le coefficient de variation est de 1.6 %. Le minimum est enregistré le 3 mars (7.48 unité pH) et le maximum est apparu le 2 février (8.09 unité pH).

La valeur moyenne de l'oxygène dissous est élevée par rapport aux autres sources avec 5.63 mg/l et la médiane est de 5.65 mg/l (la moyenne est légèrement influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 0.51 et le coefficient de variation est de 9.1 %. Le minimum est enregistré le 24 avril (4.6 mg/l) et le maximum est apparu le 1^{er} septembre (7.1 mg/l). De janvier à mi-avril, les valeurs se situent dans la moyenne puis elles sont inférieures à la moyenne jusqu'à mi-juillet. A partir de fin juillet, les valeurs augmentent pour atteindre le pic du 1^{er} septembre. Après, les valeurs diminuent pour être en-dessous de la moyenne à partir de mi-octobre et jusqu'à la fin de l'année.

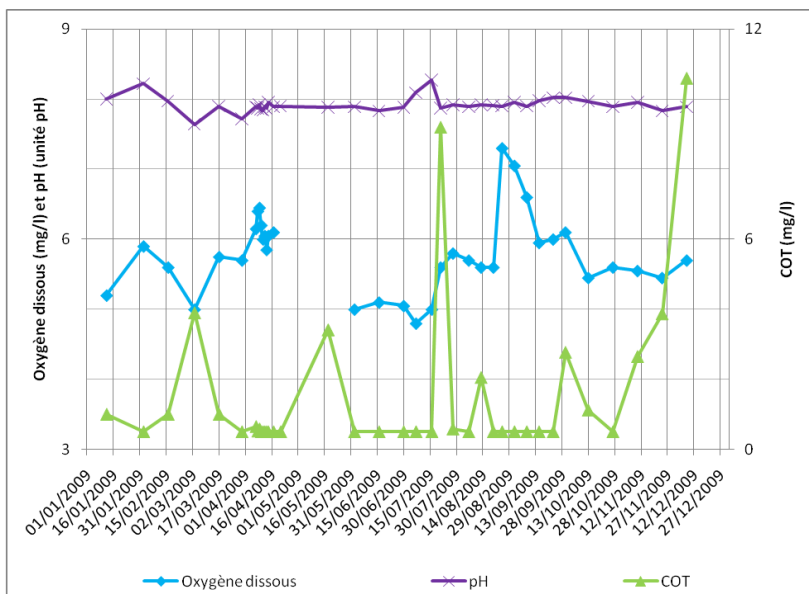
La valeur moyenne du COT est élevée par rapport aux autres sources avec 1.78 mg/l. La médiane est de 0.5 mg/l (la moyenne est influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 3.18 et le coefficient de variation est de 178.7 %. Le minimum est enregistré 22 fois sur 39 analyses (0.5 mg/l) et le maximum est apparu le 8 décembre (16 mg/l). Les valeurs du début d'année sont en relation avec les périodes de fusion nivale. La valeur du 18 mai (7.84 mg/l) est en lien avec les précipitations du 8 au 18 mai (36 mm de pluie à Très le Mont). La valeur du 28 juillet (3.6 mg/l) est en rapport avec les précipitations du 23 au 27 juillet (19 mm de pluie à Très le Mont). Les valeurs du 27 octobre (1.46 mg/l), du 10 novembre (7.06 mg/l), du 24 novembre (9.88 mg/l), du 8 décembre (16 mg/l) sont des réponses aux précipitations automnales.

La source du Pont du Mouche (cf. Figure 84)

La valeur moyenne du pH est élevée par rapport aux autres sources avec 7.98 unité pH. La médiane est de 8.00 unité pH (la moyenne est influencée par de faibles valeurs). L'écart type est de 0.11 et le coefficient de variation est de 1.4 %. Le minimum est enregistré le 18 mai (7.59 unité pH) et le maximum est apparu le 22 janvier (8.13 unité pH).

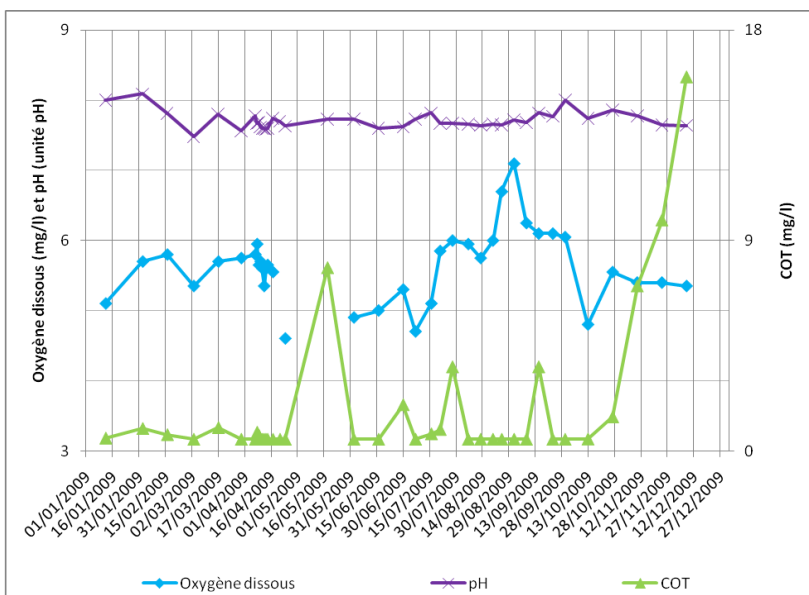
La valeur moyenne de l'oxygène dissous est élevée par rapport aux autres sources avec 5.67 mg/l. La médiane est de 5.6 mg/l (la moyenne est légèrement influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 0.57 et le coefficient de variation est de 10.1 %. Le minimum est enregistré le 30 juin (4.8 mg/l) et le maximum est apparu le 25 août (7.2 mg/l). Au début d'année, les valeurs sont inférieures à la moyenne puis elles augmentent progressivement pour se situer dans la moyenne. Au début avril, les valeurs sont supérieures à la moyenne puis elles diminuent jusqu'à début juillet

pour atteindre un niveau bas. De mi-juillet à fin août, les valeurs augmentent pour aboutir au pic du 25 août. Par la suite, les valeurs diminuent progressivement pour être en-dessous de la moyenne à partir de fin octobre et jusqu'à la fin de l'année.



	Moyenne	Ecart type	Médiane	Coefficient de variation	Minimum	Date	Maximum	Date
COT	1.47	2.25	0.5	153.1 %	0.5		10.6	08/12/2009
pH	7.92	0.11	7.9	1.4 %	7.64	03/03/2009	8.27	16/07/2009
Oxygène dissous	5.79	0.56	5.73	9.7 %	4.8	07/07/2009	7.3	25/08/2009

Figure 82 : Evolution du pH, de l’oxygène dissous et du COT à Moises 2, en 2009



	Moyenne	Ecart type	Médiane	Coefficient de variation	Minimum	Date	Maximum	Date
COT	1.78	3.18	0.5	178.7 %	0.5		16	08/12/2009
pH	7.71	0.12	7.68	1.6 %	7.48	03/03/2009	8.09	02/02/2009
Oxygène dissous	5.63	0.51	5.65	9.1 %	4.6	24/04/2009	7.1	01/09/2009

Figure 83 : Evolution du pH, de l’oxygène dissous et du COT à Moises 3, en 2009

La valeur moyenne du COT est modérée par rapport aux autres sources avec 1.66 mg/l. La médiane est de 0.5 mg/l (la moyenne est influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 2.62 et le coefficient de variation est de 157.8 %. Le minimum est enregistré 21 fois sur 37 analyses (0.5 mg/l) et le maximum est apparu le 10 mars (10.65 mg/l). Ce pic est en relation avec la fusion nivale. La valeur du 18 mai (1.72 mg/l) est en lien avec les précipitations du 8 au 18 mai (36 mm de pluie à Très le Mont). La valeur du 6 août (6.14 mg/l) est en rapport avec les précipitations du 2 août (12 mm de pluie à Très le Mont). La valeur du 23 septembre (9.95 mg/l) est une réponse aux précipitations du 17 au 23 septembre (13 mm de pluie à Très le Mont). Les valeurs du 13 octobre (2.51 mg/l), du 10 novembre (7.46 mg/l), du 24 novembre et du 8 décembre (1.39 mg/l), sont en lien avec les précipitations automnales.

La source de Ramble (cf. Figure 85)

La valeur moyenne du pH est faible par rapport aux autres sources avec 7.72 unité pH. La médiane est de 7.75 unité pH (la moyenne est influencée par de faibles valeurs). L'écart type est de 0.19 et le coefficient de variation est de 2.5 %. Le minimum est enregistré le 20 août (7.41 unité pH) et le maximum est apparu le 2 février (8.13 unité pH).

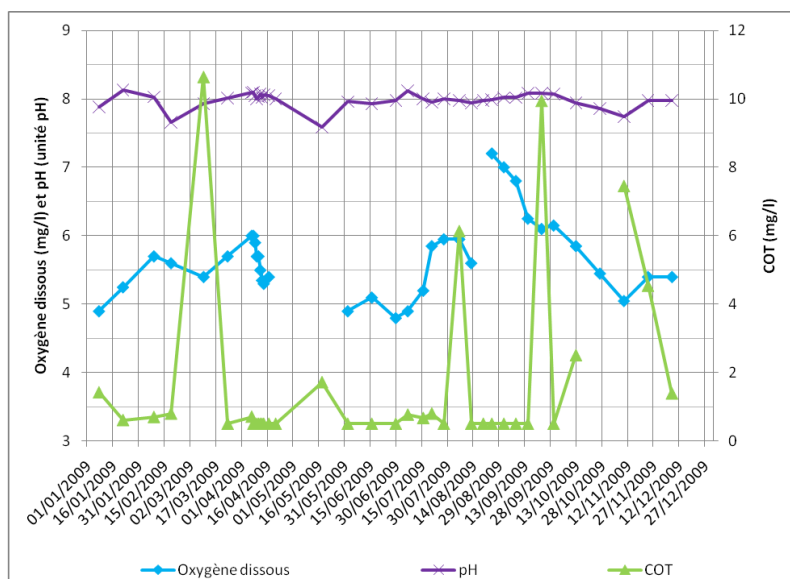
La valeur moyenne de l'oxygène dissous est élevée par rapport aux autres sources avec 5.58 mg/l. La médiane est de 5.5 mg/l (la moyenne est légèrement influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 0.6 et le coefficient de variation est de 10.8 %. Le minimum est enregistré le 2 juin (4.3 mg/l) et le maximum est apparu le 25 août (7.5 mg/l). Au début d'année, les valeurs sont inférieures à la moyenne puis elles augmentent progressivement pour se situer dans la moyenne. En juin, les valeurs sont à leur plus bas niveau puis elles augmentent progressivement pour atteindre le pic du 25 août. Par la suite, les valeurs diminuent progressivement pour être en-dessous de la moyenne à partir de fin octobre et jusqu'à la fin de l'année.

La valeur moyenne du COT est faible par rapport aux autres sources avec 0.72 mg/l. La médiane est de 0.5 mg/l (la moyenne est influencée par de fortes valeurs). L'écart type est de 0.84 et le coefficient de variation est 116.7 %. Le minimum est enregistré 29 fois sur 37 analyses (0.5 mg/l) et le maximum est apparu le 24 novembre (4.87 mg/l). Les valeurs du début d'année, légèrement supérieures à 0.5 mg/l, sont en relation avec les périodes de fusion nivale. La valeur du 30 septembre (0.77 mg/l) est en lien avec les précipitations du 17 au 26 septembre (14 mm de pluie à Très le Mont). La valeur du 24 novembre (4.87 mg/l) est en rapport avec les précipitations du 22 au 24 novembre (13 mm de pluie à Très le Mont).

Conclusions

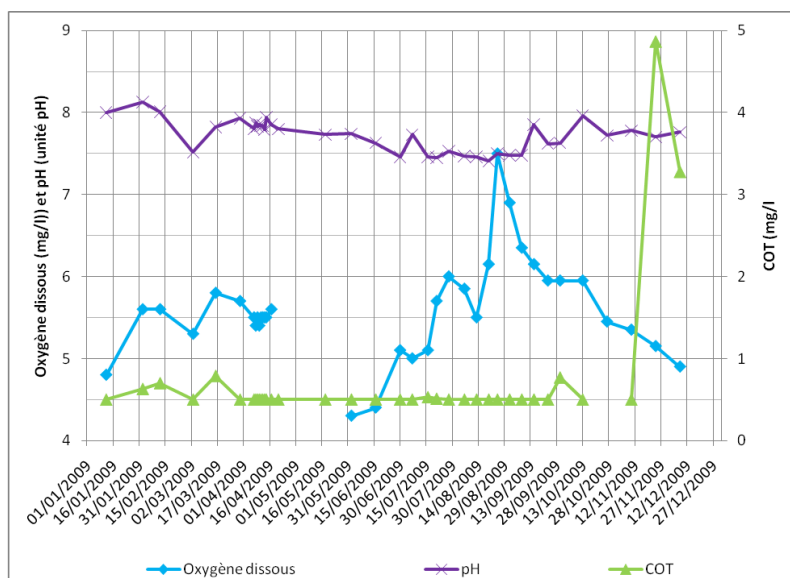
Les valeurs en oxygène dissous sont supérieures à 3 mg/l ce qui signalent le caractère ouvert des systèmes. Les concentrations en oxygène dissous sont faibles en hiver et élevées en été. Les eaux émergentes en été proviendraient essentiellement du processus de recharge hivernale et les eaux émergentes en hiver, seraient issues du processus de recharge automnale (et dans une moindre mesure, estivale). Au Col du Feu, les valeurs en oxygène dissous sont plus faibles

qu'aux autres sources. Ces faibles valeurs suggèrent un processus de recharge estivale important.



	Moyenne	Ecart type	Médiane	Coefficient de variation	Minimum	Date	Maximum	Date
COT	1.66	2.62	0.5	157.8 %	0.5		10.65	10/03/2009
pH	7.98	0.11	8	1.4 %	7.59	18/05/2009	8.13	22/01/2009
Oxygène dissous	5.67	0.57	5.6	10.1 %	4.8	30/06/2009	7.2	25/08/2009

Figure 84 : Evolution du pH, de l’oxygène dissous et du COT au Pont du Mouche, en 2009



	Moyenne	Ecart type	Médiane	Coefficient de variation	Minimum	Date	Maximum	Date
COT	0.72	0.84	0.5	116.7 %	0.5		4.87	24/11/2009
pH	7.72	0.19	7.75	2.5 %	7.41	20/08/2009	8.13	02/02/2009
Oxygène dissous	5.58	0.6	5.5	10.8 %	4.3	02/06/2009	7.5	25/08/2009

Figure 85 : Evolution du pH, de l’oxygène dissous et du COT à Ramble, en 2009

La corrélation entre les précipitations (fusion nivale et précipitations) et les valeurs du COT fournit des éléments de réponse concernant l'influence des circulations rapides dans les systèmes. Nous constatons que les circulations rapides ont :

- Une influence faible aux Arces, à Moises 1 et à Ramble
- Une influence modérée à Moises 2 et au Pont du Mouche
- Une influence forte au Col du Feu, à l'Epinguy, aux Favrats, aux Granges Mamet et à Moises 3

4.3.4.2. Les indices de saturation de la calcite (I_{SC}) et de la dolomie (I_{SD})

Les sources d'Orcier et du Col du Feu

En 2009, nous observons (cf. Figure 86) des I_{SC} compris entre 0.11 et 1.01. De manière détaillée, l' I_{SC} est de :

- 0.51 en moyenne au Col du Feu. Le minimum est de 0.33 le 24 avril et le maximum est de 0.95 le 23 septembre
- 0.56 en moyenne à l'Epinguy. Le minimum est de 0.23 le 10 mars et le maximum est de 0.78 le 14 avril
- 0.34 en moyenne aux Favrats. Le minimum est de 0.11 le 10 mars et le maximum est de 0.64 le 13 octobre
- 0.67 en moyenne au Pont du Mouche. Le minimum est de 0.20 le 18 mai et le maximum est de 1.01 le 30 septembre

Les eaux du Col du Feu, des Favrats, de l'Epinguy et du Pont du Mouche sont saturées en calcite. Les valeurs sont relativement constantes au Col du Feu et aux Favrats avec des écarts types de 0.08 et 0.11. Les valeurs sont un peu moins constantes à l'Epinguy et au Pont du Mouche avec des écarts types de 0.15 et 0.20.

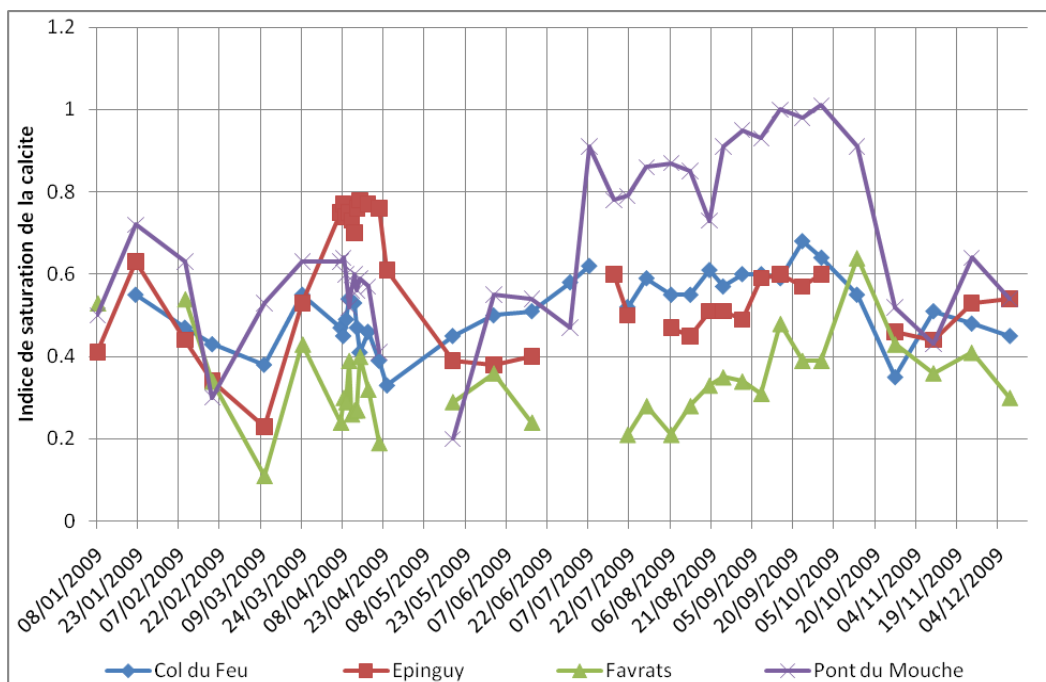
Au Col du Feu et au Pont du Mouche, les valeurs ont globalement le même comportement. Au début de l'année, les indices sont légèrement supérieurs à la moyenne puis ils diminuent progressivement jusqu'en mars. Ils augmentent en début de crue puis ils chutent en fin de crue pour atteindre le minimum observé. Les indices ré-augmentent progressivement jusqu'au maximum de fin septembre. Ensuite, ils s'affaiblissent pour revenir à des valeurs proches de la moyenne.

A l'Epinguy, l'indice de saturation de la calcite se situe dans la moyenne en début d'année puis ils chutent pour atteindre son point bas au début mars. En crue, les valeurs augmentent de manière spectaculaire pour arriver au maximum observé de mi-avril. Les valeurs diminuent fortement de fin avril à mai puis elles augmentent progressivement jusqu'en septembre. Dans un dernier temps, l'indice de saturation de la calcite redescend puis stagne autour de la moyenne jusqu'à la fin de l'année.

Aux Favrats, l'indice de saturation de la calcite est supérieur à la moyenne en début d'année puis ils chutent pour atteindre son point bas au début mars. En crue, les valeurs sont globalement dans la moyenne et ce jusqu'au début septembre. Les valeurs augmentent ensuite pour arriver jusqu'au point haut de mi-octobre. Dans un dernier temps, l'indice de saturation redescend puis stagne autour de la moyenne jusqu'à la fin de l'année.

En 2009, nous observons (cf. Figure 87) des I_{SD} compris entre -0.65 et 1.78. De manière détaillée, l' I_{SD} est de :

- 0.45 en moyenne au Col du Feu. Le minimum est de -0.06 le 24 avril et le maximum est de 0.77 le 30 septembre
- 0.26 en moyenne à l'Epinguy. Le minimum est de -0.56 le 9 février et le maximum est de 0.94 le 8 avril
- -0.18 en moyenne aux Favrats. Le minimum est de -0.65 le 10 mars et le maximum est de 0.53 le 9 février
- 0.85 en moyenne au Pont du Mouche. Le minimum est de -0.22 le 18 mai et le maximum est de 1.78 le 30 septembre



	Moyenne	Ecart type	Médiane	Minimum	Date	Maximum	Date
Col du Feu	0.51	0.08	0.52	0.33	24/04/2009	0.95	23/09/2009
Epinguy	0.56	0.15	0.54	0.23	10/03/2009	0.78	14/04/2009
Favrats	0.34	0.11	0.33	0.11	10/03/2009	0.64	13/10/2009
Pont du Mouche	0.67	0.20	0.63	0.20	18/05/2009	1.01	30/09/2009

Figure 86 : Evolution de l' I_{SC} des sources d'Orcier et du Col du Feu, en 2009

Les eaux du Col du Feu, de l'Epinguy et du Pont du Mouche sont sursaturées en dolomie. Les eaux des Favrats sont sous-saturées en dolomie. Les valeurs sont relativement constantes au Col du Feu et aux Favrats avec des écarts types de 0.17 et 0.27. Les valeurs varient beaucoup plus à l'Epinguy et au Pont du Mouche avec des écarts types de 0.43 et 0.56.

Au Col du Feu, l'indice de saturation de la dolomie est légèrement supérieur à la moyenne en début d'année puis ils diminuent progressivement jusqu'en mars. Ils augmentent en début de crue puis ils chutent en fin de crue pour atteindre le minimum observé. L'indice ré-augmente progressivement jusqu'au maximum de fin septembre. Ensuite, il chute puis se stabilise autour de la moyenne en fin d'année. Au Pont du Mouche, l'indice de saturation de la dolomie suit globalement le même comportement que l'indice de saturation de la calcite.

Aux Favrats, l'indice de saturation de la dolomie est à son maximum en début d'année puis ils chutent en mars pour atteindre son point bas. Par la suite, les valeurs augmentent progressivement jusqu'au début octobre puis elles redescendent et stagnent autour de la moyenne en fin d'année. A l'Epinguy, l'indice de saturation de la dolomie présente globalement le même comportement que l'indice de saturation de la calcite.

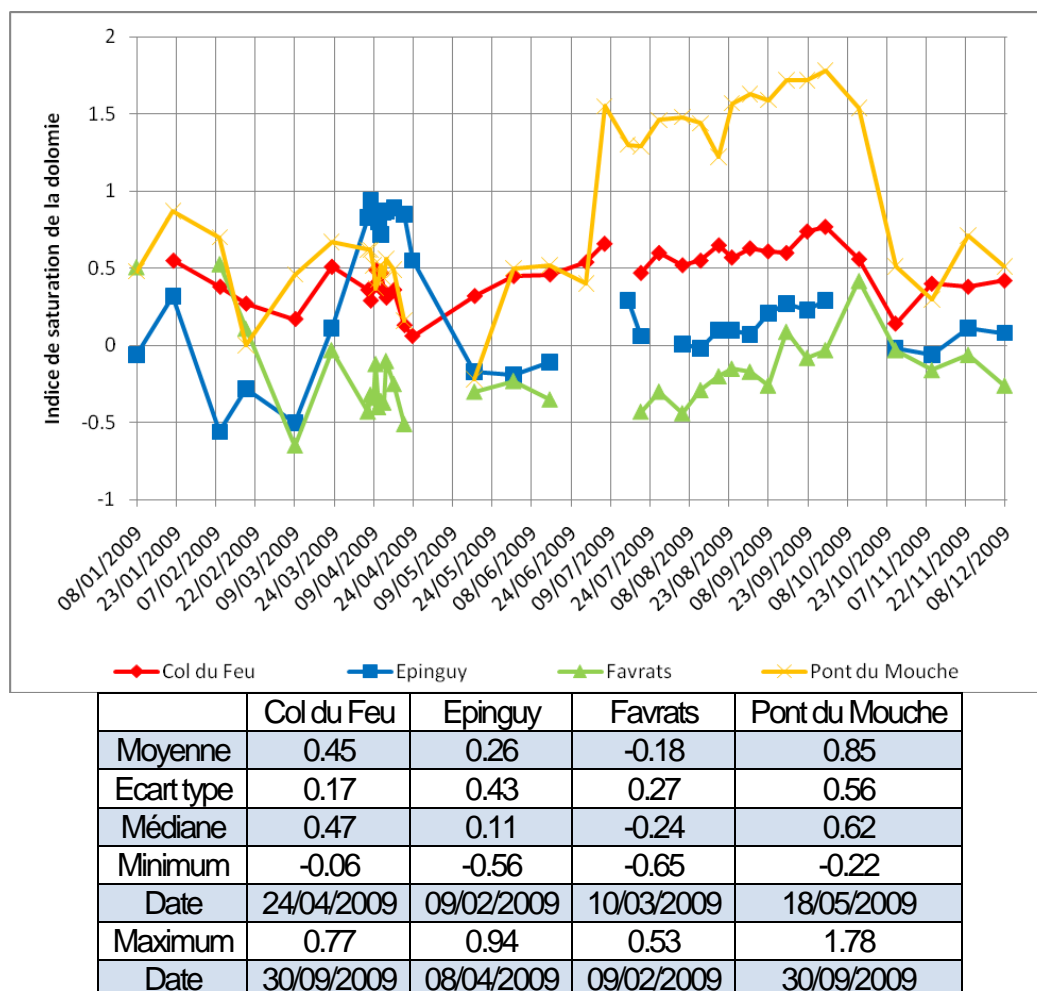


Figure 87 : Evolution de l' I_{SD} des sources d'Orcier et du Col du Feu, en 2009

Les sources d'Habère-Poche

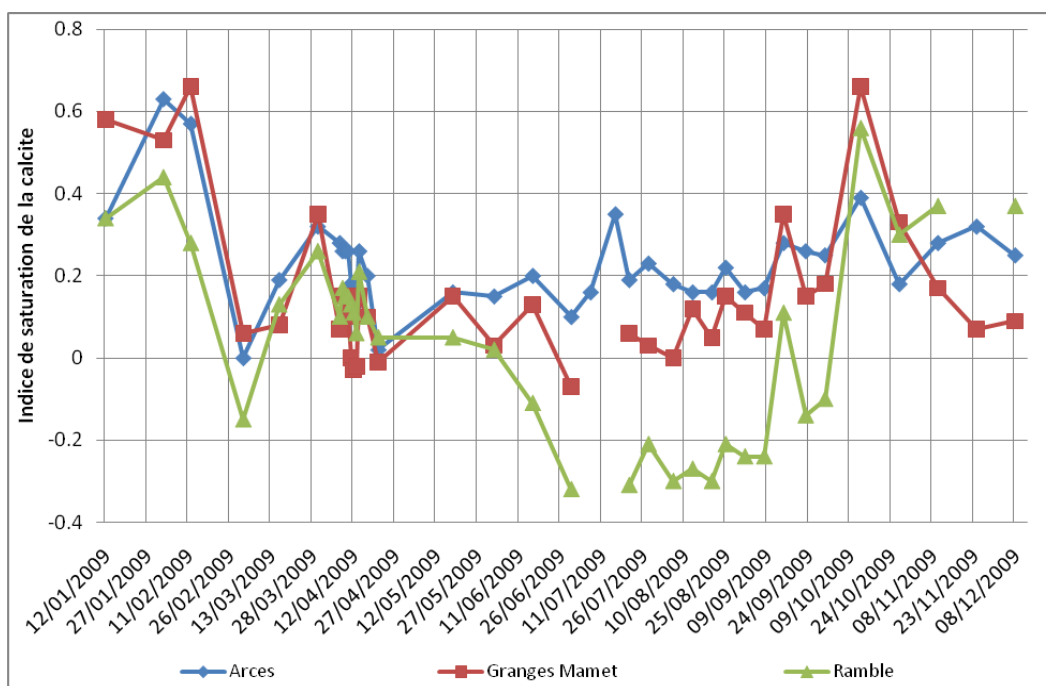
En 2009, nous observons (cf. Figure 88) des I_{SC} compris entre -0.32 et 0.66. De manière détaillée, l' I_{SC} est de :

- 0.23 en moyenne aux Arces. Le minimum est de 0.00 le 3 mars et le maximum est de 0.63 le 2 février
- 0.16 en moyenne aux Granges Mamet. Le minimum est de -0.07 le 30 juin et le maximum est de 0.66 le 12 février et le 13 octobre
- 0.04 en moyenne à Ramble. Le minimum est de -0.32 le 30 juin et le maximum est de 0.56 le 13 octobre

Les eaux des Arces et des Granges Mamet sont légèrement saturées en calcite. Les eaux de Ramble sont équilibrées en calcite. Les valeurs sont relativement constantes

aux Arces avec un écart type de 0.12. Elles varient un peu plus aux Granges Mamet et à Ramble avec des écarts types de 0.19 et 0.24.

Aux Granges Mamet et à Ramble, les indices de saturation de la calcite ont globalement le même comportement avec des valeurs supérieures à la moyenne en début d'année. Ils augmentent en début de crue puis ils chutent en fin de crue pour atteindre le minimum observé en fin juin. Les indices ré-augmentent progressivement jusqu'au maximum de mi-octobre. En fin d'année, ils chutent puis se stabilisent autour de la moyenne pour les Granges Mamet. A Ramble, l'indice baisse mais reste supérieur à la moyenne. Aux Arces, le comportement est très similaire aux deux autres sources hormis le fait que le maximum s'observe au début février et que le minimum apparaît au début mars.



	Moyenne	Ecart type	Médiane	Minimum	Date	Maximum	Date
Arces	0.23	0.12	0.21	0.00	03/03/2009	0.63	02/02/2009
Granges Mamet	0.16	0.19	0.11	-0.07	30/06/2009	0.66	
Ramble	0.04	0.24	0.10	-0.32	30/06/2009	0.56	13/10/2009

Figure 88 : Evolution de l' I_{sc} des sources d'Habère-Poche, en 2009

En 2009, nous observons (cf. Figure 89) des I_{SD} compris entre -1.63 et 0.64. De manière détaillée, l' I_{SD} est de :

- -0.20 en moyenne aux Arces. Le minimum est de -0.70 le 21 avril et le maximum est de 0.64 le 2 février
- -0.71 en moyenne aux Granges Mamet. Le minimum est de -1.22 le 12 avril et le maximum est de 0.4 le 13 octobre
- -0.98 en moyenne à Ramble. Le minimum est de -1.63 le 30 juin et le 21 juillet et le maximum est de -0.08 le 2 février

Les eaux des Arces sont légèrement en dolomie. Les eaux des Granges Mamet et de Ramble sont sous-saturées en dolomie. Les valeurs sont relativement constantes aux Arces avec un écart type de 0.26. Elles varient beaucoup plus aux Granges Mamet et à Ramble avec un écart type de 0.41.

Aux Arces et à Ramble, les maximums apparaissent en début d'année puis les valeurs chutent en mars. En avril, les valeurs sont moyennes puis elles diminuent pour atteindre le point bas en fin d'avril aux Arces et en juin à Ramble. Les indices de saturation de la dolomie augmentent ensuite progressivement jusqu'à mi-octobre pour se situer au-dessus de la moyenne. Dans un dernier temps, ils baissent pour se stabiliser autour de la moyenne en fin d'année. Aux Granges Mamet, le comportement de l'indice de saturation de la dolomie est similaire aux deux autres sources hormis le fait que le maximum observé apparaît à la mi-octobre.

Les sources des Moises

En 2009, nous observons (cf. Figure 90) des I_{SC} comprises entre 0.03 et 0.74. De manière détaillée, l' I_{SC} est de :

- 0.31 en moyenne à Moises 1. Le minimum est de 0.03 le 7 juillet et le maximum est de 0.50 le 2 février
- 0.40 en moyenne à Moises 2. Le minimum est de 0.06 le 3 mars et le maximum est de 0.71 le 30 septembre
- 0.27 en moyenne à Moises 3. Le minimum est de 0.03 le 3 mars et le maximum est de 0.74 le 2 février

Les eaux de Moises 1, de Moises 2 et de Moises 3, sont sursaturées en calcite. Les valeurs sont constantes à Moises 1 avec un écart type de 0.08. Elles varient un peu plus à Moises 2 et Moises 3 avec des écarts types de 0.18 et 0.14.

De janvier à début mars, les indices de saturation de la calcite de Moises 1 et de Moises 3, ont le même comportement avec des valeurs supérieures à la moyenne en début d'année qui atteignent le maximum observé en début février. Par la suite, les indices chutent et ils sont minimums au début mars. A Moises 2, le comportement est similaire à la différence que le maximum n'est pas atteint en début février.

En mars, les valeurs augmentent progressivement à Moises 1 alors qu'à Moises 2 et Moises 3, les valeurs montent dans un premier temps puis diminuent dans un second temps. En avril, les valeurs se situent dans la moyenne à Moises 1. Elles sont inférieures à la moyenne à Moises 2 et à Moises 3. En mai et juin, les indices sont dans la moyenne à Moises 1 et inférieures à la moyenne à Moises 2. A Moises 3, les valeurs augmentent et sont supérieures à la moyenne.

En juillet, août et septembre, les valeurs moyennes de Moises 1 augmentent plus ou moins régulièrement avec le maximum observé de fin juillet. A Moises 2, les valeurs augmentent fortement jusqu'à mi-juillet puis elles chutent pour être légèrement inférieures à la moyenne de fin juillet à mi-août. Elles augmentent à nouveau à partir de fin août pour être au maximum en fin septembre. A Moises 3, les valeurs diminuent en juillet pour se stabiliser et être en-dessous de la moyenne d'août à mi-septembre. Elles remontent ensuite jusqu'à fin septembre.

D'octobre à la fin de l'année, les valeurs diminuent et sont légèrement inférieures à la moyenne à Moises 1. A Moises 2, les valeurs diminuent également mais elles restent supérieures à la moyenne. A Moises 3, la même tendance s'observe, les valeurs

se stabilisent autour de la moyenne sauf en fin d'année avec un indice inférieur à la moyenne.

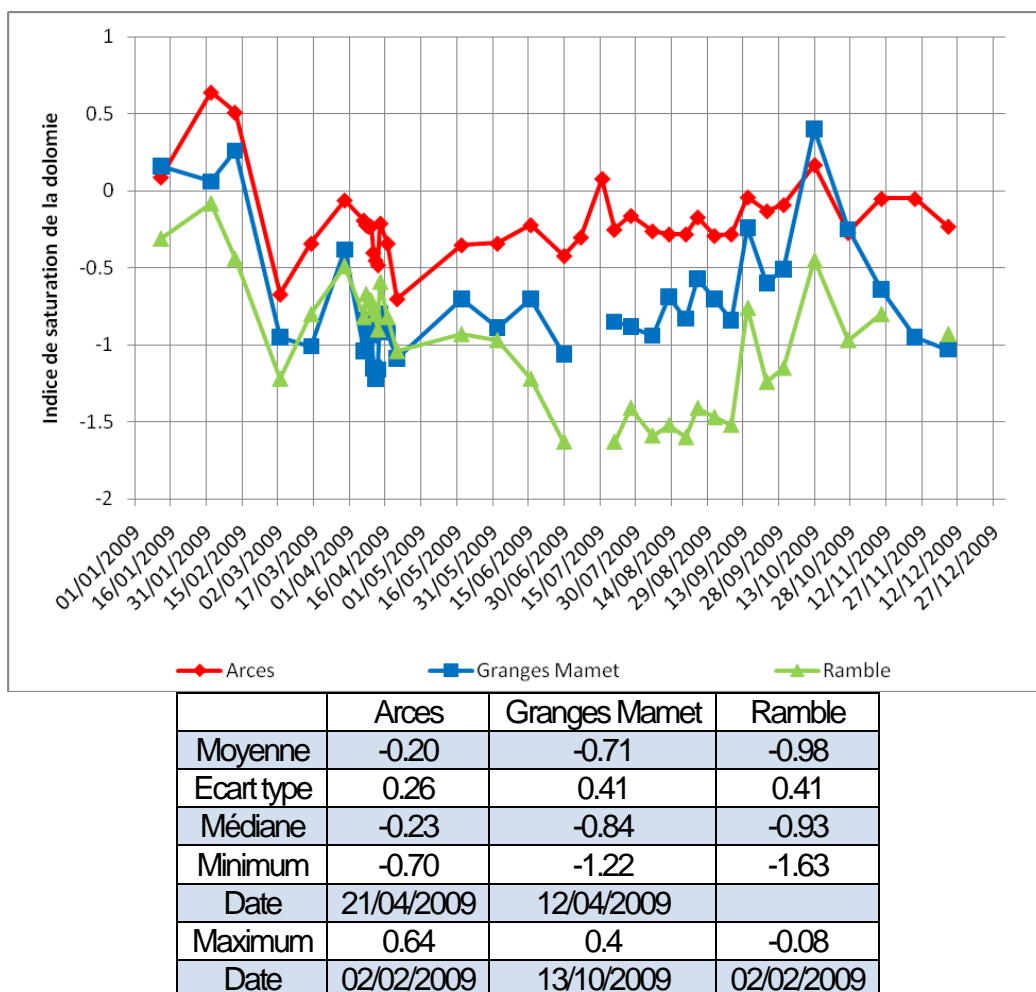


Figure 89 : Evolution de l'I_{SD} des sources d'Habère-Poche, en 2009

En 2009, nous observons (cf. Figure 91) des valeurs comprises entre -0.89 et 1.17. De manière détaillée, l'I_{SD} est de :

- -0.03 en moyenne à Moises 1. Le minimum est de -0.45 le 3 mars et le maximum est de 0.33 le 2 février
- 0.17 en moyenne à Moises 2. Le minimum est de -0.61 le 3 mars et le maximum est de 1.17 le 30 septembre
- -0.35 en moyenne à Moises 3. Le minimum est de -0.89 le 3 mars et le maximum est de 0.57 le 12 janvier

Les eaux de Moises 1 sont équilibrées en dolomie. Les eaux de Moises 2 sont légèrement sursaturées en dolomie. Les eaux de Moises 3 sont sous-saturées en dolomie. Les valeurs sont assez constantes à Moises 1 avec un écart type de 0.16. Elles varient un peu plus à Moises 3 et beaucoup plus à Moises 2 avec des écarts types de 0.36 et 0.58.

De janvier à début mars, les indices de saturation de la dolomie de Moises 1 et de Moises 3, ont globalement le même comportement avec des valeurs maximums observés en début janvier à Moises 3 et en début février à Moises 1. Par la suite, les

indices chutent et ils sont minimums au début mars. A Moises 2, le comportement est similaire à la différence que le maximum n'est pas atteint durant cette période.

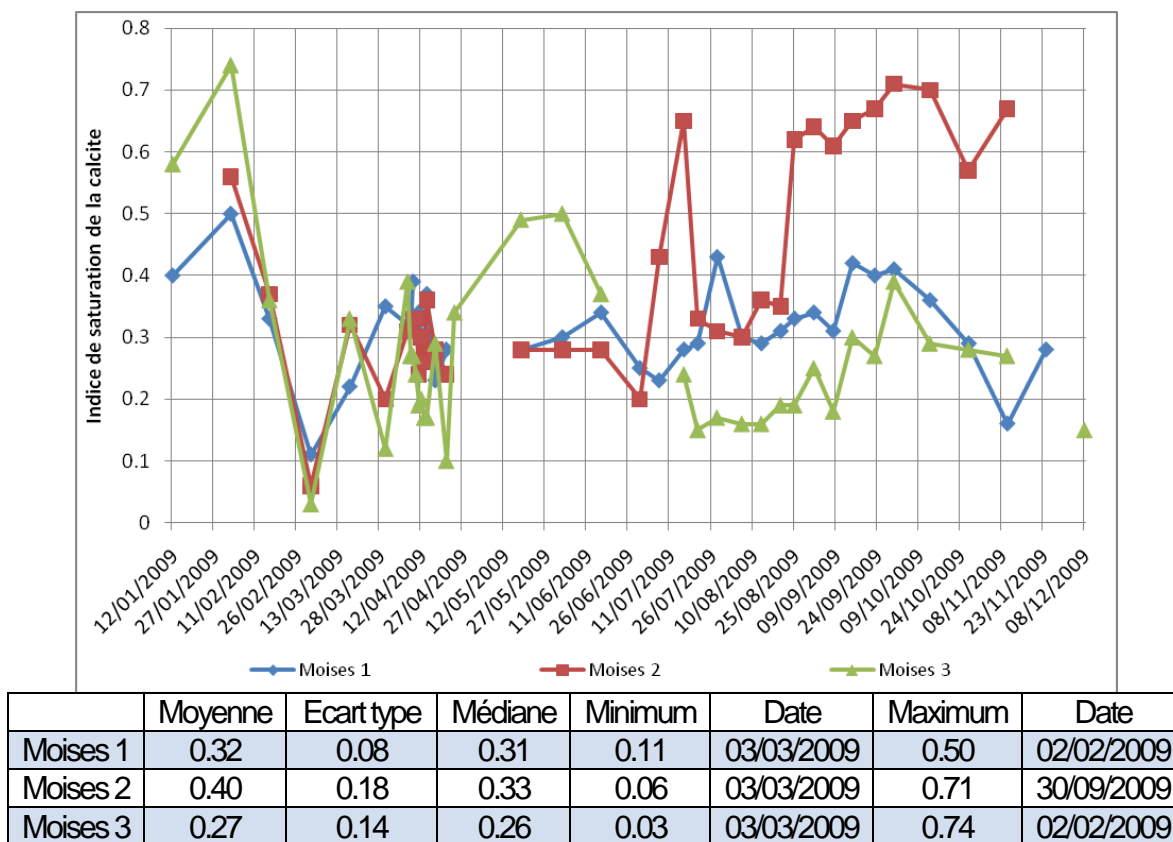
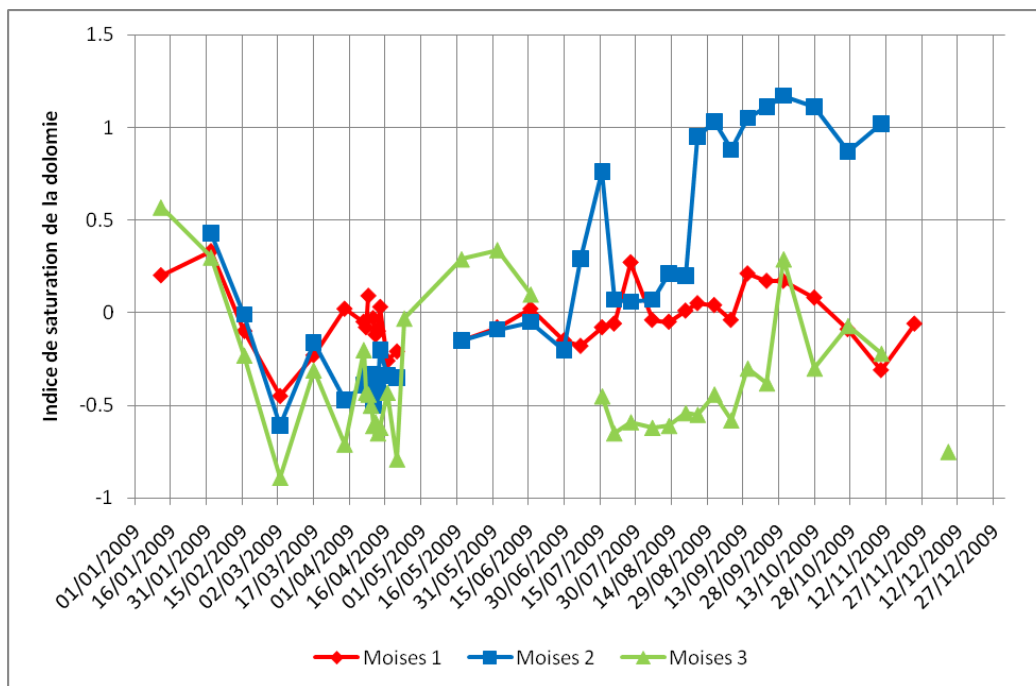


Figure 90 : Evolution de l'I_{SC} des sources des Moises, en 2009

En mars, les valeurs augmentent progressivement à Moises 1 alors qu'à Moises 2 et Moises 3, les valeurs montent dans un premier temps puis diminuent dans un second temps. En avril, les valeurs se situent dans la moyenne à Moises 1 dans un premier temps puis elles diminuent et sont inférieures à la moyenne dans un second temps. Elles sont inférieures à la moyenne à Moises 2 et à Moises 3. En mai et juin, les indices sont inférieurs à la moyenne à Moises 1 et à Moises 2. A Moises 3, les valeurs augmentent et sont supérieures à la moyenne.

En juillet, août et septembre, les valeurs augmentent plus ou moins régulièrement à Moises 1 avec un pic observé de fin juillet. A Moises 2, les valeurs augmentent fortement jusqu'à mi-juillet puis elles chutent pour être légèrement inférieures à la moyenne de fin juillet à mi-août. Elles augmentent à nouveau à partir de fin août pour être au maximum en fin septembre. A Moises 3, les valeurs sont inférieures à la moyenne en juillet et en août. Elles augmentent en septembre pour être supérieures à la moyenne.

D'octobre à la fin de l'année, les valeurs diminuent et sont légèrement inférieures à la moyenne à Moises 1. A Moises 2, les valeurs diminuent également mais elles restent supérieures à la moyenne. A Moises 3, la même tendance s'observe, les valeurs se stabilisent autour de la moyenne sauf en fin d'année avec un indice inférieur à la moyenne.



	Moises 1	Moises 2	Moises 3
Moyenne	-0.03	0.17	-0.35
Ecart type	0.16	0.58	0.36
Médiane	-0.05	-0.01	-0.44
Minimum	-0.45	-0.61	-0.89
Date	03/03/2009	03/03/2009	03/03/2009
Maximum	0.33	1.17	0.57
Date	02/02/2009	30/09/2009	12/01/2009

Figure 91 : Evolution de l' I_{SD} des sources des Moises, en 2009

4.3.4.3. Etude de la relation pCO_2/I_{SC}

L'étude des relations entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO_2 équilibrante permet de comparer les caractéristiques des systèmes carbonatés étudiés. Lorsque la part de I_{SC} expliquée par le logarithme de la pCO_2 est satisfaisante (supérieure à 75 %) alors la variabilité des éléments carbonatés est faible ce qui caractérise un fonctionnement fissuré. Lorsque la part de I_{SC} expliquée par le logarithme de la pCO_2 n'est pas satisfaisante (inférieure à 75 %) alors la variabilité des éléments carbonatés est forte ce qui caractérise un fonctionnement karstique.

Les sources d'Orcier et du Col du Feu

La Figure 92 présente les relations entre I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 des sources d'Orcier et du Col du Feu. La relation linéaire entre I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est :

- Insatisfaisante au Col du Feu avec un coefficient de détermination de 65.9 % et un coefficient de régression de -0.63
- Insatisfaisante à l'Epinguy avec un coefficient de détermination de 0.5 % et un coefficient de régression est de -0.08

- Insatisfaisante aux Favrats avec un coefficient de détermination de 6.5 % et un coefficient de régression est de -0.19
- Insatisfaisante au Pont du Mouche avec un coefficient de détermination de 51.2 % et un coefficient de régression est de -0.86

Les sources d'Orcier et du Col du Feu présentent un fonctionnement karstique.

Au Pont du Mouche, la relation linéaire entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est globalement satisfaisante sauf de juillet à mi-octobre. Les individus en question se localisent au-dessus de la courbe de tendance. Ils témoignent de l'émergence en période d'étiage, d'eaux anciennes issues de la recharge hivernale.

A l'Épinguy, la relation linéaire entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est satisfaisante sauf en avril. Les individus en question se localisent au-dessus de la courbe de tendance. Ils témoignent de l'émergence en période de crue, d'eaux anciennes provenant des précipitations estivales.

Aux Favrats, la relation linéaire entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est satisfaisante sauf en janvier et en février. Les individus en question se localisent au-dessus de la courbe de tendance. Ils témoignent de l'émergence au début du processus de recharge hivernale, d'eaux anciennes provenant des précipitations estivales.

Les sources d'Habère-Poche

La Figure 93 présente les relations entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 des sources d'Habère-Poche. La relation linéaire entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est :

- Insatisfaisante aux Arces avec un coefficient de détermination de 61.8 % et un coefficient de régression de -0.86
- Insatisfaisante aux Granges Mamet avec un coefficient de détermination de 69.8 % et un coefficient de régression de -0.94
- Satisfaisante à Ramble avec un coefficient de détermination de 93.1 % et un coefficient de régression de -1.12

Les sources des Arces et des Granges Mamet se caractérisent par un fonctionnement karstique alors qu'à Ramble le fonctionnement est fissuré.

Aux Arces, la relation linéaire entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est satisfaisante sauf à la fin avril, en juin et au début juillet. Les individus en question se localisent en-dessous de la courbe de tendance. Ils témoignent d'un mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes issues soit du processus de recharge hivernale (en avril et en juin) soit de fortes précipitations (juillet).

Aux Granges Mamet, la relation linéaire entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est satisfaisante sauf en avril. Les individus en question se localisent en-dessous de la courbe de tendance. Ils témoignent d'un mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes issues du processus de recharge hivernale.

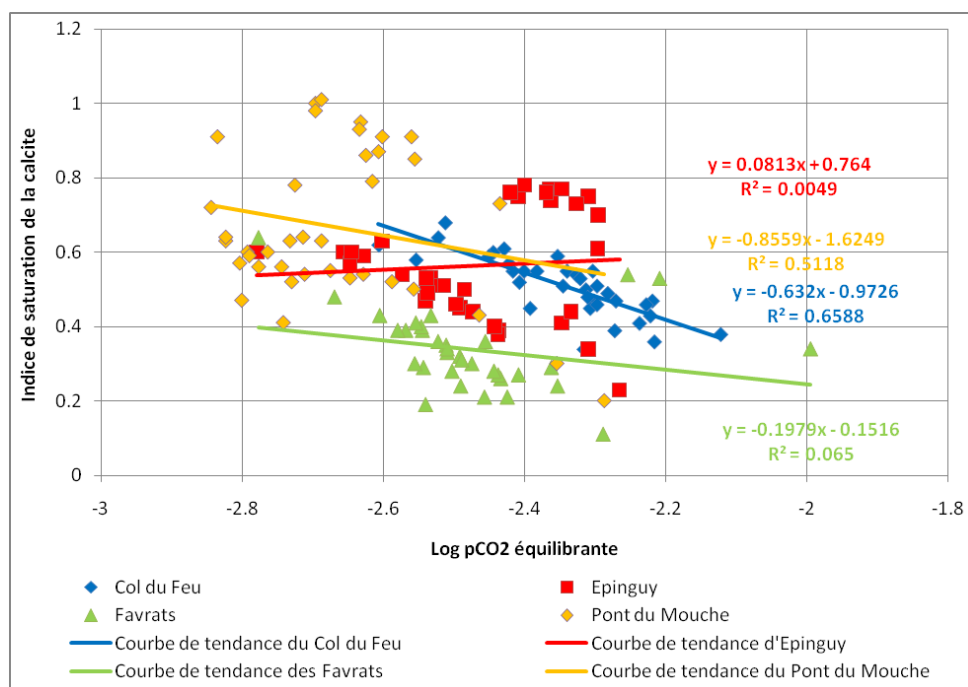


Figure 92 : Relation entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 aux sources d'Orcier et du Col du Feu, en 2009

Les sources des Moises

La Figure 94 présente les relations entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 des sources des Moises. Nous observons que la relation linéaire entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est :

- Insatisfaisante à Moises 1 avec un coefficient de détermination de 6.7 % et un coefficient de régression de -0.26
- Insatisfaisante à Moises 2 avec un coefficient de détermination de 7.5 % et un coefficient de régression de -0.39
- Insatisfaisante à Moises 3 avec un coefficient de détermination de 34.4 % et un coefficient de régression de -0.64

Les sources de Moises 1, de Moises 2 et de Moises 3, se caractérisent par un fonctionnement karstique.

A Moises 1, la relation linéaire entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est globalement satisfaisante sauf pour quelques individus. Les individus d'avril se localisent en-dessous de la courbe de tendance et certains individus de janvier, février et de juillet se placent au-dessus de la courbe de tendance. Les individus d'avril signalent l'émergence d'eaux anciennes et les autres individus soulignent l'arrivée d'eaux jeunes.

A Moises 2, la relation linéaire entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est globalement satisfaisante sauf en étiage (de la fin d'août à la mi-novembre) et en crue (avril, mai et juin). En étiage, les individus en question se localisent au-dessus de la courbe de tendance et ils mettent en évidence l'émergence d'eaux anciennes. En crue, les individus en question se situent au-dessous de la courbe de tendance et ils mettent en évidence le mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes.

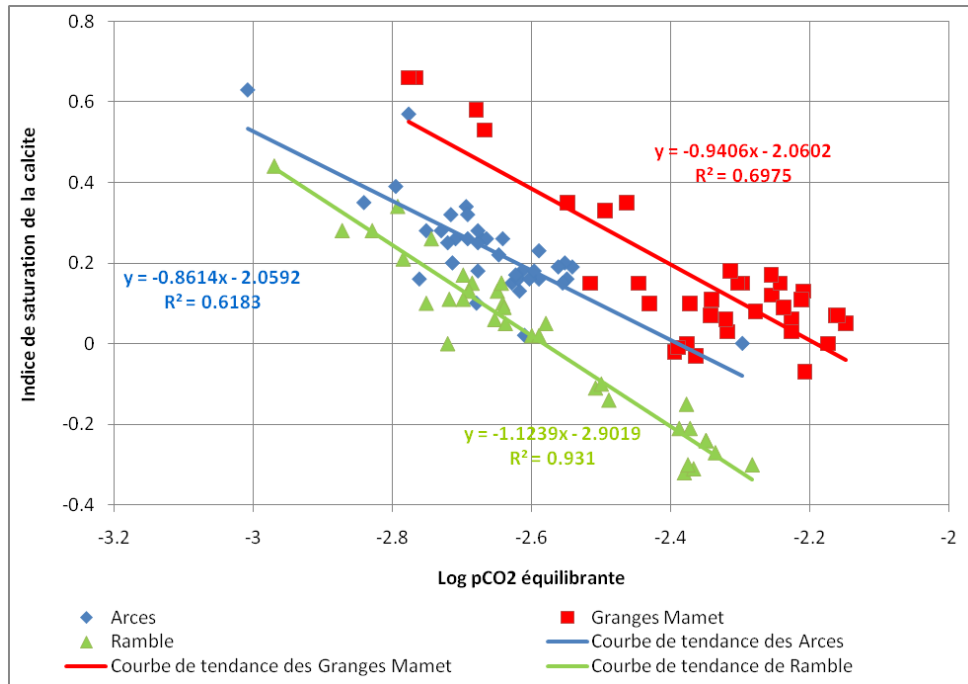


Figure 93 : Relation entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 aux sources d'Habère-Poche, en 2009

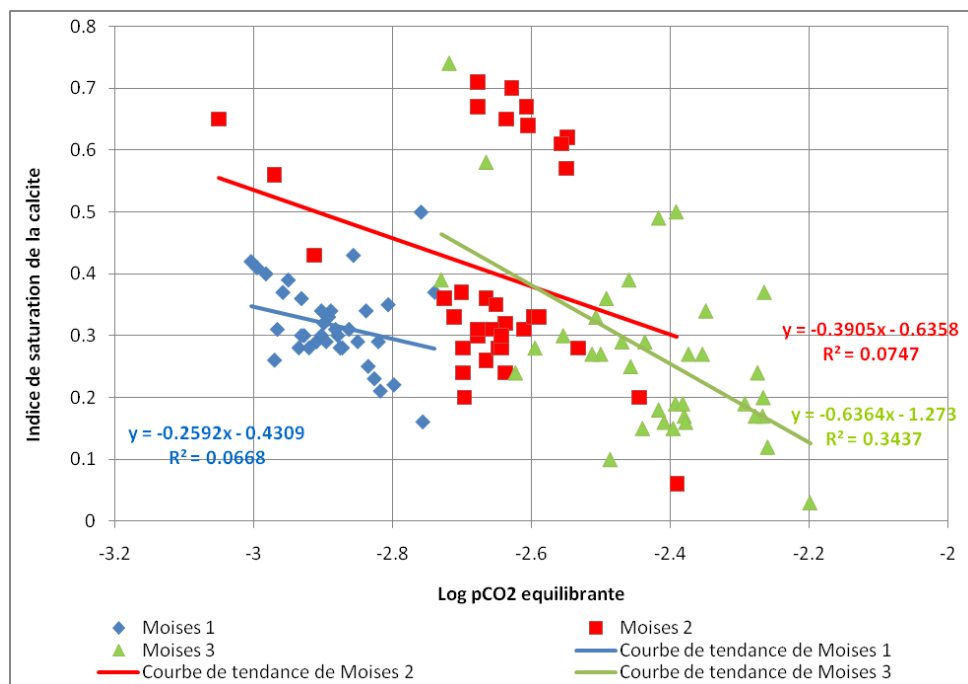


Figure 94 : Relation entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 aux sources des Moises, en 2009

A Moises 3, la relation linéaire entre l' I_{SC} et le logarithme de la pCO_2 est insatisfaisante. L'hétérogénéité de la localisation des individus souligne la complexité du fonctionnement de la source.

4.3.4.4. Conclusions

L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique avait pour but de fournir des éléments de réponse sur l'influence des circulations rapides et des circulations lentes dans les systèmes, sur l'état de saturation des eaux en calcite et en dolomie, sur le type de circulations (profonde ou peu profonde) et sur le mode de fonctionnement (karstique ou fissuré) des systèmes hydrogéologiques. Le Tableau 41 présente une synthèse des interprétations issues de l'étude des paramètres de l'équilibre calco-carbonique des sources en 2009. Les informations de ce tableau sont commentées source par source

	Circulation rapide	Calcite	Dolomie	Circulation	Rapport I_{SC} et pCO_2
Arces	+	Saturée	Sous-saturée	Peu profonde	Karstique
Col du Feu	+++	Saturée	Saturée	Profonde	Karstique
Epinguy	+++	Saturée	Saturée	Peu profonde	Karstique
Favrats	+++	Saturée	Sous-saturée	Peu profonde	Karstique
Granges Mamet	+++	Saturée	Sous-saturée	Peu profonde	Karstique
Moises 1	+	Saturée	Equilibrée	Peu profonde	Karstique
Moises 2	++	Saturée	Saturée	Peu profonde	Karstique
Moises 3	+++	Saturée	Sous-saturée	Peu profonde	Karstique
Pont du Mouche	++	Saturée	Saturée	Peu profonde	Karstique
Ramble	+	Equilibrée	Sous-saturée	Peu profonde	Fissuré

Tableau 41 : Synthèse des interprétations issues de l'étude des paramètres de l'équilibre calco-carbonique

+ : faible influence

++ : influence moyenne

+++ : forte influence

La source des Arces

Le système des Arces est dit ouvert et il est principalement alimenté par des circulations lentes et peu profondes. Les valeurs élevées en COT soulignent l'émergence d'eaux jeunes à l'exutoire à la mi-mars et en novembre. Les eaux sont saturées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation pCO_2/I_{SC} met en évidence un fonctionnement karstique qui se caractérise en avril, juin et juillet, par le mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes.

La source du Col du Feu

Le système du Col du Feu est dit ouvert et il est principalement alimenté par des circulations lentes et profondes. Les faibles valeurs observées en oxygène dissous suggèrent un processus de recharge estival plus important que les autres systèmes. Les valeurs élevées en COT soulignent l'émergence d'eaux jeunes à l'exutoire surtout à la mi-mars. Les eaux sont saturées en calcite et en dolomie. L'étude de la relation pCO_2/I_{SC} caractérise un fonctionnement karstique.

La source de l'Epinguy

Le système de l'Epinguy est dit ouvert et il est principalement alimenté par des circulations lentes et peu profondes. Les valeurs élevées en COT soulignent l'émergence d'eaux jeunes à l'exutoire en mai et surtout en automne. Les eaux sont

saturées en calcite et en dolomie. L'étude de la relation pCO_2/I_{SC} met en évidence un fonctionnement karstique qui se caractérise par l'émergence d'eaux anciennes en avril.

La source des Favrats

Le système des Favrats est dit ouvert et il est principalement alimenté par des circulations lentes et peu profondes. Les valeurs élevées en COT soulignent l'émergence d'eaux jeunes à l'exutoire sauf en période de crue. Les eaux sont saturées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation pCO_2/I_{SC} met en évidence un fonctionnement karstique caractérisé par l'émergence d'eaux anciennes en janvier et en février.

La source des Granges Mamet

Le système des Granges Mamet est dit ouvert et il est principalement alimenté par des circulations lentes et peu profondes. Les valeurs élevées en COT soulignent l'émergence d'eaux jeunes à l'exutoire surtout en automne. Les eaux sont saturées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation pCO_2/I_{SC} met en évidence un fonctionnement karstique caractérisé par le mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes en avril.

La source de Moises 1

Le système de Moises 1 est dit ouvert et il est principalement alimenté par des circulations lentes et peu profondes. Les valeurs élevées en COT soulignent l'émergence d'eaux jeunes à l'exutoire en été et en automne. Les eaux sont saturées en calcite et équilibrées en dolomie. L'étude de la relation pCO_2/I_{SC} met en évidence un fonctionnement karstique caractérisé par :

- Le mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes en avril
- L'émergence d'eaux anciennes en janvier, février, mars et juillet

La source de Moises 2

Le système de Moises 2 est dit ouvert et il est principalement alimenté par des circulations lentes et peu profondes. Les valeurs élevées en COT soulignent l'émergence d'eaux jeunes à l'exutoire surtout à la fin de l'automne. Les eaux sont saturées en calcite et en dolomie. L'étude de la relation pCO_2/I_{SC} met en évidence un fonctionnement karstique caractérisé par l'émergence d'eaux anciennes en période d'étiage et le mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes en crue.

La source de Moises 3

Le système de Moises 3 est dit ouvert et il est principalement alimenté par des circulations lentes et peu profondes. Les valeurs élevées en COT soulignent l'émergence d'eaux jeunes à l'exutoire en automne. Les eaux sont saturées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation pCO_2/I_{SC} met en évidence un fonctionnement karstique.

La source du Pont du Mouche

Le système du Pont du Mouche est dit ouvert et il est principalement alimenté par des circulations lentes et peu profondes. Les valeurs élevées en COT soulignent l'émergence d'eaux jeunes à l'exutoire en automne et en hiver. Les eaux sont saturées en calcite et en dolomie. L'étude de la relation pCO_2/I_{SC} met en évidence un fonctionnement karstique caractérisé par l'émergence d'eaux anciennes en période d'étiage.

La source de Ramble

Le système de Ramble est dit ouvert et il est principalement alimenté par des circulations lentes et peu profondes. Les valeurs élevées en COT soulignent l'émergence d'eaux jeunes à l'exutoire en automne. Les eaux sont équilibrées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation pCO_2/I_{SC} caractérise un fonctionnement fissuré.

4.4. Etude des variations des paramètres isotopiques

L'étude des paramètres isotopiques des eaux permet de fournir des éléments de réponse aux questions des temps de séjour des eaux souterraines dans les systèmes (Tritium) et de l'altitude moyenne de recharge (Deutérium et oxygène 18).

4.4.1. Principales caractéristiques du suivi

Les principales caractéristiques du suivi isotopique sont résumées sur le Tableau 42. Les analyses isotopiques ont été réalisées par le laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université d'Avignon. Les incertitudes de mesures données sont inférieures à 1 ‰ pour le deutérium, à 0.15 ‰ pour l'oxygène 18 et à 10 % pour le tritium. En cas de faibles variations des teneurs isotopiques, les incertitudes de mesures empêchent l'interprétation des valeurs. Dans cette étude, les analyses ont été réalisées par le même laboratoire. Ainsi, il semble cohérent d'admettre que les faibles variations de valeurs sont interprétables dans le sens où elles permettent de dégager une tendance.

Pour les précipitations, les analyses isotopiques ont été réalisées lorsque la quantité d'eau recueillie était suffisante pour la réalisation des analyses isotopiques et des analyses physico-chimiques (cf. 3.1.2.3). De mai à août 2009, nous avons dénombré 6 disparitions de contenants de récupération des eaux de pluies ce qui a contraint le nombre et la fréquence des analyses isotopiques et physico-chimiques. Par ailleurs, des échantillons (Moises 2 et Moises 3, le 13 août 2009) se sont vidés durant le transport au laboratoire.

Période d'observation	De 2006 à 2009
Paramètres pris en compte	Deutérium (2H), oxygène 18 (^{18}O) et tritium (3H)
Sites	Sources et précipitations récoltées au Col du Feu (1120 m.) et à Très le Mont (1375 m.)
Nombre d'analyses	Pour les sources : 122 Pour les précipitations : 56

Tableau 42 : Principales caractéristiques du suivi isotopique

4.4.2. La relation à la droite météorique mondiale

Une relation existe entre les rapports oxygène 18 et deutérium des précipitations : on parle de droite météorique. A l'échelle mondiale, la droite météorique a été déterminée par Craig (Craig, 1961). Son équation est la suivante :

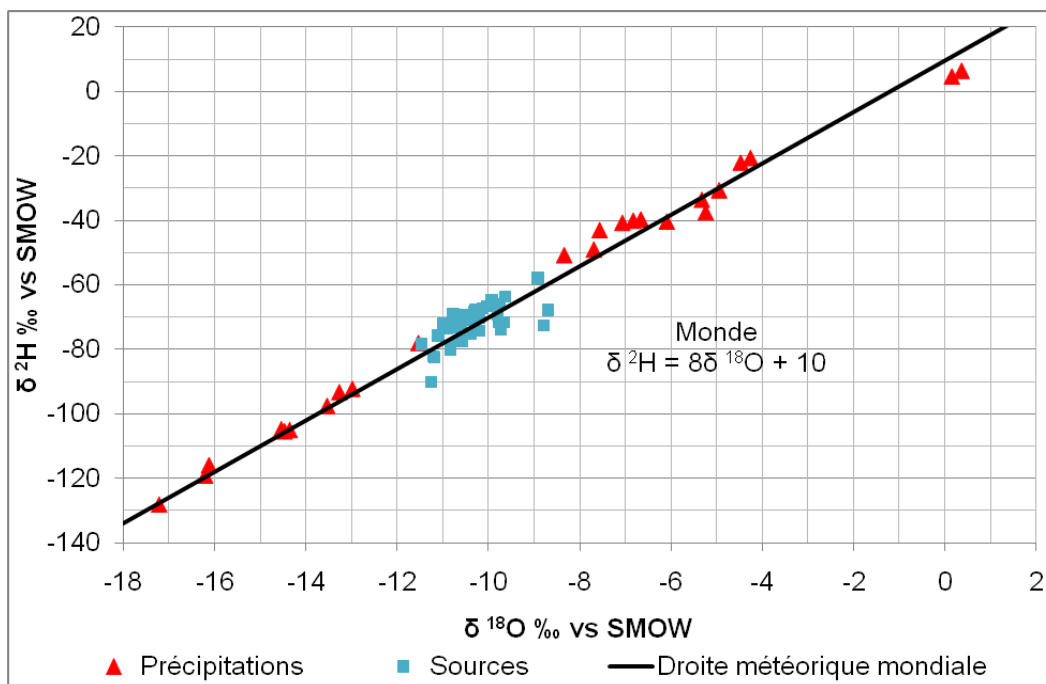
$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$$

La Figure 95 présente la relation entre la droite météorique mondiale et les analyses isotopiques des sources et des précipitations récoltées. Nous observons que les individus s'alignent correctement avec la droite météorique mondiale ce qui amène à valider l'hypothèse selon laquelle les précipitations locales ont une origine océanique. En fonction des types d'individus (précipitations et sources), nous constatons deux types de comportement :

- Pour les sources, les valeurs observées varient peu et elles sont comprises entre -90.2 et -57.8 ‰ pour le deutérium et entre -11.5 et -8.7 ‰ pour l'oxygène 18. La valeur moyenne en deutérium est de -72.9 ‰ et la valeur moyenne en oxygène 18 est de -10.4 ‰. Les valeurs les plus enrichies s'observent le 13 août 2009 pour le deutérium (-57.8 ‰) et le 2 février 2009 pour l'oxygène 18 (-8.7 ‰). Les valeurs les plus appauvries se présentent le 30 septembre 2009 pour le deutérium (-90.2 ‰) et le 22 janvier 2009 pour l'oxygène 18 (-11.5 ‰)
- Pour les précipitations, les valeurs observées varient beaucoup. Elles oscillent entre -128.2 et 6.6 ‰ pour le deutérium et entre -17.2 et 0.4 ‰ pour l'oxygène 18. La valeur moyenne en deutérium est de -61.5 ‰ et la valeur moyenne en oxygène 18 est de -9.1 ‰. Les valeurs les plus enrichies s'observent le 6 octobre 2009 pour le deutérium (6.6 ‰) et l'oxygène 18 (0.4 ‰). Les valeurs les plus appauvries se présentent le 22 janvier 2009 pour le deutérium (-128.2 ‰) et l'oxygène 18 (-17.2 ‰)

Le Tableau 43 présente les valeurs observées en oxygène 18 et en deutérium des sources. Le Tableau 44 expose les valeurs observées en oxygène 18 et en deutérium des précipitations récoltées. Les signatures isotopiques ont été qualifiées en quantifiant les excès en deutérium pour chacun des individus en imposant la droite météorique mondiale. En d'autres termes, la valeur en oxygène 18 a été multipliée par 8. Si la valeur obtenue est supérieure à -4 alors l'individu se positionne en-dessous de la droite météorique mondiale et la signature isotopique a été modifiée par évaporation et/ou interaction eau – roche. Dans le cas contraire, si la valeur obtenue est inférieure à -16 alors l'individu se positionne au-dessus de la droite météorique mondiale et la signature isotopique a été transformée par exsolution de H₂S et/ou de CO₂ et/ou par hydratation de silicates. Ainsi, les analyses identifiées comme étant modifiées ont été ôtées des interprétations. Ces analyses sont :

- Pour les sources, le 2 février 2009 à Moises 1 (valeur de -2.32) et à Moises 3 (valeur de 1.73) et le 30 octobre au Col du Feu (valeur de -0.15)
- Pour les précipitations, le 6 octobre 2009 au Col du Feu (valeur de 3.64) et à Très le Mont (valeur de 3.57) et le 6 novembre 2009 à Très le Mont (valeur de 17.6)



Source : Craig (1961), Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (2010)

Figure 95 : Relation entre la droite météorique mondiale et les analyses isotopiques des sources et des précipitations

4.4.3. Altitude moyenne de recharge et temps de séjour

En exposant les principes généraux visant à proposer une altitude moyenne de recharge et un temps de séjour des eaux souterraines, ce paragraphe a pour but d'interpréter les mesures isotopiques.

4.4.3.1. Principes généraux

Altitude moyenne de recharge

Les valeurs en oxygène 18 varient avec la température. Dans la région de Thonon – Evian, Blavoux (BLAVOUX, 1978) et Siwertz (SIWERTZ, 1973) ont proposé une équation linéaire qui relie les teneurs moyennes annuelles en oxygène 18 et la température moyenne annuelle. Nous avons choisi d'utiliser l'équation de Siwertz car elle s'applique davantage à la région de Thonon. L'équation est la suivante :

$$\delta^{18}\text{O} = 0.55T - 13.8$$

Avec T en °C

En reprenant cette formule, le coefficient altimétrique de $-0.56^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. et la température moyenne annuelle à Thonon (11.5°C), nous pouvons établir une altitude moyenne de recharge selon la formule suivante :

$$H = (11.5 - ((\delta^{18}\text{O} + 13.8) / 0.55)) / 0.56 \times 100$$

Avec H en altitude en mètre

Le cadre temporel de cette formule est annuel, il paraît donc indispensable que la valeur en oxygène 18 représente une valeur « annuelle ». Nous avons choisi de

prendre la moyenne des analyses 2009 plutôt que la médiane du fait du nombre de résultats d'analyses.

		Arçes	Col du feu	Favrats	Epinguy	Granges Marnet	Moises 1	Moises 2	Moises 3	Pont du Mouche	Ramble
06/02/2006	^2H	-76.01	-78.85	-73.36	-75.02	-76.08			-75.06	-73.07	
	^{18}O	-10.56	-11.25	-10.32	-10.71	-10.67			-10.63	-10.48	
	$\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$	8.45	11.17	9.2	10.67	9.28			9.98	10.73	
08/02/2006	^2H						-75.28	-77.03	-76.42		-72.85
	^{18}O						-10.56	-11.04	-10.63		-10.34
	$\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$						9.21	11.27	8.62		9.9
22/01/2009	^2H		-78.38	-70.19	-73.09					-72.15	
	^{18}O		-11.46	-10.19	-10.75					-10.61	
	$\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$		13.34	11.36	12.88					12.71	
02/02/2009	^2H	-71.63				-69.20	-72.58	-73.72	-67.82		-71.68
	^{18}O	-9.77				-9.80	-8.78	-9.73	-8.69		-9.66
	$\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$	6.53				9.17	-2.32	4.11	1.73		5.62
21/04/2009	^2H	-70.87		-66.67	-70.39	-69.67		-71.98		-67.80	-69.29
	^{18}O	-10.50		-10.00	-10.39	-10.39		-10.70		-10.29	-10.52
	$\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$	13.17		13.37	12.74	13.46		13.61		14.54	14.9
24/04/2009	^2H		-75.67				-71.60		-71.94		
	^{18}O		-11.10				-10.76		-10.98		
	$\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$		13.14				14.46		15.91		
13/08/2009	^2H	-66.68	-73.55	-63.69	-66.20	-64.81	-57.83			-68.21	-67.38
	^{18}O	-10.04	-10.90	-9.63	-9.75	-9.92	-8.91			-10.30	-10.12
	$\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$	13.61	13.68	13.37	11.83	14.56	13.46			14.21	13.6
30/09/2009	^2H	-68.90	-90.18	-74.30	-77.63	-75.21	-79.99	-82.26	-82.52	-78.85	-77.46
	^{18}O	-10.77	-11.25	-10.20	-10.58	-10.40	-10.83	-11.20	-11.18	-10.84	-10.64
	$\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$	17.29	-0.15	7.34	6.99	7.96	6.68	7.38	6.9	7.83	7.69
Moyenne 2009	^2H	-69.52	-75.87	-68.71	-71.83	-69.72	-69.8	-75.98	-77.23	-71.75	-71.45
	^{18}O	-10.27	-11.15	-10.01	-10.37	-10.13	-10.17	-10.54	-11.08	-10.51	-10.24

Source : Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, 2010

Tableau 43 : Valeurs observées en oxygène 18 et en deutérium et quantification des excès en deutérium

Le calcul de la moyenne 2009 prend en compte les analyses de 2009 et les analyses qui ne sont pas en gras

Temps de séjour moyen des eaux souterraines

Le tritium a été produit par tous les types de tests nucléaires en atmosphère. Entre octobre 1952 et la fin de 1962, approximativement 600 kg de tritium ont été injectés dans l'atmosphère par les tests russes, américains et anglais. Les explosions en atmosphère ont cessé en 1963 quand ces pays ont signé un traité de limitation des tests. 1963 est l'année où les activités en tritium dans l'atmosphère ont atteint leur maximum. On parle du « *pic de 1963* ». Par la suite, seules la Chine et la France ont effectué de tels tests produisant dans l'atmosphère environ 20 kg de tritium entre 1967 et 1980. A partir de 1980, aucune explosion en atmosphère n'a eu lieu. Environ 75% de tout ce tritium a été injecté dans l'hémisphère nord de la stratosphère, et le reste dans la partie équatoriale de la stratosphère.

La Figure 96 présente l'évolution des teneurs mensuelles en tritium dans les précipitations récoltées à Thonon de janvier 1963 à juillet 2009. Nous observons des valeurs très élevées avec un pic à 5376 UT en juin 1963, qui diminuent progressivement avec le temps. La décroissance des valeurs suit une loi de puissance qui présente un coefficient de détermination de plus de 81 %. En appliquant cette loi, la diminution de la valeur en tritium dans les précipitations est d'environ 0.3 UT/an entre 2005 et 2010. La valeur moyenne en 2005 est de 10.9 UT et la valeur moyenne en 2010 est de 9.3 UT.

		Coldu Feu (1120 m.)	Très le Mont (1375 m.)
22/01/2009 Neige	^2H	-128.17	-115.94
	^{18}O	-17.22	-16.13
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	9.6	13.09
02/02/2009 Neige	^2H	-97.51	-105.00
	^{18}O	-13.54	-14.36
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	10.81	9.9
30/04/2009 Nivé	^2H	-119.18	-77.99
	^{18}O	-16.21	-11.54
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	10.54	14.32
13/09/2009 Pluie	^2H	-48.95	-50.70
	^{18}O	-7.69	-8.34
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	12.61	16.05
06/10/2009 Pluie	^2H	6.59	4.81
	^{18}O	0.37	0.16
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	3.64	3.57
09/10/2009 Pluie	^2H	-30.54	-33.50
	^{18}O	-4.95	-5.33
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	9.04	9.11
23/10/2009 Pluie	^2H	-92.22	-93.27
	^{18}O	-12.99	-13.27
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	11.67	12.92
27/10/2009 Pluie	^2H	-37.41	-40.28
	^{18}O	-5.24	-6.09
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	4.52	8.47
03/11/2009 Pluie	^2H	-105.42	-104.75
	^{18}O	-14.47	-14.54
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	10.37	11.6
06/11/2009 Pluie	^2H	-40.64	-42.92
	^{18}O	-7.07	-7.56
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	15.91	17.6
23/11/2009 Pluie	^2H	-21.97	-20.50
	^{18}O	-4.48	-4.26
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	13.84	13.58
27/11/2009 Pluie	^2H	-39.57	-39.99
	^{18}O	-6.66	-6.83
	$\delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$	13.74	14.66

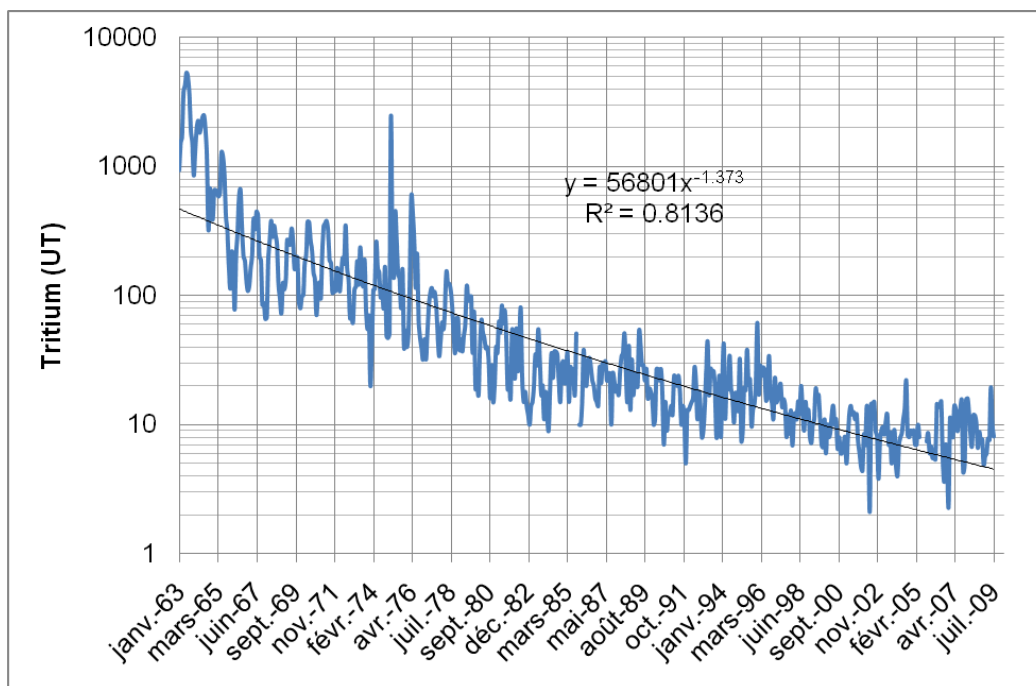
Source : Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, 2010

Tableau 44 : Valeurs observées en deutérium et en oxygène 18 des précipitations récoltées

Ainsi, les valeurs en tritium inférieures à 2 UT signalent le caractère fossile des eaux souterraines. Les valeurs supérieures à 100 UT mettent en évidence des temps de

séjour compris entre 30 et 70 ans. Les valeurs comprises entre 20 et 100 UT indiquent des temps de séjour compris entre 15 et 30 ans et les valeurs comprises entre 2 et 20 UT informent d'un temps de séjour inférieur à 15 ans.

Les modèles mathématiques pour déterminer le temps de séjour des eaux souterraines sont nombreux (modèle en piston, modèle exponentiel, modèle dispersif, modèle linéaire, modèles à cellule de mélange), mais ils nécessitent des chroniques importantes. Nous avons donc fait le choix de supposer que les eaux à l'émergence résultent d'un mélange. Ainsi et en première approximation, les valeurs inférieures à 6 UT signalent un temps de séjour inférieur à 6 mois, les valeurs entre 6 et 8 UT indiquent un temps de séjour compris entre 6 mois et 1 an et les valeurs supérieures à 8 UT informent un temps de séjour supérieur à 1 an.



Source : <http://www.iaea.org/water>

Figure 96 : Evolution de teneurs mensuelles en tritium dans les précipitations récoltées à Thonon, de janvier 1963 à juillet 2009

Conclusions sur l'utilisation des outils isotopiques

Les sources sont le plus souvent alimentées par plusieurs aquifères. Il en résulte des temps de séjour et des altitudes de recharge variés. Il convient donc de croiser les informations pour permettre d'émettre des hypothèses cohérentes et pertinentes.

4.3.3.2. Interprétation des valeurs isotopiques

Le Tableau 45 expose les valeurs en tritium des précipitations mensuelles récoltées à Thonon, des précipitations récoltées au Col du Feu et à Très le Mont et des sources, de janvier 2007 à septembre 2009. Les valeurs observées sont comprises entre :

- 4.3 et 19.5 UT pour les précipitations. De janvier 2007 à juillet 2009, la valeur moyenne (pondérée par les hauteurs de précipitations) des

précipitations récoltées à Thonon, est de 10 UT. La valeur minimum se présente en octobre 2007 et la valeur maximum s'observe en mai 2009

- 4.4 et 10 UT pour les sources. La valeur moyenne est de 7.57 UT. La valeur minimum se présente le 12 décembre 2007 au Col du Feu et la valeur maximum s'observe le 12 décembre 2007 à Moises 3. Les temps de séjour des eaux à l'émergence sont inférieurs à 10 ans (au-delà de 10 ans, les valeurs mensuelles en tritium dans les précipitations est supérieur à 10 UT)

La source des Arces

La valeur moyenne en tritium (7.3 UT) est légèrement inférieure à la moyenne des sources (7.57 UT). Les valeurs observées (cf. Tableau 45) sont assez faibles et soulignent de court temps de séjour. Nous observons (cf. Tableau 45) que :

- La valeur du 12 décembre 2007 (6.9 UT) provient du mélange des précipitations de septembre (15.5 UT pour 84.5 mm de pluie), octobre (4.3 UT et 19 mm de pluie) et novembre 2009 (4.9 UT et 53 mm de pluie)
- La valeur du 21 avril 2009 (7.7 UT) résulte du mélange des précipitations de septembre (8.8 UT pour 164 mm de pluie) et octobre 2008 (7.4 UT pour 107 mm de pluie)
- La valeur du 30 septembre 2009 (7.3 UT) provient du mélange des précipitations de mars (7.6 UT et 31.5 mm de pluie) et avril 2009 (7.8 UT et 62.5 mm de pluie)

La valeur moyenne en oxygène 18 des 4 analyses de 2009 (moyenne de -10.27 ‰) est enrichie par rapport à la moyenne des sources (moyenne de -10.45 ‰). L'écart entre la valeur la plus appauvrie et la valeur la plus enrichie est de 1 ‰. La valeur la plus enrichie est celle du 2 février 2009 (-9.77 ‰) et la valeur la plus appauvrie est celle du 30 septembre 2009 (-10.77 ‰). En reprenant la température moyenne annuelle (11.5°C à Thonon), le gradient altimétrique de 0.56°C/100 m. et les incertitudes de mesures, l'altitude moyenne de recharge est estimée entre 1235 et 1335 m.

La source du Col du Feu

La valeur moyenne en tritium (5.13 UT) est inférieure à la moyenne des sources (7.57 UT). Les valeurs observées (cf. Tableau 45) sont faibles et soulignent de très court temps de séjour. En effet, la valeur du :

- 12 décembre 2007 (4.4 UT) provient du mélange des précipitations d'octobre (4.3 UT et 19 mm de pluie) et novembre 2007 (4.9 UT et 53 mm de pluie)
- La valeur du 24 avril 2009 (5.4 UT) correspond au mélange des précipitations de décembre 2008 (4.9 UT et 107 mm de pluie) et janvier 2009 (5.7 UT pour 59.5 mm de pluie)
- La valeur du 30 septembre 2009 (5.6 UT) provient du mélange des précipitations de décembre 2008 (4.9 UT et 107 mm de pluie), janvier (5.7 UT pour 59.5 mm de pluie) et février 2009 (6 UT pour 62 mm de pluie)

	Précipitations mensuelles à Thonon (en mm)	Thonon	Arces	Source du Col du Feu	Favrats	Epinguy	Granges/Marnet	Moises 1	Moises 2	Moises 3	Port du Mouchte	Ramble	Précipitation Col du Feu	Précipitation Très le Mont
janv.-07	65	11.3												
févr.-07	94.5	10.7												
mars-07	66.5	8												
avr.-07	21	14												
mai-07	146.5	13												
juin-07	157.5	8.9												
juil.-07	222.5	11.4												
août-07	170.5	13.2												
sept.-07	84.5	15.5												
oct.-07	19	4.3												
nov.-07	53	4.9												
déc.-07	64	15.6												
12/12/2007			6.9	4.4	6.6	6	8	9.3	9	10	7	6.8		
janv.-08	72.5	16												
févr.-08	26	12.1												
mars-08	45	8.4												
avr.-08	128.5	6.8												
mai-08	66	11.9												
juin-08	74.5	11.8												
juil.-08	104	10.3												
août-08	107.5	6.6												
sept.-08	164	8.8												
oct.-08	107	7.4												
nov.-08	35	7.7												
déc.-08	107	4.9												
janv.-09	59.5	5.7												
févr.-09	62	6												
mars-09	62.5	7.8												
avr.-09	31.5	7.6												
21/04/2009			7.7		9.4	8	6.9		8.4		7.5	7.8		
24/04/2009				5.4				8.1		8.3				
mai-09	38.5	19.5												
juin-09	72.5	9.9												
juil.-09	91	8.1												
août-09	94													
sept.-09	49.5													
13/09/2009													5.8	6.1
30/09/2009			7.3	5.6	9.4	6.3	7.3	8.1	9.1	9.7	6	6.7		
9/10/2009													6.1	7

Source : Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (2010) pour les valeurs isotopiques et INRA Thonon (2010) pour les précipitations

Tableau 45 : Précipitations mensuelles à Thonon et valeurs en tritium des précipitations et des sources

En 2009, la valeur moyenne en oxygène 18 des 3 analyses est de -11.15 ‰ ce qui est appauvrie par rapport à la moyenne des sources (moyenne de -10.45 ‰). L'écart entre la valeur la plus appauvrie et la valeur la plus enrichie est de 0.56 ‰. La valeur la plus enrichie est celle du 13 août 2009 (-10.9 ‰) et la valeur la plus appauvrie est celle du 22 janvier 2009 (-11.46 ‰). En reprenant la température moyenne annuelle (11.5°C à Thonon), le gradient altimétrique de 0.56°C/100 m. et les incertitudes de mesures, l'altitude moyenne de recharge serait supérieure à 1500 m.

La source de l'Epinguy

La valeur moyenne en tritium (6.77 UT) est inférieure à la moyenne des sources (7.57 UT). Les valeurs observées (cf. Tableau 45) sont faibles sauf celle du 21 avril 2009. Ce constat souligne des temps de séjour court. Nous observons que :

- La valeur du 12 décembre 2007 (6 UT) correspond au mélange des précipitations d'octobre (4.3 UT et 19 mm de pluie) et novembre 2007 (4.9 UT et 53 mm de pluie). Une légère participation des précipitations de septembre 2007 (15.5 UT pour 84.5 mm de pluie) ou de décembre 2007 (15.6 UT pour 64 mm de pluie) est probable
- La valeur du 21 avril 2009 (8 UT) provient soit du mélange des valeurs des précipitations de septembre (8.8 UT pour 164 mm de pluie), octobre (7.4 UT pour 107 mm de pluie) et novembre 2008 (7.7 UT pour 35 mm de pluie), soit du mélange d'eaux qui se seraient infiltrées avant juillet 2008
- La valeur du 30 septembre 2009 (6.3 UT) résulte du mélange des précipitations de janvier (5.7 UT pour 59.5 mm de pluie), février (6 UT pour 62 mm de pluie) et mars 2009 (7.8 UT pour 62.5 mm de pluie)

La valeur moyenne des 4 analyses de 2009 (moyenne de -10.37 ‰) est légèrement enrichie par rapport à la moyenne des sources (moyenne de -10.45 ‰). L'écart entre la valeur la plus appauvrie et la valeur la plus enrichie est de 1 ‰. La valeur la plus enrichie est celle du 13 août 2009 (-9.75 ‰) et la valeur la plus appauvrie est celle du 22 janvier 2009 (-10.75 ‰). En reprenant la température moyenne annuelle (11.5°C à Thonon), le gradient altimétrique de 0.56°C/100 m. et les incertitudes de mesures, l'altitude moyenne de recharge est estimée entre 1270 et 1365 m.

La source des Favrats

La valeur moyenne en tritium (8.47 UT) est supérieure à la moyenne des sources (7.57 UT). Les valeurs observées (cf. Tableau 45) sont fortes sauf celle du 12 décembre 2007. Ce constat souligne des temps de séjour relativement longs. Nous observons (cf. Tableau 45) que :

- La valeur du 12 décembre 2007 (6.6 UT) peut provenir soit du mélange d'eaux anciennes qui se seraient infiltrées en 2006 soit du mélange des précipitations de septembre (15.5 UT pour 84.5 mm de pluie), octobre (4.3 UT et 19 mm de pluie) et novembre 2007 (4.9 UT et 53 mm de pluie)
- La valeur du 21 avril 2009 (9.4 UT) provient du mélange d'eaux anciennes qui se seraient infiltrées avant juillet 2008
- La valeur du 30 septembre 2009 (9.4 UT) correspond au mélange d'eaux anciennes qui se seraient infiltrées avant juillet 2008

La valeur moyenne en oxygène 18 des 4 analyses de 2009 (moyenne de -10.01 ‰) est enrichie par rapport à la moyenne des sources (moyenne de -10.45 ‰). L'écart entre la valeur la plus appauvrie et la valeur la plus enrichie est de 0.69 ‰. La valeur la plus enrichie est celle du 13 août 2009 (-9.63 ‰) et la valeur la plus appauvrie est celle du 6 février 2006 (-10.32 ‰). En reprenant la température moyenne annuelle (11.5°C à Thonon), le gradient altimétrique de 0.56°C/100 m. et les incertitudes de mesures, l'altitude moyenne de recharge est estimée entre 1150 et 1250 m.

La source des Granges Mamet

La valeur moyenne en tritium (7.4 UT) est légèrement inférieure à la moyenne des sources (7.57 UT). Les valeurs observées (cf. Tableau 45) sont assez faibles surtout celles de 2009. Ce constat souligne des temps de séjour relativement courts. Nous observons (cf. Tableau 45) que :

- La valeur du 12 décembre 2007 (8 UT) semble résulter du mélange des précipitations de septembre (15.5 UT pour 84.5 mm de pluie), octobre (4.3 UT et 19 mm de pluie) et novembre 2007 (4.9 UT et 53 mm de pluie)
- La valeur du 21 avril 2009 (6.9 UT) peut provenir soit du mélange des précipitations d'octobre (7.4 UT pour 107 mm de pluie), novembre (7.7 UT pour 35 mm de pluie) et de décembre 2008 (4.9 UT pour 107 mm de pluie) soit du mélange des précipitations de janvier (5.7 UT pour 59.5 mm de pluie), février (6 UT pour 62 mm de pluie), mars (7.8 UT et 31.5 mm de pluie) et avril 2009 (7.6 UT et 62.5 mm de pluie)
- La valeur du 30 septembre 2009 (7.3 UT) peut provenir du mélange des valeurs des précipitations des 6 mois précédents le prélèvement

La valeur moyenne en oxygène 18 des 4 analyses de 2009 (moyenne de -10.13 ‰) est enrichie par rapport à la moyenne des sources (moyenne de -10.45 ‰). L'écart entre la valeur la plus appauvrie et la valeur la plus enrichie est de 0.87 ‰. La valeur la plus enrichie est celle du 2 février 2009 (-9.8 ‰) et la valeur la plus appauvrie est celle du 6 février 2006 (-10.67 ‰). En reprenant la température moyenne annuelle (11.5°C à Thonon), le gradient altimétrique de 0.56°C/100 m. et les incertitudes de mesures, l'altitude moyenne de recharge est estimée entre 1190 et 1290 m.

La source de Moises 1

La valeur moyenne en tritium (8.5 UT) est supérieure à la moyenne des sources (7.57 UT). Les valeurs observées (cf. Tableau 45) sont élevées. Ce constat souligne des temps de séjour relativement longs. Nous observons (cf. Tableau 45) que :

- La valeur du 12 décembre 2007 (9.3 UT) peut provenir soit du mélange d'eaux anciennes qui se seraient infiltrées en 2006
- La valeur du 24 avril 2009 (8.1 UT) provient probablement du mélange d'eaux anciennes infiltrées avant juillet 2008
- La valeur du 30 septembre 2009 (8.1 UT) provient probablement du mélange d'eaux infiltrées avant juillet 2008

La valeur moyenne en oxygène 18 des 3 analyses de 2009 (moyenne de -10.17 ‰) est enrichie par rapport à la moyenne des sources (moyenne de -10.45 ‰). L'écart entre la valeur la plus appauvrie et la valeur la plus enrichie est de 1.92 ‰. La valeur la plus enrichie est celle du 13 août 2009 (-8.91 ‰) et la valeur la plus appauvrie est

celle du 30 septembre 2009 (-10.83 ‰). En reprenant la température moyenne annuelle (11.5°C à Thonon), le gradient altimétrique de 0.56°C/100 m. et les incertitudes de mesures, l'altitude moyenne de recharge est estimée entre 1200 et 1300 m.

La source de Moises 2

La valeur moyenne en tritium (8.83 UT) est supérieure à la moyenne des sources (7.57 UT). Les valeurs observées (cf. Tableau 45) sont élevées. Ce constat souligne des temps de séjour relativement longs. Nous observons (cf. Tableau 45) que :

- La valeur du 12 décembre 2007 (9 UT) correspond au mélange d'eaux anciennes qui se seraient infiltrées en 2006
- La valeur du 21 avril 2009 (8.4 UT) provient probablement du mélange d'eaux anciennes infiltrées durant l'année 2008
- La valeur du 30 septembre 2009 (9.1 UT) provient probablement du mélange d'eaux anciennes infiltrées durant l'année 2008

La valeur moyenne en oxygène 18 des 3 analyses de 2009 (moyenne de -10.54 ‰) est appauvrie par rapport à la moyenne des sources (moyenne de -10.45 ‰). L'écart entre la valeur la plus appauvrie et la valeur la plus enrichie est de 1.47 ‰. La valeur la plus enrichie est celle du 2 février 2009 (-9.73 ‰) et la valeur la plus appauvrie est celle du 30 septembre 2009 (-11.2 ‰). En reprenant la température moyenne annuelle (11.5°C à Thonon), le gradient altimétrique de 0.56°C/100 m. et les incertitudes de mesures, l'altitude moyenne de recharge est estimée entre 1320 et 1420 m.

La source de Moises 3

La valeur moyenne en tritium (9.33 UT) est supérieure à la moyenne des sources (7.57 UT). Les valeurs observées (cf. Tableau 45) sont élevées. Ce constat souligne des temps de séjour relativement longs. Nous observons (cf. Tableau 45) que :

- La valeur du 12 décembre 2007 (10 UT) correspond au mélange d'eaux anciennes qui se seraient infiltrées en 2006
- La valeur du 24 avril 2009 (8.3 UT) provient probablement du mélange d'eaux anciennes infiltrées durant l'année 2008
- La valeur du 30 septembre 2009 (9.7 UT) provient probablement du mélange d'eaux anciennes infiltrées durant l'année 2008

La valeur moyenne en oxygène 18 des 2 analyses de 2009 (moyenne de -11.08 ‰) est appauvrie par rapport à la moyenne des sources (moyenne de -10.45 ‰). L'écart entre la valeur la plus appauvrie et la valeur la plus enrichie est de 0.55 ‰. La valeur la plus enrichie est celle du 6 février 2006 (-10.63 ‰) et la valeur la plus appauvrie est celle du 30 septembre 2009 (-11.18 ‰). Cette valeur moyenne permet d'estimer une altitude moyenne de recharge supérieure à 1500 m.

La source du Pont du Mouche

La valeur moyenne en tritium (6.83 UT) est inférieure à la moyenne des sources (7.57 UT). Les valeurs observées (cf. Tableau 45) sont assez faibles surtout celle du

30 septembre 2009. Ce constat souligne des temps de séjour relativement court. Nous observons (cf. Tableau 45) que :

- La valeur du 12 décembre 2007 (7 UT) correspond probablement au mélange des précipitations de septembre (15.5 UT et 84.5 mm de pluie), octobre (4.3 UT et 19 mm de pluie) et novembre 2007 (4.9 UT et 53 mm de pluie)
- La valeur du 21 avril 2009 (7.5 UT) provient du mélange des précipitations de septembre (8.8 UT pour 164 mm de pluie) et octobre 2008 (7.4 UT pour 107 mm de pluie)
- La valeur du 30 septembre 2009 (6 UT) résulte du mélange des précipitations de janvier (5.7 UT pour 59.5 mm de pluie) et février 2009 (6 UT pour 62 mm de pluie)

La valeur moyenne en oxygène 18 des 4 analyses de 2009 (moyenne de -10.51 ‰) est légèrement appauvrie par rapport à la moyenne des sources (moyenne de -10.45 ‰). L'écart entre la valeur la plus appauvrie et la valeur la plus enrichie est de 0.55 ‰. La valeur la plus enrichie est celle du 21 avril 2009 (-10.29 ‰) et la valeur la plus appauvrie est celle du 30 septembre 2009 (-10.84 ‰). En reprenant la température moyenne annuelle (11.5°C à Thonon), le gradient altimétrique de 0.56°C/100 m. et les incertitudes de mesures, l'altitude moyenne de recharge est estimée entre 1310 et 1410 m.

La source de Ramble

La valeur moyenne en tritium (7.1 UT) est inférieure à la moyenne des sources (7.57 UT). Les valeurs observées (cf. Tableau 45) sont assez faibles. Ce constat souligne des temps de séjour relativement court. Nous observons (cf. Tableau 45) que :

- La valeur du 12 décembre 2007 (6.8 UT) provient du mélange des précipitations de septembre (15.5 UT et 84.5 mm de pluie), octobre (4.3 UT et 19 mm de pluie) et novembre 2007 (4.9 UT et 53 mm de pluie)
- La valeur du 21 avril 2009 (7.8 UT) correspond au mélange des précipitations de septembre (8.8 UT pour 164 mm de pluie) et octobre 2008 (7.4 UT pour 107 mm de pluie)
- La valeur du 30 septembre 2009 (6.7 UT) résulte du mélange des précipitations de janvier (5.7 UT pour 59.5 mm de pluie), février (6 UT pour 62 mm de pluie) et mars 2009 (7.8 UT pour 62.5 mm de pluie)

La valeur moyenne en oxygène 18 des 4 analyses de 2009 (moyenne de -10.24 ‰) est enrichie par rapport à la moyenne des sources (moyenne de -10.45 ‰). L'écart entre la valeur la plus appauvrie et la valeur la plus enrichie est de 0.98 ‰. La valeur la plus enrichie est celle du 2 février 2009 (-9.66 ‰) et la valeur la plus appauvrie est celle du 30 septembre 2009 (-10.64 ‰). En reprenant la température moyenne annuelle (11.5°C à Thonon), le gradient altimétrique de 0.56°C/100 m. et les incertitudes de mesures, l'altitude moyenne de recharge est estimée entre 1220 et 1320 m.

4.3.3.3. Conclusions

L'étude des paramètres isotopiques avait pour but de fournir des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Quel est le temps de séjour des eaux souterraines dans les systèmes ?
- Quelle est l'altitude moyenne de recharge des eaux souterraines ?

Le Tableau 46 présente une synthèse des réponses fournies par l'étude des paramètres isotopiques. Les temps de séjour comme les altitudes moyennes de recharge proposés, sont des estimations.

	Temps de séjour	Altitude moyenne de recharge
Arces	Entre 6 mois et 1 an	1235 – 1335
Col du Feu	Entre 2 mois et 6 mois	Supérieur à 1500
Epinguy	Entre 6 mois et 1 an	1270 – 1365
Favrats	Supérieur à 1 an	1150 – 1250
Granges Mamet	Entre 6 mois et 1 an	1190 – 1290
Moises 1	Supérieur à 1 an	1200 – 1300
Moises 2	Supérieur à 1 an	1320 – 1420
Moises 3	Supérieur à 1 an	Supérieur à 1500
Pont du Mouche	Entre 6 mois et 1 an	1310 – 1410
Ramble	Entre 6 mois et 1 an	1220 – 1320

Tableau 46 : Synthèse des interprétations issues de l'étude des paramètres isotopiques

Temps de séjours des eaux souterraines par l'étude du tritium

En première approximation, les résultats des analyses en tritium permettent de distinguer trois groupes d'eaux :

- Lorsque la valeur est supérieure à 8 UT alors les eaux ont un temps de séjour supérieur à 1 an
- Lorsque la valeur en tritium est entre 6 et 8 UT alors les eaux ont un temps de séjour compris entre 6 mois et 1 an
- Lorsque la valeur en tritium est inférieure à 6 UT alors les eaux ont un temps de séjour compris entre 2 mois et 6 mois

Cette approximation révèle un temps de séjour des eaux souterraines :

- Supérieur à 1 an aux Favrats, à Moises 1, à Moises 2 et à Moises 3
- Compris entre 6 mois et 1 an aux Arces, à Epinguy, aux Granges Mamet, au Pont du Mouche et à Ramble
- Compris entre 2 mois et 6 mois au Col du Feu

Altitude moyenne de recharge des eaux souterraines par l'étude de l'oxygène 18

Les analyses isotopiques en oxygène 18 des précipitations récoltées au Col du Feu et à Très le Mont étaient prévues initialement de manière mensuelle mais des actes de vandalisme sur l'équipement ont engendré une absence d'information entre mai et août 2009. C'est pourquoi, l'équation de Siwertz (SIWERTZ, 1973) a été utilisé pour relier les valeurs en oxygène 18 à l'altitude. L'estimation des altitudes moyennes de recharge obtenue est cohérente avec le contexte géologique.

4.5. Estimation de la participation des pôles de mélange à l'exutoire

La présentation qui va suivre reprend le principe de la méthode EMMA (End-Member Mixing Analysis) développée par Christophersen (CHRISTOPHERSEN et al. 1990) et Hooper (HOOPER et al. 1990) qui est basée sur une déconvolution d'hydrogramme à partir de « n » réservoirs. Au vu des lacunes d'informations de débit présentées au paragraphe 3.2, les sources des Arces, des Favrats, de Moises 1, de Moises 2, de Moises 3, du Pont du Mouche et de Ramble ont été retenues pour cette analyse.

4.5.1. Principe de la méthode EMMA

La méthode EMMA repose sur l'idée que les eaux à l'exutoire résultent d'un mélange de plusieurs réservoirs. Ainsi, cette méthode suppose que les réservoirs en question sont chimiquement invariables dans le temps et l'espace vis-à-vis des éléments choisis. Les réservoirs se présentent comme des pôles de mélange et ils sont appelés « *bornes hydrochimiques* ».

La réussite de l'analyse de mélange à plusieurs composantes dépend étroitement de la différenciation des pôles hydrochimiques (AMBROISE, 1998). En pratique, les caractéristiques de chacun des pôles sont malgré tout plus ou moins variables spatialement et temporellement. Cette variabilité se traduit par des incertitudes qui peuvent être estimées en utilisant notamment les simulations dites de Monte-Carlo.

D'un point de vue théorique, la définition des pôles de mélange permet d'estimer quantitativement la proportion de chacun des réservoirs à l'exutoire. Pour de plus amples informations, nous renvoyons le lecteur à la thèse d'hydrogéologie de Garry (GARRY, 2007).

Concrètement, la méthode EMMA nécessite de :

- Réaliser une caractérisation hydrochimique globale par ACP afin de déterminer les paramètres pertinents pour l'estimation de la participation des pôles de mélange à l'exutoire
- Déterminer les valeurs des bornes hydrochimiques afin de caler au mieux le modèle
- Réaliser une simulation afin de quantifier la participation des pôles de mélange à l'exutoire

4.5.2. Caractérisation hydrochimique globale par ACP

4.5.2.1. Objectif de l'ACP

L'ACP (Analyse en Composantes Principales) est une méthode statistique dite factorielle qui détecte les liaisons (ou corrélations) qui peuvent exister entre différents individus (ou paramètres). La technique statistique de l'ACP permet de déceler les sources indépendantes de variations et de les hiérarchiser. Si un grand nombre de paramètres sont bien corrélés entre eux, le premier axe factoriel sera une combinaison de ces paramètres et il se comportera comme un macro-paramètre intégrant toute l'information commune à plusieurs paramètres partiellement redondants.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la méthode EMMA, l'ACP est un outil indispensable pour choisir les paramètres pertinents qui seront utilisés pour quantifier la participation des pôles de mélange à l'exutoire. Pour information, l'ACP que nous avons réalisé dans le paragraphe suivant, a été réalisé avec le logiciel gratuit TANAGRA et disponible sur Internet (<http://chirouble.univ-lyon2.fr/~ricco/tanagra/fr/tanagra.html>).

4.5.2.2. Résultats

L'ACP porte sur 316 individus (38 aux Arces, 37 au Col du Feu, 24 à l'Epinguy, 31 aux Favrats, 36 aux Granges Mamet, 36 à Moises 1, 26 à Moises 2, 33 à Moises 3, 24 au Pont du Mouche et 31 à Ramble) et 11 variables (température, C.E, pH, silice, nitrates, bicarbonates, sulfates, magnésium, calcium, sodium et strontium). Le Tableau 47 présente les valeurs de saturation des variables et totale des 5 premiers axes (axe 1 à axe 5) en pourcentage et en pourcentage cumulé. Nous constatons que :

- L'axe 1 et l'axe 2 absorbe 76 % de la variance totale
- La conductivité électrique, les sulfates, le calcium, le magnésium et le strontium, sont très bien représentés sur l'axe 1 avec des pourcentages supérieurs à 95 %. L'axe 1 se corrèle donc très bien avec des paramètres chimiques représentatifs de la minéralisation totale
- Le pH et les nitrates, sont bien représentés sur l'axe 2 avec des pourcentages supérieurs à 60 %. L'axe 2 se corrèle donc bien avec des paramètres représentatifs de l'activité biologique dans le sol

La Figure 97 présente le cercle de corrélation et le diagramme des individus sur les deux premiers axes factoriels. Sur le cercle de corrélation, nous observons que la dispersion du nuage dans des directions préférentielles est très bien marquée. Les paramètres de la minéralisation totale (conductivité électrique, sulfates, silice, calcium, magnésium, sodium et strontium) se localisent dans la partie droite du plan factoriel Cp1 et les paramètres représentatifs de l'activité des sols (pH et nitrates) se placent dans la partie basse du plan factoriel Cp2.

Dans le diagramme des individus, nous observons que :

- Les individus du Col du Feu se détachent du reste en se plaçant dans la partie gauche du plan factoriel Cp1 (Cp1 forte donc forte minéralisation)
- Les individus du Pont du Mouche se placent au centre du plan factoriel Cp1 (Cp1 modéré donc minéralisation modérée)
- Pour les autres sources (Arces, Epinguy, Favrats, Granges Mamet, Moises 1, Moises 2, Moises 3 et Ramble), les individus se localisent dans la partie droite du plan factoriel Cp1 ce qui signale une faible minéralisation
- Les individus du Pont du Mouche se positionnent dans la partie basse du plan factoriel Cp2 (Cp2 basse donc forte activité biologique des sols)
- Les individus des Arces, de l'Epinguy, des Favrats, de Moises 1 et de Moises 2, se localisent globalement dans la partie basse du plan factoriel Cp2 mais de manière beaucoup moins marqués que les individus du Pont du Mouche
- Les individus du Col du Feu, des Granges Mamet, de Moises 3 et de Ramble, se positionnent quant à eux globalement dans la partie haute du

plan factoriel Cp2 ce qui souligne une faible influence de l'activité biologique des sols

	°C	C.E	pH	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	St ⁺	Variation expliquée
Axe 1	29	95	10	8	0	96	67	95	97	79	95	61
Axe 2	1	0	60	0	73	0	15	1	0	7	1	15
Axe 3	0	1	8	84	10	1	4	1	0	1	1	10
Axe 4	64	1	3	2	4	1	0	2	1	1	2	7
Axe 5	5	0	18	5	11	0	0	0	0	0	0	4

Tableau 47 : Valeurs de saturation des variables sur les 5 premiers axes, en %

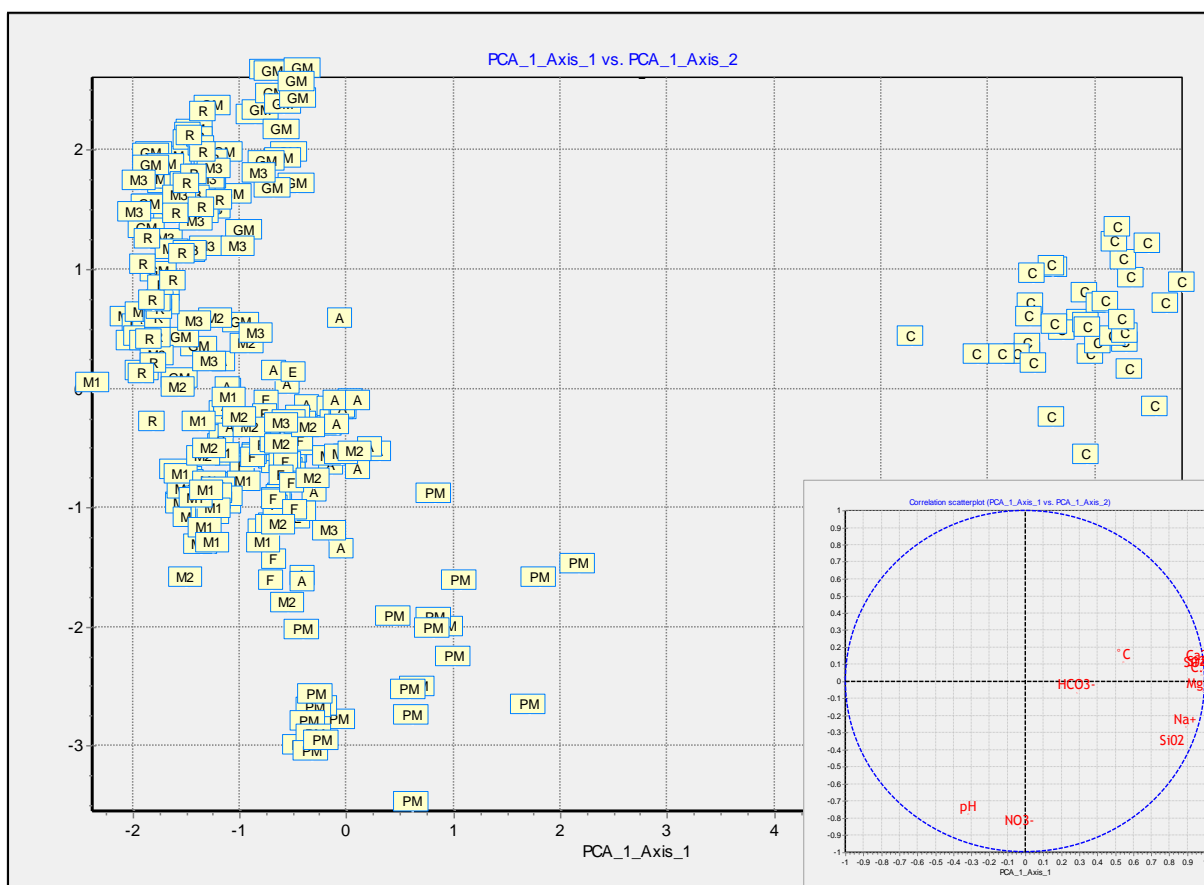


Figure 97 : Cercle de corrélation et diagramme des individus (n = 316) sur les axes factoriels 1 et 2 (76 %)

- A : Arces C : Col du Feu E : Epinguy F : Favrats GM : Granges Mamet
- M1 : Moises 1 M2 : Moises 2 M3 : Moises 3
- PM : Pont du Mouche R : Ramble

4.5.3. Choix des paramètres, détermination et caractéristiques des pôles de mélange

Plusieurs difficultés rendent délicat le choix des paramètres, la détermination et les caractéristiques des pôles de mélange. Parmi ces difficultés, nous notons notamment la superficie du bassin d'alimentation (environ 10 km²), l'hétérogénéité morphologique et climatique du massif mais aussi et surtout la caractérisation des

pôles de mélange. Pour définir au mieux les bornes hydrochimiques, il est préférable de caler le modèle sur une période alliant à la fois de très forts débits engendrés par de fortes précipitations mais aussi des étiages prononcés afin de prendre en compte la plus grande variabilité possible des conditions climatiques et hydrodynamiques dominant les systèmes.

Influence du contexte climatique : représentativité de l'année 2009

L'année hydrologique de 2009 présente un déficit pluviométrique conséquent, de l'ordre de 23 % par rapport aux moyennes des 20 dernières années. Elle s'intègre dans une succession d'années globalement déficitaires entre 2003 et 2009 puisque la moyenne des écarts enregistrés sur ces sept années est de - 86 mm (par rapport à la moyenne calculée sur les 20 dernières années à la station météorologique de l'INRA à Thonon) et ce malgré trois années (de 2006 à 2008) légèrement excédentaires. Mais l'année hydrologique de 2009 présente deux événements intéressants pour le calage des bornes hydrochimiques, à savoir :

- Un processus de fusion nivale rapide et conséquent en avril
- De fortes précipitations tombées à en novembre et en décembre avec un cumul de près de 275 mm.

Ainsi, l'année hydrologique de 2009 présente un double avantage pour le calage des bornes hydrochimiques car elle offre d'une part deux épisodes de fortes crues (en avril et en décembre) et d'autre part un étiage sévère à la fin de l'automne.

Choix des paramètres

Au vu des résultats de l'ACP que nous avons effectué dans le paragraphe précédent, il nous semble pertinent de choisir le magnésium et les nitrates. Ce choix est également motivé du fait que :

- Le magnésium représente un indicateur du temps de séjours des eaux souterraines dans les systèmes hydrogéologiques (BATIOT, 2003 ; GARRY, 2007). Ainsi, le suivi de l'évolution de ce paramètre permet de récolter des informations sur la fonction « *capacitive* » des systèmes hydrogéologiques
- Si nous considérons que l'ensemble du massif est peu soumis à l'influence anthropique et que l'encaissant est dépourvu de nitrates alors les nitrates sont donc essentiellement produit par la nature du couvert végétal, l'épaisseur et le type de sol. Ainsi, le suivi de l'évolution de ce paramètre permet de récolter des informations sur la fonction « *transmissive* » des systèmes hydrogéologiques

Détermination et caractéristiques des pôles de mélange

La Figure 98 présente la relation Magnésium – Nitrates à l'exutoire des sources. Nous observons clairement que les individus de la source du Pont du Mouche présentent des concentrations en magnésium supérieures aux autres sources. Ce constat nous amène à distinguer dans la définition des valeurs des pôles de mélange les sources bicarbonatées calciques (Arces, Favrats, Moises 1, Moises 2, Moises 3 et Ramble) de la source bicarbonatée calcique et magnésienne (Pont du Mouche).

Pour les sources bicarbonatées calciques, nous obtenons trois pôles dont le premier est marqué par une faible concentration en magnésium (0.5 mg/l) et une faible teneur en nitrates (0.5 mg/l), un deuxième marqué par une concentration élevée en magnésium (20 mg/l) et une faible valeur en nitrates (0.5 mg/l) et enfin un troisième caractérisé par une concentration faible en magnésium (0.5 mg/l) et une forte teneur en nitrates (15 mg/l). Pour la source bicarbonatée calcique et magnésienne, nous déterminons trois pôles dont le premier est marqué par une faible concentration en magnésium (0.5 mg/l) et une faible teneur en nitrates (0.5 mg/l), un deuxième marqué par une concentration forte en magnésium (40 mg/l) et une faible valeur en nitrates (0.5 mg/l) et enfin un troisième caractérisé par une concentration moyenne en magnésium (20 mg/l) et une forte teneur en nitrates (15 mg/l).

Les caractéristiques du pôle 1 (faibles valeurs en magnésium et en nitrates) ne permettent pas de définir avec précision la nature de ce réservoir. Néanmoins, deux hypothèses peuvent être émises surtout si nous considérons la lente cinétique de mise en solution du magnésium. La première hypothèse consiste à considérer le pôle 1 comme un réservoir distribuant une eau récente n'ayant traversé aucun horizon pédologique expliquant ainsi les faibles teneurs en magnésium et en nitrates. La seconde hypothèse privilégie l'idée d'une alimentation directe de l'exutoire par les eaux de précipitations. Pour faciliter la lecture des paragraphes suivants, nous appellerons donc le pôle 1, « *pôle pluie* ». Pour fixer les valeurs du pôle de mélange, nous nous sommes appuyés sur les valeurs observées dans les eaux de pluie. Ainsi, il nous est apparu cohérent de définir les valeurs de 0.5 mg/l pour les nitrates et le magnésium.

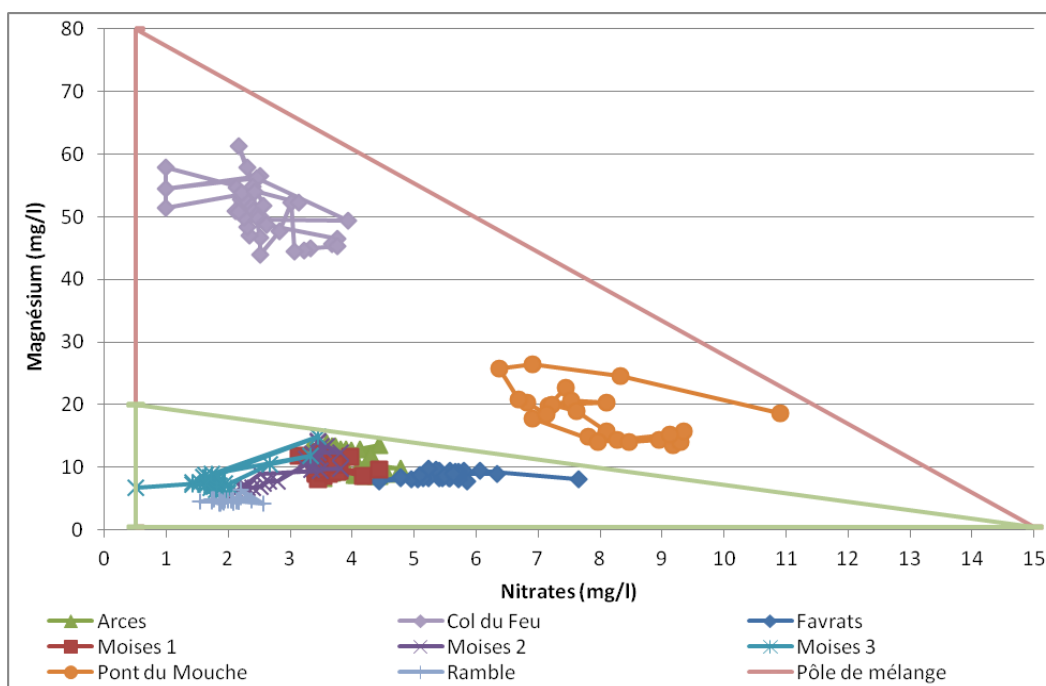


Figure 98 : Relation Magnésium – Nitrates à l'exutoire et détermination des pôles de mélanges des sources bicarbonatées calciques et des sources bicarbonatées calciques et magnésiennes

Les caractéristiques du pôle 2 (valeurs faibles en magnésium et valeurs fortes en nitrates) ne permettent pas de définir avec précision la nature de ce réservoir. Là-aussi, deux hypothèses peuvent être émises surtout si nous considérons la lente

cinétique de mise en solution du magnésium. La première hypothèse consiste à considérer le pôle 2 comme un réservoir distribuant une eau ayant uniquement traversé un horizon pédologique expliquant ainsi les faibles teneurs en magnésium et les fortes teneurs en nitrates. La seconde hypothèse privilégie l'idée d'une alimentation par un réservoir pauvre en magnésium et distribuant une eau récente et ayant traversé un horizon pédologique. D'une certaine manière, le pôle 2 représente la fonction transmissive des systèmes hydrogéologiques. C'est pourquoi, nous appellerons le pôle 2, « *pôle transmissif* ». Au vu des mesures effectuées et de la qualité des sols du site d'étude, il nous est apparu cohérent de fixer pour le pôle 2, une valeur en nitrates de 15 mg/l et une valeur en magnésium de 0.5 mg/l.

Dans notre étude, les caractéristiques du pôle 1 et les caractéristiques du pôle 2 nous ont permis de caractériser et de quantifier la participation à l'écoulement à l'exutoire de la zone non saturée.

Les caractéristiques du pôle 3 (fortes valeurs en magnésium et faibles concentrations en nitrates) définissent vraisemblablement la fonction capacitive des systèmes hydrogéologiques comprenant la zone noyée mais également des réservoirs de type « *suspendus* ». Nous appellerons donc ce pôle, « *pôle capacitif* ». Au vu des mesures effectuées, du faciès des eaux souterraines et de la localisation des individus de la source du Col du Feu (cf. Figure 98), il nous est apparu cohérent de définir la valeur de 20 mg/l pour les sources bicarbonatées calciques et la valeur de 80 mg/l pour la source bicarbonatée calcique et magnésienne.

4.5.4. Quantification de la participation à l'exutoire des pôles

Les paragraphes suivants présentent source par source les résultats des simulations de la déconvolution des hydrogrammes par les nitrates et le magnésium. Nous tenons à informer le lecteur que les résultats des simulations se basent sur une définition aléatoire de la position des bornes hydrochimiques et que la variabilité spatiales et temporelles des pôles n'ont pas été quantifié en termes d'incertitudes.

Les résultats des simulations de la déconvolution des hydrogrammes sont présentées sous la forme de trois périodes. La première période s'étale du début de l'année au pic de crue, la seconde période correspond à la courbe de tarissement et la troisième période s'étend de la fin du tarissement à la fin de l'année.

Source des Arces

La Figure 99 présente la déconvolution obtenue sur les échantillons mesurés en 2009, à la source des Arces. Les proportions d'eau écoulée à l'exutoire issue des bornes hydrochimiques sont reportées dans le Tableau 48. Sur l'ensemble de l'année, la participation à l'écoulement de la zone non saturée est de 45 %. La contribution du « *pôle transmissif* » est celle qui varie le moins avec un coefficient de variation de 9 % suivi de la contribution du « *pôle capacitif* » avec un coefficient de variation de 16 %. La contribution du « *pôle pluie* » est celle qui varie le plus avec un coefficient de variation de l'ordre de 38 %.

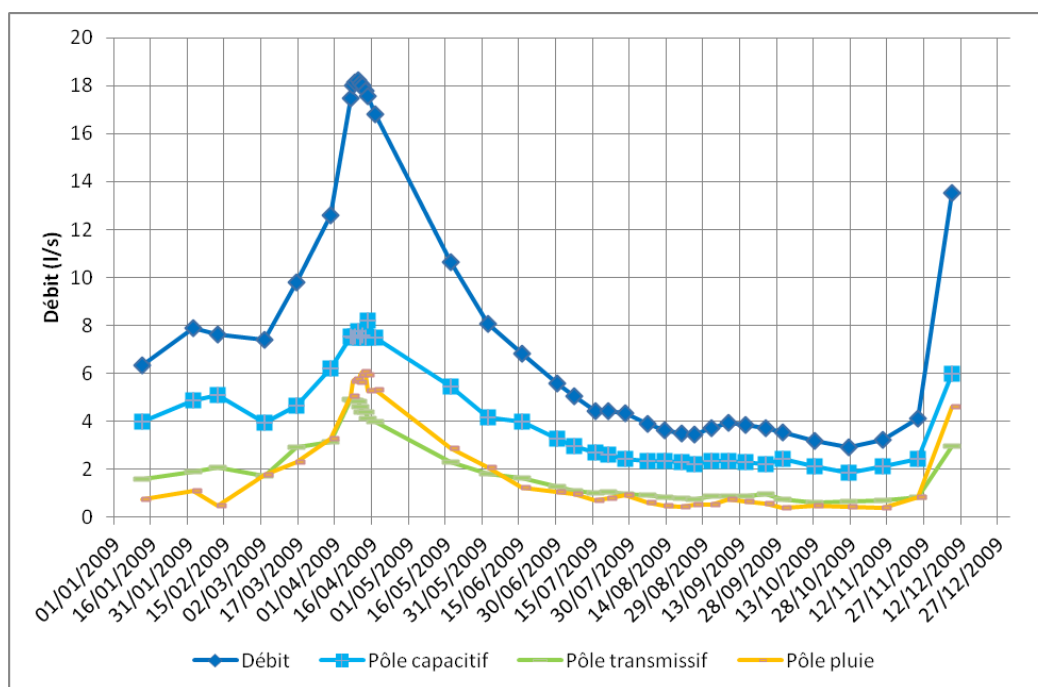


Figure 99 : Déconvolution du signal enregistré à la source des Arces par les traceurs Magnésium – Nitrates, en 2009

		Pôle capacitif	Pôle pluie	Pôle transmissif
Du 1 ^{er} janvier au 31 décembre	Participation moyenne	55.2 %	21.1 %	23.7 %
	Ecart type	8.92	7.97	2.21
	Coefficient de variation	16.1 %	37.8 %	9.3 %
Du 1 ^{er} janvier au 17 avril	Participation moyenne	48.5 %	25.9 %	25.6 %
Du 18 avril au 27 octobre	Participation moyenne	60.4 %	17 %	22.6 %
Du 28 octobre au 31 décembre	Participation moyenne	56.4 %	22.1 %	21.5 %

Tableau 48 : Résumé statistique de la déconvolution Magnésium – Nitrates de la source des Arces en 2009, à partir des 3 pôles de mélange

Le 17 avril, lors de la pointe de crue, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 44.6 % pour le pôle « *capacitif* », 31.6 % pour le pôle « *pluie* » et 23.8 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de plus de 55 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire. Le 27 octobre, lors du point bas de l'étiage, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 63 % pour le pôle « *capacitif* », 15.1 % pour le pôle « *pluie* » et 21.9 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de 37 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire.

La contribution du « *pôle capacitif* » est maximum le 30 septembre en période d'étiage, avec 68 % de participation à l'écoulement à l'exutoire et elle est minimum à plusieurs reprises en hautes eaux (7, 8 et 11 avril), avec 41.5 % de participation à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle pluie* » est maximum le 8 décembre après de fortes précipitations (27 mm de pluie observées à Thonon, le jour précédent le prélèvement) avec 34 % de contribution et elle est minimum le 12 février, en période de gel des sols, avec une contribution de 6.2 % à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle transmissif* » est maximum le 7 avril en période

de hautes eaux avec une contribution de 28 % et elle est minimum le 13 octobre en période d'étiage , avec une contribution de 19.5 %.

Source des Favrats

La Figure 100 présente la déconvolution obtenue sur les échantillons mesurés en 2009, à la source des Favrats. Les proportions d'eau écoulee à l'exutoire issue des bornes hydrochimiques sont reportées dans le Tableau 49. Sur l'ensemble de l'année, la participation à l'écoulement de la zone non saturée est près de 58 %. La contribution du « *pôle capacitif* » est celle qui varie le moins avec un coefficient de variation de moins de 8 % suivi de la contribution du « *pôle transmissif* » avec un coefficient de variation de 17 %. La contribution du « *pôle pluie* » est celle qui varie le plus avec un coefficient de variation de plus de 33 %.

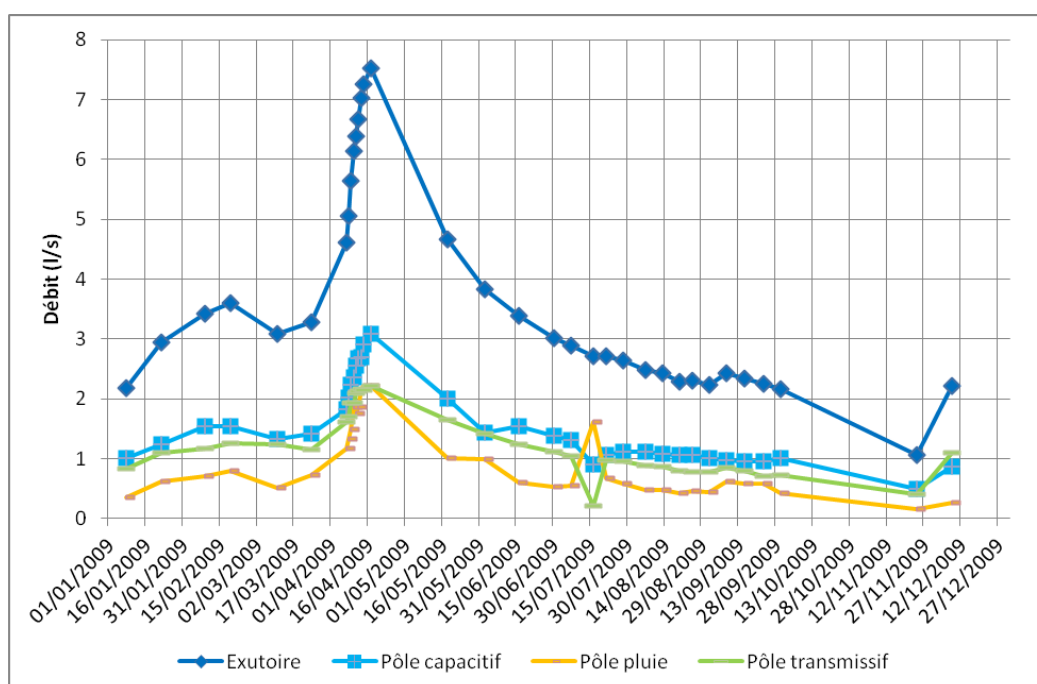


Figure 100 : Déconvolution du signal enregistré à la source des Favrats par les traceurs Magnésium – Nitrates, en 2009

		Pôle capacitif	Pôle pluie	Pôle transmissif
Du 1 ^{er} janvier au 31 décembre	Participation moyenne	42.2 %	23.5 %	34.3 %
	Écart type	3.23	7.89	5.86
	Coefficient de variation	7.7 %	33.5 %	17.1 %
Du 1 ^{er} janvier au 17 avril	Participation moyenne	41.3 %	24.8 %	33.9 %
Du 18 avril au 14 novembre	Participation moyenne	42.9 %	23.5 %	33.6 %
Du 15 novembre au 31 décembre	Participation moyenne	42.6 %	13.6 %	43.9 %

Tableau 49 : Contributions moyennes des 3 pôles de mélange à partir de la déconvolution Magnésium – Nitrates à la source des Favrats, en 2009

Le 17 avril, lors de la pointe de crue, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 41 % pour le pôle « *capacitif* », 29.5 % pour le pôle « *pluie* » et 29.5 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de plus de 59 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire. Le 30 septembre, lors du

point bas de l'étiage, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 46.7 % pour le pôle « *capacitif* », 19.8 % pour le pôle « *pluie* » et 33.5 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de près de 54 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire.

La contribution du « *pôle capacitif* » est maximum le 30 septembre en période d'étiage, avec 47 % de participation à l'écoulement à l'exutoire et elle est minimum le 16 juillet avec 33.2 % de participation à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle pluie* » est maximum le 13 avril en période de hautes eaux avec 31 % de contribution et elle est minimum le 8 décembre après de fortes précipitations (27 mm de pluie observées à Thonon, le jour précédent le prélèvement) avec 11.5 % de contribution à l'écoulement à l'exutoire. Ce minimum du « *pôle pluie* » s'explique du fait de la contribution du « *pôle transmissif* » qui est maximum à cette date avec une contribution de 49.4 %. La participation du « *pôle transmissif* » est minimum le 16 juillet après de fortes précipitations (30 mm de précipitations enregistrées à Thonon du 14 au 16 juillet), avec une contribution de 7.5 %.

Source de Moises 1

La Figure 101 présente la déconvolution obtenue sur les échantillons mesurés en 2009, à la source de Moises1. Les proportions d'eau écoulee à l'exutoire issue des bornes hydrochimiques sont reportées dans le Tableau 50. Sur l'ensemble de l'année, la participation à l'écoulement de la zone non saturée est de moins de 53 %. La contribution du « *pôle transmissif* » est celle qui varie le moins avec un coefficient de variation de 7.5 % suivi de près par la contribution du « *pôle capacitif* » avec un coefficient de variation de 9.9 %. La contribution du « *pôle pluie* » est celle qui varie le plus avec un coefficient de variation de l'ordre de 15.4 %.

Le 21 avril, lors de la pointe de crue, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 38.5 % pour le pôle « *capacitif* », 41.2 % pour le pôle « *pluie* » et 20.3 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de près de 62 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire. Le 10 novembre, lors du point bas de l'étiage, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 50.8 % pour le pôle « *capacitif* », 26.8 % pour le pôle « *pluie* » et 22.4 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de 49 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire.

La contribution du « *pôle capacitif* » est maximum le 28 juillet une dizaine de jours après de fortes précipitations (65 mm de précipitations enregistrées à Thonon du 14 au 17 juillet). Ce maximum de contribution du « *pôle capacitif* » se complète avec le minimum observé du « *pôle pluie* » à la même date avec 18.9 % de contribution à l'écoulement à l'exutoire. Ces informations traduisent selon nous un effet de chasse de la zone saturée après les fortes précipitations enregistrées une dizaine de jours auparavant.

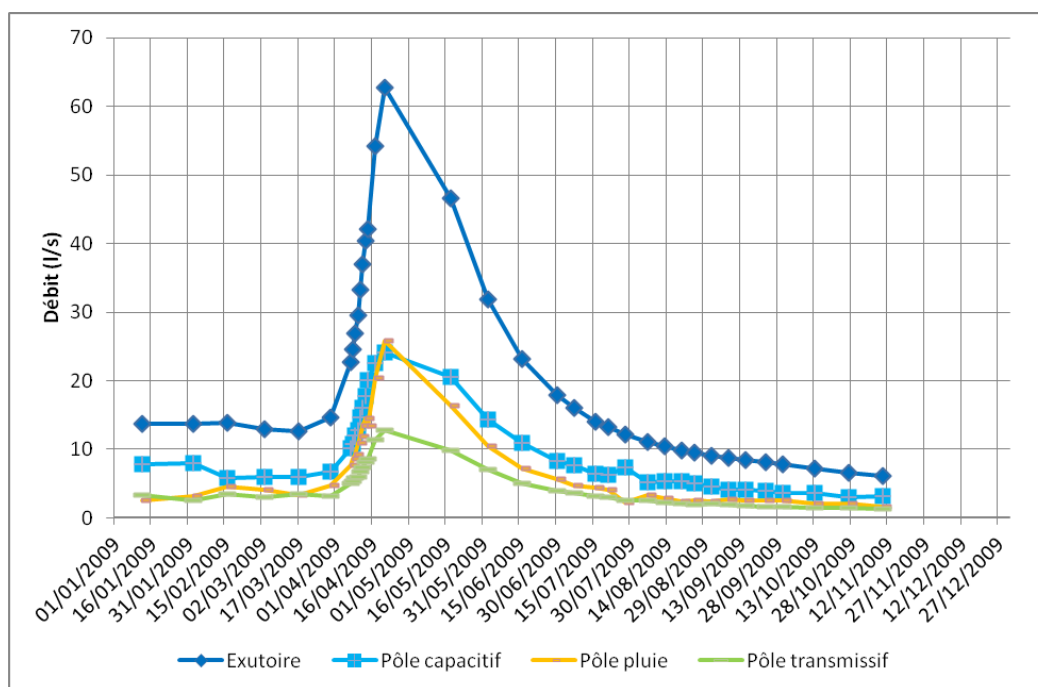


Figure 101 : Déconvolution du signal enregistré à la source de Moises 1 par les traceurs Magnésium – Nitrates, en 2009

		Pôle capacitif	Pôle pluie	Pôle transmissif
Du 1 ^{er} janvier au 18 novembre	Participation moyenne	47.4 %	31 %	21.6 %
	Ecart type	4.7	4.8	1.6
	Coefficient de variation	9.9 %	15.4 %	7.5 %
Du 1 ^{er} janvier au 21 avril	Participation moyenne	45.6 %	32.7 %	21.6 %
Du 22 avril au 18 novembre	Participation moyenne	48.8 %	29.6 %	21.6 %

Tableau 50 : Contributions moyennes des 3 pôles de mélange à partir de la déconvolution Magnésium – Nitrates à la source de Moises 1, en 2009

La contribution du « *pôle capacitif* » est minimum le 21 avril en période de crue, avec 38.5 % de participation à l'écoulement à l'exutoire. Ce minimum du « *pôle capacitif* » s'explique par le maximum du « *pôle pluie* » observé à la même date avec 41.2 % de contribution à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle transmissif* » est maximum le 17 mars au début de la fusion nivale printannière avec une contribution de 27 % et elle est minimum le 2 février en période de gels des sols, avec une contribution de 18.2 %.

Source de Moises 2

La Figure 102 présente la déconvolution obtenue sur les échantillons mesurés en 2009, à la source de Moises 2. Les proportions d'eau écoulee à l'exutoire issue des bornes hydrochimiques sont reportées dans le Tableau 51. Sur l'ensemble de l'année, la participation de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire est de 47.5 %. La contribution du « *pôle transmissif* » est celle qui varie le moins avec un coefficient de variation de 19.5 % suivi de la contribution du « *pôle capacitif* » avec un coefficient de variation de 28 %. La contribution du « *pôle pluie* » est celle qui varie le plus avec un coefficient de variation de l'ordre de 60.5 %.

Le 7 avril, lors de la pointe de crue, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 29.2 % pour le pôle « *capacitif* », 59.5 % pour le pôle « *pluie* » et 11.2 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de plus de 70 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire. Le 10 novembre, lors du point bas de l'étiage, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 64 % pour le pôle « *capacitif* », 16.4 % pour le pôle « *pluie* » et 19.5 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de 36 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire.

La contribution du « *pôle capacitif* » est maximum le 13 octobre en période d'étiage, avec 72 % de participation à l'écoulement à l'exutoire et elle est minimum le 7 avril en hautes eaux, avec moins de 23.8 % de participation à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle pluie* » est maximum le 7 avril en période de hautes eaux avec 59.5 % de contribution et elle est minimum le 30 septembre, en période d'étiage, avec une contribution de près de 8 % à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle transmissif* » est maximum le 28 juillet avec une contribution de près de 23 % et elle est minimum le 7 avril en crue, avec une contribution de près de 11 %.

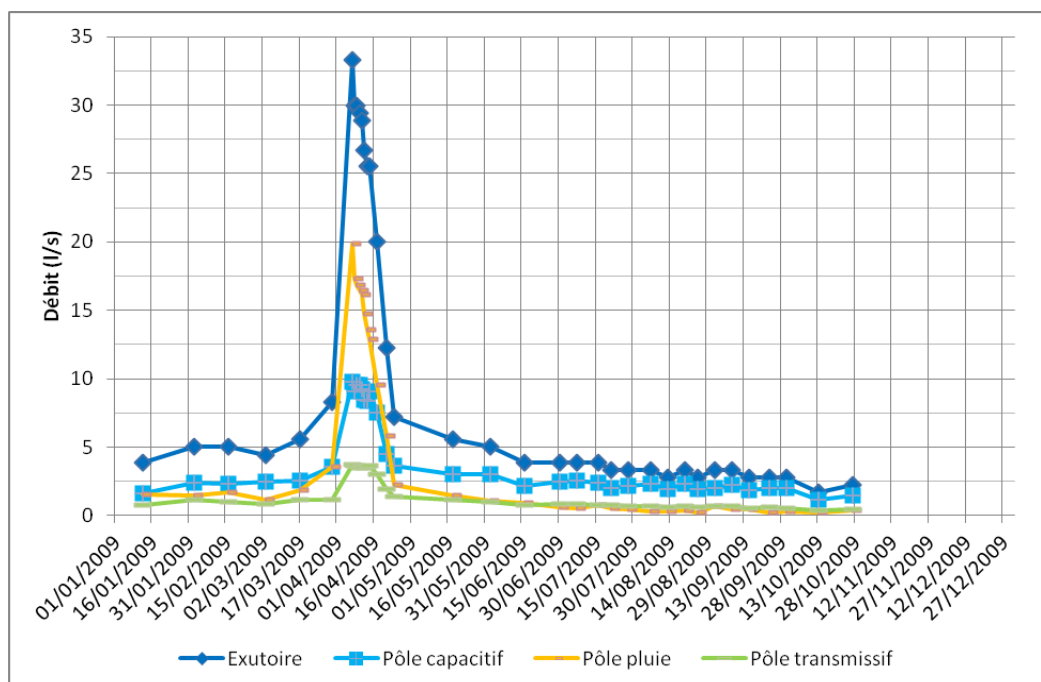


Figure 102 : Déconvolution du signal enregistré à la source de Moises 2 par les traceurs Magnésium – Nitrates, en 2009

		Pôle capacitif	Pôle pluie	Pôle transmissif
Du 1 ^{er} janvier au 18 novembre	Participation moyenne	52.5 %	29.3 %	18.2 %
	Ecart type	14.6	17.7	3.6
	Coefficient de variation	27.9 %	60.5 %	19.5 %
Du 1 ^{er} janvier au 7 avril	Participation moyenne	44.2 %	37.7 %	18.1 %
Du 8 avril au 18 novembre	Participation moyenne	54.5 %	27.3 %	18.2 %

Tableau 51 : Contributions moyennes des 3 pôles de mélange à partir de la déconvolution Magnésium – Nitrates à la source de Moises 2, en 2009

Source de Moises 3

La Figure 103 présente la déconvolution obtenue sur les échantillons mesurés en 2009, à la source de Moises 3. Les proportions d'eau écoulee à l'exutoire issue des bornes hydrochimiques sont reportées dans le Tableau 52. Sur l'ensemble de l'année, la participation à l'écoulement de la zone non saturée s'élève à plus de 64 %.

Le 17 avril, lors de la pointe de crue, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 31.8 % pour le pôle « *capacitif* », 57.6 % pour le pôle « *pluie* » et 10.6 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de plus de 68 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire. Le 13 octobre, lors du point bas de l'étiage, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 43.6 % pour le pôle « *capacitif* », 48 % pour le pôle « *pluie* » et 8.4 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de 57 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire.

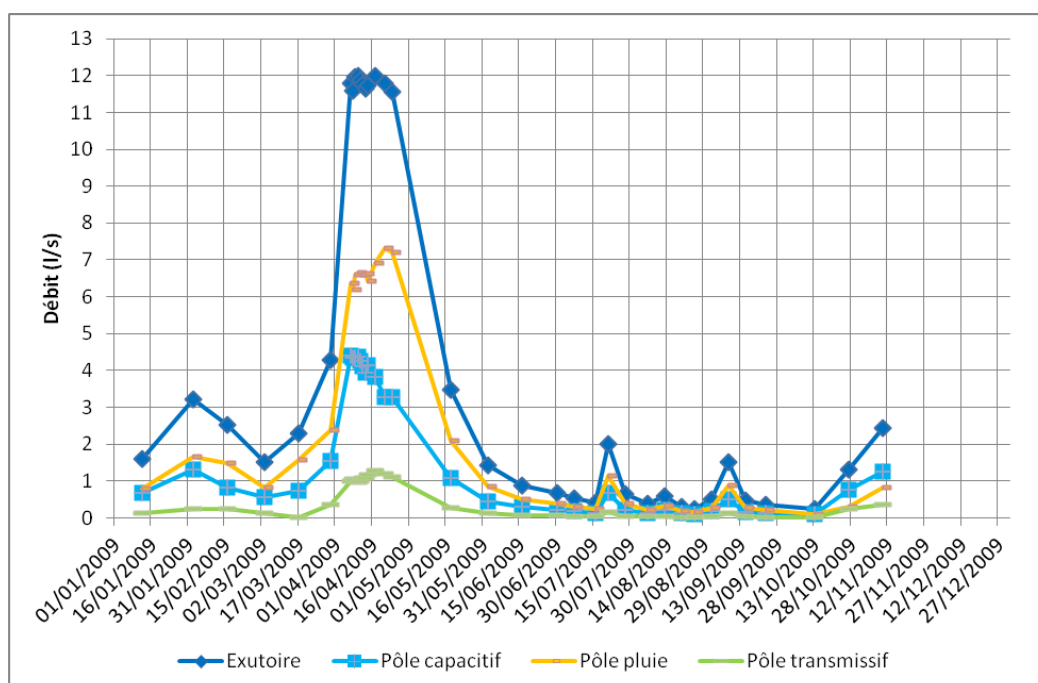


Figure 103 : Déconvolution du signal enregistré à la source de Moises 3 par les traceurs Magnésium – Nitrates, en 2009

		Pôle capacitif	Pôle pluie	Pôle transmissif
Du 1 ^{er} janvier au 31 décembre	Participation moyenne	35.9 %	55.3 %	8.8 %
	Ecart type	5.73	7.71	2.71
	Coefficient de variation	16 %	14 %	30.8 %
Du 1 ^{er} janvier au 17 avril	Participation moyenne	35.9 %	55.8 %	8.3 %
Du 18 avril au 18 octobre	Participation moyenne	33.8 %	57.8 %	8.4 %
Du 19 octobre au 18 novembre	Participation moyenne	54.9 %	27.9 %	17.2 %

Tableau 52 : Contributions moyennes des 3 pôles de mélange à partir de la déconvolution Magnésium – Nitrates à la source de Moises 3, en 2009

La contribution du « *pôle capacitif* » est maximum le 27 octobre en période d'étiage, avec plus de 58 % de participation à l'écoulement à l'exutoire et elle est minimum le 21 avril en hautes eaux avec moins de 28 % de participation à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle pluie* » est maximum le 17 mars au début de la fusion nivale printanière avec 68.2 % de contribution et elle est minimum le 27 octobre en période d'étiage avec une contribution de près de 22 % à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle transmissif* » est maximum le 27 octobre avec une contribution de plus de 19 % et elle est minimum le 17 mars avec une contribution de moins de 11 %.

Source du Pont du Mouche

La Figure 104 présente la déconvolution obtenue sur les échantillons mesurés en 2009, à la source du Pont du Mouche. Les proportions d'eau écoulee à l'exutoire issue des bornes hydrochimiques sont reportées dans le Tableau 53. Sur l'ensemble de l'année, la participation à l'écoulement de la zone non saturée s'élève à plus de 75 %.

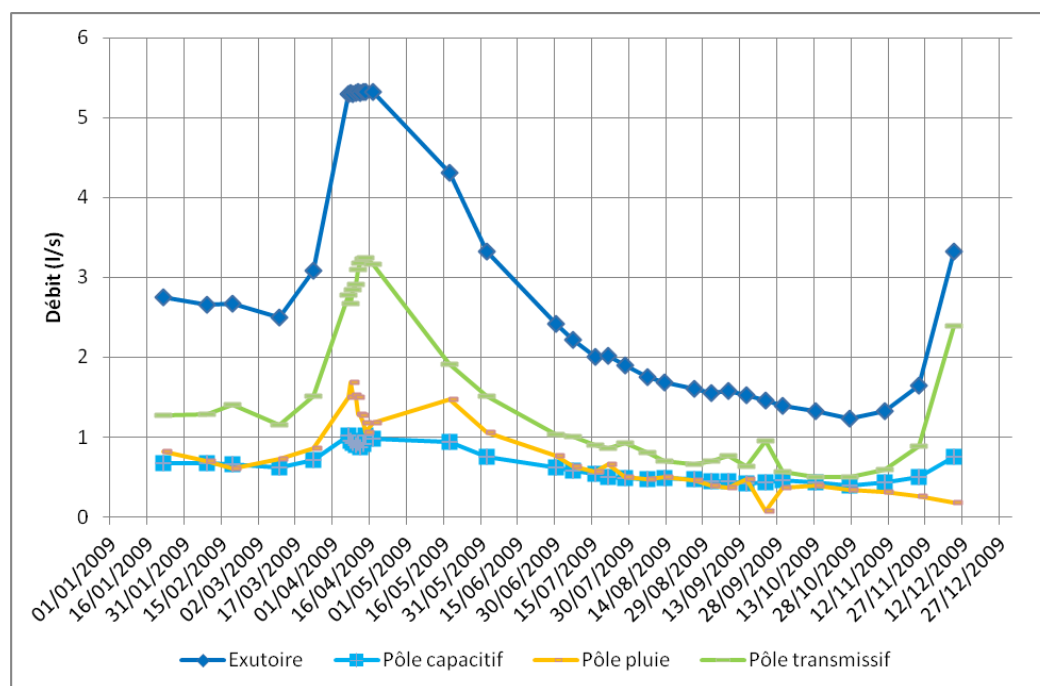


Figure 104 : Déconvolution du signal enregistré à la source du Pont du Mouche par les traceurs Magnésium – Nitrates, en 2009

		Pôle capacitif	Pôle pluie	Pôle transmissif
Du 1 ^{er} janvier au 31 décembre	Participation moyenne	24.6 %	25.8 %	49.6 %
	Ecart type	5.03	6.5	8.02
	Coefficient de variation	20.4 %	25.2 %	16.2 %
Du 1 ^{er} janvier au 12 avril	Participation moyenne	20.7 %	27.3 %	52 %
Du 13 avril au 1 ^{er} novembre	Participation moyenne	26.2 %	26.6 %	47.2 %
Du 2 novembre au 31 décembre	Participation moyenne	28.6 %	14.8 %	56.6 %

Tableau 53 : Contributions moyennes des 3 pôles de mélange à partir de la déconvolution Magnésium – Nitrates à la source du Pont du Mouche, en 2009

Le 12 avril, lors de la pointe de crue, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 16.4 % pour le pôle « *capacitif* », 23.8 % pour le pôle « *pluie* » et 59.8 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de plus de 84 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire. Le 1^{er} novembre, lors du point bas de l'étiage, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 31.7 % pour le pôle « *capacitif* », 27.8 % pour le pôle « *pluie* » et 40.5 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de 68 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire.

La contribution du « *pôle capacitif* » est maximum le 30 septembre et le 1 novembre en période d'étiage, avec près de 33 % de participation à l'écoulement à l'exutoire et elle est minimum le 10 avril en hautes eaux avec moins de 17 % de participation à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle pluie* » est maximum le 18 mai après de fortes précipitations (22 mm de précipitations enregistrées à Thonon entre le 12 et le 18 mai) avec plus de 34 % de contribution à l'écoulement à l'exutoire et elle est minimum le 8 décembre avec une contribution de près de 5.5 % à l'écoulement à l'exutoire. A ce même date du 8 décembre, la contribution du « *pôle transmissif* » est maximum avec une contribution de près de 72 % et elle est minimum le 13 octobre avec une contribution de moins de 38 %.

Source de Ramble

La Figure 105 présente la déconvolution obtenue sur les échantillons mesurés en 2009, à la source de Ramble. Les proportions d'eau écoulee à l'exutoire issue des bornes hydrochimiques sont reportées dans le Tableau 54. Sur l'ensemble de l'année, la participation à l'écoulement de la zone non saturée s'élève à plus de 78 %.

Le 13 avril, lors de la pointe de crue, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 20.5 % pour le pôle « *capacitif* », 68.2 % pour le pôle « *pluie* » et 11.3 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de plus de 79 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire. Le 27 octobre, lors du point bas de l'étiage, la déconvolution du signal donne une contribution instantanée moyenne de 20 % pour le pôle « *capacitif* », 70 % pour le pôle « *pluie* » et 10 % pour le pôle « *transmissif* », soit une contribution de 80 % de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire.

La contribution du « *pôle capacitif* » est maximum le 3 mars lorsque les sols sont gelés, avec plus de 30 % de participation à l'écoulement à l'exutoire et elle est minimum le 16 mars (lors du début de la fusion nivale) et le 8 septembre (quelques jours après 38 mm de précipitations enregistrés à Thonon du 1^{er} au 4 septembre) avec moins de 19 % de participation à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle pluie* » est maximum le 23 septembre avec plus de 72 % de contribution à l'écoulement à l'exutoire et elle est minimum le 3 mars en période hivernale avec une contribution de près de 58 % à l'écoulement à l'exutoire. La contribution du « *pôle transmissif* » est maximum le 16 mars au début de la fusion nivale printanière avec une participation de plus de 14 % à l'écoulement à l'exutoire et elle est minimum le 23 septembre en période d'étiage, avec une contribution de 7 %.

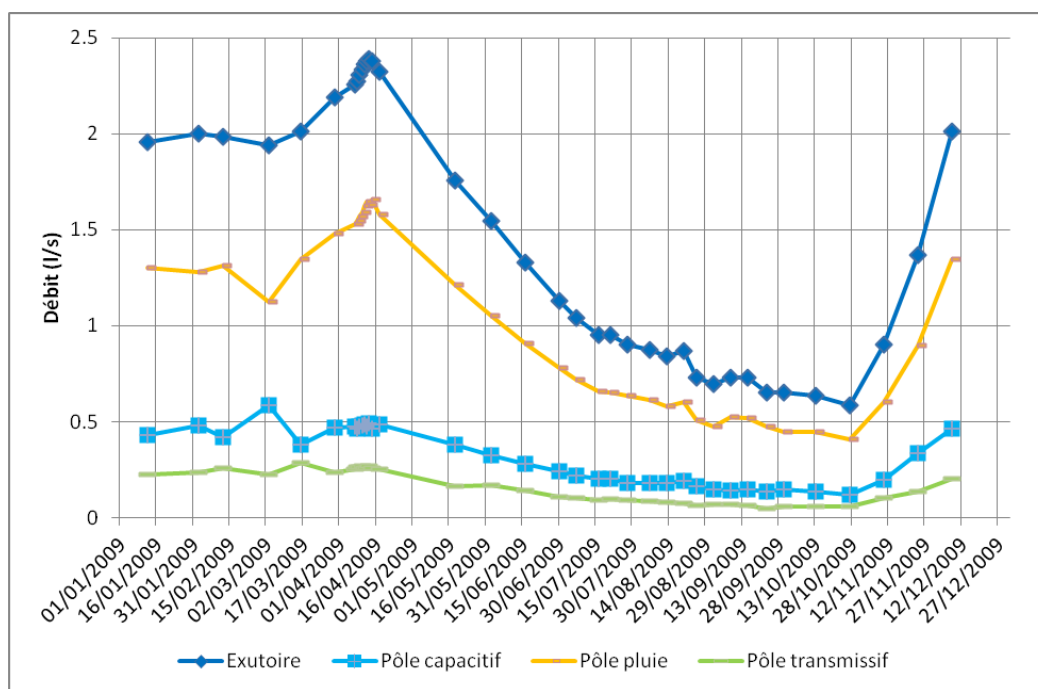


Figure 105 : Déconvolution du signal enregistré à la source de Ramble par les traceurs Magnésium – Nitrates, en 2009

		Pôle capacitif	Pôle pluie	Pôle transmissif
Du 1 ^{er} janvier au 31 décembre	Participation moyenne	21.4 %	68.2 %	10.4 %
	Ecart type	1.91	2.37	1.34
	Coefficient de variation	9 %	3.5 %	13 %
Du 1 ^{er} janvier au 13 avril	Participation moyenne	21.6 %	66.7 %	11.7 %
Du 14 avril au 28 octobre	Participation moyenne	21 %	69.5 %	9.5 %
Du 29 octobre au 31 décembre	Participation moyenne	23.2 %	66.4 %	10.4 %

Tableau 54 : Contributions moyennes des 3 pôles de mélange à partir de la déconvolution Magnésium – Nitrates à la source de Ramble, en 2009

4.5.5. Conclusions

La détermination et les caractéristiques des pôles de mélange ont permis de distinguer deux sous-ensembles, à savoir d'un côté la zone non saturée et de l'autre, la zone noyée. Les déconvolutions réalisées ont abouti à une estimation de la participation des deux sous-ensembles à l'écoulement à l'exutoire. Les principaux résultats issus des déconvolutions sont présentés dans le Tableau 55.

De manière générale, la participation moyenne de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire est notoire pour l'ensemble des sources, variant de 45 % à la source des Arces à plus de 78 % à la source de Ramble. Dans le détail, nous distinguons deux types de sources, à savoir :

- Les sources pour lesquelles la participation de la zone non saturée joue un rôle fondamental dans le soutien aux débits d'étiage. Il s'agit notamment des sources des Favrats (minimum de 53 % de participation), de Moises 3 (minimum de 68 % de participation), du Pont du Mouche (minimum de 67 % de participation) et de Ramble (minimum de 69 % de participation)

- Les sources pour lesquelles la participation de la zone non saturée joue un rôle moindre dans le soutien aux débits d'étiage. Il s'agit de la source des Arces (minimum de 31 % de participation), de Moises 1 (minimum de 39 % de participation) et de Moises 2 (minimum de 28 % de participation)

		Participation zone noyée	Participation zone non saturée
Arces	Participation moyenne	55.2 %	44.8 %
	Maximum zone non saturée	41.5 %	58.5 %
	Date	7, 8 et 11 avril	
	Minimum zone non saturée	68.2 %	31.8 %
	Date	30 septembre	
Favrats	Participation moyenne	42.2 %	57.8 %
	Maximum zone non saturée	33.2 %	66.8 %
	Date	16 juillet	
	Minimum zone non saturée	46.7 %	53.3 %
	Date	30 septembre	
Moises 1	Participation moyenne	47.4 %	52.6 %
	Maximum zone non saturée	38.5 %	61.5 %
	Date	21 avril	
	Minimum zone non saturée	60.5 %	39.5 %
	Date	28 juillet	
Moises 2	Participation moyenne	52.5 %	47.5 %
	Maximum zone non saturée	29.2 %	70.8 %
	Date	7 avril	
	Minimum zone non saturée	71.8 %	28.2 %
	Date	13 octobre	
Moises 3	Participation moyenne	35.9 %	64.1 %
	Maximum zone non saturée	58.5 %	41.5 %
	Date	27 octobre	
	Minimum zone non saturée	31.8 %	68.2 %
	Date	17 avril	
Pont du Mouche	Participation moyenne	24.6 %	75.4 %
	Maximum zone non saturée	16.4 %	83.6 %
	Date	12 avril	
	Minimum zone non saturée	32.7 %	67.3 %
	Date	30 septembre et 10 novembre	
Ramble	Participation moyenne	21.4 %	78.6 %
	Maximum zone non saturée	19 %	81 %
	Date	8 septembre	
	Minimum zone non saturée	30.3 %	69.7 %
	Date	3 mars	

Tableau 55 : Synthèse des résultats issus des déconvolutions des hydrogrammes des sources

4.6. Caractérisation hydrochimique par ACP

4.6.1. Objectifs

La concentration des paramètres du suivi hydrochimique à l'exutoire est un des signaux (réponse) sortants du système hydrogéologique. La variation dans le temps de ce signal dépend de plusieurs facteurs tels que les variations de l'état hydraulique (débit), les variations saisonnières ou globales du climat, l'éventuelle action anthropique, etc. Le but de ce paragraphe est de détecter, au moyen d'une approche statistique, les facteurs qui influencent la variabilité de la réponse chimique. Pour détecter l'influence respective des différents facteurs sur le comportement chimique des sources, il est nécessaire de rechercher des corrélations entre ceux-ci et la réponse hydrochimique. Nous utiliserons l'analyse en composantes principales en l'appliquant aux paramètres du suivi hydrochimique.

L'analyse en composantes principales a été appliquée aux séries d'analyses de chaque source sur les paramètres du suivi hydrochimique, soit au total 14 paramètres (C.E, pH, HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , COT, O_2 dissous, TAC, TH, Sr^{2+} , SiO_2). La Figure 106 présente le pourcentage de la variance totale des cinq premières composantes principales. La part de la variance totale des cinq premières composantes principales est :

- Supérieure à 85 %, aux sources de Moises 3 (93.8 %), de Moises 2 (92.5 %), des Arces (89.2 %), du Pont du Mouche (88.4 %), des Granges Mamet (85.8 %), des Favrats (85.7 %). Pour ces sources, les cinq premières composantes principales représentent une portion très importante de la variance totale
- Avoisine les 80 % aux sources de Moises 1 (80.5 %), du Col du Feu (78 %) et de Ramble (77.6 %). Pour ces sources, les cinq premières composantes principales représentent une portion importante de la variance totale
- Inférieure à 70 % à la source de l'Épinguy. Pour cette source, les cinq premières composantes principales représentent une portion très moyenne de la variance totale

La structure du nuage sur les différents plans factoriels a été analysée. Seules les analyses du plan factoriel formé par les deux premières composantes principales a permis de détecter des valeurs de saturation des variables supérieures à 50 % (cf. Tableau 56 et Tableau 57).

4.6.2. Signification des axes factoriels

Le Tableau 56 et le Tableau 57 présentent les valeurs de saturation des paramètres sur les axes factoriels 1 (pour le Tableau 56) et 2 (pour le Tableau 57). La lecture des deux tableaux met en évidence :

- Des sources où les paramètres représentatifs de la minéralisation totale (sulfates, calcium, magnésium, sodium, TH, silice et strontium) se corrélient avec la composante principale 1 (valeurs de saturation supérieures à 50 %). Il s'agit des sources des Arces, du Col du Feu, des Favrats, des Granges Mamet, de Moises 1, de Moises 2, de Moises 3 et du Pont du Mouche

- Des sources où les paramètres représentatifs de l'activité biologique des sols (bicarbonates, nitrates et dans une moindre mesure le pH et les nitrates) se corrèle avec la composante principale 1. Il s'agit des sources de l'Epinguy et de Ramble

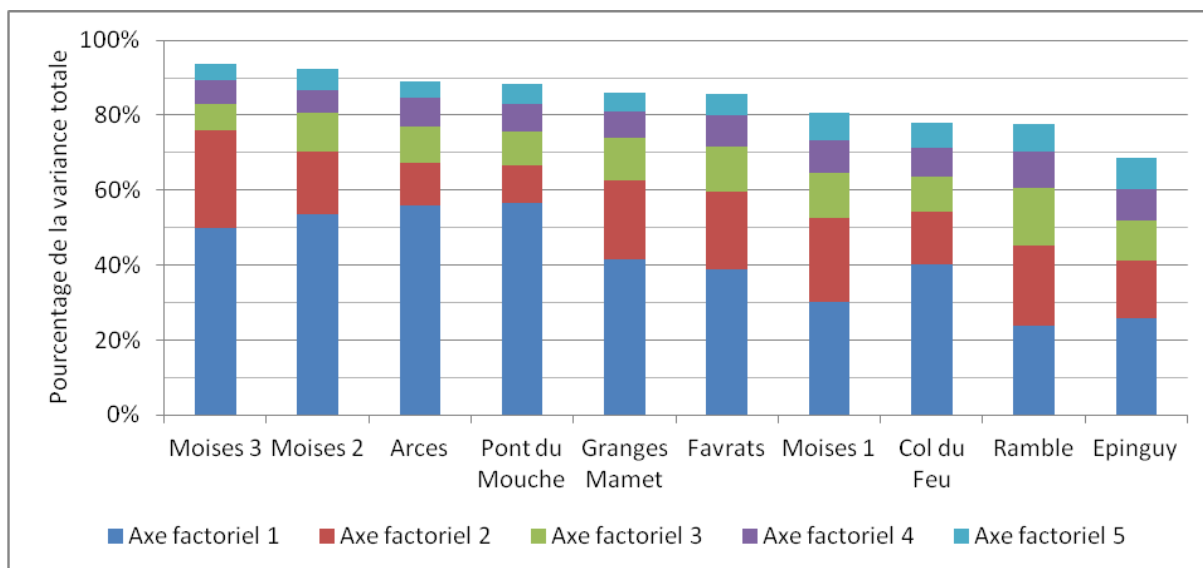


Figure 106 : Pourcentage de la variance totale représenté par les cinq premières composantes principales

	CE	pH	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	COT	O ₂ dissous	TAC	TH	SiO ₂	Si ²⁺
Arces	97	0	2	42	93	56	85	86	1	68	6	85	71	93
Col du Feu	0	16	28	62	64	68	57	52	0	40	58	77	10	29
Epinguy	10	37	52	50	9	5	16	8	31	60	4	38	34	11
Favrats	41	2	8	26	14	3	51	50	6	65	47	50	56	52
Granges Mamet	84	0	28	4	37	65	61	1	18	56	77	70	55	26
Moises 1	0	0	69	9	4	50	75	66	0	1	57	70	12	9
Moises 2	16	14	0	89	95	71	94	91	5	76	3	4	96	97
Moises 3	3	24	15	77	92	73	76	81	11	34	37	10	78	85
Pont du Mouche		15	0	31	94	87	95	95	20	68	15	68	53	95
Ramble	5	58	47	47	37	2	9	4	0	62	21	9	22	11

Tableau 56 : Valeurs de saturation des variables sur l'axe factoriel 1 en pourcentage

La Figure 107 présente les cercles de corrélation des sources entre les deux premières composantes principales. Nous observons que la dispersion du nuage dans des directions préférentielles est :

- Marquée pour les sources des Arces, du Col du Feu, des Favrats, des Granges Mamet, de Moises 2, de Moises 3 et du Pont du Mouche
- Moins marquée pour les sources de l'Epinguy, de Moises 1 et de Ramble

Les constats présentés ci-dessus laissent supposer que le comportement hydraulique des sources de l'Epinguy, de Moises 1 et de Ramble est particulier. Selon nous, les vitesses d'écoulement dans ces systèmes sont plus homogènes ce

qui se traduit par un fort degré d'équilibre chimique des eaux avec les roches encaissantes.

	C.E	pH	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	COT	O ₂ dissous	TAC	TH	SiO ₂	Si ²⁺
Arces	0	26	62	21	1	3	4	7	6	10	14	0	3	1
Col du Feu	70	1	5	7	1	1	9	13	19	2	13	1	52	3
Epinguy	18	9	16	5	6	1	3	56	20	10	32	23	2	10
Favrats	25	32	41	11	28	35	34	3	0	14	22	0	0	27
Granges Mamet	7	6	0	70	44	12	20	4	44	0	2	14	14	56
Moises 1	40	0	0	11	3	32	13	9	11	64	25	4	78	23
Moises 2	38	18	8	3	0	18	3	4	8	11	72	47	2	0
Moises 3	78	7	56	5	4	9	20	10	0	30	56	69	8	11
Pont du Mouche		30	58	7	0	0	0	0	18	3	11	0	5	0
Ramble	0	4	8	23	9	55	66	55	16	17	1	6	0	34

Tableau 57 : Valeurs de saturation des variables sur l'axe factoriel 2 en pourcentage

4.6.3. Diagramme des individus

Afin de détecter une relation fonctionnelle entre la structure du nuage (distribution des individus dans l'espace multidimensionnel) et des facteurs tels que l'état hydraulique du système et/ou les variations climatiques saisonnières, les individus (cf. Figure 108) ont été classés en fonction de l'état hydraulique du système et en fonction de la saison. La structure du nuage sur les différents plans factoriels ont été analysés en fonction des deux classements des individus proposés. Seule l'analyse du plan factoriel formé par les deux premières composantes principales a permis de détecter une structure du nuage qui peut être corrélée aux différentes états hydrauliques des sources. Ce constat signale l'existence prépondérante d'une relation entre la réponse globale chimique et l'état hydraulique.

La lecture de la Figure 108 permet d'observer une relation nette entre l'état hydraulique et la minéralisation des eaux aux sources des Arces, du Col du Feu, des Favrats, des Granges Mamet, de Moises 2 et du Pont du Mouche. Dans le détail, nous observons en crue que les individus se placent :

- Pour les sources des Arces, des Favrats, des Granges Mamet, de Moises 2 et du Pont du Mouche, dans la partie gauche du plan factoriel Cp1 (Cp1 faible donc faible minéralisation)
- Pour la source du Col du Feu, dans la partie droite du plan factoriel Cp1 (Cp1 fort donc faible minéralisation)

Nous interprétons ces observations comme la conséquence de vitesses d'écoulement élevées dans les systèmes ce qui se traduit par un faible degré d'équilibre chimique avec les roches encaissantes. Au fur et à mesure que le débit diminue, des zones à plus faible perméabilité contribuent à la vidange. Des eaux avec des vitesses d'écoulement plus lentes et donc plus minéralisées sont évacuées. Ainsi, les individus se déplacent progressivement :

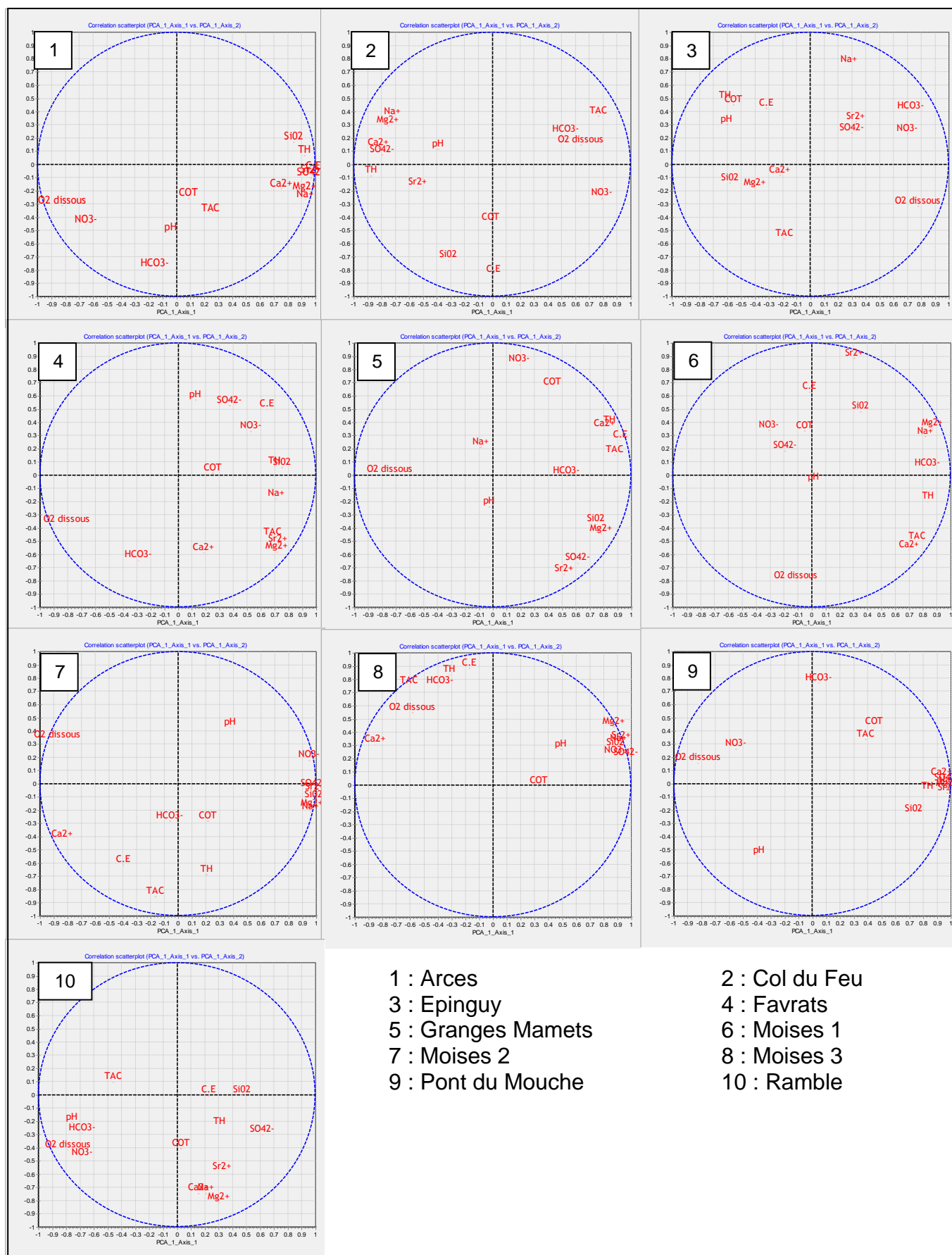
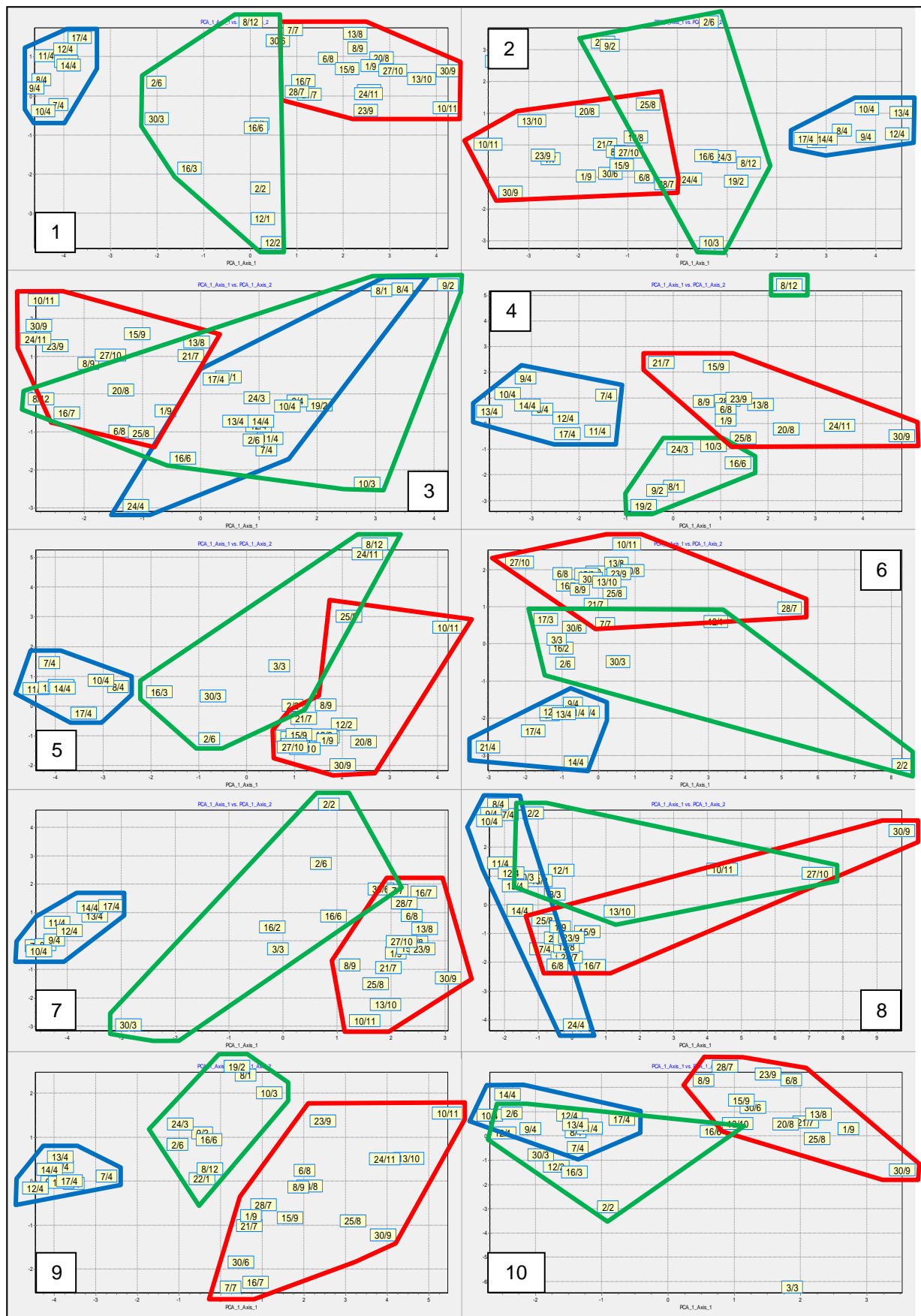


Figure 107 : Cercles de corrélation des sources sur les axes factoriels 1 et 2



1 : Aros 2 : Col du Feu 3 : Epinguy 4 : Favrats 5 : Granges Mamets
 6 : Moises 1 7 : Moises 2 8 : Moises 3 9 : Pont du Mouche 10 : Ramble
 [Blue box] : Période de crue [Green box] : Période de transition [Red box] : Période d'étiage

Figure 108 : Diagramme des individus des sources sur les axes factoriels 1 et 2

- Pour les sources des Arces, des Favrats, des Granges Mamet, de Moises 2 et du Pont du Mouche, vers la droite dans le plan factoriel Cp1 (Cp1 fort donc forte minéralisation)
- Pour la source du Col du Feu, vers la gauche du plan factoriel Cp1 (Cp1 faible donc forte minéralisation)

La séparation du nuage en trois groupes est moins nette pour les sources de l'Epinguy, de Moises 1, de Moises 3 et de Ramble. Pour les sources de l'Epinguy, de Moises 1 et de Ramble, cette observation est probablement dû au fait que le comportement hydraulique des sources est particulier avec des vitesses d'écoulement plus homogènes qu'ailleurs ce qui se traduit par un plus fort degré d'équilibre chimique des eaux avec les roches encaissantes. A Moises 3, cette observation est probablement dû au fait que la source est alimentée par des aquifères distincts avec un pouvoir minéralisateur différent ce qui se traduit par des faciès chimiques différents.

4.6.4. Conclusions

L'Analyse en Composantes Principales de la réponse globale chimique a mis en évidence une relation entre la minéralisation des eaux et l'état hydraulique aux sources des Arces, du Col du Feu (nous le supposons malgré les lacunes d'informations de débit), des Favrats, des Granges Mamet, de Moises 2 et du Pont du Mouche. Pour ces sources, l'effet de l'état hydraulique sur la variabilité des paramètres chimiques est très important et rend difficile la mise en évidence d'effets d'autres facteurs qui pourraient éventuellement influencer la chimie de la source (par exemple des variations climatiques saisonnières ou globales, des activités anthropiques, etc.). A Epinguy, Moises 1, Moises 3 et Ramble, l'Analyse en Composantes Principales de la réponse globale chimique n'a pas mis en évidence une relation entre la minéralisation des eaux et l'état hydraulique. Ce constat laisse envisager :

- Des vitesses d'écoulement plus homogènes qu'ailleurs à l'Epinguy, à Moises 1 et à Ramble
- Une alimentation de la source par deux aquifères distincts ayant un pouvoir minéralisateur différent à Moises 3

4.7. Etude des paramètres sanitaires

L'étude de l'évolution des paramètres sanitaires a pour but de caractériser l'état sanitaire des ressources en eau potable et d'établir des relations statistiques entre les différents paramètres mesurés.

4.7.1. Caractéristiques du suivi sanitaire

Les principales caractéristiques du suivi sanitaire sont résumées sur le Tableau 58. 35 analyses bactériologiques étaient prévues initialement par source et par paramètre mais 28 analyses ont été réalisées du fait du refus du laboratoire d'accepter les prélèvements à partir du jeudi 12h00 au dimanche inclus ainsi que les jours fériés. Les analyses bactériologiques sont accréditées COFRAC.

Période d'observation	Du 1 ^{er} janvier 2009 au 31 décembre 2009
Paramètres pris en compte	Mesure en continu du débit, de la conductivité électrique et de la température Prélèvement suivant périodicité des paramètres suivants : turbidité, Escherichia Coli, entérocoque
Périodicité	Cf. 2.1.3
Nombre d'analyses	Turbidité : 385 Escherichia Coli : 280 Entérocoques : 280

Tableau 58 : Principales caractéristiques du suivi sanitaire

4.7.2. Valeurs observées

Les sources d'Orcier et du Col du Feu

Au Col du Feu (cf. Tableau 59), nous observons sur 28 analyses effectuées, que :

- 14.3 % des échantillons contiennent des Escherichia Coli (maximum dénombré supérieur à 20, le 1^{er} septembre)
- 14.3 % des échantillons contiennent des entérocoques (maximum dénombré à 9, le 8 décembre)
- 0 % des échantillons présentent des eaux turbides (supérieures à 1 FNU)
- 78.6 % des analyses sont conformes aux normes du décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, pour les paramètres analysés

A l'Épinguy (cf. Tableau 60), nous observons sur 28 analyses effectuées, que :

- 14.3 % des échantillons contiennent des Escherichia Coli (maximum dénombré à 19, le 1^{er} septembre)
- 10.7 % des échantillons contiennent des entérocoques (maximum dénombré à 2, le 8 décembre)
- 0 % des échantillons présentent des eaux turbides (supérieures à 1 FNU)
- 82.1 % des analyses sont conformes aux normes du décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, pour les paramètres analysés

Aux Favrats (cf. Tableau 61), nous observons sur 28 analyses effectuées, que :

- 28.6 % des échantillons contiennent des Escherichia Coli (maximum dénombré supérieure à 100, le 25 août)
- 14.3 % des échantillons contiennent des entérocoques (maximum dénombré à 16, le 25 août)
- 0 % des échantillons présentent des eaux turbides (supérieures à 1 FNU)
- 71.4 % des analyses sont conformes aux normes du décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, pour les paramètres analysés

Au Pont du Mouche (cf. Tableau 62), nous observons sur 28 analyses effectuées, que :

- 28.6 % des échantillons contiennent des Escherichia Coli (maximum dénombré à 35, le 8 décembre 2009)
- 14.3 % des échantillons contiennent des entérocoques (1 entérocoque a été dénombré pour chaque analyse contenant des entérocoques)

- 0 % des échantillons présentent des eaux turbides (supérieures à 1 FNU)
- 71.4 % des analyses sont conformes aux normes du décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, pour les paramètres analysés

Date	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Escherichia Coli (N/100 ml)	Entérocoques (N/100 ml)	Turbidité (FNU)
08/01/2009			0	0	0.1
22/01/2009	8.1	993	0	0	0.05
09/02/2009	8.1	1185	0	0	0.1
19/02/2009	8.1	1315	0	0	0.2
10/03/2009	8.1	1337	0	0	0.15
24/03/2009	8.1	1302	0	0	0.1
07/04/2009	8	1237	0	0	0.1
08/04/2009	8	1240	0	0	0.1
14/04/2009	8	1229	0	0	0.2
21/04/2009	8.1	1248	0	0	0.55
18/05/2009	8.1	1315	0	0	0.15
02/06/2009	8.1	975	0	0	0.15
16/06/2009	8.1	1336	0	0	0.05
30/06/2009	8.2	1321	0	0	0.1
07/07/2009	8.2	1306	0	0	0.1
21/07/2009	8.2	1283	0	1	0.1
28/07/2009	8.2	1269	4	0	0.15
25/08/2009	8.2	1086	11	3	0.1
01/09/2009	8.2	1360	> 20	0	0.02
08/09/2009	8.2	1366	0	0	0.05
15/09/2009	8.2	1356	0	0	0.05
23/09/2009	8.2	1252	0	0	0.1
30/09/2009	8.2	1255	0	0	0.05
13/10/2009	8.2	1212	0	0	0.4
27/10/2009	8.2	1335	0	0	0.05
11/11/2009	8.2	1357	0	0	0.01
24/11/2009	8.2	954	0	1	0.1
08/12/2009	8.1	1253	9	6	0.05

Tableau 59 : Valeurs observées pour le suivi sanitaire de la source du Col du Feu

Date	Débit (l/s)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Escherichia Coli (N/100 ml)	Entérocoques (N/100 ml)	Turbidité (FNU)
08/01/2009	3	6.80	434	0	0	0.05
22/01/2009	3.13	6.70	433	0	0	0.05
09/02/2009	3.49	6.80	434	0	0	0.05
19/02/2009	3.74	6.80	434	0	0	0.1
10/03/2009	3.25	6.80	434	0	0	0.2
24/03/2009	3.37	6.80	435	0	0	0.2
07/04/2009				0	0	0.55
08/04/2009				0	0	0.35
14/04/2009				0	0	0.3
21/04/2009				0	0	0.4
18/05/2009	4.63	7.00	437	0	0	0.35
02/06/2009	3.87	7.10	437	0	0	0.2
16/06/2009	3.49	7.10	437	0	0	0.25
30/06/2009	3.13	7.20	437	0	0	0.4
07/07/2009	3.01	7.20	437	0	0	0.2
21/07/2009	2.77	7.20	437	0	0	0.15
28/07/2009	2.53	7.20	438	4	1	0.4
25/08/2009	2.3	7.30	436	0	0	0.45
01/09/2009	2.18	7.30	437	19	0	0.3
08/09/2009	2.18	7.30	439	0	0	0.05
15/09/2009	2.07	7.30	439	0	1	0.2
23/09/2009	2.07	7.30	439	0	0	0.15
30/09/2009	2.07	7.30	439	0	0	0.05
13/10/2009	1.95	7.30	436	0	0	0.25
27/10/2009	1.95	7.20	439	0	0	0.05
11/11/2009	1.84	7.10	437	0	0	0.25
24/11/2009	1.84	7.10	445	1	0	0.45
08/12/2009	1.84	7.00	438	18	2	0.15

Tableau 60 : Valeurs observées pour le suivi sanitaire de la source de l'Epinguy

Date	Débit (l/s)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Escherichia Coli (N/100 ml)	Entérocoques (N/100 ml)	Turbidité (FNU)
08/01/2009	2.19			0	0	0.4
22/01/2009	2.95			0	0	0.05
09/02/2009	3.42			0	0	0.05
19/02/2009	3.60			0	0	0.1
10/03/2009	3.09	6.2	453	0	0	0.05
24/03/2009	3.28	6.1	451	0	0	0.05
07/04/2009	4.61	5.8	448	0	0	0.15
08/04/2009	5.05	5.7	446	0	0	0.2
14/04/2009	7.26	6	437	0	0	0.25
21/04/2009	6.68	6.3	447	0	0	0.25
18/05/2009	4.67	6.5	459	0	0	0.15
02/06/2009	3.84	6.6	458	0	0	0.15
16/06/2009	3.39	6.6	461	0	0	0.05
30/06/2009	3.02	6.6	462	10	0	0.05
07/07/2009	2.89	6.6	460	0	0	0.1
21/07/2009	2.72	6.7	460	2	2	0.15
28/07/2009	2.63	6.6	461	1	0	0.1
25/08/2009	2.30	6.7	462	> 100	16	0.4
01/09/2009	2.23	6.7	461	6	1	0.15
08/09/2009	2.43	6.8	461	2	0	0.15
15/09/2009	2.33	6.7	461	0	0	0.1
23/09/2009	2.25	6.7	462	0	0	0.05
30/09/2009	2.16	6.7	462	0	0	0.1
13/10/2009		6.7	462	0	0	0.15
27/10/2009		6.6	463	0	0	0.05
11/11/2009		6.6	462	0	0	0.05
24/11/2009	1.06	6.7	474	3	0	0.1
08/12/2009	2.21	6.5	463	> 50	1	0.35

Tableau 61 : Valeurs observées pour le suivi sanitaire de la source des Favrats

Date	Débit (l/s)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Escherichia Coli (N/100 ml)	Entérocoques (N/100 ml)	Turbidité (FNU)
08/01/2009		7	577	0	0	0.1
22/01/2009	2.75	6.9	565	0	0	0.05
09/02/2009	2.65	6.9	563	0	0	0.05
19/02/2009	2.67	6.9	562	0	0	0.95
10/03/2009	2.5	6.8	574	0	0	0.1
24/03/2009	3.09	6.8	549	0	0	0.1
07/04/2009	5.3	6.6	494	0	0	0.35
08/04/2009	5.31	6.5	478	1	0	0.15
14/04/2009	5.32	6.7	466	0	0	0.15
21/04/2009	5.33	6.9	491	0	0	0.25
18/05/2009	4.31	7.1	536	3	0	0.2
02/06/2009	3.32	7.3	552	0	0	0.15
16/06/2009		7.3	570	5	1	0.1
30/06/2009	2.41	7.4	585	0	0	0.2
07/07/2009	2.22			0	0	0.2
21/07/2009	2.02			6	1	0.15
28/07/2009	1.9			0	0	0.1
25/08/2009	1.6			14	1	0.45
01/09/2009	1.55			0	0	0.01
08/09/2009	1.58			1	0	0.05
15/09/2009	1.53			0	0	0.05
23/09/2009	1.46			0	0	0.05
30/09/2009	1.39			0	0	0.1
13/10/2009	1.33			0	0	0.05
27/10/2009	1.23	7.9	652	0	0	0.05
11/11/2009	1.32	7.8	653	0	0	0.05
24/11/2009	1.65	7.8	643	7	0	0.05
08/12/2009	3.33	7.7	543	35	1	0.15

Tableau 62 : Valeurs observées pour le suivi sanitaire de la source du Pont du Mouche

Les sources d'Habère-Poche

Aux Arces (cf. Tableau 63), nous observons sur 28 analyses effectuées, que :

- 46.4 % des échantillons contiennent des Escherichia Coli (maximum dénombré supérieure à 50, le 25 août 2009, le 24 novembre 2009 et le 8 décembre 2009)
- 53.6 % des échantillons contiennent des entérocoques (maximum dénombré à 43, le 25 août 2009)
- 3.6 % des échantillons présentent des eaux turbides (supérieures à 1 FNU). Il s'agit de l'analyse du 8 décembre avec une valeur de 1 FNU

- 32.1 % des analyses sont conformes aux normes du décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, pour les paramètres analysés

Date	Débit (l/s)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Escherichia Coli (N/100 ml)	Entérocoques (N/100 ml)	Turbidité (FNU)
12/01/2009	6.95	7.5	387	0	0	0.35
02/02/2009	8.48	7.4	379	0	1	0.1
12/02/2009	8.13	7.4	383	0	0	0.05
03/03/2009	7.95	7.3	385	0	0	0.25
16/03/2009	10.56	7.2	375	0	0	0.3
30/03/2009	11.79	7.1	367	0	1	0.05
07/04/2009	17.64	6.9	339	13	0	0.45
08/04/2009	18.42	6.8	340	2	0	0.2
14/04/2009	17.90	6.8	339	0	0	0.25
21/04/2009	15.88	6.9	343	0	0	0.3
18/05/2009	10.96	7.1	355	46	0	0.25
02/06/2009	7.11	7.3	369	3	0	0.15
16/06/2009	7.44	7.3	379	4	1	0.25
30/06/2009	6.01	7.4	384	0	1	0.45
07/07/2009	5.56	7.5	387	0	1	0.4
21/07/2009	3.47	7.5	392	8	4	0.4
28/07/2009	3.25	7.6	393	1	3	0.3
25/08/2009	3.95	7.7	403	> 50	43	0.3
01/09/2009	3.71	7.7	406	4	4	0.05
08/09/2009	3.83	7.7	406	2	2	0.05
15/09/2009	3.95	7.7	404	0	4	0.15
23/09/2009	3.71	7.8	407	1	2	0.05
30/09/2009	3.47	7.8	409	0	0	0.1
13/10/2009	3.25	7.8	414	0	2	0.15
27/10/2009	2.92	7.8	420	0	0	0.4
11/11/2009	3.25	7.8	419	0	0	0.1
24/11/2009	4.33	7.8	395	> 50	8	0.5
08/12/2009	14.22	7.8	369	> 50	10	1

Tableau 63 : Valeurs observées pour le suivi sanitaire de la source des Arces

Aux Granges Mamet (cf. Tableau 64), nous observons sur les 28 analyses effectuées, que :

- 50 % des échantillons contiennent des Escherichia Coli (maximum dénombré supérieure à 100, le 8 décembre 2009)
- 75 % des échantillons contiennent des entérocoques (maximum dénombré à 65, le 25 août 2009)
- 46.4 % des échantillons présentent des eaux turbides (supérieures à 1 FNU)

- 3.6 % des analyses sont conformes aux normes du décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, pour les paramètres analysés

Date	Débit (l/s)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Escherichia Coli (N/100 ml)	Entérocoques (N/100 ml)	Turbidité (FNU)
12/01/2009	1.95	6.2	392	0	0	1.3
02/02/2009	2.84	5.6	383	0	0	2.6
12/02/2009	2.84	5.6	405	0	0	1.35
03/03/2009	2.87	5.4	415	3	1	2.1
16/03/2009	3.63	5.1	374	0	2	3.8
30/03/2009	3.70	5.1	383	0	0	0.55
07/04/2009	3.56	4.6	352	40	3	1.7
08/04/2009	3.57	4.9	361	0	2	2.6
14/04/2009	2.81	6	345	0	0	1.05
21/04/2009	2.98	6.2	341	11	0	0.8
18/05/2009	1.62	6.9	374	0	21	1.6
02/06/2009	1.78	7.6	379	0	1	0.55
16/06/2009	1.86	8	386	> 60	27	2.2
30/06/2009	1.83	8.5	394	1	1	0.6
07/07/2009	1.75	8.6	387	0	5	0.4
21/07/2009	1.48	9.3	396	0	22	0.7
28/07/2009	1.78	9.4	390	5	4	0.35
25/08/2009	1.76	10.2	423	> 30	65	2
01/09/2009	1.76	9.9	399	0	7	0.5
08/09/2009	1.75	10	403	> 20	11	0.55
15/09/2009	1.78	9.8	390	> 50	3	0.4
23/09/2009	1.52	9.6	392	12	1	0.4
30/09/2009	1.51	9.5	388	5	1	0.45
13/10/2009	1.45	9.3	384	> 30	1	0.55
27/10/2009	1.25	8.8	384	0	0	0.4
11/11/2009	1.92	8.7	412	24	10	0.65
24/11/2009	2.84	8.3	428	0	50	3.3
08/12/2009	2.73	7.2	421	> 100	17	3.7

Tableau 64 : Valeurs observées pour le suivi sanitaire de la source des Granges Mamet

A Ramble (cf. Tableau 65), nous observons sur 28 analyses effectuées, que :

- 32.1 % des échantillons contiennent des Escherichia Coli (maximum dénombré supérieure à 90, le 2 juin 2009)
- 21.4 % des échantillons contiennent des entérocoques (maximum dénombré à 13, le 8 décembre 2009)
- 0 % des échantillons présentent des eaux turbides (supérieures à 1 FNU)

- 53.6 % des analyses sont conformes aux normes du décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, pour les paramètres analysés

Date	Débit (l/s)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Escherichia Coli (N/100 ml)	Entérocoques (N/100 ml)	Turbidité (FNU)
12/01/2009	1.96	6.6	282	0	0	0.25
02/02/2009	2.00	6.5	289	0	0	0.85
12/02/2009	1.99	6.4	286	1	0	0.55
03/03/2009	1.94	6.4	285	0	0	0.35
16/03/2009	2.01	6.3	295	0	0	0.85
30/03/2009	2.19	6.3	298	0	0	0.35
07/04/2009	2.26	6.3	297	9	0	0.4
08/04/2009	2.27	6.3	295	1	0	0.25
14/04/2009	2.38	6.4	282.5	0	0	0.4
21/04/2009	2.20	6.5	285	0	0	0.3
18/05/2009	1.75	6.6	285	0	0	0.45
02/06/2009	1.54	6.6	271.5	> 90	0	0.55
16/06/2009	1.33	6.7	284	16	0	0.2
30/06/2009	1.13	6.8	287	0	0	0.35
07/07/2009	1.04	6.9	288	0	1	0.15
21/07/2009	0.95	6.9	291	4	5	0.1
28/07/2009	0.90	7	290	0	0	0.1
25/08/2009	0.73	7.2	290	0	0	0.2
01/09/2009	0.69	7.2	291	1	0	0.15
08/09/2009	0.73	7.2	295	0	2	0.05
15/09/2009	0.73	7.2	293	2	0	0.1
23/09/2009	0.65	7.2	292.5	0	0	0.3
30/09/2009	0.65	7.2	292	0	0	0.05
13/10/2009	0.64			0	0	0.15
27/10/2009	0.59			0	0	0.2
11/11/2009	0.89			0	2	0.2
24/11/2009	1.37		309	> 30	3	0.05
08/12/2009	2.01		335	0	13	0.4

Tableau 65 : Valeurs observées pour le suivi sanitaire de la source de Ramble

Les sources des Moises

A Moises 1 (cf. Tableau 66), nous observons sur 28 analyses effectuées, que :

- 28.6 % des échantillons contiennent des Escherichia Coli (maximum dénombré à 22, le 24 novembre 2009)
- 17.9 % des échantillons contiennent des entérocoques (maximum dénombré à 7, le 25 août 2009)
- 0 % des échantillons présentent des eaux turbides (supérieures à 1 FNU)

- 64.3 % des analyses sont conformes aux normes du décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, pour les paramètres analysés

Date	Débit (l/s)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Escherichia Coli (N/100 ml)	Entérocoques (N/100 ml)	Turbidité (FNU)
12/01/2009	13.89	6.00	320	0	0	0.05
02/02/2009	13.33	6.00	320	0	0	0.15
16/02/2009	13.89	6.00	320	0	0	0.4
03/03/2009	13.33	6.00	321	0	0	0.1
17/03/2009	12.78	6.00	321	0	0	0.05
30/03/2009	14.44	5.90	321	0	0	0.1
07/04/2009	23.33	5.90	317	0	1	0.15
08/04/2009	25	5.90	318	0	0	0.15
14/04/2009	45	6.00	321	0	0	0.25
21/04/2009	62.22	5.90	322	2	0	0.35
18/05/2009	46.67	6.10	320	2	1	0.15
02/06/2009	32.22	6.10	320	0	0	0.15
16/06/2009	22.78	6.20	320	0	0	0.1
30/06/2009	18.33	6.20	321	0	0	0.5
07/07/2009	16.11	6.20	321	0	0	0.1
21/07/2009	13.33	6.20	320	2	1	0.4
28/07/2009	12.22	6.20	321	2	0	0.1
25/08/2009	9.44	6.30	322	0	7	0.35
01/09/2009	8.89	6.20	323	10	0	0.05
08/09/2009	8.89	6.20	323	0	0	0.1
15/09/2009	8.33	6.20	322	0	0	0.2
23/09/2009	7.78	6.20	321	1	0	0.4
30/09/2009	7.78	6.20	321	2	1	0.1
13/10/2009	7.22	6.20	323	0	0	0.1
27/10/2009	6.67	6.10	322	0	0	0.1
11/11/2009	6.11	6.10	324	0	0	0.05
24/11/2009		6.10	328	22	0	0.15
08/12/2009		6.10	336	0	0	0.15

Tableau 66 : Valeurs observées pour le suivi sanitaire de la source des Moises 1

A Moises 2 (cf. Tableau 67), nous observons sur 28 analyses effectuées, que :

- 28.6 % des échantillons prélevés contiennent des Escherichia Coli (maximum dénombré supérieur à 100, le 25 août 2009)
- 32.1 % des échantillons prélevés contiennent des entérocoques (maximum dénombré à 20, le 25 août 2009)
- 0 % des échantillons présentent des eaux turbides (supérieures à 1 FNU)
- 57.1 % des analyses sont conformes aux normes du décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, pour les paramètres analysés

Date	Débit (l/s)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Escherichia Coli (N/100 ml)	Entérocoques (N/100 ml)	Turbidité (FNU)
12/01/2009	3.89	5.3	337	0	0	0.15
02/02/2009	5.00	5.1	358	0	0	0.25
16/02/2009	5.00	5	354	0	0	0.25
03/03/2009	4.44	4.7	346	0	0	0.1
17/03/2009	5.56	4.7	362	0	0	0.2
30/03/2009	8.33	4.6	381	0	0	0.05
07/04/2009	33.33	4.3	374	4	1	0.6
08/04/2009	30.00	4.3	371	0	0	0.15
14/04/2009	25.56	4.7	351	0	1	0.4
21/04/2009	12.22	5.3	330	0	0	0.25
18/05/2009	7.22	6.2	318	0	11	0.15
02/06/2009	5.56	6.5	318	0	0	0.15
16/06/2009	5.00	6.8	323	3	0	0.15
30/06/2009	3.89	7.1	324	0	0	0.35
07/07/2009	3.89	7.4	327	4	0	0.15
21/07/2009	3.89	7.8	337	3	2	0.15
28/07/2009	3.33	7.9	333	2	0	0.1
25/08/2009	3.33			> 100	20	0.2
01/09/2009	2.78			16	1	0.5
08/09/2009	3.33			0	1	0.05
15/09/2009	3.33			0	1	0.05
23/09/2009	2.78			0	0	0.35
30/09/2009	2.78			0	0	0.05
13/10/2009	2.78			0	0	0.05
27/10/2009	1.67		365	0	0	0.05
11/11/2009	2.22			0	0	0.05
24/11/2009			385	0	0	0.4
08/12/2009			379	> 40	11	0.55

Tableau 67 : Valeurs observées pour le suivi sanitaire de la source des Moises 2

A Moises 3 (cf. Tableau 68), nous observons sur 28 analyses effectuées, que :

- 3.6 % des échantillons prélevés contiennent des Escherichia Coli (maximum dénombré à 7, le 8 avril 2009)
- 3.6 % des échantillons prélevés contiennent des entérocoques (maximum dénombré à 1, le 8 décembre 2009)
- 0 % des échantillons présentent des eaux turbides (supérieures à 1 FNU)
- 92.3 % des analyses sont conformes aux normes du décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, pour les paramètres analysés

Date	Débit (l/s)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Escherichia Coli (N/100 ml)	Entérocoques (N/100 ml)	Turbidité (FNU)
12/01/2009	1.60	6.4	407	0	0	0.25
02/02/2009	3.23	6.5	416	0	0	0.15
16/02/2009	2.54	6.3	411	0	0	0.25
03/03/2009	1.51	6.1	408	0	0	0.05
17/03/2009	2.30	6	407	0	0	0.05
30/03/2009	4.29	6	409	0	0	0.05
07/04/2009	11.78	5.9	432	0	0	0.15
08/04/2009	11.60	5.8	439	7	0	0.2
14/04/2009		5.4	394	0	0	0.25
21/04/2009	11.78	5.2	373	0	0	0.25
18/05/2009	3.47			0	0	0.2
02/06/2009	1.42			0	0	0.15
16/06/2009	0.89			0	0	0.05
30/06/2009	0.68	6	386	0	0	0.5
07/07/2009	0.52	6.2	388	0	0	0.15
21/07/2009	2.01	6.2	395	0	0	0.4
28/07/2009	0.66	6.3	394	0	0	0.1
25/08/2009	0.26	6.8	405	0	0	0.05
01/09/2009	0.51	6.7	402	0	0	0.05
08/09/2009	1.52	6.5	406	0	0	0.05
15/09/2009	0.48	6.5	405	0	0	0.1
23/09/2009	0.37	6.6	405	0	0	0.5
30/09/2009	0.28	6.6	405	0	0	0.05
13/10/2009	0.23	6.6	407	0	0	0.25
27/10/2009	1.32	6.4	409	0	0	0.25
11/11/2009	2.31	6.3	417	0	0	0.15
24/11/2009		6.2	418	0	0	0.05
08/12/2009		5.4	401	0	1	0.65

Tableau 68 : Valeurs observées pour le suivi sanitaire de la source des Moises 3

4.7.3. Evolution des paramètres sanitaires

Les sources d'Habère-Poche

La Figure 109 et la Figure 110, présentent l'évolution des principaux paramètres hydrochimiques, bactériologiques, hydrodynamiques des sources d'Habère-Poche. Ces informations ont été couplées avec les informations météorologiques de la station INRA de Thonon. Pour la présentation de l'évolution de la température et de la conductivité électrique, nous renvoyons le lecteur au paragraphe 4.1.

Pendant la période de suivi, nous observons pour la source des Arces que :

- La turbidité des eaux est faible (en-dessous de 1 FNU). Elle augmente en fin de période de suivi pour atteindre la valeur limite de 1 FNU, le 8 décembre. Les valeurs observées sont influencées par l'augmentation

rapide du débit dues aux importantes précipitations de novembre et début décembre (186 mm. est enregistré à la station de Thonon INRA)

- Les valeurs de pH diminuent progressivement jusqu'au mois de mars (de 8.2 à 7.6) puis elles augmentent (de 7.6 à 7.9) le mois suivant pour ensuite faiblement évoluer (entre 7.8 et 7.9). Ces évolutions sont probablement à mettre en relation avec l'évolution de l'équilibre calco-carbonique des eaux
- Le nombre d'Escherichia Coli est nul jusqu'au début du mois d'avril puis nous dénombrons une première contamination le 7 avril (13 UFC/100 ml) et le 8 avril (2 UFC/100 ml) puis une seconde contamination le 18 avril (46 UFC/100 ml), le 2 juin (3 UFC/100 ml) et le 16 juin (4 UFC/100 ml). Une troisième contamination peut être mentionnée durant l'été avec 8 UFC/100 ml le 21 juillet, 1 UFC/100 ml le 28 juillet, 50 UFC/100 ml le 25 août, 4 UFC/100 ml le 1^{er} septembre, 2 UFC/100 ml le 8 septembre. Enfin, nous observons une dernière contamination le 24 novembre avec 50 UFC/100 ml et le 8 décembre avec 50 UFC/100 ml
- Le nombre des entérocoques est très faible voir même nul jusqu'au 21 juillet puis il s'élève brutalement avec 4 UFC/100 ml le 21 juillet, 3 UFC/100 ml le 28 juillet, 43 UFC/100 ml le 25 août, 4 UFC/100 ml le 1^{er} septembre. Par la suite, le nombre des entérocoques diminue et redevient nul jusqu'au 24 novembre avec plus de 50 UFC/100 ml. Cette dernière contamination est également présente lors du dernier prélèvement du 8 décembre avec plus de 50 UFC/100 ml

Pendant la période de suivi, nous observons à la source des Granges Mamet :

- La turbidité des eaux est forte, instable et très régulièrement au-dessus de 1 FNU. Les valeurs observées semblent être influencées par les augmentations rapides du débit et par la fréquence et l'intensité des précipitations
- Les valeurs de pH sont assez élevées jusqu'au 3 mars (elles avoisinent la valeur de 8) puis elle diminue pour varier entre 7.4 et 7.8 jusqu'au 30 septembre. Le pH est également important le 13 octobre avec une valeur mesurée à 8.07 puis les valeurs redescendent pour revenir à des pH compris entre 7.4 et 7.6. Ces évolutions sont probablement à mettre en relation avec l'évolution de l'équilibre calco-carbonique des eaux
- Le nombre d'Escherichia Coli est faible voir nul jusqu'au 7 avril (on dénombre que 3 UFC/100 ml, le 3 mars). Une première et significative contamination a lieu le 7 avril avec 40 UFC/100 ml suivie d'une seconde le 21 avril avec 11 UFC/100 ml. Une troisième contamination se présente le 16 juin avec 60 UFC/100 ml et le 30 juin avec 1 UFC/100 ml. Une quatrième contamination s'observe à partir du 28 juillet avec 5 UFC/100 ml et qui se poursuit le 25 août avec 30 UFC/100 ml. Une cinquième contamination est à signaler à partir du 8 septembre avec 20 UFC/100 ml, elle atteint un pic à 50 UFC/100 ml le 15 septembre puis elle diminue à 12 UFC/100 ml le 23 septembre et à 5 UFC/100 ml le 30 septembre. Elle ré-augmente ensuite pour atteindre 30 UFC/100 ml le 13 octobre. Une sixième contamination s'observe le 11 novembre avec 24 UFC/100 ml et enfin une dernière contamination se présente le 8 décembre avec plus de 100 UFC/100 ml recensées
- Le nombre des entérocoques est faible voir nul jusqu'au 18 mai (on dénombre 1 UFC/100 ml le 3 mars, 2 UFC/100 ml le 16 mars, 3

UFC/100 ml le 7 avril, 2 UFC/100 ml le 8 avril). Du 18 mai au 13 octobre, on observe une importante contamination avec un nombre d'entérocoques qui varie de 1 UFC/100 ml (le 2 juin, le 30 juin, le 23 septembre, le 30 septembre et le 13 octobre) pour atteindre un pic à 65 UFC/100 ml le 25 août. Une seconde contamination se présente le 11 novembre avec 10 UFC/100 ml, le 24 novembre avec 50 UFC/100 ml et le 8 décembre avec 17 UFC/100 ml

Pendant la période de suivi, nous observons à la source de Ramble :

- La turbidité des eaux est faible (en-dessous de 1 FNU). Elle dépasse la valeur de 0.5 FNU à trois reprises à savoir le 12 février, le 16 mars et le 2 juin. Les valeurs observées ne semblent pas être influencées par l'augmentation rapide du débit
- Les valeurs de pH sont supérieures à 8 le 2 et le 12 février. Elle diminue fortement le 3 mars à 7.52 puis les valeurs oscillent globalement entre 7.7 et 7.9 jusqu'au 2 juin. Ensuite, le pH redescend à des valeurs avoisinantes les 7.5 jusqu'au 30 septembre (sauf le 7 juillet où nous observons un pH de 7.73 et le 15 septembre où nous notons un pH de 7.85). A partir du 13 octobre, les valeurs de pH augmente légèrement pour être comprise entre 7.7 et 8. Ces évolutions sont probablement à mettre en relation avec l'évolution de l'équilibre calco-carbonique des eaux
- Le nombre d'Escherichia Coli est faible voir nul jusqu'au 30 mars (on dénombre 1 UFC/100 ml, le 12 février). Une première et significative contamination a lieu le 7 avril avec 9 UFC/100 ml et le 8 avril avec 1 UFC/100 ml. Une seconde contamination a lieu le 2 juin avec 90 UFC/100 ml et le 16 juin avec 16 UFC/100 ml. Une troisième contamination se présente le 21 juillet avec 4 UFC/100 ml. Des petites contaminations s'observent le 1^{er} septembre avec 1 UFC/100 ml et le 15 septembre avec 2 UFC/100 ml. Une dernière contamination a lieu le 24 novembre avec 30 UFC/100 ml
- Le nombre des entérocoques est nul jusqu'au 7 juillet. Puis, on observe 1 UFC/100 ml le 7 juillet et 5 UFC/100 ml le 21 juillet. Une légère contamination est également présente le 8 septembre avec 2 UFC/100 ml. Une contamination plus importante a lieu ensuite le 11 novembre avec 2 UFC/100 ml, le 24 novembre avec 3 UFC/100 ml et le 8 décembre avec 13 UFC/100 ml

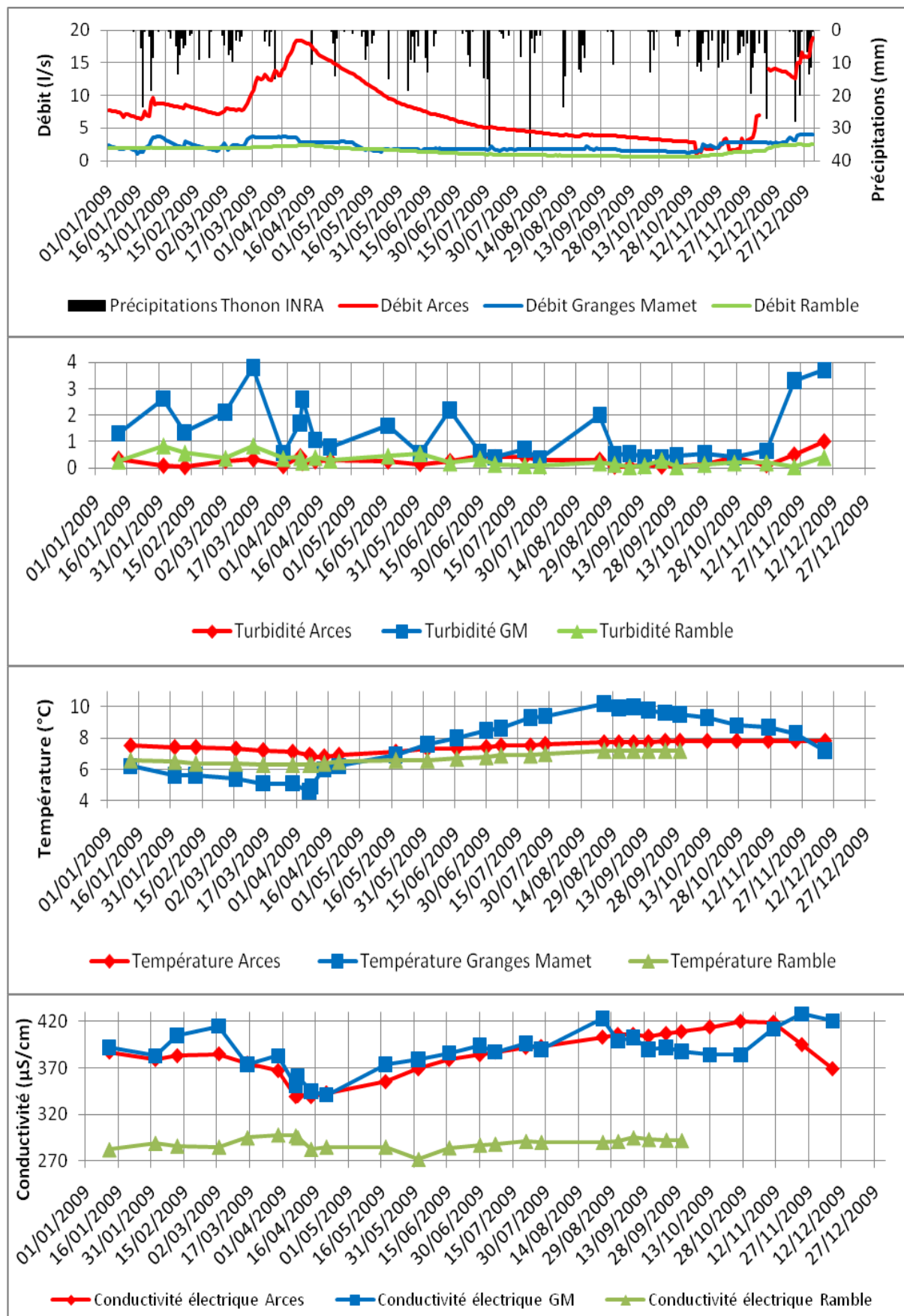


Figure 109 : Relations débits, précipitations, turbidité, température et conductivité des sources des Arces, des Granges Mamet et de Ramble, en 2009

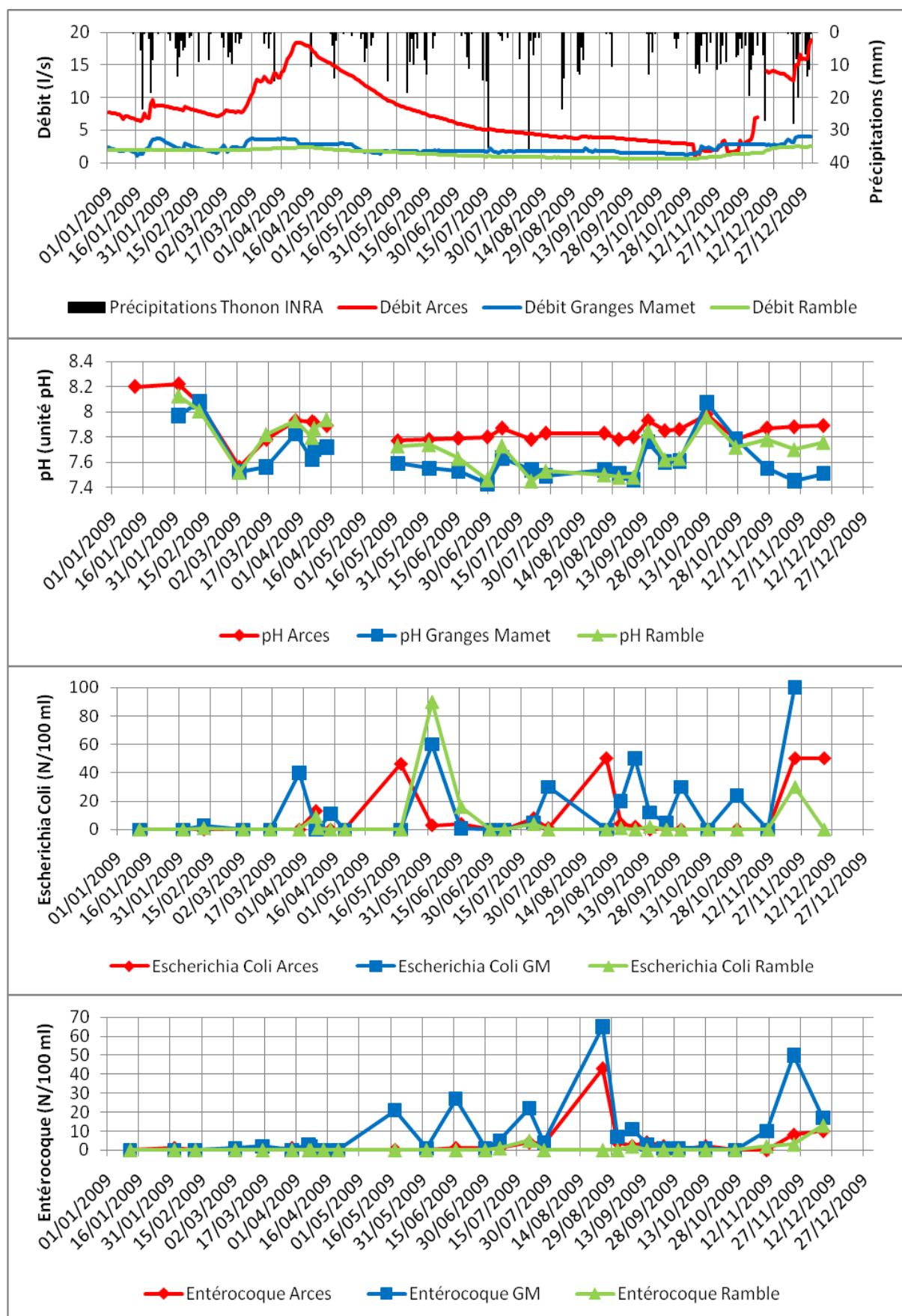


Figure 110 : Relations débits, précipitations, pH, Escherichia coli et entérocoque des sources des Arces, des Granges Mamet et de Ramble, en 2009

Les sources d'Orcier et du Col du Feu

La Figure 111 et la Figure 112, présentent l'évolution dans le temps des principaux paramètres physico-chimiques et bactériologiques mesurés et leurs relations avec les variations de débit et le régime des précipitations, des sources d'Orcier et du Col du Feu durant l'année 2009. La présentation de l'évolution de la température et de la conductivité électrique, a été intégrée dans les figures mais nous renvoyons le lecteur au paragraphe 4.1 pour la description détaillée de la variation de ces deux paramètres.

Pendant la période de suivi, nous observons pour la source du Col du Feu que :

- La turbidité des eaux est très faible. Elle dépasse une seule fois 0.5 FNU, le 21 avril avec une valeur de 0.55 FNU
- Les valeurs de pH varient globalement entre 7.4 et 7.75. Deux valeurs égales à 8 sont à mentionner le 22 janvier et le 7 juillet. Ces évolutions sont probablement à mettre en relation avec l'évolution de l'équilibre calco-carbonique des eaux
- Le nombre d'Escherichia Coli est nul jusqu'au 21 juillet puis nous dénombrons une première contamination le 28 juillet (4 UFC/100 ml), le 25 août (11 UFC/100 ml) et le 1^{er} septembre (20 UFC/100 ml). Une seconde contamination s'observe le 8 décembre avec 9 UFC/100 ml
- Le nombre des entérocoques est nul jusqu'au 7 juillet. Par la suite, nous notons la présence de 1 UFC/100 ml le 21 juillet et de 3 UFC/100 ml le 25 août. Une seconde contamination s'observe le 24 novembre avec 1 UFC/100 ml et le 8 décembre avec 9 UFC/100 ml

Pendant la période de suivi, nous observons pour la source de l'Epinguy que :

- La turbidité des eaux est très faible. Elle dépasse une seule fois 0.5 FNU, le 7 avril avec une valeur de 0.57 FNU
- Les valeurs de pH sont globalement comprises entre 7.7 et 8. Deux points bas s'observent en hiver le 10 mars (pH de 7.59) et le 19 février (pH de 7.66). Un point haut est à signaler en été le 7 juillet avec un pH de 8.11. Ces évolutions sont probablement à mettre en relation avec l'évolution de l'équilibre calco-carbonique des eaux
- Le nombre d'Escherichia Coli est nul jusqu'au 21 juillet puis nous dénombrons une première contamination le 28 juillet (4 UFC/100 ml). Une seconde contamination s'observe le 1^{er} septembre (19 UFC/100 ml). Une dernière contamination est à signaler le 24 novembre (1 UFC/100 ml) et le 8 décembre (18 UFC/100 ml)
- Le nombre des entérocoques est nul jusqu'au 21 juillet. Par la suite, nous notons la présence de 1 UFC/100 ml le 28 juillet et le 15 septembre. Une contamination se présente le 8 décembre avec 2 UFC/100 ml

Pendant la période de suivi, nous observons pour la source des Favrats que :

- La turbidité des eaux est faible, ne dépassant jamais 0.5 FNU
- Les valeurs de pH sont globalement comprises entre 7.6 et 8. Deux points bas s'observent en hiver le 19 février (pH de 7.44) et le 10 mars (pH de 7.57). Deux points hauts sont à signaler le 7 juillet avec un pH de 8.04 et le 13 octobre avec un pH de 8.06. Ces évolutions sont probablement à mettre en relation avec l'évolution de l'équilibre calco-carbonique des eaux

- Le nombre d'Escherichia Coli est nul jusqu'au 16 juin puis nous dénombrons une première contamination le 30 juin (10 UFC/100 ml). Une seconde contamination s'observe le 21 juillet (2 UFC/100 ml), le 28 juillet (1 UFC/100 ml), le 25 août (100 UFC/100 ml), le 1^{er} septembre (6 UFC/100 ml) et le 8 septembre (2 UFC/100 ml). Une troisième contamination se présente le 24 novembre (3 UFC/100 ml) et le 8 décembre (50 UFC/100 ml)
- Le nombre des entérocoques est nul jusqu'au 7 juillet. Par la suite, nous notons la présence de 2 UFC/100 ml le 21 juillet, 16 UFC/100 ml le 25 août et 1 UFC/100 ml le 1^{er} septembre. Une légère contamination se présente le 8 décembre avec 1 UFC/100 ml

Pendant la période de suivi, nous observons pour la source du Pont du Mouche que :

- La turbidité des eaux est faible. Une seule valeur au-dessus de 0.5 FNU est à signaler le 19 février (0.95 FNU)
- Les valeurs de pH sont globalement comprises entre 7.75 et 8.1. Deux points bas s'observent le 19 février (pH de 7.66) et le 18 mai (pH de 7.59). Deux points hauts sont à signaler le 22 janvier avec un pH de 8.13 et le 7 juillet avec un pH de 8.12. Ces évolutions sont probablement à mettre en relation avec l'évolution de l'équilibre calco-carbonique des eaux
- Le nombre d'Escherichia Coli est nul jusqu'au 7 avril puis nous dénombrons une légère contamination le 8 avril (1 UFC/100 ml). Une contamination un peu plus importante est à signaler le 18 mai (3 UFC/100 ml) et une autre encore plus importante se présente le 16 juin (5 UFC/100 ml). Nous notons également une contamination le 21 juillet (6 UFC/100 ml) et le 25 août (14 UFC/100 ml). Une légère contamination s'observe le 8 septembre avec 1 UFC/100 ml. Une dernière et importante contamination se déroule le 24 novembre (7 UFC/100 ml) et le 8 décembre (35 UFC/100 ml)
- Le nombre des entérocoques est nul dans la plupart des cas. Nous notons la présence de 1 UFC/100 ml le 16 juin, le 21 juillet, le 25 août et le 8 décembre

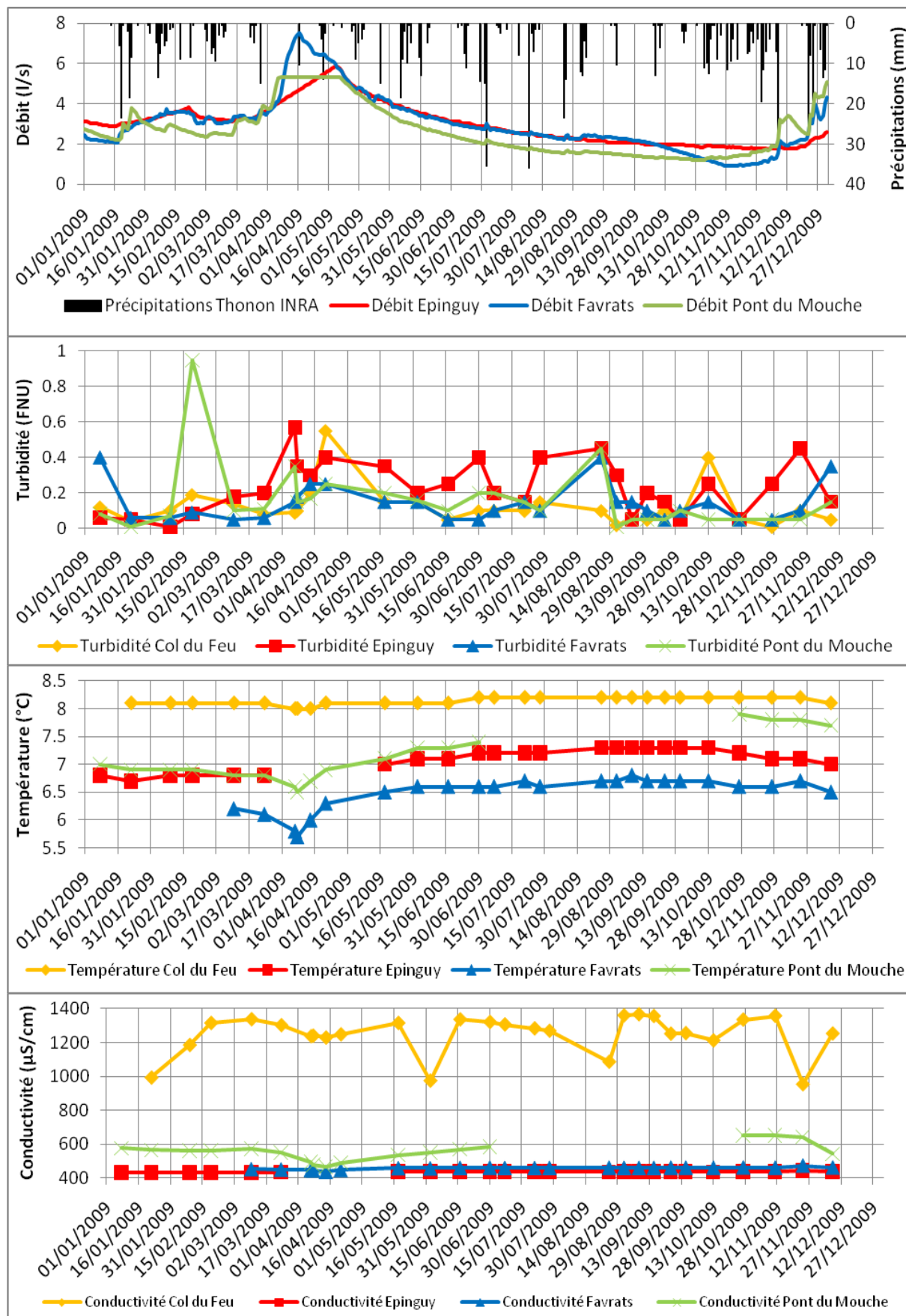


Figure 111 : Relations débits, précipitations, turbidité, température et conductivité des sources du Col du Feu, de l'Epinguy, des Favrats et du Pont du Mouche, en 2009

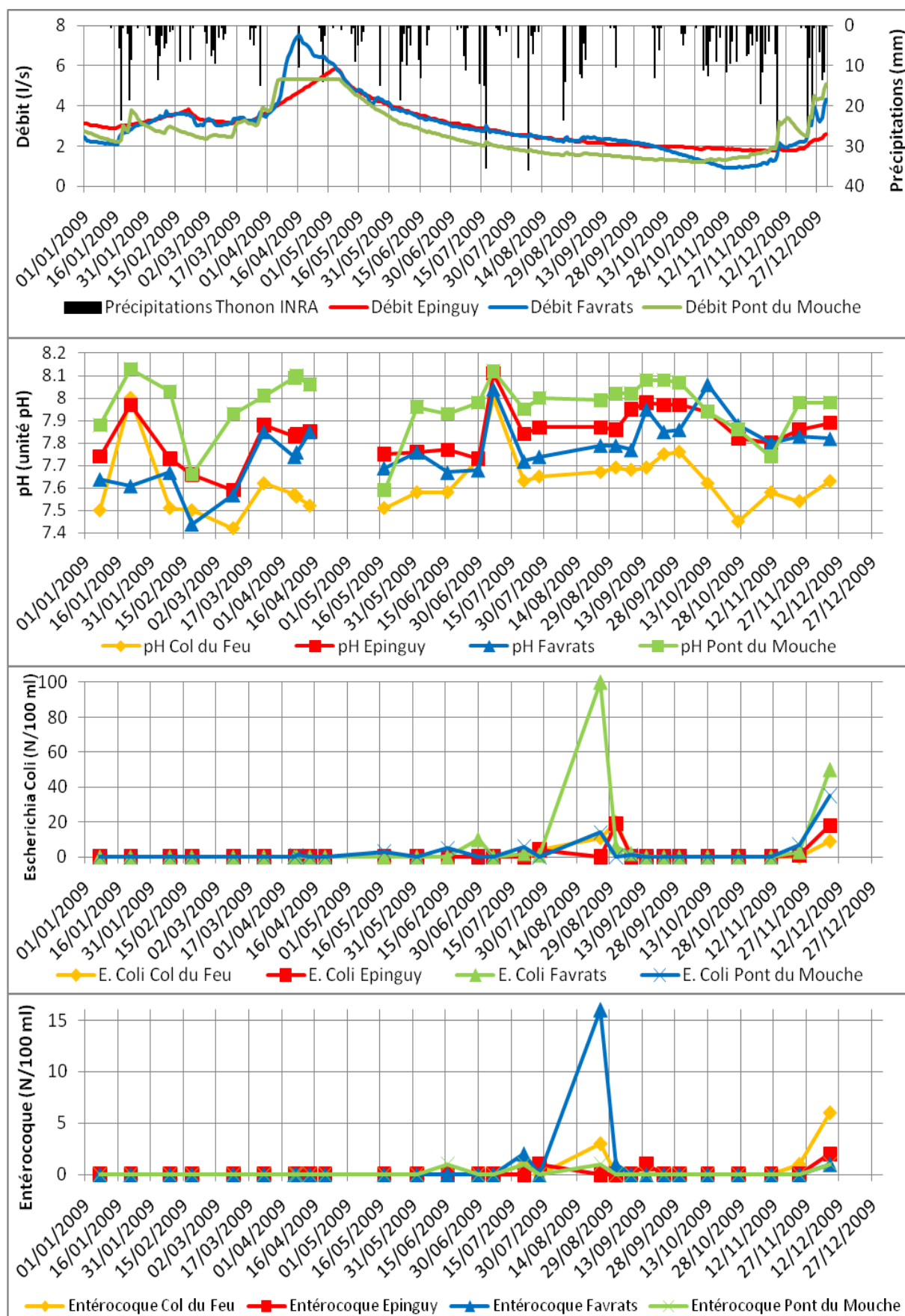


Figure 112 : Relations débits, précipitations, pH, Escherichia Coli et entérocoque des sources du Col du Feu, de l'Epinguy, des Favrats et du Pont du Mouche, en 2009

Les sources des Moises

La Figure 113 et la Figure 114, présentent l'évolution des principaux paramètres physico-chimiques et bactériologiques mesurés et leurs relations avec les variations de débit et le régime des précipitations, des sources des Moises durant l'année 2009. La présentation de l'évolution de la température et de la conductivité électrique, a été intégrée dans les figures mais nous renvoyons le lecteur au paragraphe 4.1 pour la description détaillée de la variation de ces deux paramètres.

Pendant la période de suivi, nous observons pour la source de Moises 1 que :

- La turbidité des eaux est très faible, ne dépassant jamais 0.5 FNU
- Les valeurs de pH varient entre 7.95 et 8.1. Deux valeurs basses s'observent le 3 mars (pH de 7.87) et le 7 juillet (pH de 7.78). Trois valeurs hautes se présentent le 15 septembre (pH de 8.17), le 23 septembre (pH de 8.15) et le 30 septembre (pH de 8.16). Ces évolutions sont probablement à mettre en relation avec l'évolution de l'équilibre calco-carbonique des eaux
- Le nombre d'Escherichia Coli est nul jusqu'au 14 avril puis nous observons deux légères contaminations le 21 avril (2 UFC/100 ml) et le 18 mai (2 UFC/100 ml). Une contamination apparaît le 21 juillet (2 UFC/100 ml) et le 28 juillet (2 UFC/100 ml). Une contamination plus élevée se présente le 1^{er} septembre (10 UFC/100 ml). Une faible contamination se signale le 23 septembre (1 UFC/100 ml) et le 30 septembre (2 UFC/100 ml). La contamination la plus élevée a lieu le 24 novembre avec 22 UFC/100 ml
- Le nombre des entérocoques est nul jusqu'au 30 mars. Par la suite, nous notons la présence de 1 UFC/100 ml le 7 avril, le 18 mai, le 21 juillet et le 30 septembre. Une importante contamination est également observée le 25 août avec 7 UFC/100 ml

Pendant la période de suivi, nous observons pour la source de Moises 2 que :

- La turbidité des eaux est en-dessous de 0.5 FNU sauf le 7 avril avec une valeur de 0.6 FNU et le 8 décembre avec 0.55 FNU
- Les valeurs de pH varient globalement entre 7.7 et 8.1. Une valeur basse s'observe le 3 mars (pH de 7.64) et une valeur haute se présente le 2 février (pH de 8.22). Ces évolutions sont probablement à mettre en relation avec l'évolution de l'équilibre calco-carbonique des eaux
- Le nombre d'Escherichia Coli est nul jusqu'au 30 mars puis nous dénombrons une première contamination le 7 avril (4 UFC/100 ml). Une seconde contamination s'observe le 16 juin (3 UFC/100 ml). Une troisième et importante contamination se signale le 7 juillet (4 UFC/100 ml), le 21 juillet (3 UFC/100 ml), le 28 juillet (2 UFC/100 ml), le 25 août (100 UFC/100 ml) et le 1^{er} septembre (16 UFC/100 ml). Une dernière et importante contamination apparaît le 8 décembre avec 40 UFC/100 ml
- Le nombre des entérocoques est nul jusqu'au 30 mars. Nous notons la présence ensuite de 1 UFC/100 ml le 7 avril et le 14 avril. 11 UFC/100 ml sont également détectées le 18 mai puis 2 UFC/100 ml le 21 juillet. Le maximum d'entérocoque est atteint le 25 août avec 20 UFC/100 ml. 1 UFC/100 ml est dénombré le 1^{er} septembre, le 8 septembre et le 15 septembre. Une dernière contamination se signale le 8 décembre avec 11 UFC/100 ml

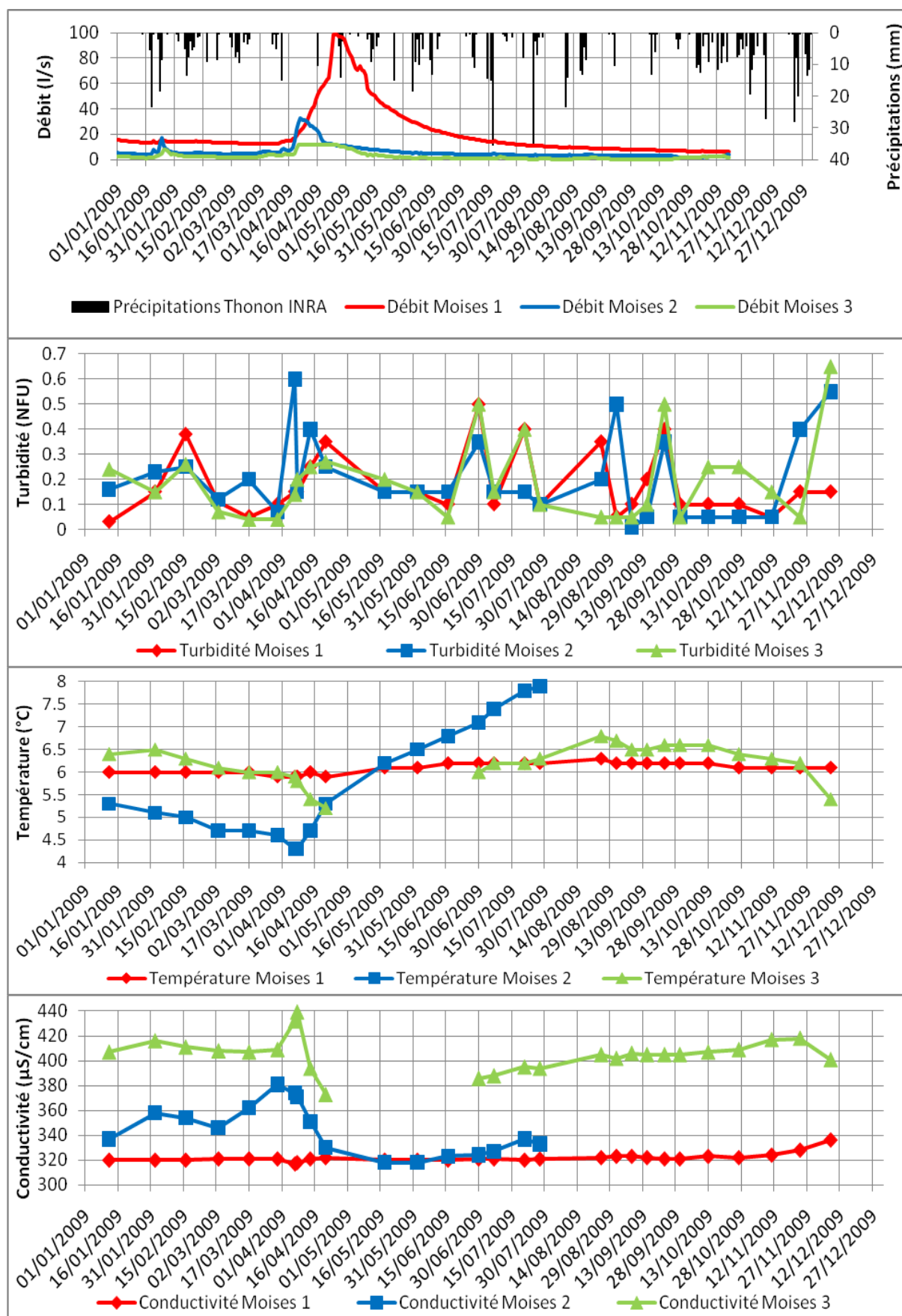


Figure 113 : Relations débits, précipitations, turbidité, température et conductivité des sources de Moises 1, de Moises 2 et de Moises 3, en 2009

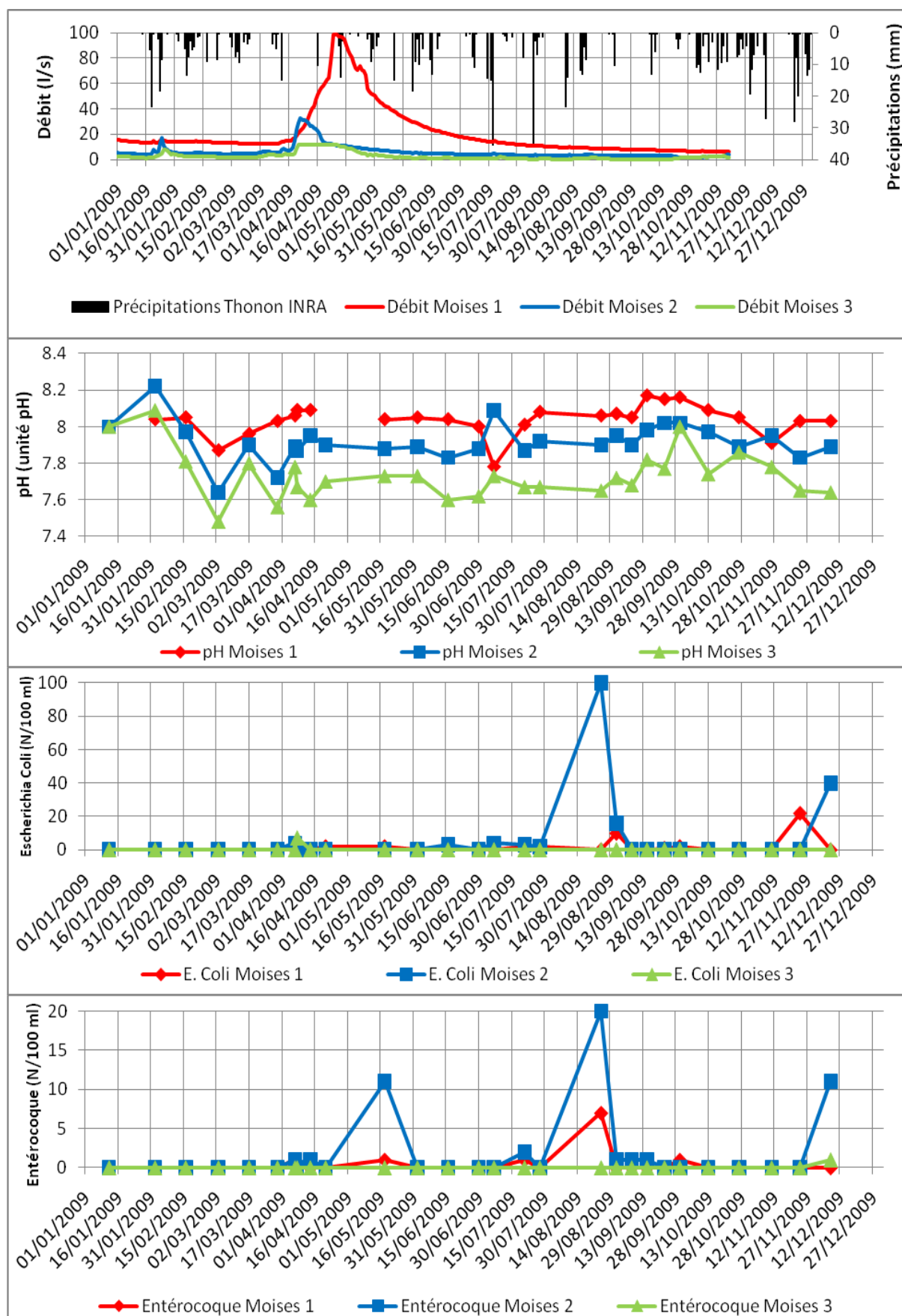


Figure 114 : Relations débits, précipitations, pH, Escherichia Coli et entérocoque des sources de Moises 1, de Moises 2 et de Moises 3, en 2009

Pendant la période de suivi, nous observons pour la source de Moises 3 que :

- La turbidité des eaux est faible. Elle ne dépasse qu'une seule fois 0.5 FNU, le 8 décembre avec 0.65 FNU. Les importantes précipitations les 5 jours précédant la mesure (38 mm d'eau dont 27 mm la veille) sont probablement à l'origine de l'augmentation de la valeur
- Les valeurs de pH varient globalement entre 7.6 et 7.85. Deux valeurs basses s'observent le 3 mars (pH de 7.48) et le 30 mars (pH de 7.56). Trois valeurs hautes se présentent le 12 janvier (pH de 8), le 2 février (pH de 8.09) et le 30 septembre (pH de 8). Ces évolutions sont probablement à mettre en relation avec l'évolution de l'équilibre calco-carbonique des eaux
- Le nombre d'Escherichia Coli est toujours nul sauf le 8 avril où nous dénombrons 7 UFC/100 ml
- Le nombre des entérocoques est toujours nul sauf le 8 décembre où nous notons la présence de 1 UFC/100 ml

4.7.4. Etude des paramètres sanitaires par ACP

L'A.C.P. vise à établir si elle existe, une relation statistique entre les différents paramètres mesurés. Elle porte sur un échantillon qui varie pour chaque source entre 24 et 28 individus et entre 7 et 9 variables (le débit, la température, la conductivité électrique, le pH, les Escherichia Coli, les entérocoques, la turbidité, le COT et les précipitations des cinq jours précédant le prélèvement).

Les sources d'Habère-Poche

La Figure 115 présente les cercles de corrélation et les diagrammes des individus des sources d'Habère-Poche. A Ramble, les pertes d'informations de température et de conductivité électrique, nous ont contraints à supprimer ces deux variables de l'analyse. On observe :

- A la source des Arces, le plan F1 – F2 absorbe 67.5 % de la variance totale et il existe :
 - o Une relation statistique très forte entre la présence d'entérocoques et la présence d'Escherichia Coli
 - o Une relation statistique forte entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement
 - o Une relation statistique forte entre la présence d'Escherichia Coli et la turbidité
 - o Une relation statistique faible entre les organismes dénombrés et le débit à l'émergence
- A la source des Granges Mamet, le plan F1 – F2 absorbe 63.6 % de la variance totale et il existe :
 - o Une relation statistique entre la présence d'entérocoques et la présence d'Escherichia Coli
 - o Une relation statistique forte entre la présence d'entérocoques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement
 - o Une relation statistique forte entre la turbidité et le débit à l'émergence
 - o Une relation statistique faible entre les organismes dénombrés et le débit à l'émergence

- A la source de Ramble, le plan F1 – F2 absorbe 63 % de la variance totale et il existe :
 - Une très faible relation statistique entre la présence d'entérocoques et la présence d'Escherichia Coli
 - Une relation statistique forte entre la présence d'entérocoques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement
 - Une relation statistique très forte entre la turbidité et le débit à l'émergence
 - Une relation statistique très faible entre les organismes dénombrés et le débit à l'émergence

Les sources d'Orcier et du Col du Feu

La Figure 116 présente les cercles de corrélation et les diagrammes des individus des sources d'Orcier et du Col du Feu. Au Col du Feu, les informations biaisées de hauteur d'eau nous ont contraints de supprimer la variable débit de l'analyse. A Epinguy, les pertes d'information de débit, de température et de conductivité électrique nous ont forcés à enlever 4 échantillons de l'analyse. Aux Favrats, le même problème qu'à l'Epinguy, aboutit à la suppression de 3 échantillons. Au Pont du Mouche, les pertes d'informations de température et de conductivité électrique, nous ont obligés à supprimer ces deux variables de l'analyse. On observe :

- A la source du Col du Feu, le plan F1 – F2 absorbe 48.5 % de la variance totale et il existe :
 - Une relation statistique forte entre la présence d'entérocoques et la présence d'Escherichia Coli
 - Une relation statistique forte entre la présence des Entérocoques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement
- A la source de l'Epinguy, le plan F1 – F2 absorbe 53 % de la variance totale et il existe :
 - Une très forte relation statistique entre la présence d'entérocoques et la présence d'Escherichia Coli
 - Une faible relation statistique entre la présence des contaminations microbiologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement
 - Une faible relation statistique entre les organismes dénombrés et le débit à l'émergence
- A la source des Favrats, le plan F1 – F2 absorbe 62.3 % de la variance totale et il existe :
 - Une relation statistique très forte entre la présence d'entérocoques et la présence d'Escherichia Coli
 - Une relation statistique forte entre la présence d'entérocoques, la présence d'Escherichia Coli et la turbidité
 - Une relation statistique forte entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement
 - Une faible relation statistique entre les organismes dénombrés et le débit à l'émergence
- A la source du Pont du Mouche, le plan F1 – F2 absorbe 63.2 % de la variance totale et il existe :

- Une relation statistique très forte entre la présence d'entérocoques et la présence d'Escherichia Coli
- Une relation statistique forte entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement
- Une très faible relation statistique entre les organismes dénombrés et le débit à l'émergence

Les sources des Moises

La Figure 117 présente les cercles de corrélation et les diagrammes des individus des sources des Moises. Au vu des faibles contaminations observées à Moises 3, nous avons choisi de ne pas effectuer d'analyse. Pour les deux autres sources, les pertes d'information de débit nous ont contraints à supprimer les deux derniers échantillons de l'analyse. On observe :

- A la source de Moises 1, le plan F1 – F2 absorbe 48.2 % de la variance totale et il existe :
 - Une très faible relation statistique entre la présence des entérocoques et la présence d'Escherichia Coli
 - Une relation statistique très forte entre la présence d'entérocoques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement
 - Une relation statistique entre la présence d'Escherichia Coli et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement
 - Une très faible relation statistique entre les organismes dénombrés et le débit à l'émergence
- A la source de Moises 2, le plan F1 – F2 absorbe 56.1 % de la variance totale et il existe :
 - Une relation statistique très forte entre la présence d'entérocoques et la présence d'Escherichia Coli
 - Une relation statistique forte entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement
 - Une relation statistique forte entre la turbidité et le débit à l'émergence
 - Une très faible relation statistique entre les organismes dénombrés et le débit à l'émergence
- A la source de Moises 3, le plan F1 – F2 absorbe 55.7 % de la variance totale et il existe :
 - Une relation statistique très faible entre la présence d'entérocoques et la présence d'Escherichia Coli
 - Une relation statistique forte entre la présence d'entérocoques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement

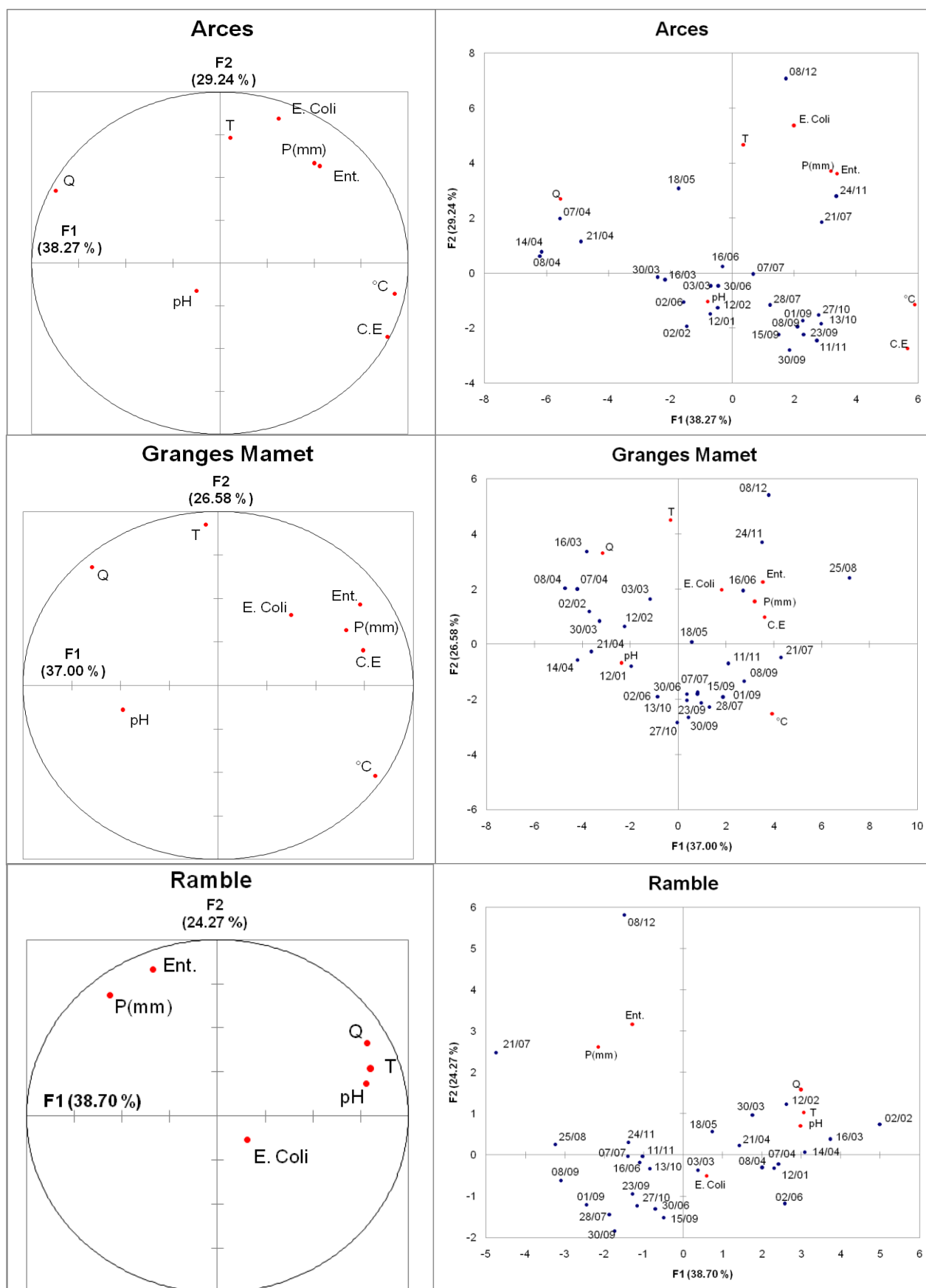


Figure 115 : Cercles de corrélation et diagrammes des individus sur les plans F1 – F2 des sources d’Habère-Poche, en 2009

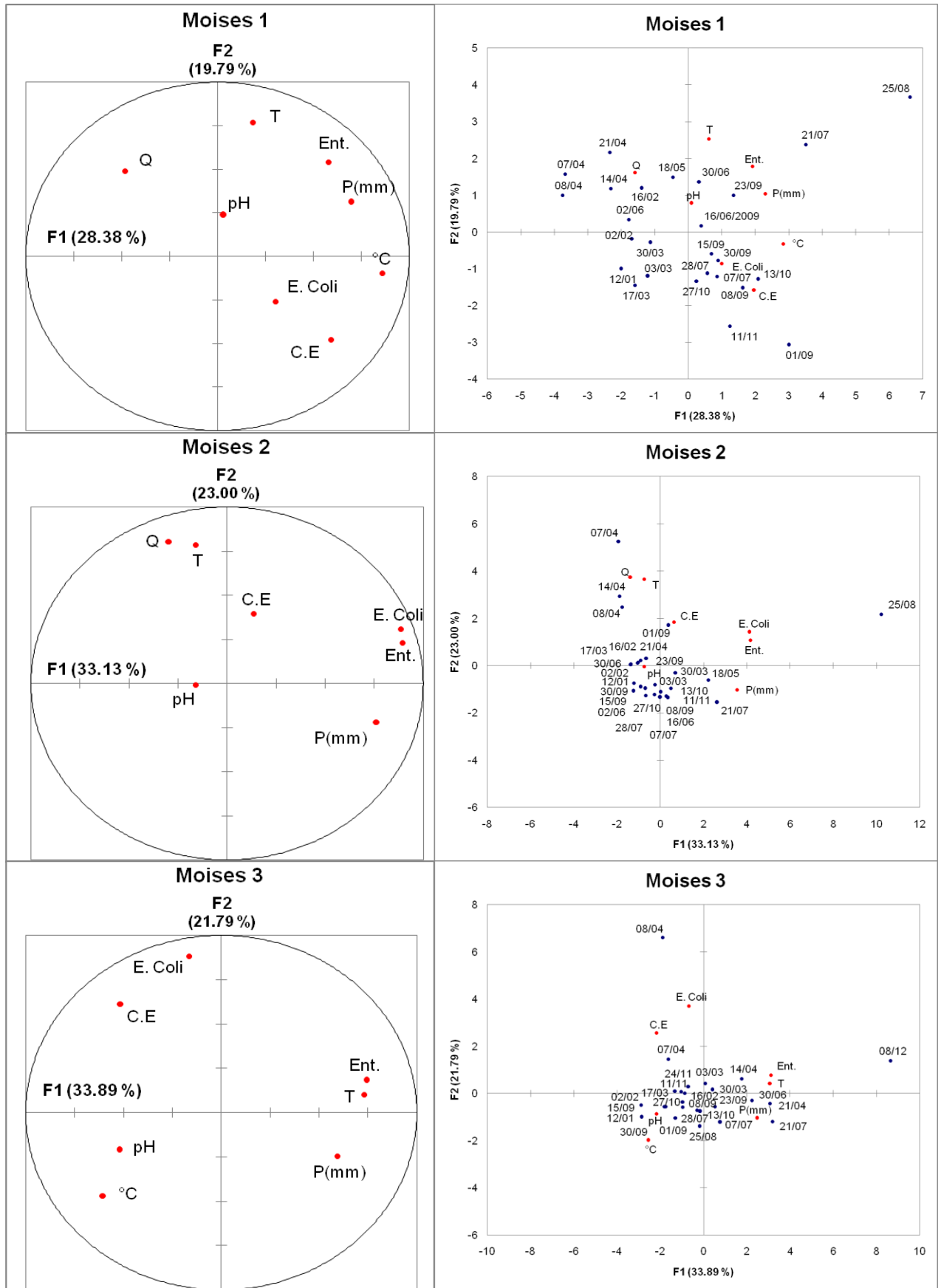


Figure 117 : Cercles de corrélation et diagrammes des individus sur les plans F1 – F2 des sources de Moises 1 et de Moises 2, en 2009

4.7.5. Evolution de l'activité humaine

Afin de pouvoir établir un lien entre pollution et activité, des observations de terrains sur l'évolution des pratiques agricoles, forestières et touristiques ont été réalisées conjointement aux prélèvements, sur l'ensemble du massif. Les principales observations sont les suivantes :

- Sur le secteur de Très le Mont :
 - o Le restaurant d'altitude a été ouvert en continue de début juin à fin septembre
 - o Présence de bovins et installation de la machine à traire sur l'aire prévue à cet effet, de juin à septembre
 - o Retrait des bêtes et de la machine à traire au début octobre
 - o L'activité touristique est assez soutenue de juin à septembre mais se limite à des promeneurs à pieds
- A proximité des sources d'Habère-Poche :
 - o Coupes forestières à l'intérieur des périmètres de protection rapprochée des sources des Granges et de Ramble au début juin
 - o Présence de quelques bovins à proximité de la source de Ramble en juin
 - o Présence de bêtes en périphérie du périmètre de protection immédiate de la source des Arces en mai
 - o Nettoyage de la chambre de la source des Arces au début décembre
 - o Les habitations du hameau des Granges Mamet sont restées inoccupées durant la période de suivi
 - o Les habitations situées au-dessus de la source des Arces ont été occupé de façon temporaire pendant la période d'observation
- A proximité des sources des Moises, d'Orcier et du Col du Feu, aucune observation n'est à mentionner durant la période de suivi

4.7.6. Conclusions

Le Tableau 69 présente une synthèse de l'étude des paramètres sanitaires des sources. Nous observons des contaminations :

- Très peu fréquentes et en très faibles quantités à Moises 3
- Peu fréquentes et en faibles quantités au Col du Feu et à l'Epinguy
- Fréquentes et en faibles quantités à Moises 1 et au Pont du Mouche
- Fréquentes et en fortes quantités aux Favrats, à Moises 2 et à Ramble
- Très fréquentes et en très fortes quantités aux Arces et aux Granges Mamet

La source des Arces

L'étude des relations statistiques par ACP, met en évidence de fortes relations entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement. Les faibles relations statistiques entre le débit à l'émergence et les contaminations bactériologiques, privilégient des circulations rapides qui ne sont pas en lien avec l'aquifère. Ces constats suggèrent des contaminations liées à des infiltrations proches de l'émergence.

La qualité bactériologique des eaux de la source des Arces pourrait être significativement améliorée en clôturant le périmètre de protection immédiate, de manière à empêcher la divagation d'animaux et en favorisant la non pâture de bétail aux alentours du captage.

	Escherichia Coli		Entérocoque		Turb.	Relation			
	Fréq.	Nombre E. Coli	Fréq.	Nombre entéro.		E. Coli / Entéro.	E. Coli / P (mm)	Entéro. / P (mm)	Microbio / Débit
Arces	46.4 %	234	53.6 %	87	3.6 %	+++	++	++	-
Col du Feu	14.3 %	44	14.3 %	11	0 %	++	+	++	
Epinguy	14.3 %	42	10.7 %	4	0 %	+++	-	-	-
Favrats	28.6 %	174	14.3 %	20	0 %	+++	++	++	-
Granges Mamet	50 %	391	75 %	255	46.4 %	+	++	+++	-
Moises 1	28.6 %	43	17.9 %	11	0 %	-	+	+++	-
Moises 2	28.6 %	172	32.1 %	49	0 %	+++	++	++	-
Moises 3	3.6 %	7	3.6 %	1	0 %	-			
Pont du Mouche	28.6 %	72	14.3 %	4	0 %	+++	++	++	-
Ramble	32.1 %	154	21.4 %	26	0 %	-	-	++	-

Tableau 69 : Synthèse de l'étude des paramètres sanitaires
P (mm) : Précipitation **Fréq. : Fréquence** **Turb. : Turbidité**
Microbio : Microbiologique **- : Très faible** **+ : Faible**
++ : Forte **+++ : Très forte**

La source du Col du Feu

Les contaminations bactériologiques sont peu fréquentes et présentes en faibles quantités, elles ne semblent donc pas liées à un rejet polluant continu. L'étude des relations statistiques par ACP, met en évidence des relations entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement. Les circulations rapides semblent être en partie responsables des contaminations bactériologiques observées.

La qualité bactériologique des eaux de la source du Col du Feu pourrait être sensiblement améliorée en clôturant le périmètre de protection immédiate, de manière à empêcher la divagation de faune sauvage.

La source de l'Epinguy

Les contaminations bactériologiques sont peu fréquentes et présentes en faibles quantités, elles ne semblent donc pas liées à un rejet polluant continu. L'étude des relations statistiques par ACP, ne met pas en évidence des relations entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement ce qui n'exclut pas la responsabilité des circulations rapides dans les contaminations bactériologiques. En effet, nous observons que les contaminations bactériologiques se produisent avec un déphasage de 10 à 15 jours avec les précipitations.

A notre sens, la qualité bactériologique des eaux de la source de l'Epinguy pourrait être sensiblement améliorée en clôturant le périmètre de protection immédiate, de manière à empêcher la divagation de faune sauvage.

La source des Favrats

L'étude des relations statistiques par ACP, met en évidence de fortes relations entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement. Les faibles relations statistiques entre le débit à l'émergence et les contaminations bactériologiques, privilégient des circulations rapides qui ne sont pas en lien avec l'aquifère. Ces constats suggèrent des contaminations liées à des infiltrations proches de l'émergence.

La qualité bactériologique des eaux de la source des Favrats pourrait être significativement améliorée en clôturant le périmètre de protection immédiate, de manière à empêcher la divagation de faune sauvage.

La source des Granges Mamet

L'étude des relations statistiques par ACP, met en évidence de fortes relations entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement. Les faibles relations statistiques entre le débit à l'émergence et les contaminations bactériologiques, privilégient des circulations rapides qui ne sont pas en lien avec l'aquifère. Ces constats suggèrent que les contaminations bactériologiques sont liées à des infiltrations proches de l'émergence.

La qualité bactériologique des eaux de la source des Granges Mamet pourrait être significativement améliorée en clôturant le périmètre de protection immédiate, de manière à empêcher la divagation de faune sauvage, en procédant de manière régulière (bi-mensuel) au nettoyage de la chambre de réunion des drains et en contrôlant les activités sylvicoles.

La source de Moises 1

L'étude des relations statistiques par ACP, met en évidence des relations entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement. Les faibles relations statistiques entre le débit à l'émergence et les contaminations bactériologiques, privilégient des circulations rapides qui ne sont pas en lien avec l'aquifère. Ces constats suggèrent que les contaminations bactériologiques sont liées à des infiltrations proches de l'émergence.

La qualité bactériologique des eaux de la source de Moises 1 pourrait être sensiblement améliorée en clôturant entièrement le périmètre de protection immédiate, de manière à empêcher la divagation de faune sauvage.

La source de Moises 2

L'étude des relations statistiques par ACP, met en évidence de fortes relations entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement. Les faibles relations statistiques entre le débit à l'émergence et les contaminations bactériologiques, privilégient des circulations rapides qui ne sont pas en lien avec l'aquifère. Ces constats suggèrent que les contaminations bactériologiques sont liées à des infiltrations proches de l'émergence.

La qualité bactériologique des eaux de la source de Moises 2 pourrait être améliorée en clôturant entièrement le périmètre de protection immédiate, de manière à empêcher la divagation de faune sauvage.

La source de Moises 3

Les contaminations bactériologiques sont très peu fréquentes et présentes en très faibles quantités, elles ne semblent donc pas liées à un rejet polluant continu. L'étude des relations statistiques par ACP n'apporte pas de réel éclairage du fait des faibles contaminations. La qualité bactériologique des eaux de la source de Moises 3 pourrait être améliorée en clôturant entièrement le périmètre de protection immédiate, de manière à empêcher la divagation de faune sauvage.

La source du Pont du Mouche

L'étude des relations statistiques par ACP, met en évidence de fortes relations entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations des cinq jours précédant le prélèvement. Les faibles relations statistiques entre le débit à l'émergence et les contaminations bactériologiques, privilégient des circulations rapides qui ne sont pas en lien avec l'aquifère. Ces constats suggèrent que les contaminations bactériologiques sont liées à des infiltrations proches de l'émergence.

La qualité bactériologique des eaux de la source du Pont du Mouche pourrait être améliorée en clôturant le périmètre de protection immédiate, de manière à empêcher la divagation de faune sauvage.

La source de Ramble

Les contaminations bactériologiques sont fréquentes et présentes en fortes quantités mais elles ne semblent pas liées à un rejet polluant continu du fait des longues périodes sans trace de contaminations bactériologiques. L'étude des relations statistiques par ACP, ne met pas en évidence des relations entre les contaminations bactériologiques et le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement ce qui n'exclut pas la responsabilité des circulations rapides dans les contaminations bactériologiques.

A notre sens, la qualité bactériologique des eaux de la source de Ramble pourrait être sensiblement améliorée en clôturant le périmètre de protection immédiate, de manière à empêcher la divagation de faune sauvage et en contrôlant les activités sylvicoles.

CHAPITRE 5. SYNTHÈSE GÉNÉRALE, PROPOSITIONS DE DÉLIMITATION DES BASSINS D'ALIMENTATIONS PRÉFÉRENTIELS ET DE SCHEMA CONCEPTUEL DE FONCTIONNEMENT DES CAPTAGES D'EAU POTABLE

Le chapitre 5 vise à réaliser une synthèse dans le but de répondre aux objectifs affichés de l'étude hydrogéologique, à savoir :

- Quel est le fonctionnement et la structure du ou des aquifère(s) alimentant les captages d'eau potable ?
- Quel est l'impact quantitatif des prélèvements d'eau potable sur les milieux aquatiques
- Quel est l'état sanitaire des captages d'eau potable ?

Au final, ce chapitre propose pour chaque captage d'eau potable, une délimitation du bassin d'alimentation préférentiel et un schéma conceptuel de fonctionnement.

Le Forchat est un massif de moyenne montagne d'une superficie proche de 12 km², constitués principalement de formations carbonatées, qui renferment d'importantes réserves en eau souterraine. Ce travail visait à travers l'étude des captages d'eau potable et des principaux cours d'eau drainant le massif, à réunir et à interpréter des informations permettant de caractériser :

- La structure et le fonctionnement des aquifères
- L'état sanitaire des émergences captées pour les besoins en eau potable
- L'impact quantitatif des prélèvements d'eau potable sur les milieux aquatiques

Le protocole d'études a été construit autour de deux types d'approche classiquement utilisés en hydrogéologie pour accéder à la connaissance du fonctionnement et de la structure des aquifères fissurés karstiques, à savoir :

- Une approche hydrodynamique, qui repose sur une mesure régulière du débit des émergences et des principaux cours d'eau drainant le massif
- Une approche hydrochimique et sanitaire qui repose sur l'analyse de l'évolution de la concentration de certains paramètres bactériologiques, physico-chimiques et isotopiques, au cours d'un cycle hydrologique et de certaines périodes caractéristiques (périodes de crue, périodes d'étiage)

Concrètement, le protocole d'études se décline par :

- La division de la zone d'étude en 3 bassins versants topographiques (bassins versants d'Habère-Poche, des Moises et du Pamphiot)
- L'équipement des principaux cours d'eau drainant le massif de manière à connaître en continu les volumes d'eau. Au total, 6 stations de mesures ont été mises en place
- L'instrumentalisation des 10 captages d'eau potable de manière à connaître en continu les volumes d'eau, la température de l'eau et de la conductivité électrique
- La création d'un observatoire climatologique et météorologique. Cinq stations météorologiques ont ainsi été identifiées dont la station météorologique que nous avons installée à Très le Mont
- La définition d'un plan d'échantillonnage susceptible d'apporter des informations dans le contexte hydrogéologique du site. 21 paramètres physico-chimiques, 3 paramètres isotopiques et 3 paramètres sanitaires, ont ainsi été inclus dans le plan d'échantillonnage
- L'identification d'une stratégie d'échantillonnage qui pour les paramètres isotopiques, se décompose en un suivi trimestriel pour l'oxygène 18 et le deutérium et un suivi bisannuel du tritium. Pour les paramètres bactériologiques et physico-chimiques, la stratégie d'échantillonnage se décline par :
 - o Un suivi à long terme avec un échantillonnage bimensuel
 - o Un suivi à court terme avec en phase de crue, un échantillonnage journalier et en phase d'étiage, un échantillonnage hebdomadaire

Le chapitre 5 se consacre dans un premier temps à la synthèse des principaux résultats obtenus. Dans un second temps et à la lumière de ces apports, une cartographie précisant les limites des bassins d'alimentation des captages d'eau potable est proposée ainsi que des schémas conceptuels du fonctionnement des

aquifères étudiés. Dans un dernier paragraphe, quelques perspectives de recherche sont énoncées.

5.1. Synthèse des résultats

5.1.1. Définition de la géométrie des aquifères du Forchat

La zone d'étude se caractérise par deux ensembles géologiques distincts : le substratum rocheux et les dépôts d'âge quaternaire qui recouvrent en grande partie le substratum.

Le Quaternaire

Les sédiments quaternaires du massif du Forchat sont essentiellement constitués par des tills latéraux liés aux fluctuations glaciaires. L'épaisseur de ces dépôts est variable mais ne dépasse rarement 20 m. La perméabilité de l'ensemble est de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-6} m/s (PARRIAUX & NICOU, 1993).

Le substratum

La structure géologique du massif se caractérise par une succession de plis symétriques souples dont l'anticlinal du Forchat dont le cœur est formé par les terrains du Trias supérieur (dolomies blondes, cargneules et argilites vertes). Le flanc Est de la structure descend de manière monoclinale vers la vallée des Arces tandis que le flanc ouest est affecté par des replis synclinaux comme celui de Jouvainais. Les deux flancs sont constitués par les terrains du Lias comprenant, à la base une alternance de schistes noirs et de bancs calcaires dolomitiques du Rhétien, puis par les calcaires grossiers du Lias inférieur à moyen. Ces calcaires supportent à la base de la structure, une épaisse série de marnes et calcaires argileux du Lias supérieur et du Dogger, de plus de 250 m. d'épaisseur.

Le pli anticlinal plonge du nord nord-est au sud sud-ouest. Le cœur à « *cargneules* » passe par Très le Mont (1350 m.), les Granges Mamet (1159 m.) et par Doucy (1050 m.). Au nord, la structure est affectée par une faille décrochante de direction sud-sud-ouest nord-nord-est qui individualise probablement l'anticlinal du Forchat du reste de la chaîne des Hermônes. Les terrains du substratum sont partiellement masqués, sur les versants et le fond des vallées, par des formations superficielles et en particulier, des éboulis et des moraines argilo-détritiques.

D'un point de vue hydrogéologique, les formations dolomitiques et gypseuses du Trias supérieur (150 m. d'épaisseur) et les formations calcaires du Lias (500 m. d'épaisseur), sont considérés comme perméables en grand alors que les formations schisteuses du Rhétien (25 m. d'épaisseur) et les formations marno-calcaires du Dogger (250 m. d'épaisseur), sont définies comme peu perméables.

5.1.2. Caractérisation du signal d'entrée : les données climatologiques et météorologiques

La caractérisation du signal d'entrée est basée sur la connaissance du contexte climatologique régional et la mise en place d'un réseau météorologique local. Pour la connaissance du contexte climatologique régional, nous nous sommes appuyés sur les informations de la station INRA de Thonon et des diverses études hydrogéologiques qui ont été réalisés sur le secteur de Thonon – Evian. Pour le réseau météorologique local, les informations des stations météorologiques de Thonon INRA, de Sciez, d'Evian-Scionnex, de la Chapelle d'Abondance et de Très le Mont ont été récoltées.

Le contexte climatologique de la région Thonon – Evian

Pour la période 1966 – 2007, les précipitations annuelles sont de l'ordre de 980 mm à 380 m. d'altitude. Les gradients altimétriques pluviométriques proposés sont compris entre 57 et 80 mm/100 m. Les mois les plus pluvieux sont mai, juin, septembre et octobre. Les mois les plus secs vont de décembre à mars. Au-dessus de 900 m. le coefficient nivométrique est supérieur à 20 %. Entre 1987 et 2007, la station de Thonon INRA (altitude de 380 m.) informe que la température moyenne est de 11.26°C, le mois le plus froid est janvier (3.06°C) et le mois le plus chaud est juillet (20.34°C). Les gradients altimétriques proposés pour la région de Thonon et d'Evian sont de l'ordre de -0.5°C/100 m.

Le réseau météorologique local

Pour la période allant du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, la station météorologique de Thonon informe que :

- La température moyenne annuelle est de 11.5°C. Le mois le plus chaud est août (21.7°C) et le mois le plus froid est janvier (0.8°C). Le gradient altimétrique moyen calculé à partir du réseau météorologique local est de - 0.56°C/100 m.
- Le cumul annuel des précipitations est de 733 mm ce qui représente un déficit de l'ordre de 23 % par rapport aux moyennes des 20 dernières années. Les mois les plus pluvieux sont décembre 2008 (114.5 mm) et juillet 2009 (107.2 mm). Les mois les plus secs sont avril 2009 (37.2 mm) et octobre 2009 (37.8 mm)

Les périodes de fusion nivale du secteur d'étude sont les suivantes :

- Le 17 décembre 2008
- Du 22 décembre au 24 décembre 2008
- Le 12 et le 13 janvier 2009
- Le 19 janvier 2009
- Du 1^{er} au 4 mars 2009
- Du 15 au 19 mars 2009
- Le mois d'avril 2009

L'étude de la composition chimique des eaux de pluie (précipitations récoltées au Col du Feu et à Très le Mont), met en évidence l'influence des précipitations provenant de l'océan Atlantique, marquées par la présence des ions sodium. Les masses d'air

d'origine océanique sont « *enrichies* » au cours de leur trajet par divers éléments (particulièrement le calcium, les sulfates, les nitrates et le potassium) liés à l'environnement et à l'activité humaine de la région.

Conclusions

La période d'étude se caractérise par un déficit pluviométrique prononcé et n'est pas représentative d'une situation pluviométrique « *normale* ». Par ailleurs, le pluviomètre de la station météorologique de Très le Mont n'étant pas équipé d'un système de chauffage, les précipitations neigeuses ne sont pas traduites en hauteur d'eau. Il en résulte un biais de mesures important des précipitations durant près de 6 mois, qui a été « *résolu* » par la réalisation de gradient altimétrique mensuel à partir des informations des autres stations météorologiques.

5.1.3. Caractérisation hydrodynamique du signal de sortie

Les mesures de débit

Les mesures de débits ont été réalisées soit par des débitmètres soit par des mesures de hauteurs d'eau. Dans le premier cas, les informations utilisées sont brutes alors que dans le second cas, des campagnes de jaugeages et des courbes de tarage ont été réalisées afin de relier les hauteurs d'eau mesurées à un débit (sauf pour le site du Pamphiot du fait de la fourniture de la courbe de tarage par le fournisseur du canal venturi).

8 courbes de tarage (5 pour les cours d'eau et 3 pour les sources) ont été réalisées. Pour les cours d'eau, la méthode dite par injection instantanée ou méthode par intégration à base de sel (NaCl) a été utilisée. Pour les sources, la méthode dite volumétrique qui consiste à recueillir dans un récipient un volume d'eau pendant un temps donné, a été pratiquée. Les courbes de tarage obtenues ont été contrôlées par les courbes de débits produits à partir des principales lois hydrauliques (Loi de Bazin, Formule de la SIA, Formule de Staus et de Von Sanden). Au final, la marge d'erreur est de l'ordre de 15 % pour les cours d'eau (sauf sur le site du Pamphiot qui se caractérise par une marge d'erreur de 3 %) et de 5 % pour les sources.

L'obtention des courbes de tarage a permis de matérialiser des problèmes de mesures de la hauteur d'eau à la source du Col du Feu, ce qui a aboutit à la suppression du site dans le cadre du suivi hydrodynamique. Ailleurs et entre le 1^{er} novembre 2008 et le 31 octobre 2009, nous avons dénombré :

- 211 jours d'informations manquantes (107 jours pour les captages d'eau potable et 104 jours pour les cours d'eau) causées soit par des blocages du système de comptage soit par un dysfonctionnement de la sonde de pression
- 154 jours d'informations biaisées (74 jours pour les sources et 80 jours pour les cours d'eau) c'est-à-dire des informations de débit sous-évaluées du fait de la mise en service de trop-plein

Néanmoins, les lacunes d'informations sont le plus souvent de courte durée (inférieures à 15 jours). La reconstitution linéaire entraîne des biais faibles et donc acceptables. Par contre, la reconstitution des informations manquantes et des

informations biaisées de longue durée a provoqué des biais importants et donc une déformation des traitements aux sources de l'Epinguy (31 et 40 jours consécutifs d'absence d'informations), des Granges Mamet (25 jours consécutifs de mise en service du trop-plein) et du Pont du Mouche (34 jours consécutifs de fonctionnement du trop-plein).

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, les chroniques de débit des sources mettent en évidence des phases de basses eaux en été et en hiver, et des phases des hautes eaux au printemps et en automne. Le processus de recharge des aquifères est contrôlé, en ordre d'importance, par la fusion nivale printanière et par les précipitations automnales.

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, le débit moyen annuel est :

- Faible à Ramble avec 1.58 l/s, aux Granges Mamet avec 2.18 l/s (valeur sous estimée du fait de la mise en fonctionnement du trop plein en période de hautes eaux), à Moises 3 avec 2.75 l/s, au Pont du Mouche avec 2.81 l/s (valeur sous estimée du fait de la mise en fonctionnement du trop plein en période de hautes eaux), à Epinguy avec 3.17 l/s ((valeur sous estimée du fait des lacunes d'informations en période de hautes eaux, aux Favrats (3.19 l/s)
- Moyen à Moises 2 (5.96 l/s) et aux Arces avec 7.96 l/s (valeur sous estimée du fait de la mise en fonctionnement du trop plein en période de hautes eaux
- Fort à Moises 1 (21.19 l/s)

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, le coefficient de variation du débit (rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage) est :

- Faible aux Arces avec 47.5 %, à l'Epinguy avec 28.4 %, aux Favrats avec 37.6 %, aux Granges Mamet avec 28 %, au Pont du Mouche avec 40.9 % et à Ramble avec 39.9 %
- Fort à Moises 1 avec 87 %, à Moises 2 avec 80 % et à Moises 3 avec 109.1 %

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, le rapport entre le débit maximum et le débit minimum est :

- Faible aux Arces avec 6.6 (valeur sous estimée du fait du fonctionnement du trop-plein en hautes eaux), à l'Epinguy avec 3 (valeur sous estimée du fait des lacunes d'informations en période de hautes eaux), aux Favrats avec 4.1, au Pont du Mouche avec 4.5 (valeur sous estimée du fait du fonctionnement du trop-plein en hautes eaux) et à Ramble avec 4.5
- Fort à Moises 1 avec 15.5, à Moises 2 avec 21 et à Moises 3 avec 54.5

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, nous avons constaté que la réponse hydrodynamique à un événement pluvieux est :

- Faible aux Arces, à l'Epinguy et à Moises 1
- Moyenne aux Favrats, au Pont du Mouche et à Ramble
- Forte aux Granges Mamet, à Moises 2 et à Moises 3

Ces informations couplées à l'allure générale de la chronique de débits, nous ont permis d'émettre des hypothèses sur le fonctionnement des systèmes hydrogéologiques alimentant les captages d'eau potable (cf. Tableau 70), à savoir :

- Aux Arces. Le faible rapport entre le débit maximum et le débit minimum et le faible coefficient de variation, laissent envisager un fonctionnement fissuré. La faible réponse hydrodynamique aux événements pluvieux souligne le fort caractère capacitif du système hydrogéologique des Arces
- Aux Col du Feu. L'absence d'informations hydrodynamiques viables ne nous permet pas de formuler des hypothèses concernant le fonctionnement du système hydrogéologique
- A l'Epinguy. Le faible rapport entre le débit maximum et le débit minimum, la faible réponse hydrodynamique aux événements pluvieux et le faible coefficient de variation du débit, laissent envisager un fonctionnement fissuré. La faible réponse hydrodynamique aux événements pluvieux souligne le fort caractère capacitif du système hydrogéologique de l'Epinguy
- Aux Favrats. Le faible coefficient de variation du débit et le faible rapport entre le débit maximum et le débit minimum, laissent envisager un fonctionnement fissuré. La réponse hydrodynamique aux événements pluvieux est moyenne et elle souligne le caractère transmissif du système hydrogéologique des Favrats
- Aux Granges Mamet. Le faible coefficient de variation du débit et le faible rapport entre le débit maximum et le débit minimum, laissent envisager un fonctionnement fissuré. La réponse hydrodynamique aux événements pluvieux est forte et elle souligne le fort caractère transmissif du système hydrogéologique des Granges Mamet
- A Moises 1. Le fort coefficient de variation du débit et le fort rapport entre le débit maximum et le débit minimum, laissent envisager un fonctionnement karstique. La réponse hydrodynamique aux événements pluvieux est faible ce qui souligne le fort caractère capacitif du système hydrogéologique de Moises 1
- A Moises 2. Le fort coefficient de variation du débit et le fort rapport entre le débit maximum et le débit minimum, laissent envisager un fonctionnement karstique. La réponse hydrodynamique aux événements pluvieux est forte ce qui souligne le fort caractère transmissif du système hydrogéologique de Moises 2
- A Moises 3. Le fort coefficient de variation du débit et le fort rapport entre le débit maximum et le débit minimum, laissent envisager un fonctionnement karstique. La réponse hydrodynamique aux événements pluvieux est forte ce qui souligne le fort caractère transmissif du système hydrogéologique de Moises 3
- Au Pont du Mouche. Le faible coefficient de variation du débit et le faible rapport entre le débit maximum et le débit minimum, laissent envisager un fonctionnement fissuré. La réponse hydrodynamique aux événements pluvieux est moyenne ce qui souligne le caractère transmissif du système hydrogéologique du Pont du Mouche
- A Ramble. Le faible coefficient de variation du débit et le faible rapport entre le débit maximum et le débit minimum, laissent envisager un fonctionnement fissuré. La réponse hydrodynamique aux événements

pluvieux est faible ce qui souligne le fort caractère capacitif du système hydrogéologique de Ramble

	Débit moyen	Coefficient de variation	Rapport entre les débits maximum et minimum	Réponse aux précipitations	Hypothèse sur le fonctionnement du système
Arces	<u>7.96</u>	<u>47.5 %</u>	<u>6.6</u>	Faible	Fissuré capacitif
Epinguy	<u>3.17</u>	<u>28.4 %</u>	<u>3</u>	Faible	Fissuré capacitif
Favrats	3.19	37.6 %	4.1	Moyenne	Fissuré transmissif
Granges Mamet	<u>2.18</u>	<u>28 %</u>	<u>2</u>	Forte	Fissuré transmissif
Moises 1	21.19	87 %	15.5	Faible	Karstique capacitif
Moises 2	5.96	80 %	21	Forte	Karstique transmissif
Moises 3	2.75	109.1 %	54.5	Forte	Karstique transmissif
Pont du Mouche	<u>2.81</u>	<u>40.9 %</u>	<u>4.5</u>	Moyenne	Fissuré transmissif
Ramble	1.58	39.9 %	4.5	Faible	Fissuré capacitif

Tableau 70 : Synthèse de l'étude des variations de débit
Les valeurs soulignées sont sous-évaluées du fait de lacunes d'informations

Bilan hydrologique

La surface d'alimentation des sources a été estimée à partir des données de précipitations annuelles, des volumes d'eaux annuels comptabilisés aux sources et de l'estimation des coefficients d'infiltration. Les résultats sont présentés sur le Tableau 71.

	Surface d'alimentation en Ha
Arces	12.6
Epinguy	5
Favrats	5
Granges Mamet	3.4
Moises 1	33.4
Moises 2	9.4
Moises 3	4.3
Pont du Mouche	4.4
Ramble	2.5

Tableau 71 : Estimation de la surface d'alimentation des captages d'eau potable à partir des informations de débit du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009

Analyse des courbes de récession

Le but de l'analyse des courbes de récession est de préciser le volume des réserves de tarissement. Ces réserves correspondent au volume d'eau qui se trouve dans les parties peu perméables de l'aquifère. Concrètement, il s'agit de répondre à la question suivante : *Quel serait le débit à l'émergence 200 jours, 300 jours et 400 jours après le débit de pointe de crue s'il ne pleut pas ?* Les résultats sont présentés sur le Tableau 72. Trois groupes de sources se distinguent :

- Les sources à faibles réserves (inférieures à 50000 m³) qui sont les sources de Moises 3, de Ramble et du Pont du Mouche

- Les sources à moyennes réserves (entre 50000 et 100000 m³) qui sont les sources de l'Epinguy et des Favrats
- Les sources à fortes réserves (supérieures à 100000 m³) qui sont les sources des Arces, de Moises 1 et de Moises 2

	Q200	R200	Q300	R300	Q400	R400
Arces	2.505	114130	1.369	130309	0.751	139175
Epinguy	1.726	48312	1.274	61148	0.944	70645
Favrats	1.696	55124	1.133	67151	0.759	75203
Moises 1	5.263	333283	2.611	365846	1.296	382010
Moises 2	2.536	102485	1.876	121366	1.39	135350
Moises 3	0.179	25711	0.089	26817	0.044	27366
Ramble	0.657	20615	0.581	25916	0.533	30717
Pont du Mouche	1.069	35594	0.714	43175	0.479	48252

Tableau 72 : Réserves de tarissement calculées à partir des courbes de récession correspondantes

Q200 : débit estimé en l/s au 200^{ème} jour après la pointe de crue

Q300 : débit estimé en l/s au 300^{ème} jour après la pointe de crue

Q400 : débit estimé en l/s au 400^{ème} jour après la pointe de crue

R200 : réserve de tarissement en m³ au 200^{ème} jour après la pointe de crue

R300 : réserve de tarissement en m³ au 300^{ème} jour après la pointe de crue

R400 : réserve de tarissement en m³ au 400^{ème} jour après la pointe de crue

Analyse des débits classés

L'analyse des débits classés a pour objet de mettre en évidence les spécificités du comportement hydrodynamique des sources telles que l'existence de trop-pleins, de stockages et de déstockages, d'apports ou de fuites d'eau. L'analyse repose sur le classement des débits journaliers et la réalisation d'une courbe « cumulative de fréquences ». Les résultats de l'analyse sont présentés sur le Tableau 73. Ils ont été retenus comme hypothèse de travail.

	Arces	Favrats	Moises 1	Moises 2	Moises 3	Pont du Mouche	Ramble
Mise en fonctionnement de trop-plein	X				X		
Stockage momentanée	X				X		
Fuite vers un autre système	X				X		
Débordement de la station de jaugeage	X					X	
Apports d'une réserve issue d'un cycle antérieur		X	X	X	X		
Apports en provenance d'un autre système				X			
Constitution d'une réserve	X						
Piégeage d'une réserve en décrue et restitution en tarissement						X	X

Tableau 73 : Résumé des interprétations de l'analyse des débits classés

Etude comparative entre les prélèvements d'eau potable et le débit des cours d'eau

L'étude comparative entre les prélèvements d'eau potable et le débit des cours d'eau sur les bassins versants de la Menoge, des Moises et du Pamphiot, a été réalisée sur un cycle hydrologique, à savoir du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009. Elle montre que les débits prélevés aux sources sont en moyenne :

- Inférieurs aux débits mesurés des cours d'eau sur les bassins versants de la Menoge et du Pamphiot sauf en fin de période d'étiage
- Supérieurs aux débits mesurés des cours d'eau sur le bassin versant des Moises sauf lors de la fusion nivale printanière (du 2 mars 2009 au 8 avril 2009), de la période pluvieuse automnale (du 8 au 26 octobre 2009) et ponctuellement à la suite de précipitations abondantes

Ces constats amènent la question de savoir si les prélèvements d'eau potable sur le bassin versant des Moises sont en accord avec la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 qui a instauré au sein de l'article L.214-18 du code de l'environnement, une disposition imposant à tous les ouvrages, quel qu'en soit l'usage, des obligations relatives pour le maintien d'un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces aquatiques dans le cours d'eau à l'aval des ouvrages. *« Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du « module » du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. (...). Toutefois, pour les cours d'eau ou sections de cours d'eau présentant un « fonctionnement atypique » rendant non pertinente la fixation d'un débit minimal dans les conditions prévues ci-dessus, le débit minimal peut être fixé à une valeur inférieure ».*

La lecture de l'article L. 214-18 du code de l'environnement définit la notion de débit minimal comme ne devant pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage correspondant. En admettant que la station des Moises se localise à l'aval immédiat des sources alors le débit minimal du cours d'eau peut être évalué pour la période du suivi en calculant le dixième du module du cours d'eau. En fonction de l'intégration (ou non) des incertitudes de mesures de débit, le débit minimal du cours d'eau des Moises a été estimé entre 4.2 et 4.8 l/s pour la période du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009. Le débit mesuré au cours d'eau des Moises est inférieur au débit minimal estimé durant la période de suivi, est compris entre 8 (scénario optimiste) et 38 jours (scénario pessimiste).

Les résultats présentés sont à nuancer du fait que :

- Le débit minimal du cours d'eau a été estimé en ajoutant le débit mesuré du cours d'eau et le débit prélevé aux sources. Or, la distance séparant la station des Moises et les sources des Moises est conséquente. Il apparaît possible qu'en l'absence de prélèvement d'eau, une partie des eaux provenant des captages et s'écoulant en direction de la station des Moises, s'infilte. En ce sens, le débit minimal du cours d'eau est surestimé
- Le débit minimal du cours d'eau a été estimé à partir des informations d'un cycle hydrologique. Or, le cumul des précipitations durant la période de suivi fait apparaître un déficit pluviométrique de l'ordre de 25 %. En ce sens, le débit mesuré et le débit minimal du cours d'eau sont sous-estimés

Ces éléments de précision posent la question des facteurs géologiques. En d'autres termes, **est-ce que la géologie du bassin versant des Moises est plus favorable à l'infiltration que les autres bassins versants.** Selon Allier, Vittecoq et Mardhel (ALLIER, VITTECOQ, & MARDHEL, 2008), la densité de drainage est un indicateur « *révélateur des propriétés des formations géologiques. Un bassin formé de matériaux très perméables aura en général une densité de drainage faible. A l'inverse, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes ou des argiles, va souvent présenter une densité de drainage plus élevée* ». Or, **la densité de drainage (rapport entre la superficie du bassin versant et la longueur des cours d'eau cadastrés) est environ deux fois moins importante (cf. 2.3.1) pour le bassin versant des Moises (0.0011) que pour les bassins versants de la Menoge (supérieur à 0.002) et du Pamphiot (0.0018). Il apparaît probable qu'une partie des précipitations du bassin versant du ruisseau des Moises, s'infiltrer et alimente les sources (source de l'Ecole, source de Pessinges, source de Cursinges) qui se localisent au contact de la nappe des Préalpes médianes et les aquifères poreux du fluvio-glaciaire (nappe de Draillant).**

Dans l'objectif de préciser le fonctionnement du cours d'eau des Moises et de déterminer si des phénomènes de pertes se produisent, des opérations de traçage artificiel pourraient être entreprises. Par ailleurs et dans l'objectif de définir le débit minimal du cours d'eau des Moises, le suivi hydrodynamique du bassin versant doit être poursuivi durant les prochaines années. Le suivi envisagé se doit d'être couplé avec l'acquisition d'informations météorologiques.

5.1.4. Caractérisation hydrogéochimique et sanitaire du signal de sortie

Etude des variations de la température et de la conductivité électrique des captages d'eau potable

L'étude des variations de la température et de la conductivité électrique durant la période de suivi, a mis en évidence des comportements similaires et des comportements particuliers des systèmes hydrogéologiques. Parmi les comportements présentant certaines similarités, 3 groupes peuvent être cités et qui sont les suivants :

- Groupe 1 : il s'agit des systèmes hydrogéologiques de l'Epinguy, de Moises 1 et de Ramble. Nous constatons que les variations des valeurs de la conductivité électrique et de la température sont faibles. Ces informations mettent en évidence une fort caractère capacitif de ces systèmes
- Groupe 2 : il s'agit des systèmes hydrogéologiques des Favrats et de Moises 3. Nous constatons que les précipitations ont une forte influence sur les valeurs de conductivité électrique et de température alors que les variations saisonnières ont peu d'influence sur les valeurs de conductivité électrique et de température. Ces informations dénotent un fort caractère transmissif et un fort caractère capacitif de ces systèmes
- Groupe 3 : il s'agit des systèmes hydrogéologiques des Granges Mamet, de Moises 2 et du Pont du Mouche. Pour ces systèmes, nous constatons

que les précipitations et les variations saisonnières ont une forte influence sur les valeurs de conductivité électrique et de température (nous le supposons du fait des lacunes d'informations au Pont du Mouche du 5/07/2009 au 26/10/2009). Ces informations mettent en évidence le fort caractère transmissif de ces systèmes

Parmi les comportements présentant des singularités, nous notons :

- Le système hydrogéologique des Arces. Nous constatons que la température réagit faiblement aux variations saisonnières et aux événements pluvieux alors que les valeurs de conductivité électrique sont fortement influencées par les variations saisonnières et faiblement influencées par les précipitations. Ces informations démontrent le fort caractère capacitif du système et laissent suggérer un contact du système hydrogéologique principal avec un autre système ayant une signature hydrochimique différente
- Le système hydrogéologique du Col du Feu. Nous constatons que la température de l'eau reste stable tout au long de l'année alors que les valeurs de conductivité électrique réagissent fortement aux précipitations et faiblement aux variations saisonnières. Ces informations laissent envisager que le système hydrogéologique du Col du Feu possède à la fois un fort caractère transmissif et capacitif. La stabilité de la température semble indiquer des circulations profondes

Etude de la balance ionique

L'étude de la balance ionique a été réalisée à partir du logiciel « *Diagramme* », développé par l'Université d'Hydrogéologie d'Avignon. Sur les 379 analyses réalisées (moyenne d'environ 38 analyses par source), 23 analyses ont été identifiées comme étant de mauvaise qualité (balance ionique égale ou supérieure à 10 %). Ces analyses ont été retirées des études des variations des paramètres du suivi hydrochimique.

Etude des variations des paramètres du suivi hydrochimique (majeurs, mineurs et éléments traces)

L'étude des paramètres majeurs a permis de définir les faciès chimiques des eaux de sources et de caractériser les phénomènes de mélange à l'émergence. Il ressort de cette étude que :

- La source des Arces présente un faciès bicarbonaté calcique légèrement magnésien. Le calcium provient essentiellement de la dissolution de la calcite (CaCO_3) surtout en période de hautes eaux. Dans une moindre mesure, il résulte de la dissolution de la dolomie ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) et de l'anhydrite (CaSO_4). En étiage, la part du calcium produit par la dissolution de la dolomie et de l'anhydrite augmente. Ces informations confirment l'idée d'un contact du système hydrogéologique principal (calcaire) avec un système secondaire (gypseux et dolomitique) ayant une signature hydrochimique différente
- La source du Col du Feu présente un faciès sulfaté calcique et magnésien. Le calcium provient essentiellement de la dissolution de l'anhydrite. Il résulte également de la dissolution de la dolomie. Ces informations mettent

- en avant l'alimentation de la source par un système hydrogéologique de nature gypseuse et dolomitique
- Les sources de l'Epinguy, des Favrats, des Granges Mamet et de Ramble, présentent des faciès bicarbonatés calciques. Le calcium provient essentiellement de la dissolution de la calcite (CaCO₃) et dans une moindre mesure il provient de la dissolution de la dolomie contenue dans les calcaires dolomitiques
 - Les sources de Moises 1 et de Moises 2, présentent des faciès bicarbonatés calciques. Le calcium provient essentiellement de la dissolution des calcaires dolomitiques et dans une moindre mesure de la dissolution de la calcite
 - La source de Moises 3 présente un faciès bicarbonaté calcique. Le calcium provient de essentiellement de la dissolution de la calcite surtout en période de hautes eaux et dans une moindre mesure de la dissolution des calcaires dolomitiques. La part du calcium produit par la dissolution des calcaires dolomitiques augmente en étiage
 - La source du Pont du Mouche présente un faciès bicarbonaté calcique et magnésien. Le calcium est produit en étiage par la dissolution de la dolomie et de l'anhydrite. En dehors des périodes d'étiage, le calcium provient de la dissolution de la dolomie, de l'anhydrite et de la calcite

L'étude de l'évolution des paramètres mineurs s'est concentrée sur les variations des teneurs en silice et en strontium. Pour ces deux paramètres, nous observons une corrélation avec le débit. Plus le débit est faible et plus les concentrations en strontium et en silice sont élevées. Pour chaque source (nous le supposons au Col du Feu du fait des lacunes d'informations), ces deux paramètres constituent un indicateur du temps de séjour des eaux souterraines dans le système.

L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique a permis de fournir des éléments de réponse sur l'influence des circulations rapides et des circulations lentes, sur l'état de saturation des eaux en calcite et en dolomie, sur le type de circulations (profonde ou peu profonde) et sur le mode de fonctionnement (karstique ou fissuré) des systèmes hydrogéologiques. Les résultats laissent apparaître les informations suivantes :

- La source des Arces se caractérise par des circulations peu profondes et peu rapides. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante souligne un fonctionnement karstique avec un mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes en avril, juin et juillet
- La source du Col du Feu se caractérise par des circulations profondes et très rapides. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante souligne un fonctionnement karstique
- La source de l'Epinguy se caractérise par des circulations peu profondes et très rapides. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la

- pCO₂ équilibrante souligne un fonctionnement karstique avec l'émergence d'eaux anciennes en période de crue (avril)
- Les sources des Favrats, des Granges Mamet et de Moises 3 se caractérisent par des circulations peu profondes et très rapides. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante souligne un fonctionnement karstique avec :
 - o Aux Favrats, l'émergence d'eaux anciennes en janvier et février
 - o Aux Granges Mamet, un mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes en période de crue (avril)
 - o A Moises 3, un mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes
 - La source de Moises 1 se caractérise par des circulations peu profondes et peu rapides. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et équilibrées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante souligne un fonctionnement karstique caractérisé par le mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes en avril et l'émergence d'eaux anciennes en janvier, février et juillet
 - Les sources de Moises 2 et du Pont du Mouche se caractérisent par des circulations peu profondes et rapides. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante souligne un fonctionnement karstique caractérisé par l'émergence d'eaux anciennes en période d'étiage
 - La source de Ramble se caractérise par des circulations peu profondes et peu rapides. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux équilibrées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante souligne un fonctionnement fissuré

Pour les systèmes hydrogéologiques des Arces, de l'Epinguy, des Favrats, des Granges Mamet et du Pont du Mouche, l'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante souligne des fonctionnements karstiques alors que l'étude des chroniques de débit met en évidence des fonctionnements fissurés. Pour ces systèmes deux hypothèses peuvent être émises :

- Hypothèse 1 : Les systèmes fonctionnent sur le modèle fissuré mais des écoulements déconnectés de la zone noyée alimentent la source ce qui perturbent les valeurs de l'équilibre calco-carbonique
- Hypothèse 2 : Les systèmes fonctionnent sur le modèle karstique mais les eaux souterraines terminent leur parcours dans un relais hydraulique (de type éboulis de pente ou formations quaternaires) qui joue un rôle de tampon hydrodynamique et hydrochimique

Etude des paramètres isotopiques

L'étude des valeurs en tritium a permis d'estimer les temps moyen de séjour des eaux souterraines à l'émergence et l'étude des variations des concentrations en

oxygène 18 a permis d'estimer une altitude moyenne de recharge des systèmes hydrogéologiques. Pour information, la qualité des signatures isotopiques a été vérifiée par l'étude des excès en deutérium ce qui s'est traduit par la suppression de 5 analyses sur 61 de l'essai d'interprétation. Par ailleurs, l'étude du rapport oxygène 18/deutérium confirme l'origine océanique des précipitations locales.

Les résultats de l'étude des valeurs en tritium sont les suivants :

- Le temps de séjour moyen des eaux à l'émergence sont supérieurs à 1 an aux sources des Favrats, de Moises 1, de Moises 2 et de Moises 3. Ces résultats confirment les informations présentées dans l'analyse des débits classés
- Le temps de séjour moyen des eaux à l'émergence sont compris entre 6 mois et 1 an aux sources des Arces, des Granges Mamet, du Pont du Mouche et de Ramble
- Le temps de séjour moyen des eaux à l'émergence sont compris entre 2 mois et 6 mois à la source du Col du Feu
- Le temps de séjour moyen des eaux à l'émergence sont compris entre 6 mois et 1 an à la source de l'Epinquy sauf en période de crue où des eaux à temps de séjour supérieur à 1 an émergent. Ces résultats confirment les informations fournies par l'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO_2 équilibrante

Pour estimer l'altitude moyenne de recharge des systèmes hydrogéologiques à partir de l'étude des variations des concentrations en oxygène 18, nous nous appuyés sur l'équation de Siwertz (SIWERTZ, 1973). Les résultats de l'étude sont les suivants :

- L'altitude moyenne de recharge du système hydrogéologique des Arces est comprise entre 1240 et 1340 m.
- L'altitude moyenne de recharge des systèmes hydrogéologiques du Col du Feu et de Moises 3 est supérieure à 1500 m.
- L'altitude moyenne de recharge du système hydrogéologique de l'Epinquy est comprise entre 1270 et 1370 m.
- L'altitude moyenne de recharge du système hydrogéologique des Favrats est comprise entre 1150 et 1250 m.
- L'altitude moyenne de recharge du système hydrogéologique des Granges Mamet est comprise entre 1190 et 1290 m.
- L'altitude moyenne de recharge du système hydrogéologique de Moises 1 est comprise entre 1200 et 1300 m.
- L'altitude moyenne de recharge du système hydrogéologique de Moises 2 est comprise entre 1320 et 1420 m.
- L'altitude moyenne de recharge du système hydrogéologique de Moises 3 est supérieure à 1500 m.
- L'altitude moyenne de recharge du système hydrogéologique du Pont du Mouche est comprise entre 1310 et 1410 m.
- L'altitude moyenne de recharge du système hydrogéologique des Arces est comprise entre 1220 et 1320 m.

Estimation de la participation des pôles de mélange à l'exutoire

La méthode EMMA (End-Member Mixing Analysis) développée par Christophersen *et al.* (1990) et Hooper *et al.* (1990) a été mise en œuvre pour les sources des Arces,

des Favrats, de Moises 1, de Moises 2, de Moises 3, du Pont du Mouche et de Ramble. Cette méthode, basée sur une déconvolution d'hydrogramme à partir de « n » réservoirs repose sur l'idée que les eaux à l'exutoire résultent d'un mélange de plusieurs réservoirs et que les réservoirs en question sont chimiquement invariables dans le temps et l'espace vis-à-vis des éléments choisis. Les réservoirs se présentent comme des pôles de mélange et ils sont appelés « *bornes hydrochimiques* ». La définition des pôles de mélange permet d'estimer quantitativement la proportion de chacun des réservoirs à l'exutoire.

Concrètement, la méthode EMMA nécessite de :

- Réaliser une caractérisation hydrochimique globale par ACP (Analyses en Composantes Principales) afin de déterminer les paramètres pertinents pour l'estimation de la participation des pôles de mélange à l'exutoire
- Déterminer les valeurs des bornes hydrochimiques afin de caler au mieux le modèle
- Réaliser une simulation afin de quantifier la participation des pôles de mélange à l'exutoire

La caractérisation hydrochimique globale par ACP a porté sur 316 individus (38 aux Arces, 37 au Col du Feu, 24 à l'Épinguy, 31 aux Favrats, 36 aux Granges Mamet, 36 à Moises 1, 26 à Moises 2, 33 à Moises 3, 24 au Pont du Mouche et 31 à Ramble) et 11 variables (température, C.E, pH, silice, nitrates, bicarbonates, sulfates, magnésium, calcium, sodium et strontium). Les résultats de l'ACP montrent que :

- L'axe 1 et l'axe 2 absorbe 76 % de la variance totale
- La conductivité électrique, les sulfates, le calcium, le magnésium et le strontium, sont très bien représentés sur l'axe 1 avec des pourcentages supérieurs à 95 %. L'axe 1 se corrèle donc très bien avec des paramètres chimiques représentatifs de la minéralisation totale
- Le pH et les nitrates, sont bien représentés sur l'axe 2 avec des pourcentages supérieurs à 60 %. L'axe 2 se corrèle donc bien avec des paramètres représentatifs de l'activité biologique dans le sol

Le choix du magnésium et des nitrates comme « *bornes hydrochimiques* » a été motivé du fait notamment que :

- Le magnésium représente un indicateur du temps de séjours des eaux souterraines dans les systèmes hydrogéologiques (BATIOT, 2003 ; GARRY, 2007). Le suivi de l'évolution de ce paramètre permet de récolter des informations sur la fonction « *capacitive* » des systèmes hydrogéologiques
- Si nous considérons que l'ensemble du massif est peu soumis à l'influence anthropique et que l'encaissant est dépourvu de nitrates alors les nitrates sont essentiellement produit par la nature du couvert végétal, l'épaisseur et le type de sol. Ainsi, le suivi de l'évolution de ce paramètre permet de récolter des informations sur la fonction « *transmissive* » des systèmes hydrogéologiques

Le calage des « *bornes hydrochimiques* » est une étape délicate surtout que l'année 2009 présente un déficit pluviométrique conséquent, de l'ordre de 23 % par rapport aux moyennes des 20 dernières années. Elle s'intègre dans une succession d'années globalement déficitaires entre 2003 et 2009 puisque la moyenne des écarts

enregistrés sur ces sept années est de - 86 mm (par rapport à la moyenne calculée sur les 20 dernières années à la station météorologique de l'INRA à Thonon) et ce malgré trois années (de 2006 à 2008) légèrement excédentaire. Mais l'année 2009 présente un double avantage pour le calage des bornes hydrochimiques car elle offre d'une part deux épisodes de fortes crues (en avril et en décembre) et d'autre part un étiage sévère à la fin de l'automne.

La relation Magnésium – Nitrates à l'exutoire des sources montrent clairement que les individus du Pont du Mouche présentent des concentrations en magnésium supérieures aux autres sources. Cette observation nous a amené à distinguer dans la définition des valeurs des pôles de mélange les sources bicarbonatées calciques (Arces, Favrats, Moises 1, Moises 2, Moises 3 et Ramble) de la source bicarbonatée calcique et magnésienne (Pont du Mouche).

Pour les sources bicarbonatées calciques, nous obtenons trois pôles dont le premier est marqué par une faible concentration en magnésium (0.5 mg/l) et une faible teneur en nitrates (0.5 mg/l), un deuxième marqué par une concentration élevée en magnésium (20 mg/l) et une faible valeur en nitrates (0.5 mg/l) et enfin un troisième caractérisé par une concentration faible en magnésium (0.5 mg/l) et une forte teneur en nitrates (15 mg/l). Pour la source bicarbonatée calcique et magnésienne, nous déterminons trois pôles dont le premier est marqué par une faible concentration en magnésium (0.5 mg/l) et une faible teneur en nitrates (0.5 mg/l), un deuxième marqué par une concentration forte en magnésium (40 mg/l) et une faible valeur en nitrates (0.5 mg/l) et enfin un troisième caractérisé par une concentration moyenne en magnésium (20 mg/l) et une forte teneur en nitrates (15 mg/l).

Les caractéristiques du pôle 1 (faibles valeurs en magnésium et en nitrates) ne permettent pas de définir avec précision la nature de ce réservoir. Deux hypothèses ont été émises. La première hypothèse consiste à considérer le pôle 1 comme un réservoir distribuant une eau récente n'ayant traversé aucun horizon pédologique expliquant ainsi les faibles teneurs en magnésium et en nitrates. La seconde hypothèse privilégie l'idée d'une alimentation directe de l'exutoire par les eaux de précipitations. Au vu de ces hypothèses, le pôle 1 a été appelé « *pôle pluie* ». Pour fixer les valeurs du pôle 1, nous nous sommes appuyés sur les valeurs observées dans les eaux de pluie. Ainsi, il nous est apparu cohérent de définir les valeurs de 0.5 mg/l pour les nitrates et le magnésium.

Les caractéristiques du pôle 2 (valeurs faibles en magnésium et valeurs fortes en nitrates) ne permettent pas de définir avec précision la nature de ce réservoir. Deux hypothèses ont été émises. La première consiste à considérer le pôle 2 comme un réservoir distribuant une eau ayant uniquement traversé un horizon pédologique expliquant ainsi les faibles teneurs en magnésium et les fortes teneurs en nitrates. La seconde hypothèse privilégie l'idée d'une alimentation par un réservoir pauvre en magnésium et distribuant une eau récente et ayant traversé un horizon pédologique. D'une certaine manière, le pôle 2 représente la fonction transmissive des systèmes hydrogéologiques. Il a donc été nommé, « *pôle transmissif* ». Les valeurs de 15 mg/l pour les nitrates et de 0.5 mg/l pour le magnésium, ont été défini.

Les caractéristiques du pôle 3 (fortes valeurs en magnésium et faibles concentrations en nitrates) définissent vraisemblablement la fonction capacitive des systèmes

hydrogéologiques comprenant la zone noyée mais également des réservoirs de type « *suspendus* ». Nous avons appelé le pôle 3, « *pôle capacitif* ». Pour les sources bicarbonatées calciques, les valeurs de 20 mg/l pour le magnésium et 0.5 mg/l pour les nitrates, ont été déterminés. Pour la source bicarbonatée calcique magnésienne, les valeurs de 80 mg/l pour le magnésium et 0.5 mg/l pour les nitrates ont été choisis.

Au vu des caractéristiques des pôles de mélange, nous constatons que les caractéristiques du pôle 1 et du pôle 2 permettent de quantifier la participation à l'écoulement à l'exutoire de la zone non saturée alors que les caractéristiques du pôle 3 permettent d'estimer la participation à l'écoulement à l'exutoire de la zone saturée.

Les résultats des simulations montrent que la participation moyenne de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire est notable pour l'ensemble des sources, variant de 45 % à la source des Arces à plus de 78 % à la source de Ramble. Dans le détail, deux types de sources se distinguent, à savoir :

- Les sources pour lesquelles la participation de la zone non saturée joue un rôle fondamental dans le soutien aux débits d'étiage. Il s'agit notamment des sources des Favrats (minimum de 53 % de participation), de Moises 3 (minimum de 68 % de participation), du Pont du Mouche (minimum de 67 % de participation) et de Ramble (minimum de 69 % de participation)
- Les sources pour lesquelles la participation de la zone non saturée joue un rôle moindre dans le soutien aux débits d'étiage. Il s'agit de la source des Arces (minimum de 31 % de participation), de Moises 1 (minimum de 39 % de participation) et de Moises 2 (minimum de 28 % de participation)

Caractérisation hydrochimique par ACP

La concentration des paramètres du suivi hydrochimique à l'exutoire est un des signaux (réponse) sortants du système hydrogéologique. La variation dans le temps de ce signal dépend de plusieurs facteurs tels que les variations de l'état hydraulique (débit), les variations saisonnières ou globales du climat, l'éventuelle action anthropique, etc. Pour détecter l'influence respective des différents facteurs sur le comportement chimique des sources, il est nécessaire de rechercher des corrélations entre ceux-ci et la réponse hydrochimique. Pour ce faire, une ACP a été mise en œuvre pour chaque émergence.

L'ACP a été appliquée sur les paramètres du suivi hydrochimique, soit au total 14 paramètres (C.E, pH, HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , COT, O_2 dissous, TAC, TH, Sr^{2+} , SiO_2). Les résultats de l'ACP montrent que la part de la variance totale des cinq premières composantes principales est :

- Supérieure à 85 %, aux sources de Moises 3 (93.8 %), de Moises 2 (92.5 %), des Arces (89.2 %), du Pont du Mouche (88.4 %), des Granges Mamet (85.8 %), des Favrats (85.7 %)
- Avoisine les 80 % aux sources de Moises 1 (80.5 %), du Col du Feu (78 %) et de Ramble (77.6 %).
- Inférieure à 70 % à la source de l'Epinguy

Les valeurs de saturation des paramètres sur les axes factoriels 1 et 2, mettent en évidence :

- Des sources où les paramètres représentatifs de la minéralisation totale (sulfates, calcium, magnésium, sodium, TH, silice et strontium) se corrént avec la composante principale 1. Il s'agit des sources des Arces, du Col du Feu, des Favrats, des Granges Mamet, de Moises 1, de Moises 2, de Moises 3 et du Pont du Mouche
- Des sources où les paramètres représentatifs de l'activité biologique des sols (bicarbonates, nitrates et dans une moindre mesure le pH et les nitrates) se corréle avec la composante principale 1. Il s'agit des sources de l'Epinguy et de Ramble

La lecture du diagramme des individus souligne :

- Une relation nette entre l'état hydraulique et la minéralisation des eaux aux sources des Arces, du Col du Feu, des Favrats, des Granges Mamet, de Moises 2 et du Pont du Mouche. Pour ces sources, les vitesses d'écoulement sont élevées ce qui se traduit par un faible degré d'équilibre chimique avec les roches encaissantes. Au fur et à mesure que le débit diminue, des zones à plus faible perméabilité contribuent à la vidange. Des eaux avec des vitesses d'écoulement plus lentes et donc plus minéralisées sont évacuées
- Une absence de relation nette entre l'état hydraulique et la minéralisation des eaux aux sources de l'Epinguy, de Moises 1, de Moises 3 et de Ramble. Pour ces sources, les vitesses d'écoulement sont faibles ce qui se traduit par un plus fort degré d'équilibre chimique des eaux avec les roches encaissantes

Etude des paramètres sanitaires

L'étude des paramètres sanitaires permet d'observer des contaminations :

- Très peu fréquentes et en très faibles quantités à Moises 3
- Peu fréquentes et en faibles quantités au Col du Feu et à l'Epinguy
- Fréquentes et en faibles quantités à Moises 1 et au Pont du Mouche
- Fréquentes et en fortes quantités aux Favrats, à Moises 2 et à Ramble
- Très fréquentes et en très fortes quantités aux Arces et aux Granges Mamet

L'étude des paramètres sanitaires par ACP permet de constater une corrélation entre les paramètres bactériologiques et les précipitations récoltées les cinq jours précédant le prélèvement. A l'Epinguy, les contaminations bactériologiques se produisent en été et à la fin de l'automne avec un déphasage de 10 à 15 jours avec les précipitations. Les activités humaines observées (coupes forestières dans le périmètre de protection rapprochée de Ramble et des Granges Mamet, présence de bétail dans le périmètre de protection rapprochée des Arces) se corrént avec des contaminations bactériologiques.

Ces constats soulignent l'importance d'améliorer la protection immédiate des points d'eau avec :

- La mise en place de clôture (sous forme de panneaux soliplace exel, par exemple) de manière à empêcher la divagation d'animaux
- L'organisation de tournées de surveillance dans le périmètre de protection immédiate avec une fréquence minimale de 1 mois

- La mise en place des barrières au départ des routes forestières de l'Epinguy, des Granges Mamet, des Moises et du Pont du Mouche afin de limiter l'accès aux véhicules motorisés
- L'installation de panneaux d'informations munis de cartographie précisant l'emprise des périmètres de protection des captages d'eau potable et les contraintes d'exploitation

Dans les périmètres de protection rapprochée, la gestion des activités forestières et agricoles est un enjeu important pour améliorer la qualité des eaux captées. Ainsi, les actions en cours dans le cadre du programme INTERREG ALPEAU sont intéressantes pour concilier gestion forestière et protection des ressources en eau. Ces actions sont notamment :

- La réalisation d'un schéma d'exploitabilité des forêts
- L'élaboration, la publication et la diffusion d'un « *guide des pratiques forestières contribuant à la protection de la ressource en eau potable dans l'arc alpin* »
- L'organisation d'une opération d'animation foncière visant à favoriser le regroupement des propriétaires

Il est à noter qu'un aménagement a été réalisé au printemps 2010 sur le secteur de Très le Mont afin de favoriser l'abreuvement du bétail. A l'origine, le projet prévoyait de capter les eaux de la source de la Combe, située sur l'alpage, à l'altitude de 1320 m. L'analyse du 5 août 2004 n'a pas révélé de contamination bactériologique à cette source ce qui a conduit l'hydrogéologue agréé à émettre un avis favorable (BAPTENDIER, 2005). **Mais une partie des eaux a été capté dans une mare, qualifiée de « bouillon de culture »** (RAMPNOUX, 1999). Cette mare, située en contrebas des chalets d'alpage de Très le Mont à l'altitude de 1340 m, permet de desservir gravitairement deux abreuvoirs, le troisième étant alimenté par la source de la Combe. **Cette prise d'eau à la mare constitue un réel danger pour la qualité bactériologique des eaux souterraines, notamment en cas de rejet des eaux dans le milieu naturel (fuite du réseau, débordement des abreuvoirs, ...).**

5.2. Propositions de schéma conceptuel de fonctionnement et de délimitation des bassins d'alimentations

Ce paragraphe a pour but de proposer pour chaque captage d'eau potable, un schéma conceptuel de fonctionnement et une délimitation du bassin d'alimentation préférentiel (cf. Figure 119). Dans les schémas conceptuels proposés, la fonction capacitive se traduit par des infiltrations lentes, pérennes et par des temps de séjour moyen supérieurs à quelques mois. La fonction transmissive indique des infiltrations rapides, non pérennes et par un temps de séjour moyen inférieure à quelques mois. Par ailleurs, nous informons que les schémas conceptuels constituent des propositions et ne doivent pas être prises pour des affirmations. En d'autres termes, elles sont sujettes à modifications.

La source des Arces

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, l'étude du comportement hydrodynamique met en avant les informations suivantes :

- Le débit moyen annuel est de l'ordre de 8 l/s

- Le coefficient de variation du débit (rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage) est de 47.5 % ce qui est assez faible
- Le rapport entre le débit maximum et le débit minimum est de l'ordre de 7 ce qui est faible
- La réponse hydrodynamique à un événement pluvieux est faible
- La superficie du bassin d'alimentation est estimée à 12.6 Ha
- Les réserves de tarissement sont évaluées entre 130 000 et 140 000 m³
- En période de hautes eaux, le captage « sature » ce qui se traduit soit la mise en fonctionnement de sources de trop-plein, soit par un stockage momentanée des eaux en surplus soit par des fuites vers un autre système

En 2009, l'étude des informations du suivi hydrochimique et sanitaire met en avant les informations suivantes :

- L'étude des variations de la température souligne une faible réponse aux variations saisonnières et aux événements pluvieux
- L'étude des variations de la conductivité électrique démontre une forte influence des variations saisonnières et une faible réponse du système aux événements pluvieux
- Le faciès chimique est de type bicarbonaté calcique légèrement magnésien. Le calcium provient essentiellement de la dissolution de la calcite (CaCO₃) surtout en période de hautes eaux. Dans une moindre mesure, il résulte de la dissolution des calcaires dolomitiques (CaMg(CO₃)₂) et de l'anhydrite (CaSO₄). En étiage, la part du calcium produit par la dissolution de la dolomie et de l'anhydrite augmente
- L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique souligne le caractère ouvert du système caractérisé par des circulations peu profondes. Les valeurs en COT informent d'un temps moyen de séjour des eaux souterraines supérieur à 3 mois. Les valeurs élevées en COT observées en mars et en novembre, signalent l'émergence d'eaux à temps moyen de séjour inférieur à une semaine. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante souligne un mélange d'eaux anciennes avec des eaux jeunes en avril, juin et juillet
- L'étude des paramètres isotopiques évalue un temps de séjour moyen des eaux à l'émergence compris entre 6 mois et 1 an et une altitude moyenne du bassin d'alimentation préférentiel comprise entre 1240 et 1340 m.
- L'estimation de la participation des pôles de mélange informe d'une participation moyenne de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire de 45 %. En période d'étiage, la participation de la zone saturée à l'écoulement à l'exutoire se situe environ à 70 %
- L'étude des paramètres sanitaires montre des contaminations bactériologiques très fréquentes et très intenses qui se corrént avec le cumul des précipitations les cinq jours précédent le prélèvement

Ces informations incitent à rechercher le bassin d'alimentation préférentiel de la source des Arces (cf. Figure 119) dans une zone globalement comprise entre les Granges Michaux au Nord-ouest, et le col des Arces au Nord-est. Se situant dans le périmètre de protection éloignée, ce secteur est en grande partie recouvert par des dépôts morainiques qui masquent les formations des calcaires du Lias. Cette

délimitation géographique du bassin d'alimentation amène à concevoir le schéma conceptuel de fonctionnement présenté sur la Figure 118. Globalement, le système hydrogéologique fonctionnerait sur le modèle fissuré. Les eaux s'infiltreraient dans les calcaires siliceux et dolomitiques du Lias et des apports en provenance des formations dolomitiques et gypseuses du Trias se manifesteraient. Les eaux souterraines termineraient leur maturation dans une formation de type morainique ou éboulis de pente.

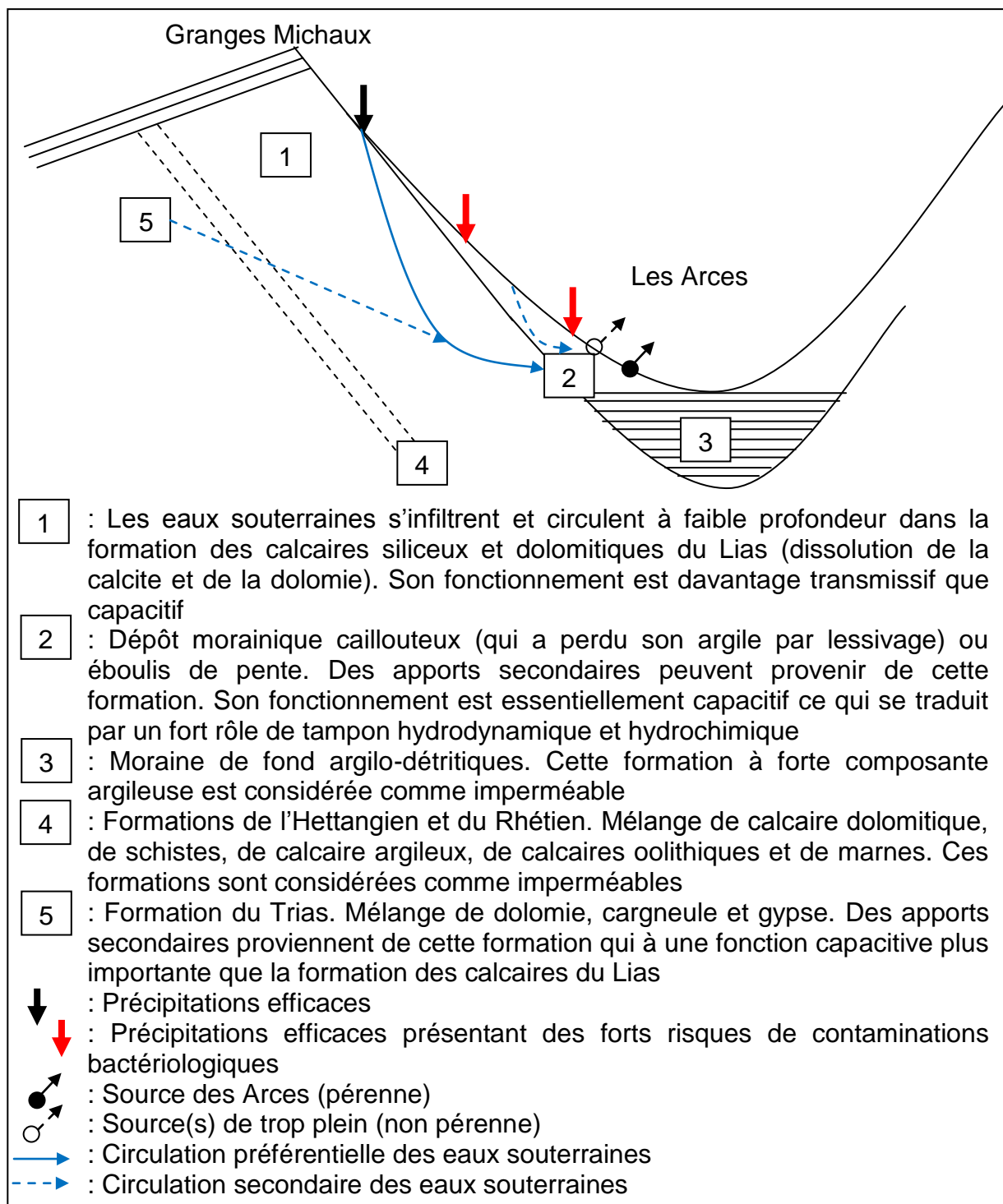


Figure 118 : Schéma conceptuel de fonctionnement de la source des Arces

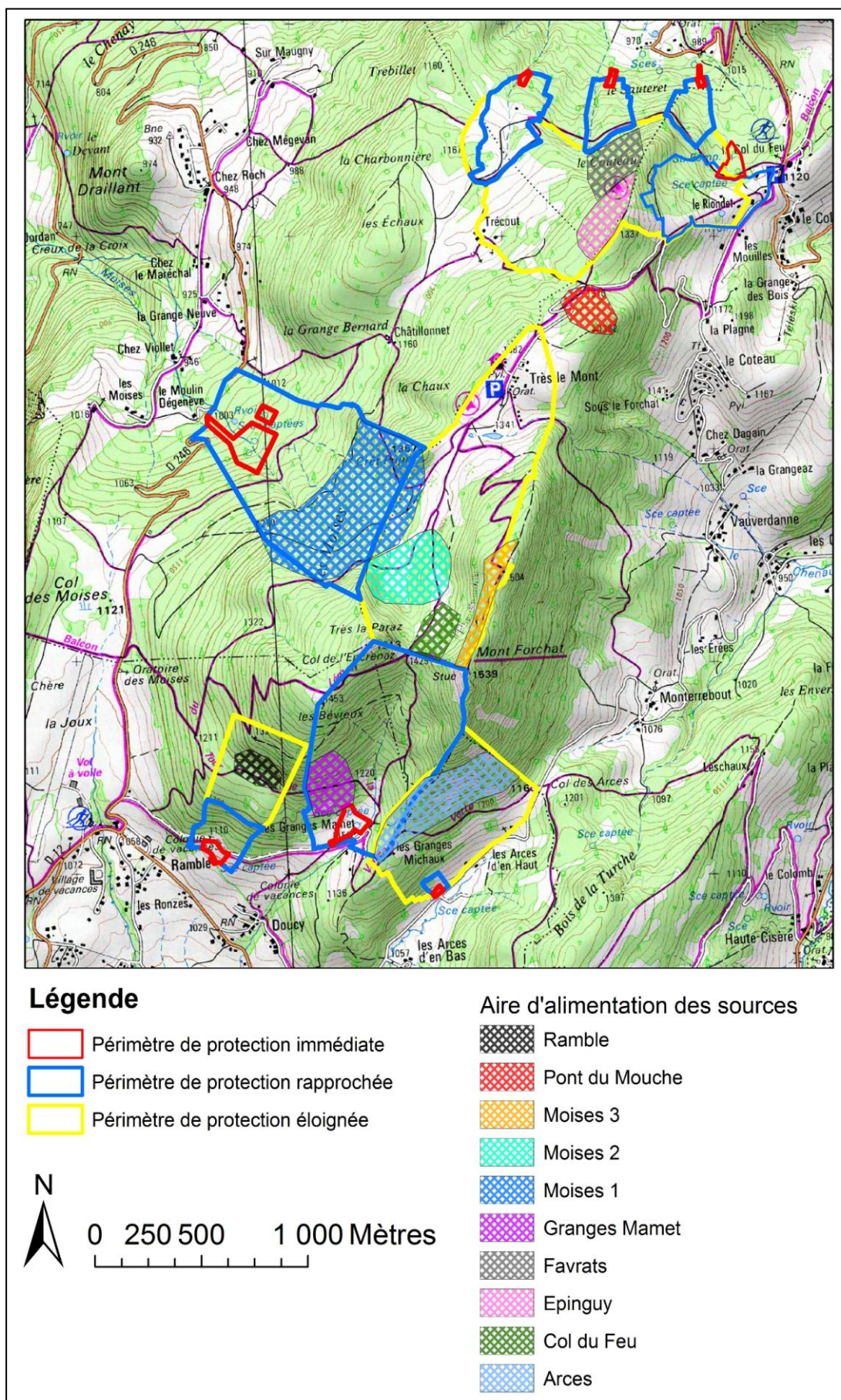


Figure 119 : Délimitation des bassins d'alimentation des sources

La source du Col du Feu

L'étude du comportement hydrodynamique a été supprimée du fait d'informations biaisées. Néanmoins, l'étude des informations du suivi hydrochimique et sanitaire permet de caractériser convenablement le système hydrogéologique de la source du Col du Feu. Ces informations sont les suivantes :

- L'étude des variations de la température souligne une faible réponse aux variations saisonnières et aux événements pluvieux
- L'étude des variations de la conductivité électrique démontre une faible influence des variations saisonnières et une très forte réponse du système aux événements pluvieux
- Le faciès chimique est de type sulfaté calcique et magnésien. Le calcium provient de la dissolution de l'anhydrite (CaSO_4) et, dans une moindre mesure de la dissolution de la dolomie ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
- L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique souligne des circulations profondes et un processus de recharge estival important. Les valeurs en COT informent d'un temps moyen de séjour des eaux souterraines supérieur à 3 mois. Les valeurs élevées en COT observées en mars, en mai, au début et à la fin de l'automne, soulignent l'émergence d'eaux à temps moyen de séjour inférieur à quelques jours. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la $p\text{CO}_2$ équilibrante souligne un fonctionnement karstique
- L'étude des paramètres isotopiques évalue un temps de séjour moyen des eaux à l'émergence compris entre 2 mois et 6 mois et une altitude moyenne du bassin d'alimentation préférentiel supérieure à 1500 m.
- L'étude des paramètres sanitaires montre des contaminations bactériologiques peu fréquentes et peu intenses qui se corrélaient avec le cumul des précipitations des 5 jours précédant le prélèvement

Ces informations incitent à rechercher le bassin d'alimentation préférentiel de la source du Col du Feu (cf. Figure 119) à l'extérieur des périmètres de protection, à plus de 2.5 kilomètres de l'émergence, au niveau du Col de l'Encrenaz. Dans ce secteur localisé à l'extrémité Sud de l'alpage de Très le Mont, des affleurements triasiques s'observent. Cette délimitation géographique du bassin d'alimentation amène à concevoir le schéma conceptuel de fonctionnement présenté sur la Figure 120. Globalement, le système hydrogéologique du Col du Feu fonctionnerait sur le modèle karstique. La stabilité de la température est à mettre en relation avec la nature profonde des circulations souterraines. La présence d'une faille décrochante permettrait aux eaux souterraines d'émerger et de se charger en silice au contact des formations des calcaires siliceux et de la moraine argilo-détritique.

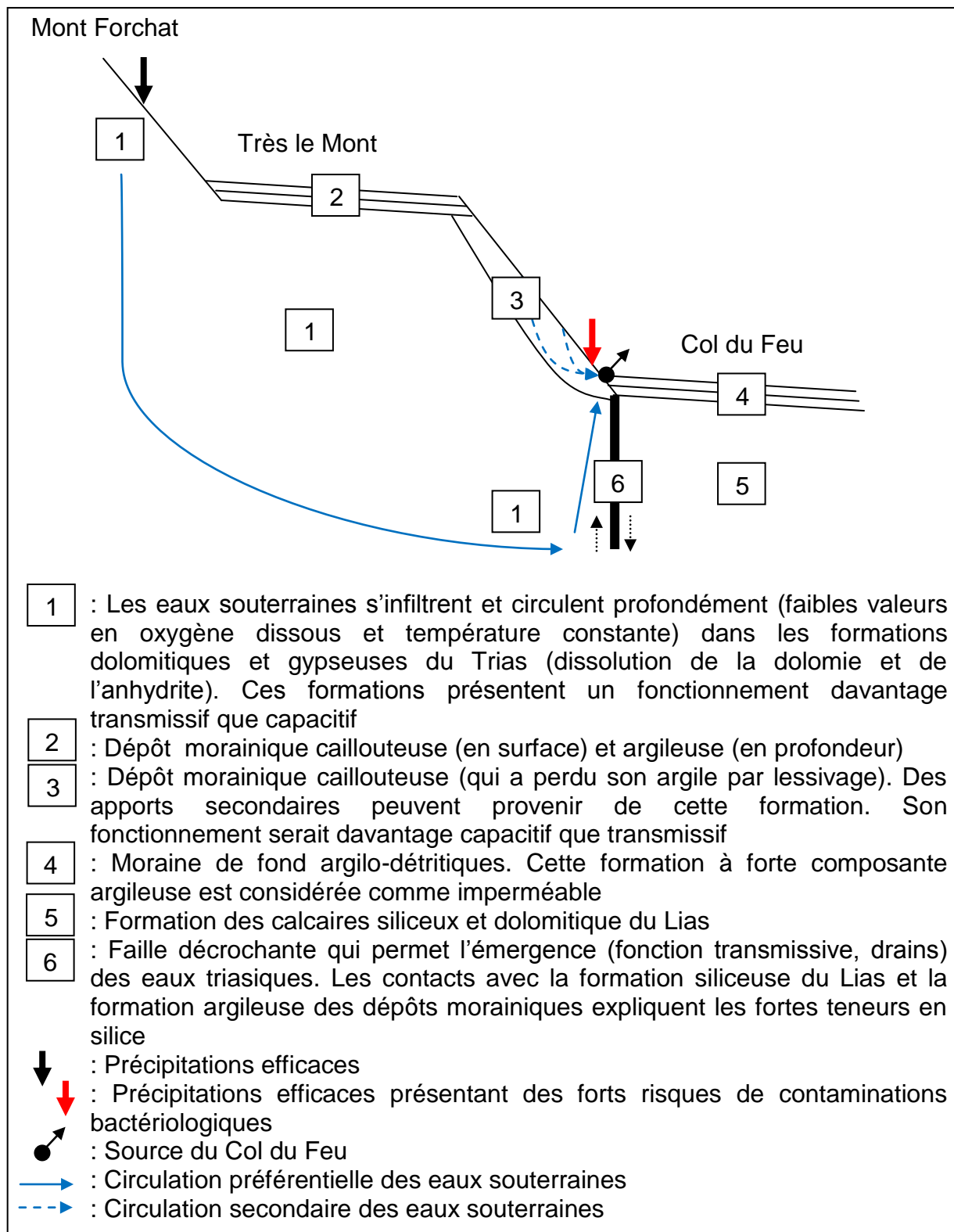


Figure 120 : Schéma conceptuel de fonctionnement de la source du Col du Feu

La source de l'Epinguy

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, l'étude du comportement hydrodynamique a été marquée par une période de lacunes d'informations en

période de crue. Les informations issues de cette étude sont donc à prendre avec précaution. Ces informations sont les suivantes :

- Le débit moyen annuel est de l'ordre de 3.2 l/s (valeur sous évaluée)
- Le coefficient de variation du débit (rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage) est de 28.4 % ce qui est faible
- Le rapport entre le débit maximum et le débit minimum est de l'ordre de 3.2 (valeur sous estimée) ce qui est faible
- La réponse hydrodynamique à un événement pluvieux est faible
- La superficie du bassin d'alimentation est estimée à 5 Ha
- Les réserves de tarrissement sont évaluées à 70 000 m³

En 2009, l'étude des informations du suivi hydrochimique et sanitaire met en avant les informations suivantes :

- L'étude des variations de la température souligne une faible réponse aux variations saisonnières et aux événements pluvieux
- L'étude des variations de la conductivité électrique démontre une faible influence des variations saisonnières et des événements pluvieux
- Le faciès chimique est de type bicarbonaté calcique. Le calcium provient de la dissolution de la calcite (CaCO₃) et dans une moindre mesure, il résulte de la dissolution des calcaires dolomitiques (CaMg(CO₃)₂)
- L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique souligne le caractère ouvert du système, caractérisé par des circulations peu profondes. Les valeurs en COT informent d'un temps moyen de séjour des eaux souterraines supérieur à 3 mois et elles signalent l'émergence en mai et surtout en automne, d'eaux à temps moyen de séjour inférieur à quelques jours. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et légèrement saturées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante souligne l'émergence d'eaux anciennes en période de crue
- L'étude des paramètres isotopiques évalue un temps de séjour moyen des eaux à l'émergence compris entre 6 mois et 1 an et une altitude moyenne du bassin d'alimentation préférentiel comprise entre 1270 et 1365 m.
- L'étude des paramètres sanitaires montre des contaminations bactériologiques peu fréquentes et peu intenses qui se corrèlent avec le cumul des précipitations des 10 à 15 jours précédant le prélèvement

Ces informations incitent à rechercher le bassin d'alimentation préférentiel de la source de l'Épinguy (cf. Figure 119) dans une zone située entre 700 et 900 m. au Sud-est de l'émergence, au niveau du lieu-dit « *Le Couteau* ». Dans le secteur, des affleurements liasiques se présentent. Cette délimitation géographique du bassin d'alimentation amène à concevoir le schéma conceptuel de fonctionnement présenté sur la Figure 121. Globalement, les eaux s'infiltreraient dans les calcaires du Lias et dans les éboulis de pente. Les eaux souterraines termineraient leur maturation dans une formation de type morainique et elles émergeraient à la faveur d'un contact argileux.

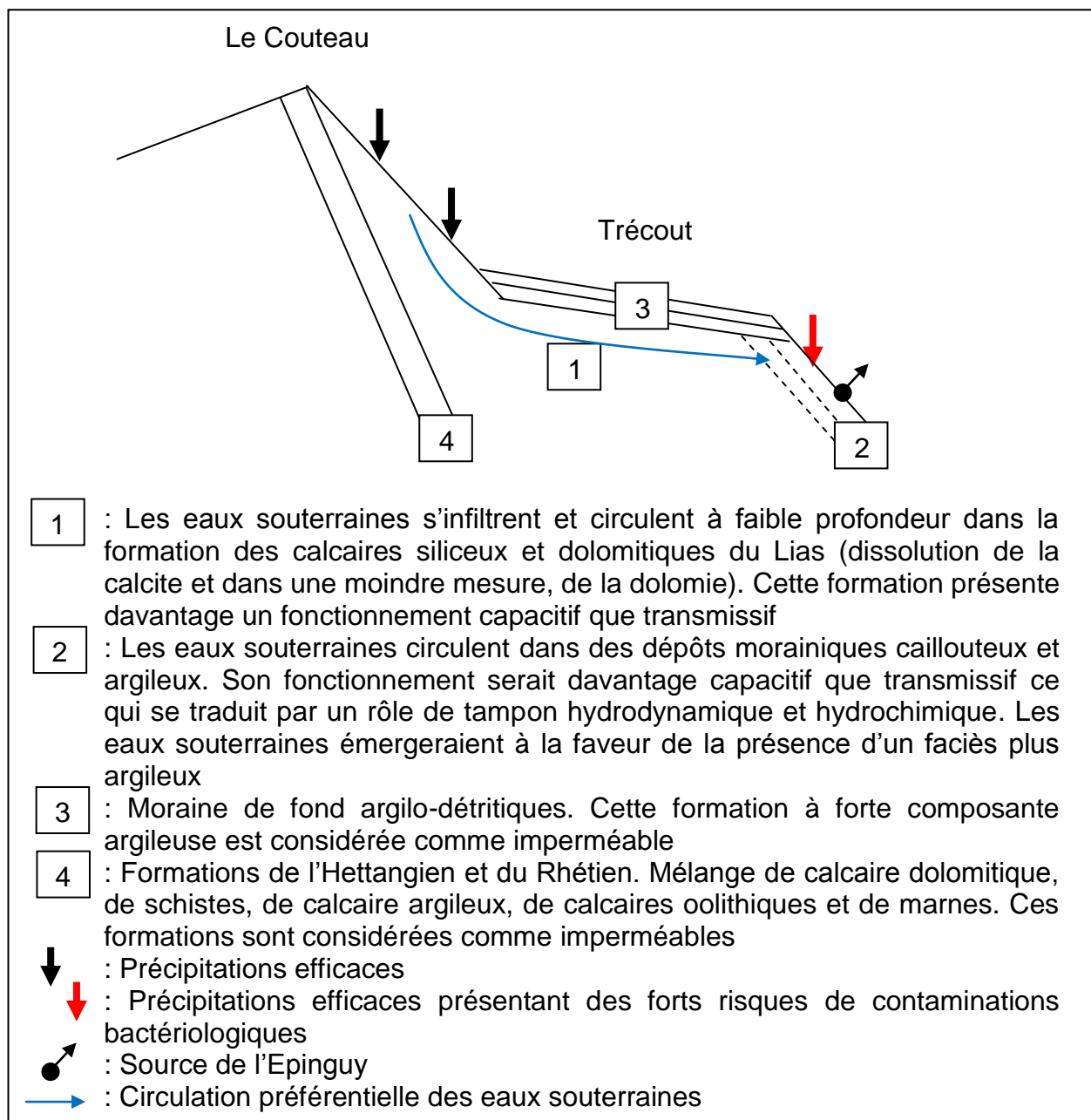


Figure 121 : Schéma conceptuel de fonctionnement de la source de l'Epinguy

La source des Favrats

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, l'étude du comportement hydrodynamique met en avant les informations suivantes :

- Le débit moyen annuel est de l'ordre de 3.2 l/s
- Le coefficient de variation du débit (rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage) est de 37.6 % ce qui est assez faible
- Le rapport entre le débit maximum et le débit minimum est de l'ordre de 4 ce qui est faible
- La réponse hydrodynamique à un événement pluvieux est moyenne
- La superficie du bassin d'alimentation est estimée à 5 Ha
- Les réserves de tarissement sont évaluées à 75 000 m³

- En période de crue, l'apport d'eau en provenance d'un cycle antérieur

En 2009, l'étude des informations du suivi hydrochimique et sanitaire met en avant les informations suivantes :

- L'étude des variations de la température souligne une faible réponse aux variations saisonnières et une forte réponse du système aux événements pluvieux
- L'étude des variations de la conductivité électrique démontre une faible influence des variations saisonnières et une forte réponse du système aux événements pluvieux
- Le faciès chimique est de type bicarbonaté calcique. Le calcium provient essentiellement de la dissolution de la calcite (CaCO_3) et dans une moindre mesure, il résulte de la dissolution des calcaires dolomitiques ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
- L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique souligne le caractère ouvert du système, caractérisé par des circulations peu profondes. Les valeurs en COT informent d'un temps moyen de séjour des eaux souterraines supérieur à 3 mois. En cas d'entrées d'eaux importantes dans le système, des eaux à temps moyen de séjour inférieur à quelques jours apparaissent à l'émergence. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO_2 équilibrante souligne l'émergence d'eaux anciennes en janvier et février
- L'étude des paramètres isotopiques évalue un temps de séjour moyen des eaux à l'émergence supérieur à 1 an et une altitude moyenne du bassin d'alimentation préférentiel comprise entre 1150 et 1250 m.
- L'estimation de la participation des pôles de mélange informe d'une participation moyenne de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire de 58 %. En période d'étiage, la participation de la zone saturée à l'écoulement à l'exutoire se situe environ à 47 %
- L'étude des paramètres sanitaires montre des contaminations bactériologiques fréquentes et intenses qui se corrént avec le cumul des précipitations les cinq jours précédent le prélèvement

Ces informations incitent à rechercher le bassin d'alimentation préférentiel de la source des Favrats (cf. Figure 119) dans une zone globalement comprise entre 250 et 500 m. au Sud de l'émergence. Plus précisément, le bassin d'alimentation préférentiel se situerait dans le périmètre de protection éloignée des captages d'Orcier, entre la route forestière de Trécout et le lieu-dit « *Le Couteau* ». Ce secteur présente d'une part des affleurements des calcaires siliceux et dolomitiques des calcaires du Lias et d'autre part, il est partiellement recouvert par des dépôts morainiques et des éboulis de pente qui masquent les formations des calcaires siliceux et dolomitiques du Lias. Cette délimitation géographique du bassin d'alimentation amène à concevoir le schéma conceptuel de fonctionnement présenté sur la Figure 122. Globalement, les eaux s'infiltreraient dans les calcaires siliceux et dolomitiques du Lias et dans les éboulis de pente. Les eaux souterraines termineraient leur maturation dans une formation morainique caillouteuse (et ayant perdu en partie son argile par lessivage) et elles émergeraient à la faveur d'une formation morainique plus argileuse.

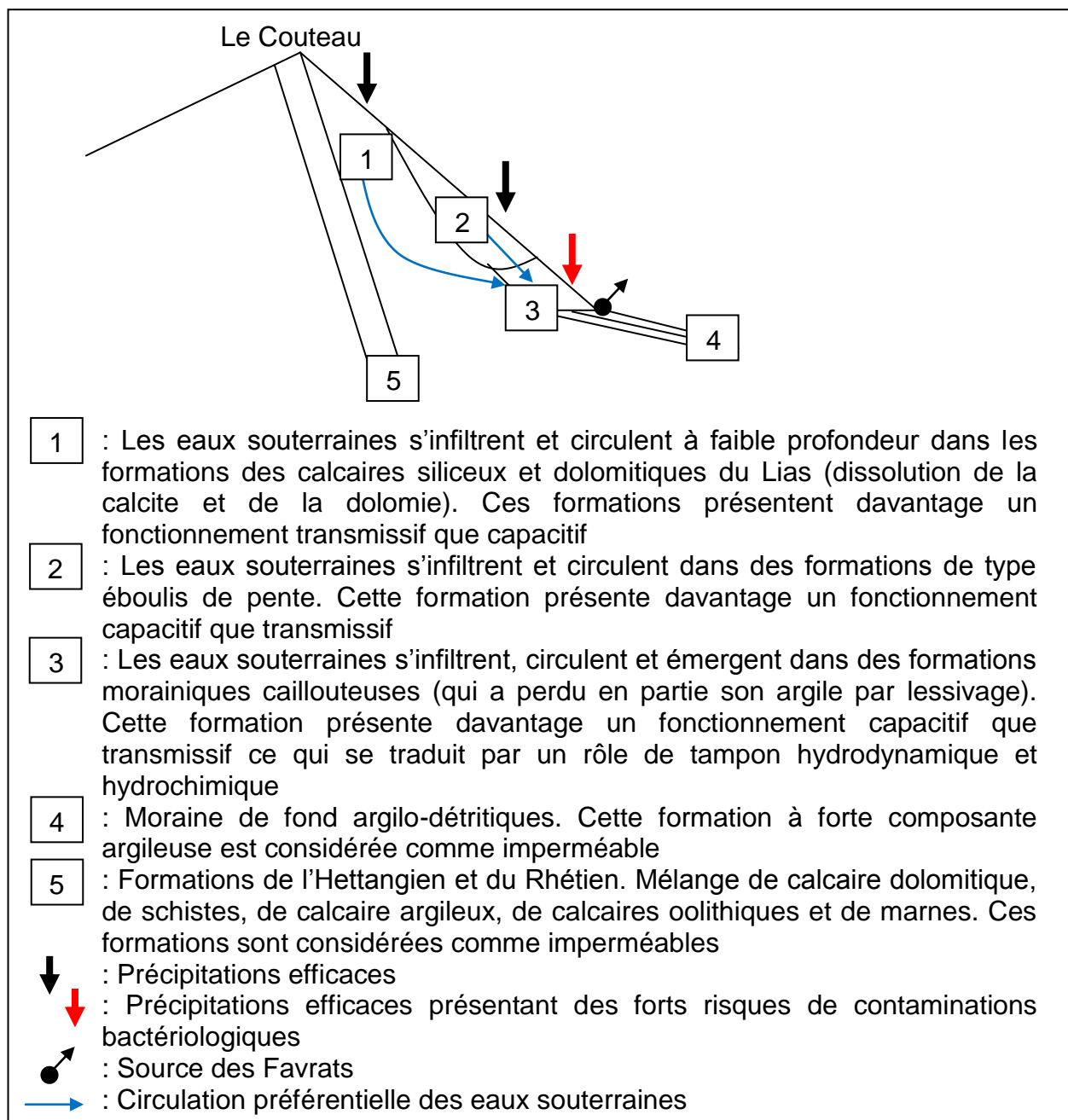


Figure 122 : Schéma conceptuel de fonctionnement de la source des Favrats

La source des Granges Mamet

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, l'étude du comportement hydrodynamique a été marquée par des informations biaisées en période de crue (informations biaisées à partir d'un débit de 3.6 l/s). Les informations issues de cette étude sont donc à prendre avec précaution. Ces informations sont les suivantes :

- Le débit moyen annuel est de l'ordre de 2.2 l/s (valeur sous évaluée)
- Le coefficient de variation du débit (rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage) est de 28 % ce qui est faible. Ce coefficient est très probablement sous-estimé

- Le rapport entre le débit maximum et le débit minimum est de l'ordre de 2 (valeur sous estimée) ce qui est très faible
- La réponse hydrodynamique à un événement pluvieux est forte
- La superficie du bassin d'alimentation est estimée à 3.5 Ha

En 2009, l'étude des informations du suivi hydrochimique et sanitaire met en avant les informations suivantes :

- L'étude des variations de la température souligne une forte réponse aux variations saisonnières et aux événements pluvieux
- L'étude des variations de la conductivité électrique démontre une forte influence des variations saisonnières et des événements pluvieux
- Le faciès chimique est de type bicarbonaté calcique. Le calcium provient de la dissolution de la calcite (CaCO_3) et dans une moindre mesure, il résulte de la dissolution des calcaires dolomitiques ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
- L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique souligne le caractère ouvert du système, caractérisé par des circulations peu profondes. Les valeurs en COT informent que le temps moyen de séjour des eaux souterraines est supérieur à 3 mois et que des eaux à temps moyen de séjour compris entre quelques semaines et trois mois, émergent régulièrement. Les valeurs élevées en COT observées en novembre et en décembre mettent en avant des eaux à temps moyen de séjour très court, inférieure à quelques semaines. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux légèrement saturées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la $p\text{CO}_2$ équilibrante signale le mélange d'eaux anciennes avec des eaux récentes lors de la crue printanière
- L'étude des paramètres isotopiques évalue un temps de séjour moyen des eaux à l'émergence compris entre 6 mois et 1 an et une altitude moyenne du bassin d'alimentation préférentiel comprise entre 1190 et 1290 m.
- L'étude des paramètres sanitaires montre des contaminations bactériologiques très fréquentes et très intenses qui se corrèlent avec le cumul des précipitations des 5 jours précédant le prélèvement

Ces informations incitent à rechercher le bassin d'alimentation préférentiel de la source des Granges Mamet (cf. Figure 119) dans une zone située au Nord et Nord-ouest de l'émergence, à une distance comprise entre 100 et 500 m. de l'émergence. Localisé dans le périmètre de protection rapprochée du captage, le secteur présente au sommet de son bassin d'alimentation préférentiel, des affleurements des calcaires siliceux et dolomitiques des calcaires du Lias et au bas de son bassin d'alimentation, des dépôts morainiques plus ou moins argileux et caillouteux qui masquent les formations des calcaires du Lias. Cette délimitation géographique du bassin d'alimentation préférentiel amène à concevoir le schéma conceptuel de fonctionnement présenté sur la Figure 121. Globalement, les eaux s'infiltreraient dans les calcaires siliceux du Lias. Des apports secondaires proviendraient des dépôts morainiques caillouteux. Les eaux souterraines émergeraient à la faveur d'une formation morainique argileuse.

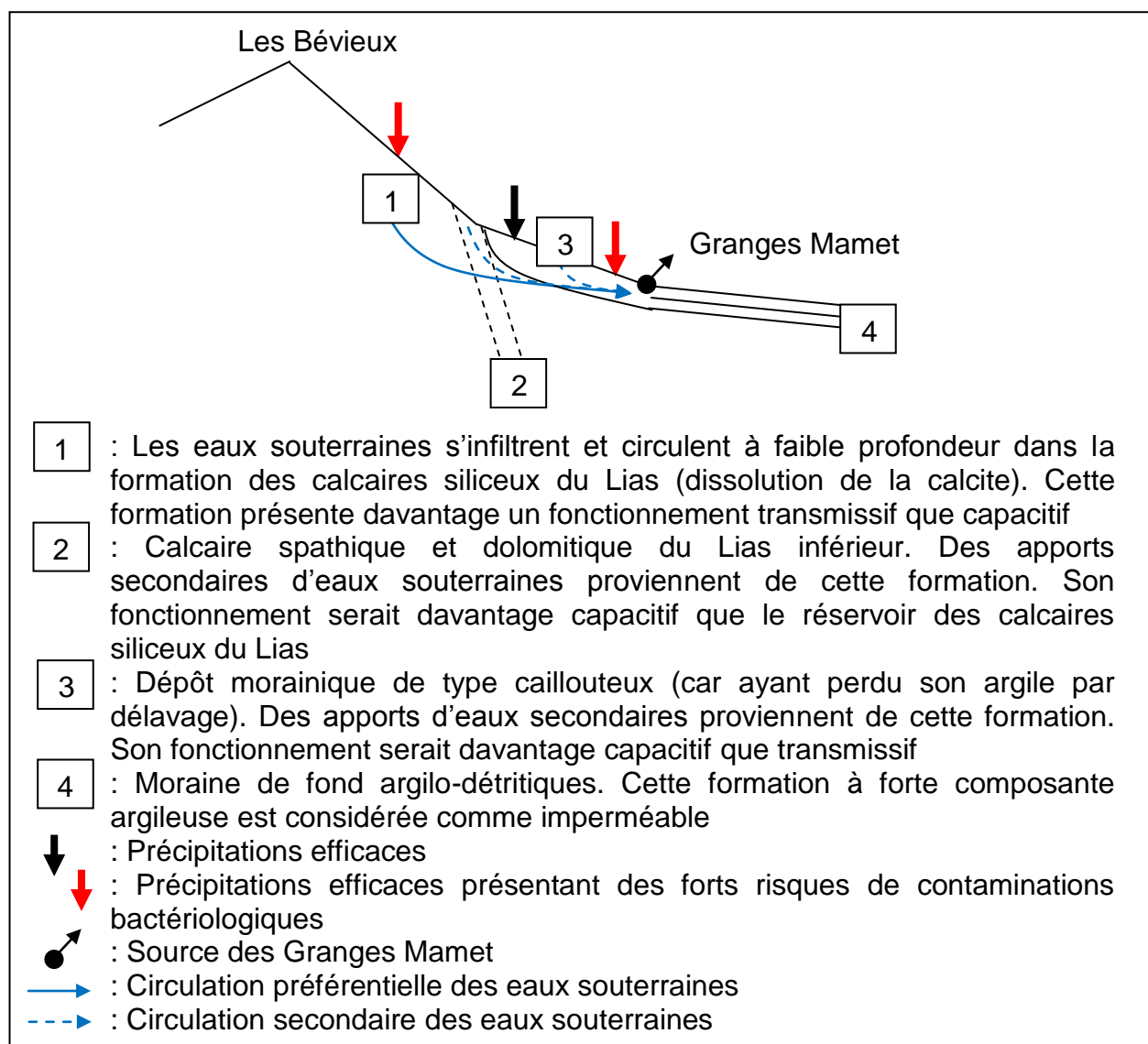


Figure 123 : Schéma conceptuel de fonctionnement de la source des Granges Mamet

La source de Moises 1

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, l'étude du comportement hydrodynamique met en avant les informations suivantes :

- Le débit moyen annuel est de l'ordre de 21.2 l/s
- Le coefficient de variation du débit (rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage) est de 87 % ce qui est fort
- Le rapport entre le débit maximum et le débit minimum est de l'ordre de 15.5 ce qui est fort
- La réponse hydrodynamique à un événement pluvieux est faible
- La superficie du bassin d'alimentation est estimée à 33.4 Ha
- Les réserves de tarissement sont évaluées à 380 000 m³
- En période de crue, l'apport d'eau en provenance d'un cycle antérieur

En 2009, l'étude des informations du suivi hydrochimique et sanitaire met en avant les informations suivantes :

- L'étude des variations de la température souligne une faible réponse aux variations saisonnières et aux événements pluvieux
- L'étude des variations de la conductivité électrique démontre une faible influence des variations saisonnières et une faible réponse du système aux événements pluvieux
- Le faciès chimique est de type bicarbonaté calcique. Le calcium provient de la dissolution des calcaires dolomitiques ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) et dans une moindre mesure de la dissolution de la calcite (CaCO_3). En étiage, la part du calcium produit par la dissolution des calcaires dolomitiques augmente
- L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique souligne le caractère ouvert du système caractérisé par des circulations peu profondes. Les valeurs en COT informent d'un temps moyen de séjour des eaux souterraines supérieur à 3 mois. Les valeurs élevées en COT observées en janvier, février, juillet, septembre et à la fin de l'automne, signalent l'émergence d'eaux à temps moyen de séjour inférieur à un mois. Le calcul des indices de saturation met en évidence à l'émergence des eaux saturées en calcite et équilibrées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la $p\text{CO}_2$ équilibrante est insatisfaisante ce qui souligne des circulations hétérogènes
- L'étude des paramètres isotopiques évalue un temps de séjour moyen des eaux à l'émergence supérieur à 1 an et une altitude moyenne du bassin d'alimentation préférentiel comprise entre 1200 et 1300 m.
- L'estimation de la participation des pôles de mélange informe d'une participation moyenne de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire de 52.5 %. En période d'étiage, la participation de la zone saturée à l'écoulement à l'exutoire est supérieure à 60 %
- L'étude des paramètres sanitaires montre des contaminations bactériologiques peu fréquentes et peu intenses qui se corrélaient avec le cumul des précipitations les cinq jours précédents le prélèvement

Ces informations incitent à rechercher le bassin d'alimentation préférentiel de la source de Moises 1 (cf. Figure 119) dans une zone globalement comprise entre 300 et 1000 m. au Sud-est de l'émergence. Plus précisément, le bassin d'alimentation préférentiel se situerait dans la forêt des Moises à l'intérieur du périmètre de protection rapprochée des captages des Moises. Ce secteur est en très grande partie recouvert par des dépôts morainiques qui masquent les formations des calcaires siliceux et dolomitiques du Lias. Quelques affleurements des calcaires siliceux et dolomitiques du Lias apparaissent au sommet du bassin d'alimentation, au niveau du Crêt Pujin au Nord et au niveau de Très la Paraz, au Sud. Cette délimitation géographique du bassin d'alimentation amène à concevoir le schéma conceptuel de fonctionnement présenté sur la Figure 124. Les eaux s'infiltreraient dans les calcaires siliceux et dolomitiques du Lias et dans les formations morainiques caillouteuses (et ayant perdu en grande partie son argile par lessivage). Les eaux souterraines stopperaient leur migration et émergeraient à la rencontre des formations imperméables du Lias inférieur et des dépôts morainiques argilo-détritiques.

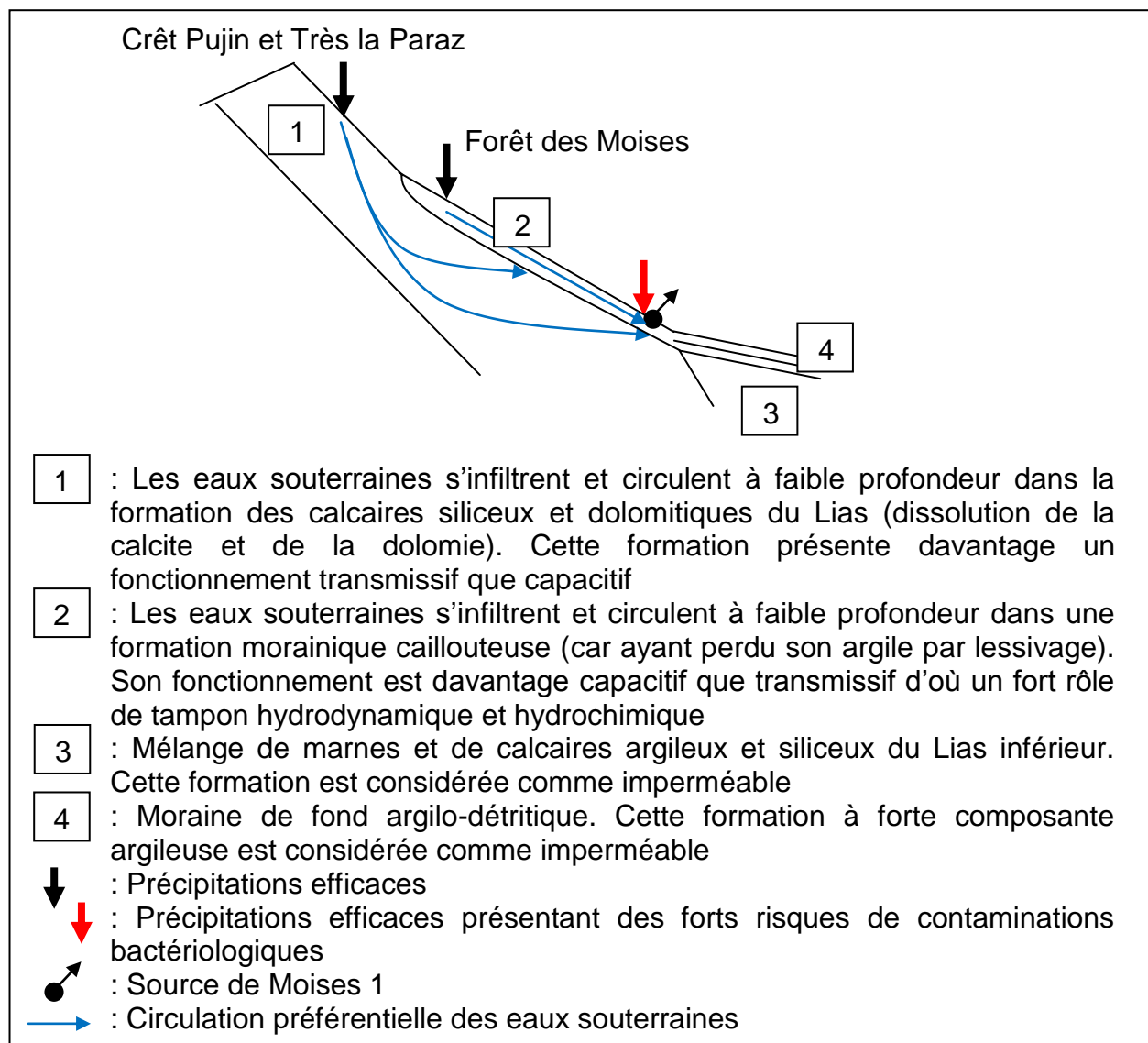


Figure 124 : Schéma conceptuel de fonctionnement de la source de Moises 1

La source de Moises 2

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, l'étude du comportement hydrodynamique met en avant les informations suivantes :

- Le débit moyen annuel est de l'ordre de 6 l/s
- Le coefficient de variation du débit (rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage) est de 80 % ce qui est fort
- Le rapport entre le débit maximum et le débit minimum est de l'ordre de 21 ce qui est fort
- La réponse hydrodynamique à un événement pluvieux est forte
- La superficie du bassin d'alimentation est estimée à 9.4 Ha
- Les réserves de tarissement sont évaluées à 135 000 m³
- En période de crue, l'apport d'eau en provenance d'un cycle antérieur

En 2009, l'étude des informations du suivi hydrochimique et sanitaire met en avant les informations suivantes :

- L'étude des variations de la température souligne une forte réponse aux variations saisonnières et aux événements pluvieux
- L'étude des variations de la conductivité électrique montre une forte réponse aux variations saisonnières et aux événements pluvieux
- Le faciès chimique est de type bicarbonaté calcique. Le calcium provient de la dissolution des calcaires dolomitiques ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) et dans une moindre mesure de la dissolution de la calcite (CaCO_3). En étiage, la part du calcium produit par la dissolution des calcaires dolomitiques augmente
- L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique souligne le caractère ouvert du système caractérisé par des circulations peu profondes. Les valeurs en COT informent d'un temps moyen de séjour des eaux souterraines supérieur à 3 mois. Les valeurs élevées en COT signalent l'émergence d'eaux à temps moyen de séjour inférieur à la semaine. Le calcul des indices de saturation met en évidence l'émergence d'eaux saturées en calcite et en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la $p\text{CO}_2$ équilibrante est insatisfaisante, soulignant des circulations hétérogènes
- L'étude des paramètres isotopiques évalue un temps de séjour moyen des eaux à l'émergence supérieur à 1 an et une altitude moyenne du bassin d'alimentation préférentiel comprise entre 1320 et 1420 m.
- L'estimation de la participation des pôles de mélange informe d'une participation moyenne de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire de 47.5 %. En période d'étiage, la participation de la zone saturée à l'écoulement à l'exutoire est supérieure à 70 %
- L'étude des paramètres sanitaires montre des contaminations bactériologiques fréquentes et intenses qui se corrént avec le cumul des précipitations les cinq jours précédent le prélèvement

Ces informations incitent à rechercher le bassin d'alimentation préférentiel de la source de Moises 2 (cf. Figure 119) dans une zone globalement comprise entre 750 et 1200 m. au Sud-est de l'émergence. Plus précisément, le bassin d'alimentation préférentiel se situerait sur l'alpage de Très le Mont à l'intérieur du périmètre de protection éloignée des captages des Moises. Ce secteur est en très grande partie recouvert par des dépôts morainiques qui masquent les formations du Trias, de l'Hettangien, du Rhétien et du Lias. Cette délimitation géographique du bassin d'alimentation amène à concevoir le schéma conceptuel de fonctionnement présenté sur la Figure 125. Les eaux s'infiltreraient principalement dans les dépôts morainiques de l'alpage de Très le Mont. Cette formation présenterait un faciès caillouteux en surface et argileux en profondeur. La circulation des eaux souterraines dans cette formation serait sub-surfacique et les eaux souterraines se déverseraient au sommet de la forêt des Moises, dans une formation morainique davantage caillouteuse (La pente étant plus importante, cette formation aurait perdu son argile par délavage). Dans cette seconde formation, la circulation des eaux souterraines serait plus profonde ce qui permettrait à une grande partie des eaux souterraines de s'infiltrer dans la formation des calcaires siliceux et dolomitiques du Lias. Une partie moins conséquente des eaux souterraines circuleraient dans la formation morainique caillouteuse. Les eaux souterraines émergeraient à la faveur du contact entre une formation morainique plus argileuse et la formation marneuse du Lias inférieur.

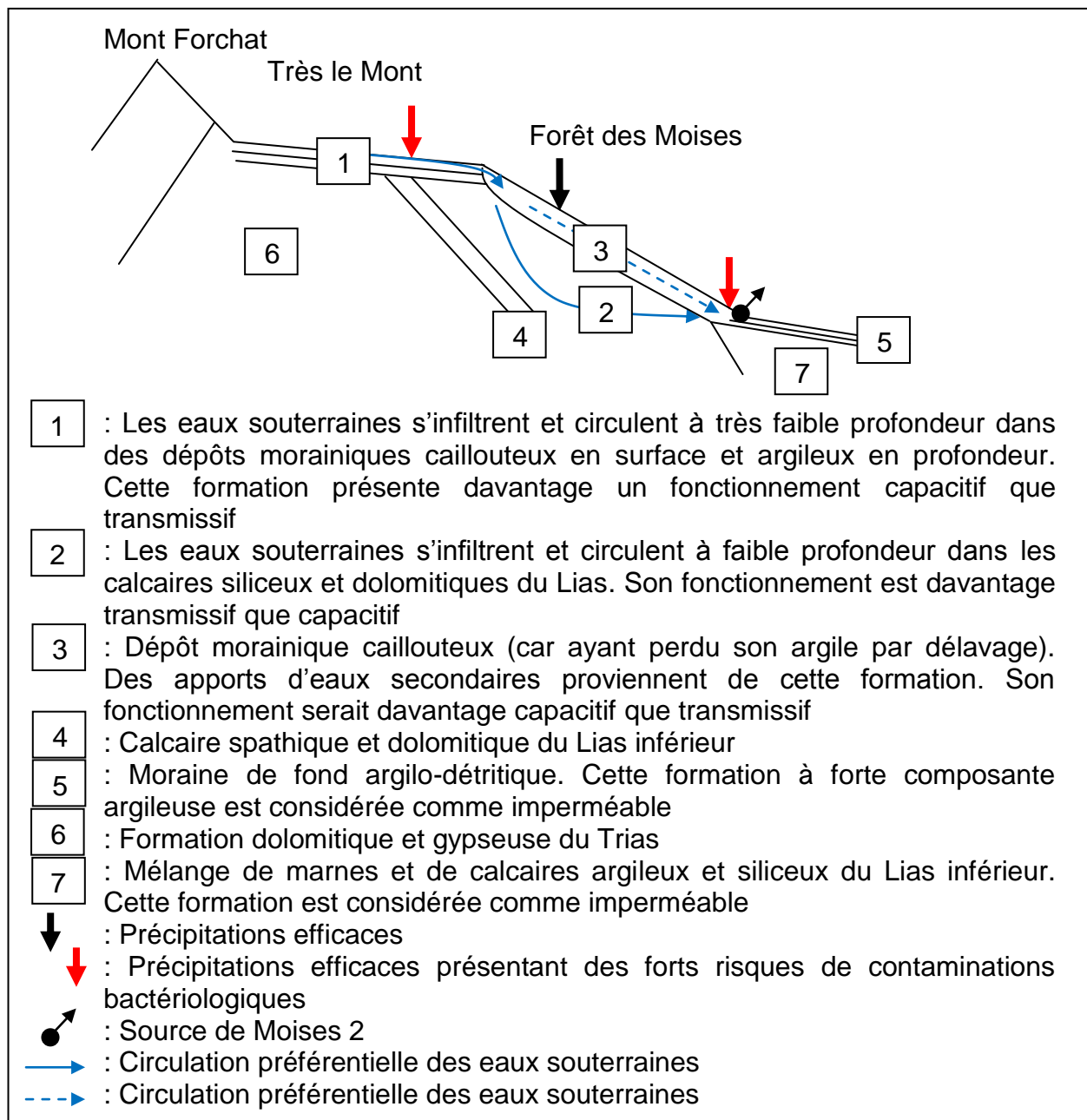


Figure 125 : Schéma conceptuel de fonctionnement de la source de Moises 2

La source de Moises 3

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, l'étude du comportement hydrodynamique met en avant les informations suivantes :

- Le débit moyen annuel est de l'ordre de 2.8 l/s
- Le coefficient de variation du débit (rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage) est de 109 % ce qui est très fort
- Le rapport entre le débit maximum et le débit minimum est de l'ordre de 55 ce qui est très fort
- La réponse hydrodynamique à un événement pluvieux est forte
- La superficie du bassin d'alimentation est estimée à 4.3 Ha
- Les réserves de tarrissement sont évaluées à moins de 30 000 m³

- En période de crue, l'apport d'eau en provenance d'un cycle antérieur
- En période de crue, le captage « *sature* » ce qui se traduit soit la mise en fonctionnement de sources de trop-plein, soit par un stockage momentanée des eaux en surplus soit par des fuites vers un autre système

En 2009, l'étude des informations du suivi hydrochimique et sanitaire met en avant les informations suivantes :

- L'étude des variations de la température souligne une forte réponse aux événements pluvieux et une faible réponse aux variations saisonnières
- L'étude des variations de la conductivité électrique montre une forte réponse aux événements pluvieux et une faible réponse aux variations saisonnières
- Le faciès chimique est de type bicarbonaté calcique. Le calcium provient de la dissolution de la calcite (CaCO_3) et dans une moindre mesure, de la dissolution des calcaires dolomitiques ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). La part du calcium produit par la dissolution des calcaires dolomitiques augmente en étiage
- L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique souligne le caractère ouvert du système caractérisé par des circulations peu profondes. Les valeurs en COT informent d'un temps moyen de séjour des eaux souterraines supérieur à 3 mois. Les valeurs élevées en COT signalent l'émergence d'eaux à temps moyen de séjour inférieur à la semaine. Le calcul des indices de saturation met en évidence l'émergence d'eaux saturées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la $p\text{CO}_2$ équilibrante est insatisfaisante ce qui souligne des circulations très hétérogènes
- L'étude des paramètres isotopiques évalue un temps de séjour moyen des eaux à l'émergence supérieur à 1 an et une altitude moyenne du bassin d'alimentation préférentiel supérieur à 1500 m.
- L'estimation de la participation des pôles de mélange informe d'une participation moyenne de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire de 64 %. En période d'étiage, la participation de la zone saturée à l'écoulement à l'exutoire est de l'ordre de 68 %
- L'étude des paramètres sanitaires montre des contaminations bactériologiques peu fréquentes et peu intenses qui se corrént avec le cumul des précipitations les cinq jours précédent le prélèvement

Ces informations incitent à rechercher le bassin d'alimentation préférentiel de la source de Moises 3 (cf. Figure 119) dans une zone comprise entre 1200 et 1500 m. au Sud-est de l'émergence. Plus précisément, le bassin d'alimentation préférentiel se situerait à l'extrémité Sud de l'alpage de Très le Mont, à l'intérieur du périmètre de protection éloignée des captages des Moises. Dans ce secteur, des éboulis de pente et des dépôts morainiques recouvrent les formations du Trias, de l'Hettangien, du Rhétien et du Lias. Cette délimitation géographique du bassin d'alimentation amène à concevoir le schéma conceptuel de fonctionnement présenté sur la Figure 126. Les eaux s'infiltrent principalement dans les éboulis de pente à l'extrémité Sud de l'alpage de Très le Mont. Ensuite, elles circulent dans les dépôts morainiques caillouteuses (en surface) et argileuses (en profondeur) de l'alpage de Très le Mont puis elles transitent par les dépôts morainiques caillouteuses de la forêt des Moises. A ce niveau, les eaux s'infiltrent plus profondément et circulent dans les formations

des calcaires siliceux et dolomitiques du Lias. Les eaux souterraines émergeraient à la faveur du contact entre une formation morainique plus argileuse et la formation marneuse du Lias inférieur.

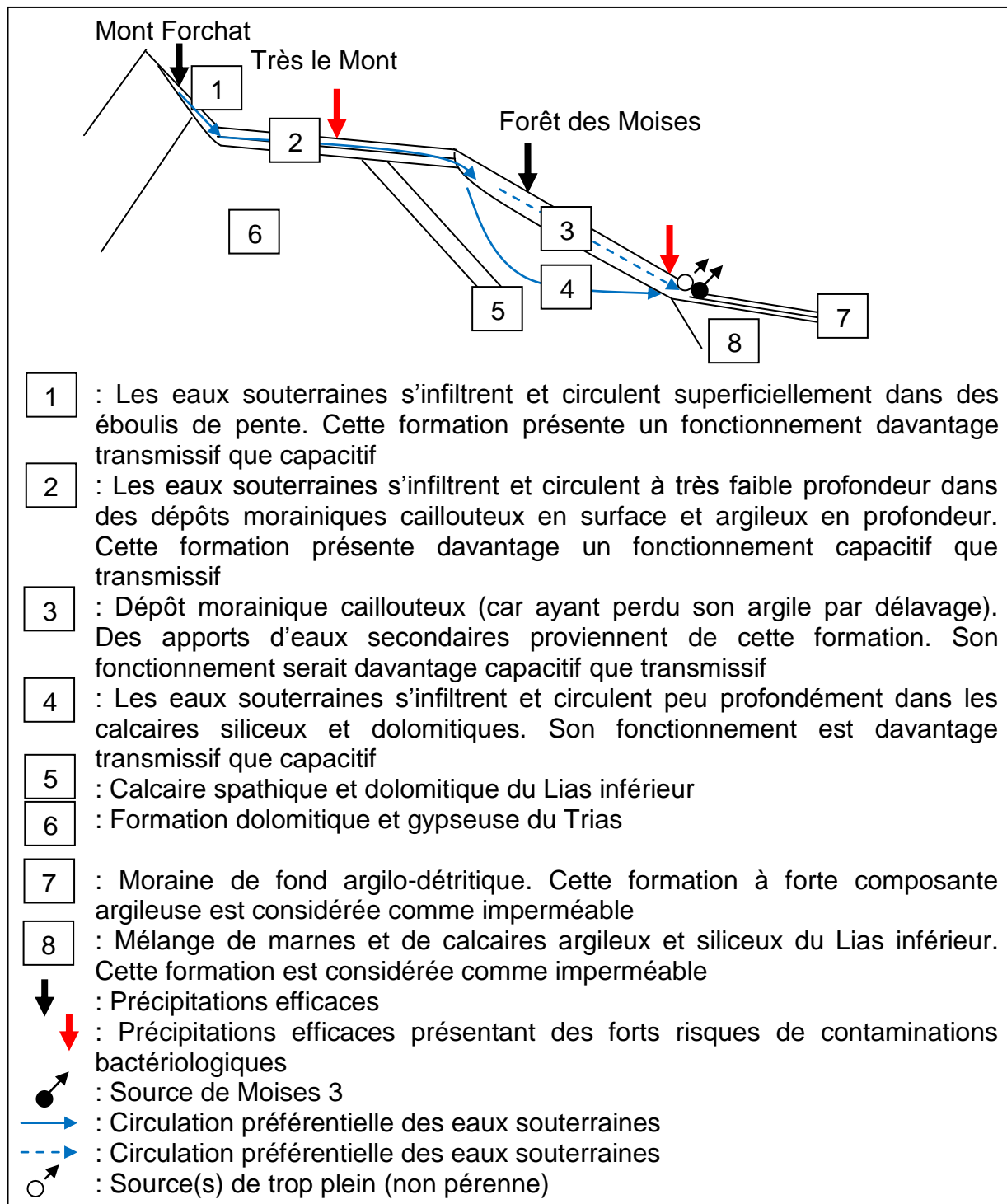


Figure 126 : Schéma conceptuel de fonctionnement de la source de Moises 3

La source du Pont du Mouche

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, l'étude du comportement hydrodynamique a été marquée par des informations biaisées en période de crue

(informations biaisées à partir d'un débit de 3.6 l/s). Les informations issues de cette étude sont donc à prendre avec précaution. Elles mettent en avant les éléments suivants :

- Le débit moyen annuel est de l'ordre de 2.8 l/s (valeur sous-évaluée)
- Le coefficient de variation du débit (rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage) est de 41 % ce qui est assez faible
- Le rapport entre le débit maximum et le débit minimum est de l'ordre de 4.5 ce qui est faible (valeur sous-estimée)
- La réponse hydrodynamique à un événement pluvieux est moyenne
- La superficie du bassin d'alimentation est estimée à 4.4 Ha
- Les réserves de tarissement sont évaluées à moins de 50 000 m³
- En période de crue, l'apport d'eau en provenance d'un cycle antérieur
- En période de décrue, le piégeage d'une réserve et sa restitution en période de tarissement

En 2009, l'étude des informations du suivi hydrochimique et sanitaire met en avant les informations suivantes :

- L'étude des variations de la température souligne une forte réponse aux événements pluvieux et aux variations saisonnières
- L'étude des variations de la conductivité électrique montre une forte réponse aux événements pluvieux et aux variations saisonnières
- Le faciès chimique est de type bicarbonaté calcique et magnésien. Le calcium provient de la dissolution de l'anhydrite (CaSO₄) et de la dolomie (CaMg(CO₃)₂) et dans une moindre mesure, de la dissolution de la calcite (CaCO₃). La part du calcium produit par la dissolution de la calcite augmente en période de hautes eaux
- L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique souligne le caractère ouvert du système caractérisé par des circulations peu profondes. Les valeurs en COT informent d'un temps moyen de séjour des eaux souterraines supérieur à 3 mois. Les valeurs élevées en COT signalent l'émergence d'eaux à temps moyen de séjour inférieur à la semaine. Le calcul des indices de saturation met en évidence l'émergence d'eaux saturées en calcite et en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante est insatisfaisante ce qui souligne des circulations très hétérogènes
- L'étude des paramètres isotopiques évalue un temps de séjour moyen des eaux à l'émergence compris entre 6 mois et 1 an et une altitude moyenne du bassin d'alimentation préférentiel comprise entre 1310 et 1410 m.
- L'estimation de la participation des pôles de mélange informe d'une participation moyenne de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire de 75 %. En période d'étiage, la participation de la zone saturée à l'écoulement à l'exutoire est de l'ordre de 33 %
- L'étude des paramètres sanitaires montre des contaminations bactériologiques fréquentes et peu intenses qui se corrélaient avec le cumul des précipitations les cinq jours précédent le prélèvement

Ces informations incitent à rechercher le bassin d'alimentation préférentiel de la source du Pont du Mouche (cf. Figure 119) dans une zone globalement comprise entre 750 et 1200 m. au Nord-nord-ouest de l'émergence. Plus précisément, le

bassin d'alimentation préférentiel se situerait à l'extrémité Nord l'alpage de Très le Mont, à l'intérieur du périmètre de protection éloignée des captages d'Orcier. Dans ce secteur, des dépôts morainiques recouvrent les formations du Trias et de l'Hettangien. Quelques affleurements des formations du Trias, de l'Hettangien et du Lias apparaissent aux extrémités Nord-ouest et Sud-est du bassin d'alimentation préférentiel. Cette délimitation géographique amène à concevoir le schéma conceptuel de fonctionnement présenté sur la Figure 127. Les eaux s'infiltrent préférentiellement dans les formations gypseuses et dolomitiques du Trias. Des infiltrations secondaires se produisent dans les dépôts morainiques caillouteux (en surface) et argileux (en profondeur) situés à Très le Mont et dans les dépôts morainiques caillouteux de la forêt du Col du Feu. Les eaux souterraines émergeraient dans les dépôts morainiques caillouteux et argileux de la forêt d'Orcier.

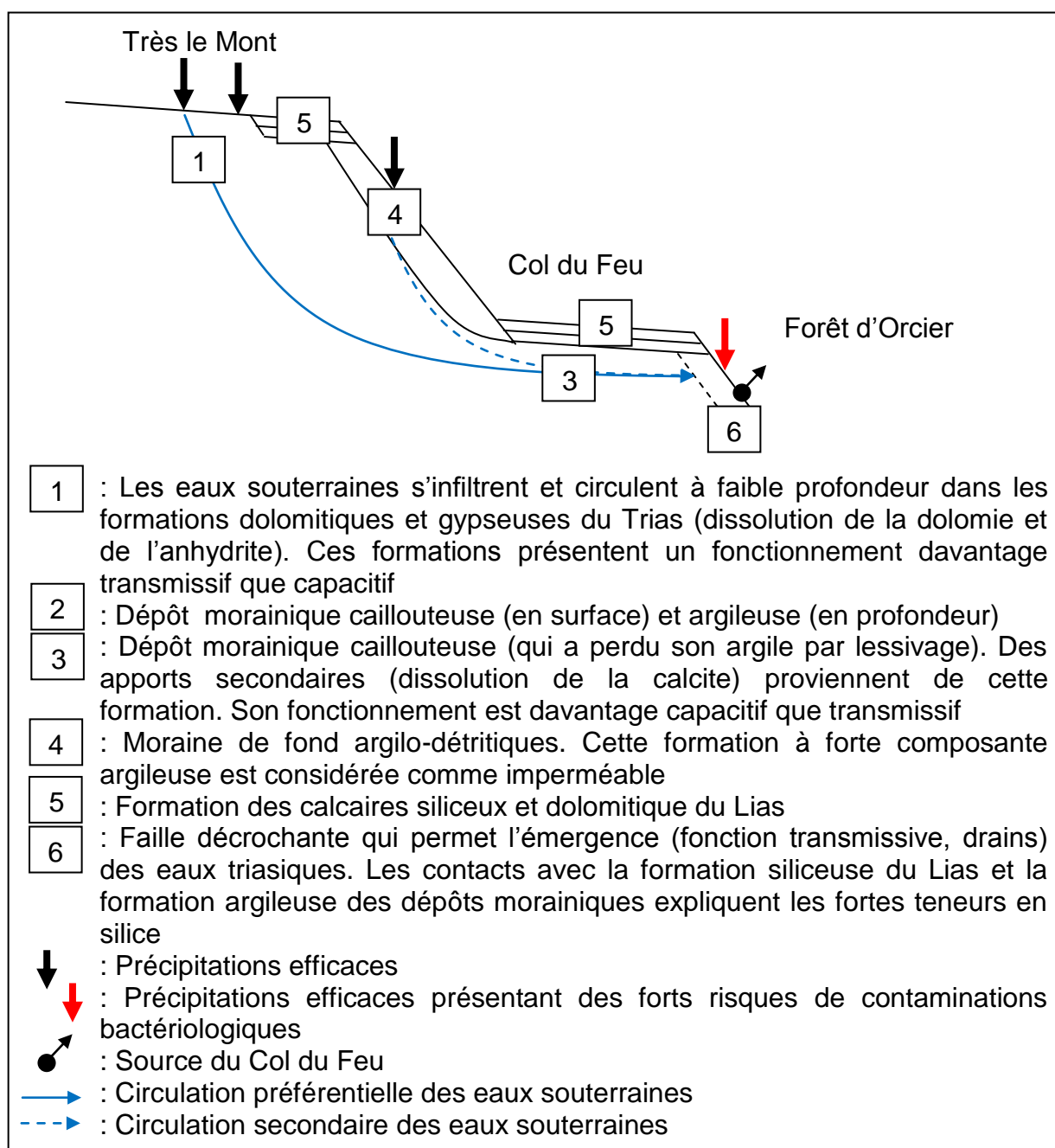


Figure 127 : Schéma conceptuel de fonctionnement de la source du Pont du Mouche

La source de Ramble

Du 1^{er} novembre 2008 au 31 octobre 2009, l'étude du comportement hydrodynamique met en avant les informations suivantes :

- Le débit moyen annuel est de l'ordre de 1.6 l/s
- Le coefficient de variation du débit (rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage) est de 40 % ce qui est assez faible
- Le rapport entre le débit maximum et le débit minimum est de l'ordre de 4.5 ce qui est faible
- La réponse hydrodynamique à un événement pluvieux est faible
- La superficie du bassin d'alimentation est estimée à 2.5 Ha
- Les réserves de tarissement sont évaluées à 30 000 m³
- En période de décrue, le piégeage d'une réserve et sa restitution en période de tarissement

En 2009, l'étude des informations du suivi hydrochimique et sanitaire met en avant les informations suivantes :

- L'étude des variations de la température souligne une faible réponse aux événements pluvieux et aux variations saisonnières
- L'étude des variations de la conductivité électrique montre une faible réponse aux événements pluvieux et aux variations saisonnières
- Le faciès chimique est de type bicarbonaté calcique. Le calcium provient de la dissolution de la calcite (CaCO₃) et dans une moindre mesure, de la dissolution des calcaires dolomitiques (CaMg(CO₃)₂)
- L'étude de l'évolution des paramètres de l'équilibre calco-carbonique souligne le caractère ouvert du système caractérisé par des circulations peu profondes. Les valeurs en COT informent d'un temps moyen de séjour des eaux souterraines supérieur à 3 mois. Les valeurs élevées en COT signalent l'émergence d'eaux à temps moyen de séjour inférieur à un mois. Le calcul des indices de saturation met en évidence l'émergence d'eaux équilibrées en calcite et sous-saturées en dolomie. L'étude de la relation entre l'indice de saturation de la calcite (I_{SC}) et le logarithme de la pCO₂ équilibrante est satisfaisante ce qui souligne des circulations homogènes
- L'étude des paramètres isotopiques évalue un temps de séjour moyen des eaux à l'émergence compris entre 6 mois et 1 an et une altitude moyenne du bassin d'alimentation préférentiel comprise entre 1220 et 1320 m.
- L'estimation de la participation des pôles de mélange informe d'une participation moyenne de la zone non saturée à l'écoulement à l'exutoire de près de 79 %. En période d'étiage, la participation de la zone saturée à l'écoulement à l'exutoire est de l'ordre de 30 %
- L'étude des paramètres sanitaires montre des contaminations bactériologiques fréquentes et très intenses qui se corrént avec le cumul des précipitations les cinq jours précédant le prélèvement

Ces informations incitent à rechercher le bassin d'alimentation préférentiel de la source de Moises 3 (cf. Figure 119) dans une zone globalement comprise entre 400 et 500 m. au Nord-est de l'émergence. Plus précisément, le bassin d'alimentation préférentiel se situerait dans la forêt communale d'Habère-Poche, à l'intérieur du périmètre de protection éloignée du captage. Dans ce secteur, des dépôts morainiques recouvrent totalement les formations du Lias. Cette délimitation

géographique du bassin d'alimentation amène à concevoir le schéma conceptuel de fonctionnement présenté sur la Figure 128. Les eaux s'infiltreraient et circuleraient principalement dans des dépôts morainiques caillouteux (et ayant en grande partie perdu son argile par lessivage) situés dans la forêt communale d'Habère-Poche. Des apports secondaires proviendraient des calcaires siliceux du Lias. Les eaux souterraines émergeraient à la rencontre des dépôts morainiques argileux.

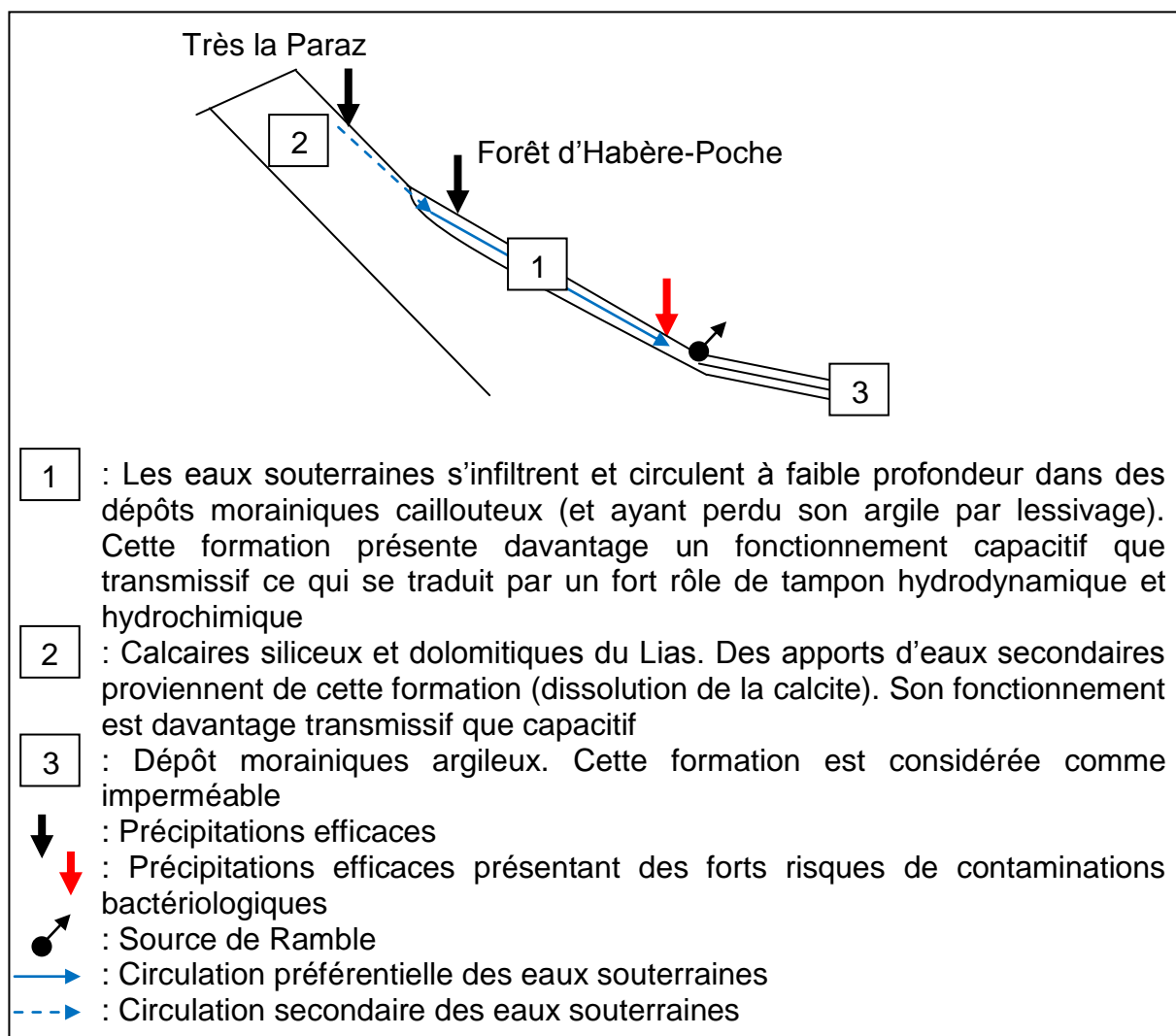


Figure 128 : Schéma conceptuel de fonctionnement de la source de Ramble

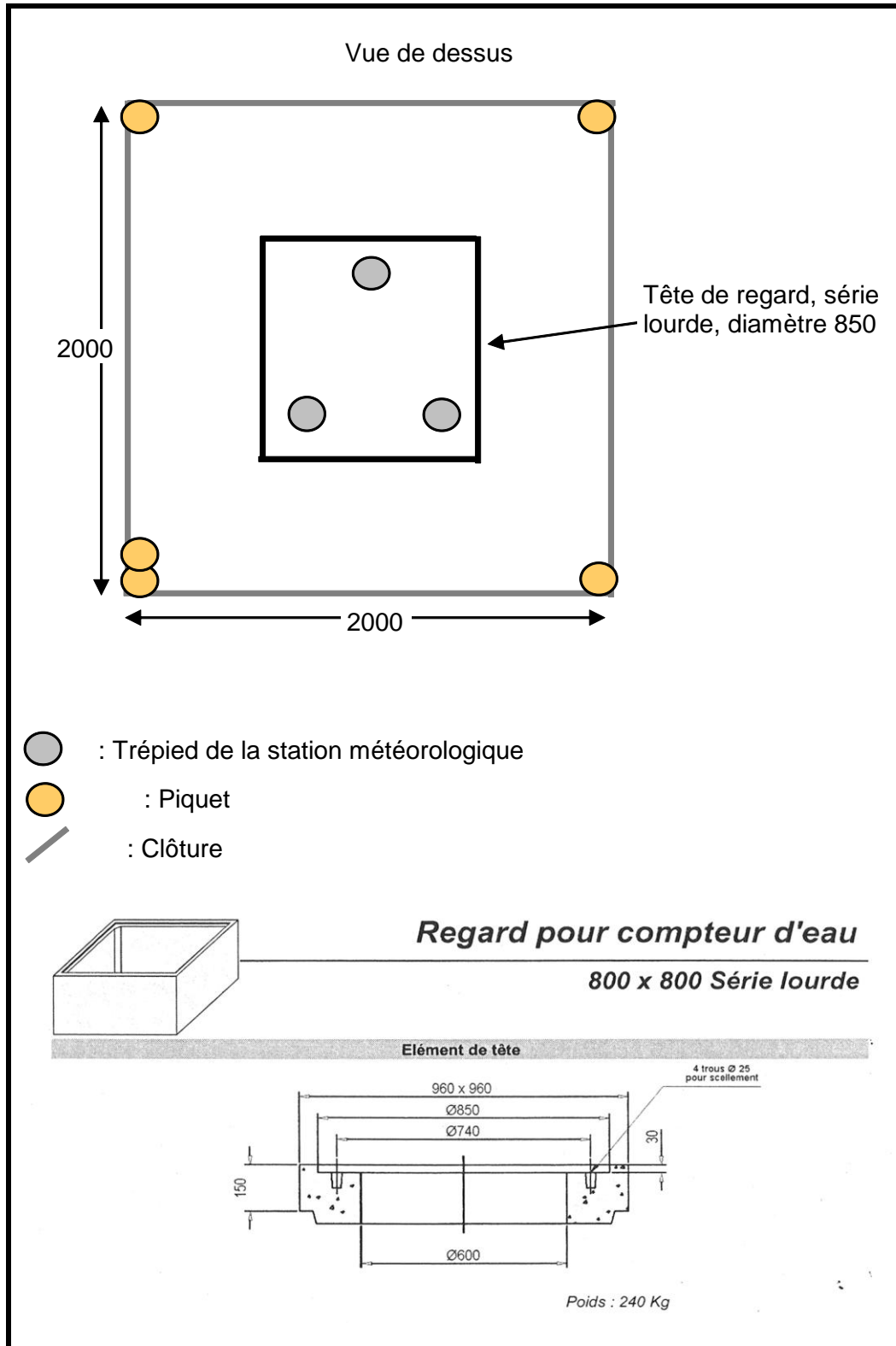
CHAPITRE 6. ANNEXES

- 6.1 Schéma d'implantation de la station météorologique et des stations de mesures des cours d'eau
- 6.2 Convention de passage avec les propriétaires privés riverains des stations de mesures
- 6.3 Autorisation d'occuper le domaine public routier départemental et réglementation de la circulation durant les travaux
- 6.4 Déclaration de travaux de la station météorologique de Très le Mont
- 6.5 Demande d'autorisation des stations de mesures au titre de la police des eaux et de la police de la pêche
- 6.6 Agrément de travaux délivré au titre de la police des eaux pour l'installation de différents appareils de mesure pour l'étude de débit sur les cours d'eau
- 6.7 Convention d'échange des données météorologiques avec la SAEME

6.1 Schéma d'implantation de la station météorologique et des stations de mesures des cours d'eau

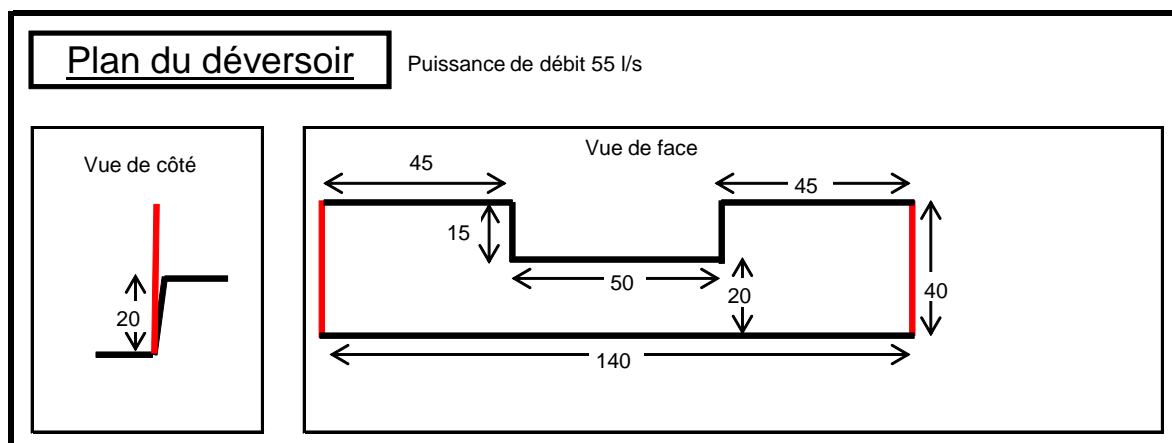
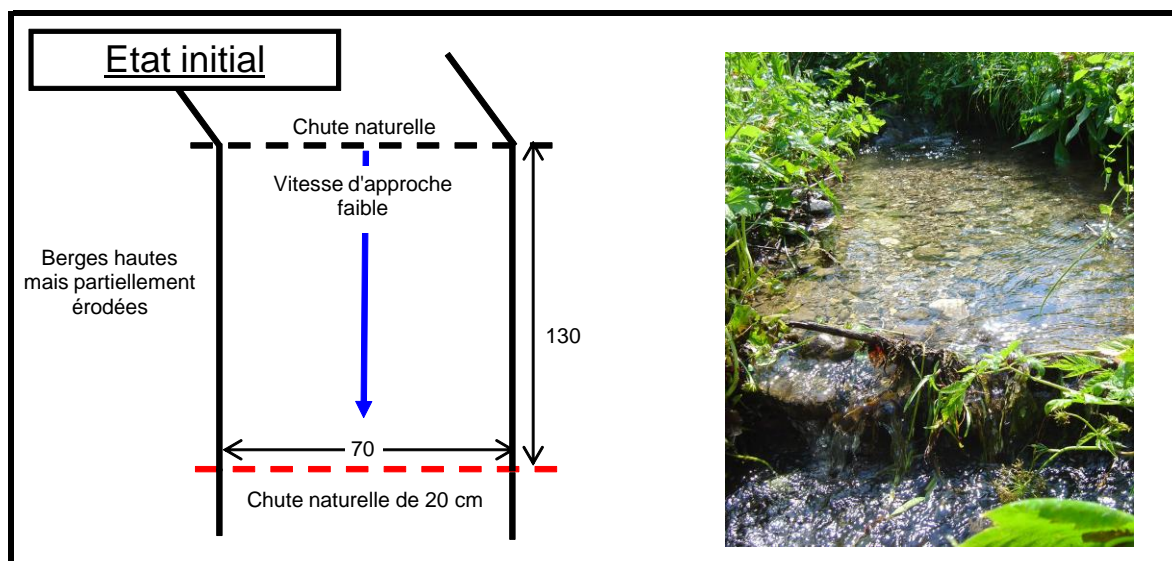
Station météorologique de Très le Mont

Les mètres sont donnés à titre indicatif, ils sont en mm



Station des Arces amont

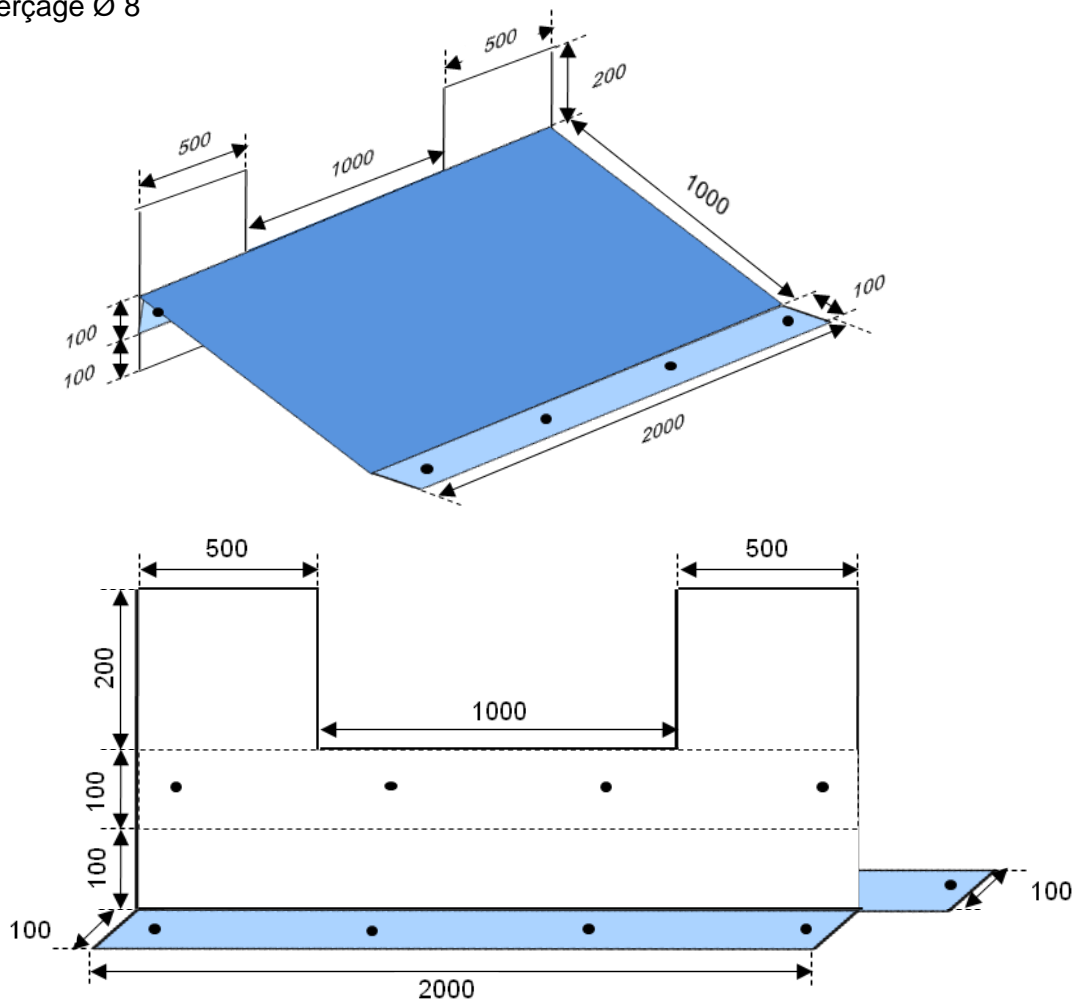
Les plans ne sont pas à l'échelle. Les métrés sont en cm



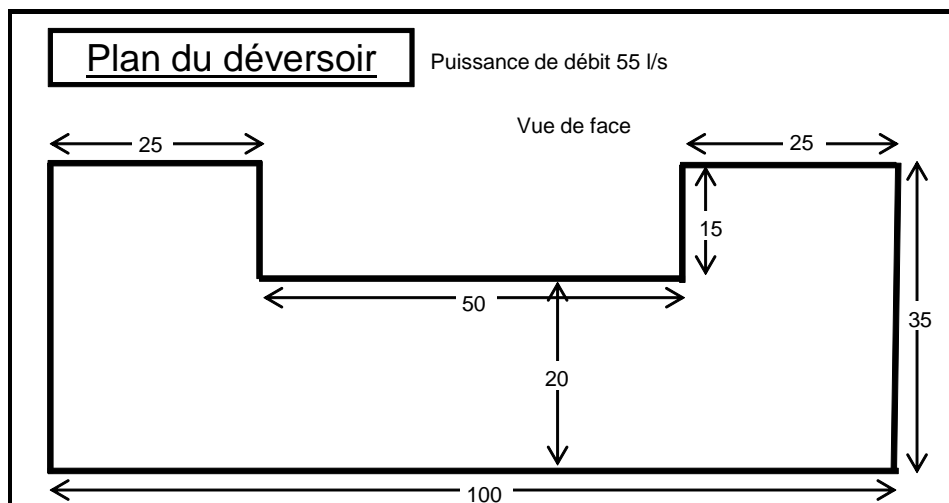
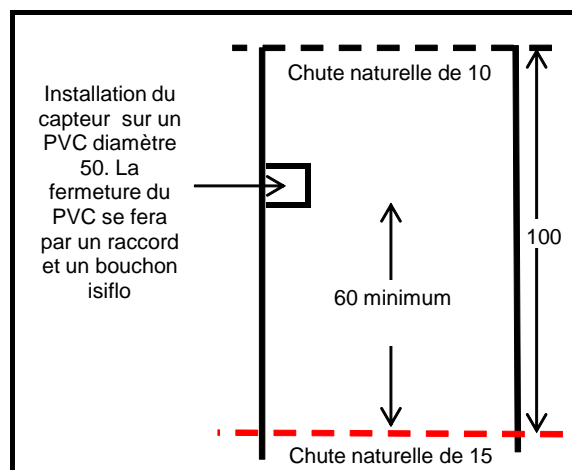
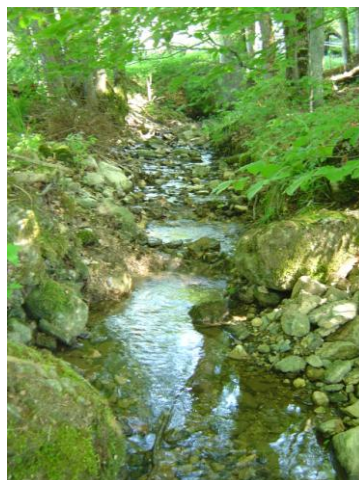
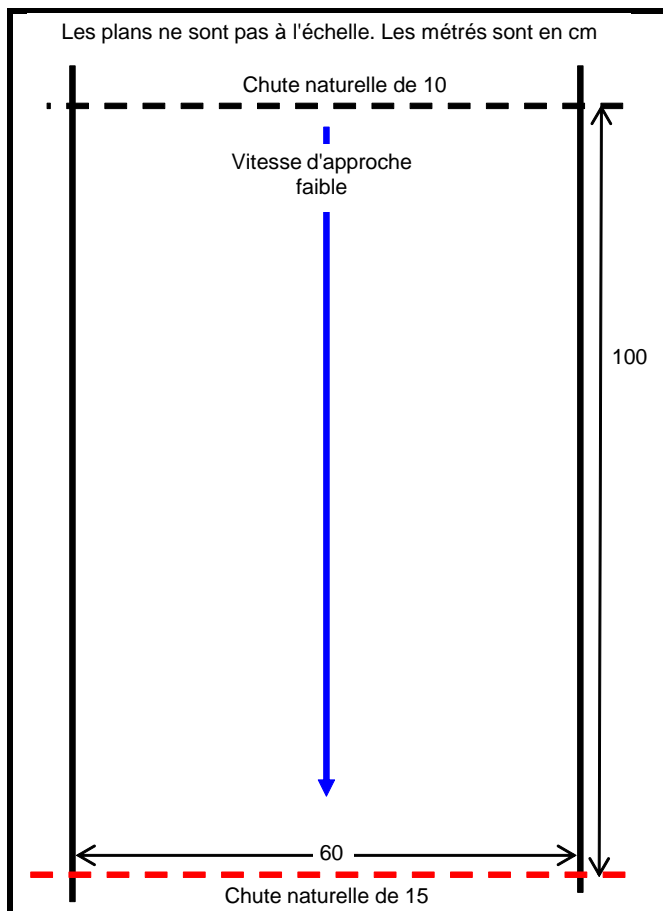
Installation de l'enregistreur dans un PVC diamètre 50 (hauteur = 1 m.)
La fermeture du PVC se fera par un raccord et un bouchon isiflo

Station des Arces aval

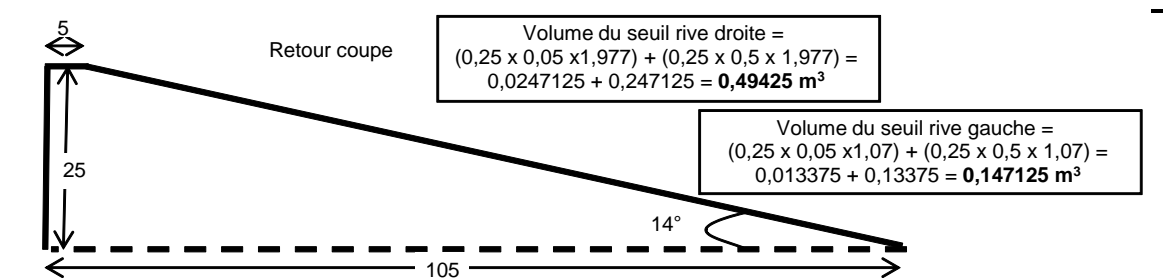
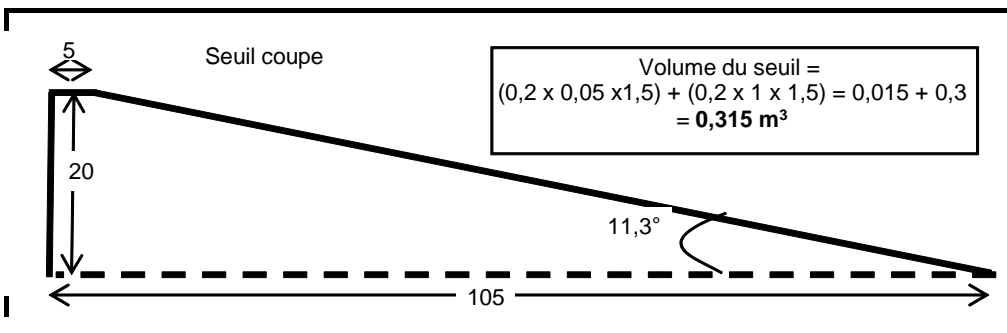
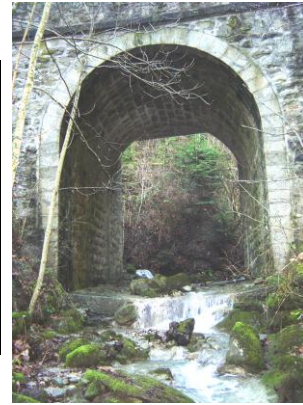
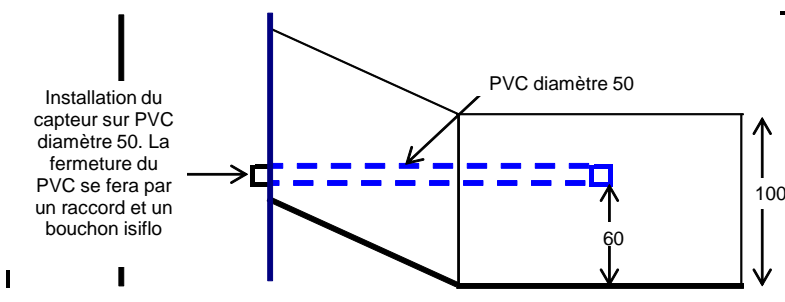
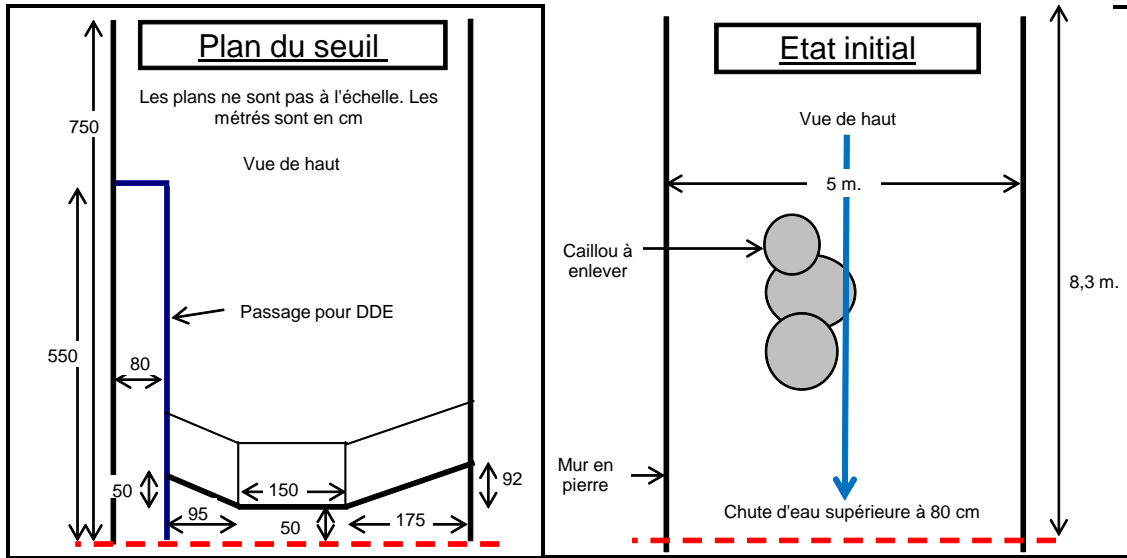
- Perçage Ø 8



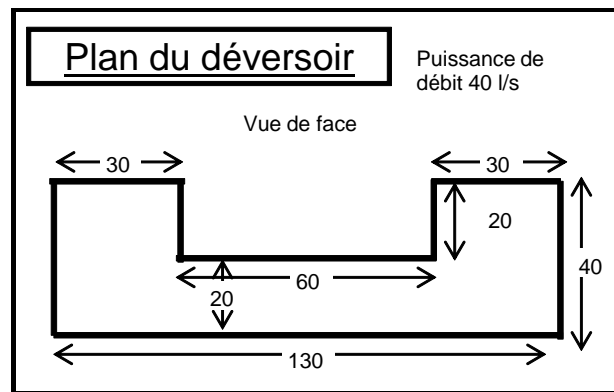
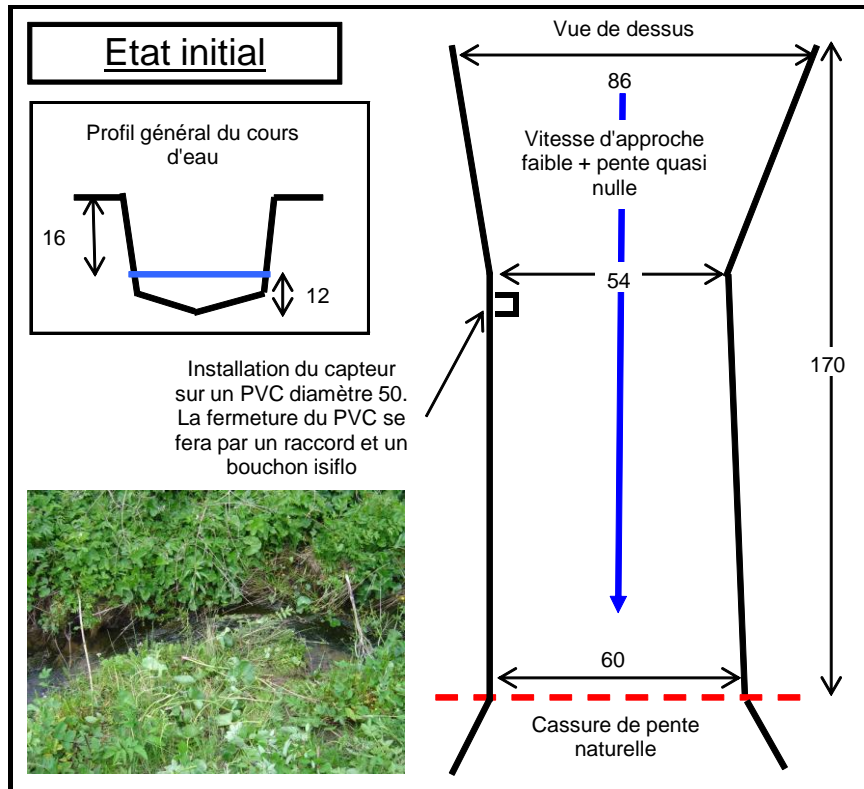
Station des Granges Mamet



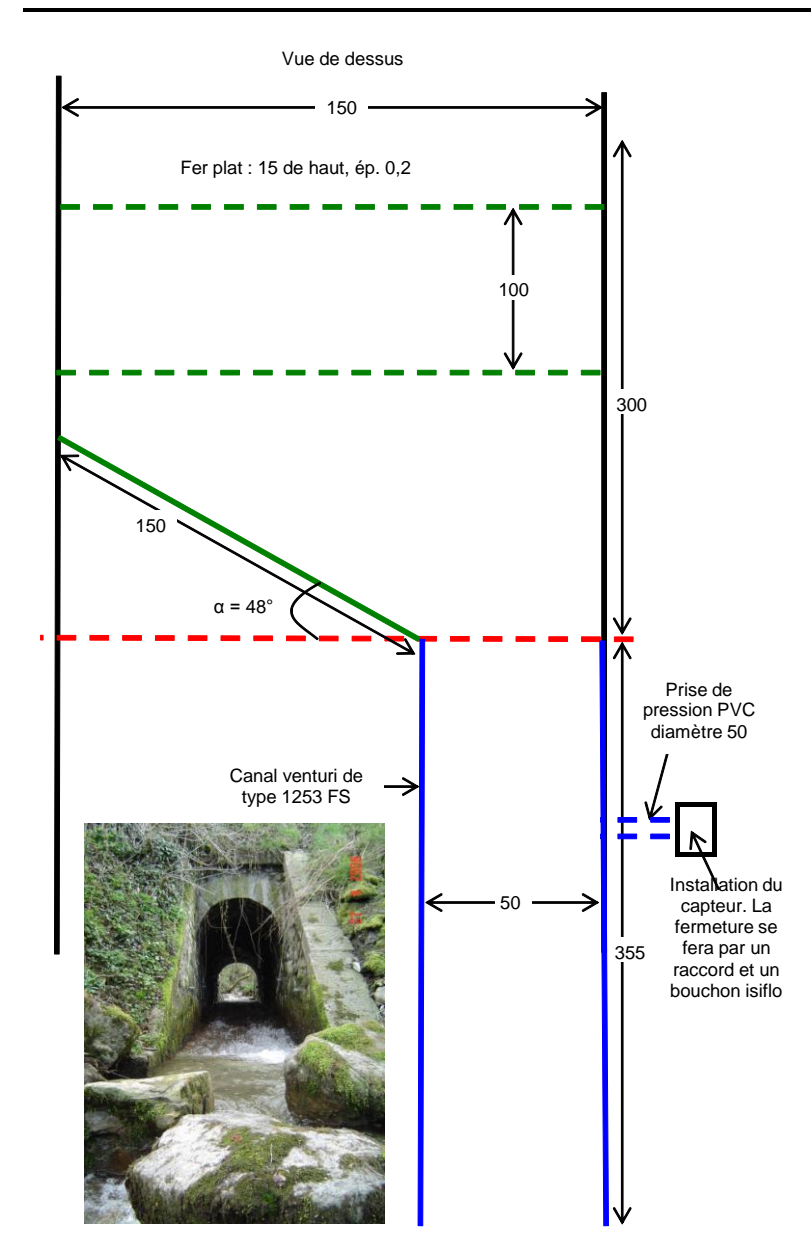
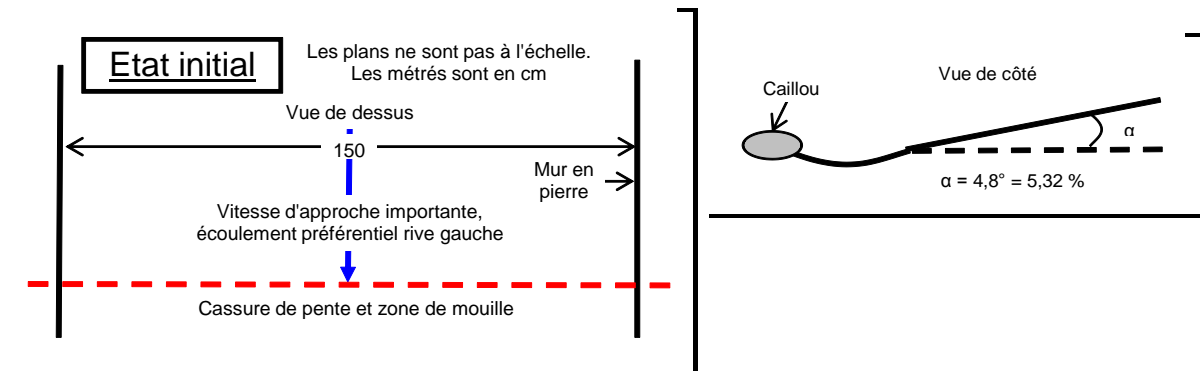
Station des Moises

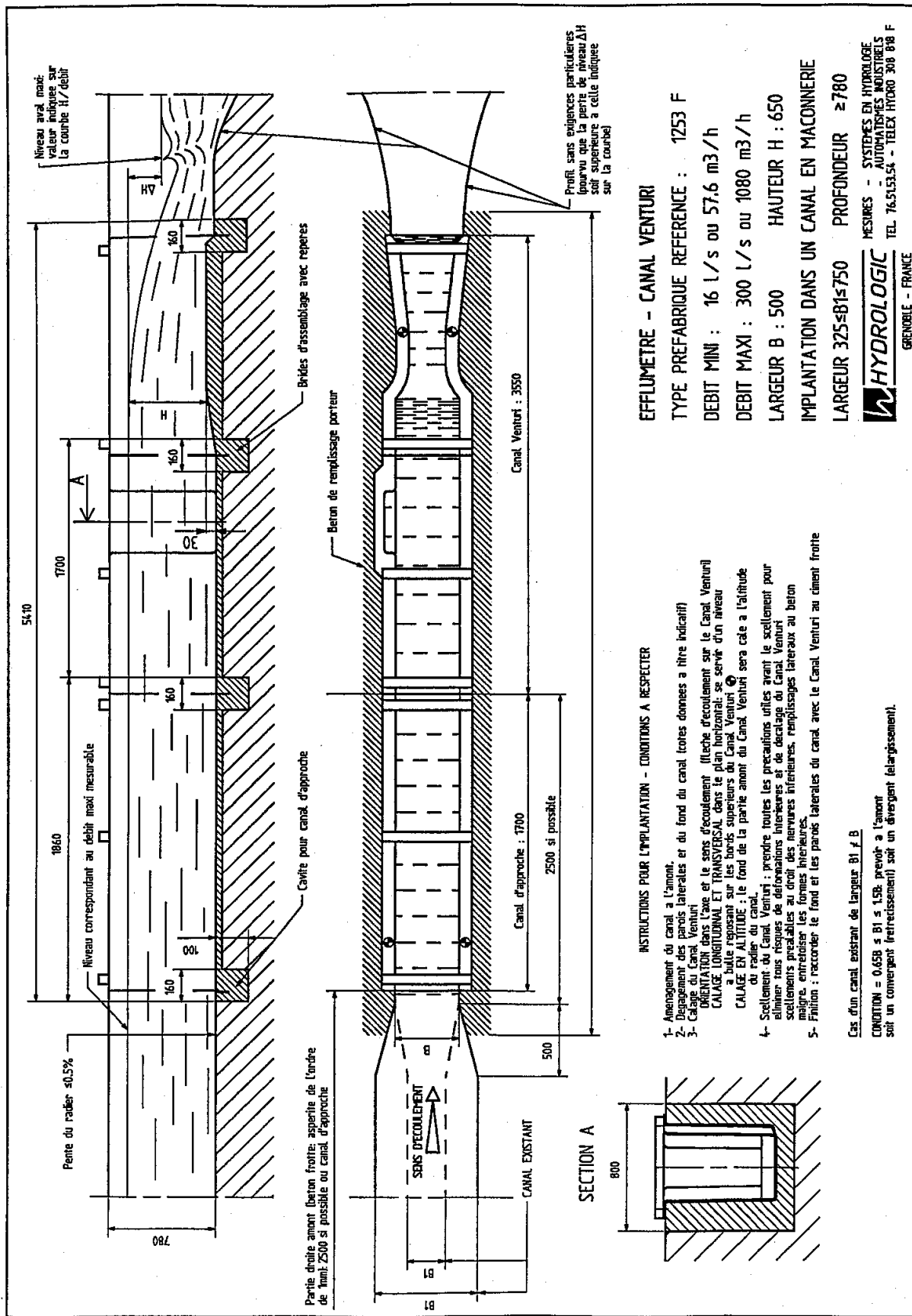


Station de la Menoge



Station du Pamphiot





6.2 Convention de passage avec les propriétaires privés riverains des stations de mesures



BP 16 • 74550 PERRIGNIER
TÉLÉPHONE 04 50 72 40 26 - TÉLÉCOPIE 04 50 72 40 60
URGENCES 06 86 46 06 28
E-mail : SIEM@wanadoo.fr - Internet : www.eaux-moises.com
TVA Intracommunautaire FR 41 257 400 697
SIRET 257 400 697 00013 - APE 751 C

M & Mme Roger DUCROT

CHEF LIEU

74420 HABERE POCHE

Perrignier, le 31 août 2006

Nos réf : 2006/08 BD/ac

Objet : Convention de passage

Dossier suivi par : Bertrand DEVILLE

Madame, Monsieur,

Nous vous prions de trouver ci-joint, un schéma de l'installation que nous souhaitons mettre en place cet été sur votre parcelle n° 334 - section OA ; ainsi qu'un extrait de plan cadastral et une autorisation de passage à nous retourner dûment acceptée et signée.

Par ailleurs, nous vous informons que ces installations ont pour fonction d'apprécier le débit du cours d'eau ; pour une durée de 2 ans.

Vous en souhaitant bonne réception et nous restons à votre disposition pour d'éventuels renseignements complémentaires.

Nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, nos sincères salutations.

Le Chargé de Missions

Bertrand DEVILLE



**AUTORISATION DE PASSAGE D'UN APPAREIL DE
MESURE DE DEBIT**

A _____, le

Je, soussigné

Propriétaire de(s) parcelle(s)

Section

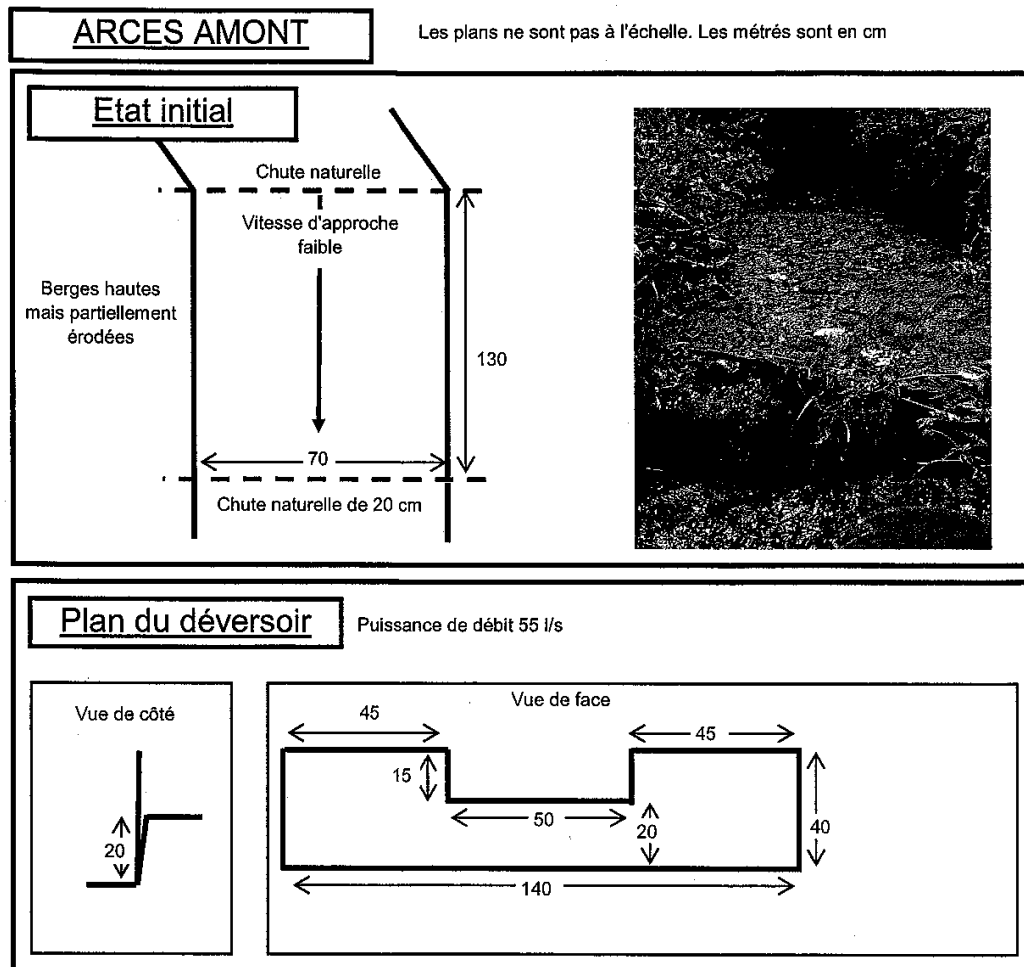
N°

Lieu-dit :

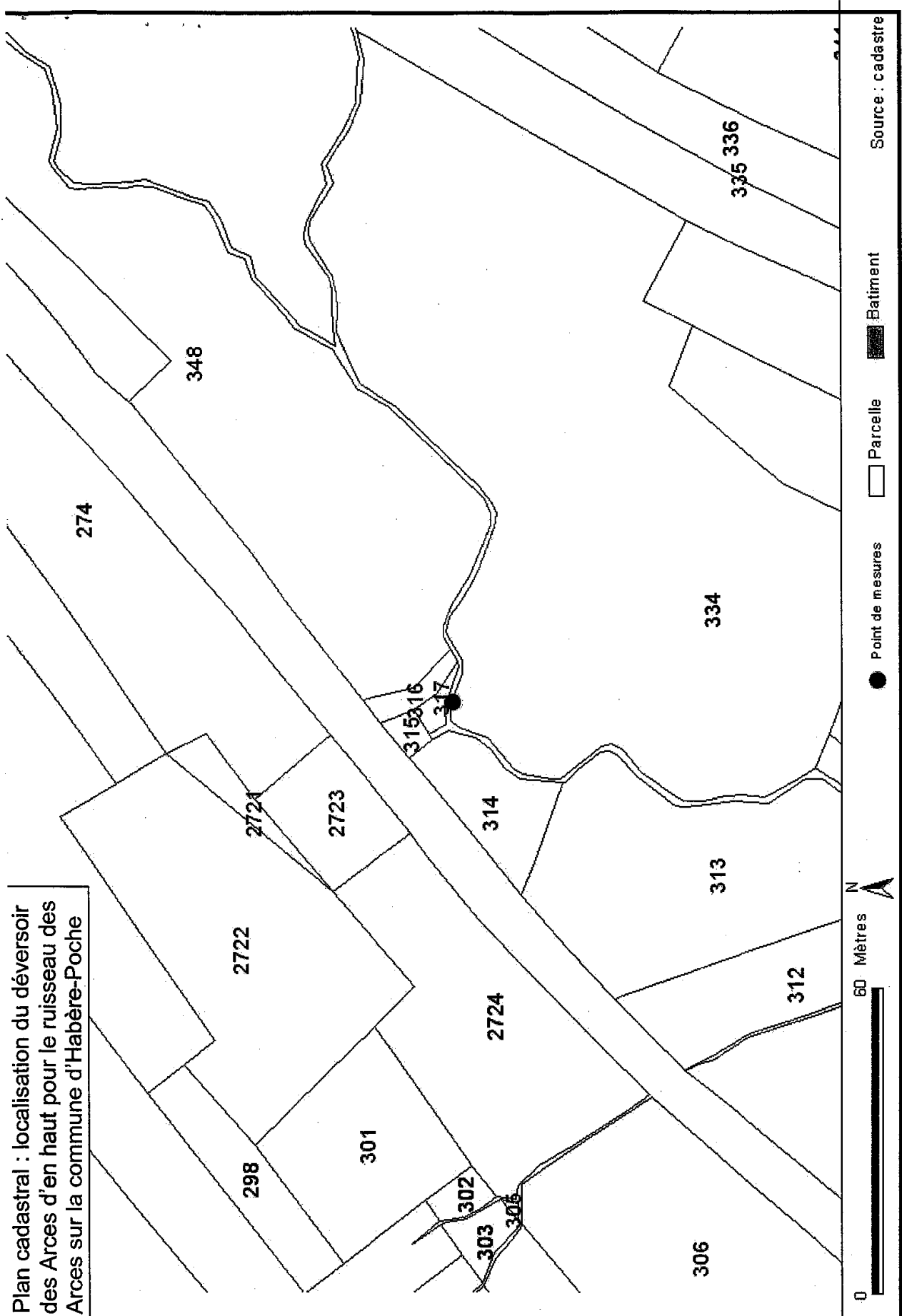
Code postal et nom de la commune :

- Autorise le passage d'un appareil de mesures de débit de type déversoir sur ma propriété
- Autorise le Syndicat Intercommunal des Eaux des Moises à effectuer à l'intérieur de ma propriété toutes les interventions nécessaires pour l'installation, l'entretien, la réparation et le remplacement de cet appareil
- Tous les dégâts pouvant être causés à ma propriété par l'installation, l'entretien, la réparation et le remplacement de cet appareil seront à la charge du Syndicat Intercommunal des Eaux des Moises

Le (ou la) Propriétaire,



Installation de l'enregistreur dans un coffret de protection
 Installation du coffret de protection sur le mur de la station de pompage



**AUTORISATION DE PASSAGE D'UN APPAREIL DE
MESURE DE DEBIT**

A H. Roch, le 13.09.06.

S.I.E.M.
REÇU LE :
15 SEP. 2006

Je, soussigné Ducroz Roger.

Propriétaire de(s) parcelle(s)

Section : 0A

N° 334

Lieu-dit : Les Arées

Code postal et nom de la commune : 74420 Habier Roch

- Autorise le passage d'un appareil de mesures de débit de type déversoir sur ma propriété
- Autorise le Syndicat Intercommunal des Eaux des Moises à effectuer à l'intérieur de ma propriété toutes les interventions nécessaires pour l'installation, l'entretien, la réparation et le remplacement de cet appareil
- Tous les dégâts pouvant être causés à ma propriété par l'installation, l'entretien, la réparation et le remplacement de cet appareil seront à la charge du Syndicat Intercommunal des Eaux des Moises

Le (ou la) Propriétaire,

Ducroz Roger



BP 16 • 74550 PERRIGNIER
TÉLÉPHONE 04 50 72 40 26 - TÉLÉCOPIE 04 50 72 40 60
URGENCES 06 86 46 06 28
E-mail : SIEM@wanadoo.fr - Internet : www.eaux-moises.com
TVA Intracommunautaire FR 41 257 400 697
SIRET 257 400 697 00013 - APE 751 C

Monsieur Roger DUCROT

CHEF LIEU

74420 HABERE POCHE

Perrignier, le 15 septembre 2006

Nos réf : 2006/09 JPF/ac

Objet : Convention de passage

Dossier suivi par : Bertrand DEVILLE

Monsieur,

Nous tenons à vous remercier très sincèrement de votre collaboration concernant l'autorisation de passage et pour l'installation d'un appareil de mesure de débit sur votre parcelle.

Nous restons à votre disposition pour d'éventuels renseignements complémentaires.

Vous souhaitant bonne réception de la présente,

Nous vous prions d'agréer, Monsieur, nos sincères salutations.

Le Président

J-P FILLION

6.3 Autorisation d'occuper le domaine public routier départemental et réglementation de la circulation durant les travaux



Direction de la Voirie et des Transports

17 OCT. 2006

Arrondissement des Routes Départementales de Thonon-les-Bains
Centre Technique Départemental de Thonon-les-Bains - Douvaine
31, bd du Pré-Cergues • BP 503 • 74203 Thonon-les-Bains Cedex • Tél : 04 50 71 17 50 • Fax : 04 50 70 11 22

**LE PRESIDENT DU CONSEIL GENERAL
du DEPARTEMENT DE LA HAUTE-SAVOIE**

**AUTORISATION D'OCCUPER LE DOMAINE
PUBLIC ROUTIER DEPARTEMENTAL**

Affaire suivie par :
M. MOREL Joseph
CERD de VAILLY

AUTORISATION n° 06-257

ROUTE DEPARTEMENTALE n° 12 au PR 83+443
Commune de **DRAILLANT – « Creux de la Croix »**

CENTRE TECHNIQUE DEPARTEMENTAL DE THONON DOUVAIN

PETITIONNAIRE : S.I.E.M. Zone Industrielle - 74550 PERRIGNIER

L'OCCUPANT DU DOMAINE PUBLIC :

L'INTERVENANT: S.I.E.M. Zone Industrielle - 74550 PERRIGNIER

NATURE DES TRAVAUX : Création d'un Seuil Jaugeur

VU la pétition en date du 17/10/06 par laquelle le pétitionnaire demande l'autorisation d'occuper le **Domaine Public Routier Départemental** :

VU la loi n° 82.213 du 2 mars 1982 relative aux droits et libertés des Communes, des Départements et des Régions, et notamment son article 25 ;

VU la loi 89.413 du 22 juin 1989, portant code de la voirie routière et notamment l'article L 113.2 ;

VU l'arrêté du 27.06.91 du **Président du Conseil Général** portant **Règlement Départemental de la Voirie de la Haute-Savoie** ;

VU l'arrêté en vigueur du **Président du Conseil Général** portant délégation de signature ;

VU l'état des lieux ;

ARTICLE 1 : AUTORISATION.

Le pétitionnaire est autorisé à occuper le **Domaine Public Routier Départemental** conformément aux dispositions prévues par les textes en vigueur et notamment le Règlement Départemental de Voirie.

ARTICLE 2 : DUREE DE L'OCCUPATION

Cette autorisation est accordée à titre précaire et révocable du :

DATE DE DEBUT DES TRAVAUX : **19/10/06**
DATE DE FIN DES TRAVAUX : **03/11/06 inclus**

ARTICLE 3 : REGLEMENTATION DE LA CIRCULATION.

Les mesures de réglementation de la circulation nécessaire à la réalisation des travaux sont détaillées en annexe, au présent arrêté **N° 06-4365**.

ARTICLE 4 : SIGNALISATION.

La signalisation temporaire de chantier est à la charge du pétitionnaire. Elle sera conforme à l'instruction interministérielle sur la signalisation routière du 15 juillet 1974, et aux prescriptions de la subdivision territoriale gestionnaire de la voirie départementale.

ARTICLE 5 : RESPONSABILITE DES INTERVENANTS.

Ces ouvrages ne devront présenter aucun danger pour les usagers de la route.

Les intervenants sont tenus de se conformer aux prescriptions des services gestionnaires de la **Voirie Départementale** concernant la gestion des flux de circulation et la sécurité des usagers.

Les intervenants sont responsables de tout accident ou dommage qui pourrait résulter de l'inobservation de ces prescriptions. Ils sont tenus de mettre en oeuvre sans délai, les mesures qu'il leur serait enjoint de prendre dans l'intérêt de la sécurité des usagers et de la circulation.

ARTICLE 6 : CONSTAT PREALABLE DE L'ETAT DES LIEUX.

Préalablement à tous travaux, l'intervenant peut demander l'établissement d'un constat contradictoire d'état des lieux.

En l'absence de constat contradictoire, les lieux sont réputés en bon état d'entretien et aucune contestation ne sera admise par la suite.

ARTICLE 7 : CONDITIONS GENERALES.

Cette autorisation doit être affichée sur le chantier par l'entrepreneur et cet affichage sera maintenu en état pendant toute la durée de celui-ci.

La fabrication des mortiers et béton est interdite sur la chaussée, les accotements ou les dépendances du **Domaine Public**.

Dès achèvement des travaux, le **Domaine Public** sera nettoyé et remis en état.

ARTICLE 8 : AMPLIATION DE LA PRESENTE AUTORISATION SERA ADRESSEE :

- au pétitionnaire : **S.I.E.M. Zone Industrielle 74550 PERRIGNIER**


- à M. le Maire de la Commune de **DRAILLANT** (pour information)

LE PRESIDENT DU CONSEIL GENERAL
Par délégation

Le Chef du CTD de **THONON DOUVAIN**

C. CAMBIER


6.4 Déclaration de travaux de la station météorologique de Très le Mont



**Ministère
de l'Équipement,
des Transports
et du Logement**

DECLARATION DE TRAVAUX EXEMPTÉS DE PERMIS DE CONSTRUIRE OU DECLARATION DE CLÔTURE

(Articles L. 422-2 ou L. 441-2 du Code de l'urbanisme)





N° 10073*01

CADRE RÉSERVÉ À L'ADMINISTRATION

104401061	1041091061	D.P.T.	7411551061300081
DATE DE DÉBUT POSSIBLE DES TRAVAUX	DATE DÉPÔT	DPT	COMMUNE ANNÉE N° DOSSIER

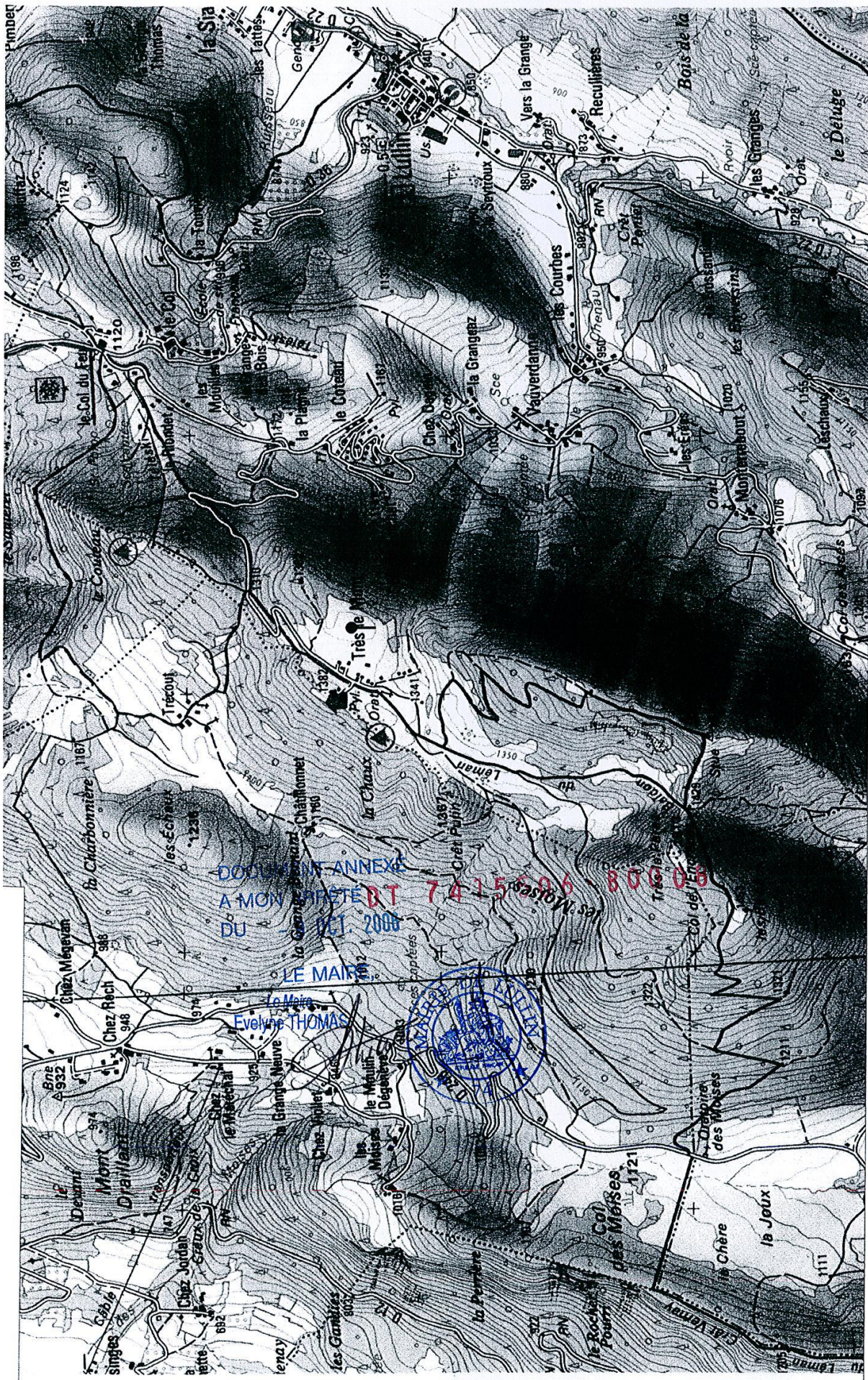
1. DÉCLARANT	
NOM, PRÉNOMS ou DÉNOMINATION Syndicat Intercommunal des Eaux de Noires	NOM D'USAGER (le cas échéant) SIEM
PERSONNE MORALE (nom du REPRÉSENTANT LÉGAL ou STATUTAIRE) N. Le Président N. FILLION Jean-Pierre	
ADRESSE (numéro et voie) Zone Industrielle BP. 16	
COMPLÈMENT D'ADRESSE	
CODE POSTAL 17415	LOCALITÉ DE DESTINATION PERRIGNIER
TÉLÉPHONE 04 50 92 40 26	

2. TERRAIN	
21. DÉSIGNATION DU TERRAIN	
ADRESSE DU TERRAIN Très-le Mont (numéro, voie ou lieu-dit) 161 section OD à Très-le Mont	NOM DU PROPRIÉTAIRE DU TERRAIN (s'il est autre que le déclarant) Anne COUË COLETTE
CODE POSTAL 17415	LOCALITÉ DE DESTINATION PERRIGNIER
ADRESSE Les Cottages, 19 Ch. de St-Hélène	
CODE POSTAL 17415	LOCALITÉ DE DESTINATION THONON
22. CADASTRE	
INDICER LA OU LES SECTIONS CADASTRALES ET, POUR CHAQUE SECTION, LE OU LES NUMÉROS DES PARCELLES 161 section OD	
SUPERFICIE TOTALE DE LA OU DES PARCELLES CONSTITUANT LA PROPRIÉTÉ 1272 m ²	
23. SITUATION JURIDIQUE DU TERRAIN	
Le terrain est-il situé dans un LOTISSEMENT ? <input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON	
NOM DU LOTISSEMENT OU DU LOTISSEUR	

3. PROJET		
31. ANTERIORITÉ ÉVENTUELLE		
Si le projet a déjà fait l'objet d'une déclaration de travaux ou d'une demande de permis de construire, indiquer ci-dessous son numéro :	Si le terrain a fait l'objet d'un certificat d'urbanisme, indiquer ci-dessous sa date et son numéro :	
32. NATURE DES TRAVAUX		
321. <input type="checkbox"/> MODIFICATION DE L'ASPECT EXISTANT 322. <input type="checkbox"/> CONSTRUCTION NE CRÉANT PAS DE SURFACE DE PLANCHER 323. <input type="checkbox"/> CONSTRUCTION CRÉANT UNE SURFACE HORS ŒUVRE BRUTE N'EXCÉDANT PAS 20 M ² SUR UN TERRAIN SUPPORTANT DÉJÀ UN BÂTIMENT (ou série de moins de 4 m de hauteur et moins de 2000 m ² de surface) 324. <input checked="" type="checkbox"/> CONSTRUCTION OU OUVRIAGE TECHNIQUE LIÉ AU FONCTIONNEMENT D'UN SERVICE PUBLIC 325. <input type="checkbox"/> TRAVAUX À EXÉCUTER SUR UN IMMEUBLE CLASSÉ AU TITRE DE LA LÉGISLATION SUR LES MONUMENTS HISTORIQUES 326. <input type="checkbox"/> HABITATION LÉGÈRE DE LOISIRS (H.L.L.) N'EXCÉDANT PAS 35 M ² 327. <input checked="" type="checkbox"/> CLÔTURE	328. NATURE ET DESCRIPTION DES TRAVAUX PROJÉTÉS (Indiquer notamment la nature et la couleur des matériaux apparents) Installation d'une station météorologique	
33. DENSITÉ DE LA CONSTRUCTION		
BÂTIMENT(S) EXISTANT(S) DDE de la Haute-Savoie SUBDIVISION DE THONON	Surfaces déduites - 9 OCT. 2006 Le Maire, Evelyne THOMAS	Surfaces hors œuvre nettes (S.H.O.N.) 02110106
BÂTIMENT(S) À DÉMOLIR Rue Sergent Morel		
BÂTIMENT(S) À CRÉER B.P. 103 - 74207 Thonon-les-Bains Cedex Tél. 04.50.71.11.75 - Fax 04.50.71.77.15		

4. ENGAGEMENT DU DÉCLARANT	
Je soussigné, titulaire de la présente déclaration : CERTIFIE exacte les renseignements qui y sont contenus et M'ENGAGE à respecter les règles générales de construction prescrites par les textes pris en application des articles L. 111-1 et suivants du Code de la construction et de l'habitation sous peine d'encourir les sanctions pénales applicables en cas de violation de ces règles (articles L. 162-1 à L. 162-11).	NOM : Le Président, Jean-Pierre FILLION
DEMANDE (FACULTATIVE) D'ARRÊTÉ D'ALIGNEMENT	
Je demande que ma notice détermine la ou les arrêtés d'alignement en application de l'article L. 112-1 du Code de la construction et de l'habitation pour la ou les voies bordant le terrain désigné ci-dessus dans le cadre 2.	

121.04



Réalisation : SIEM, août 2006

Source : IGN

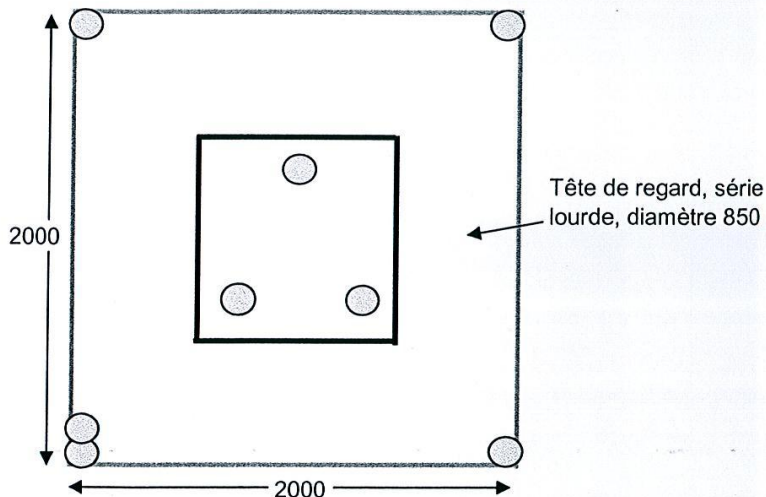
Localisation de la station météorologique



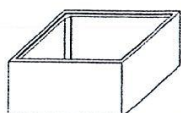
Schéma d'implantation de la station météorologique sur la parcelle 161, section OD, à Très le Mont, sur la commune de Lullin

Les mètres sont donnés à titre indicatif, ils sont en mm

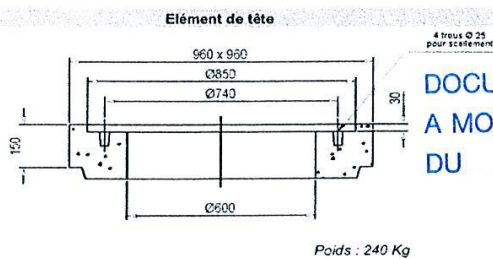
Vue de dessus



- : Trépied de la station météorologique
- : Piquet en bois
- : Fil de clôture



Regard pour compteur d'eau
800 x 800 Série lourde

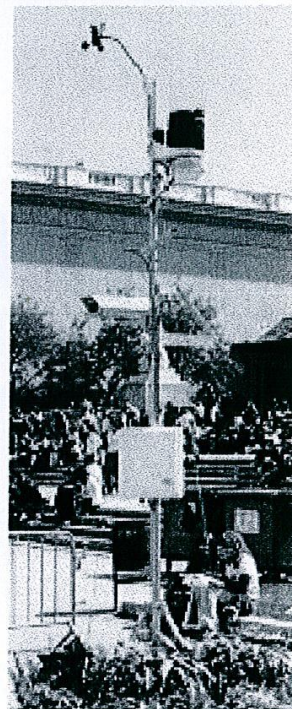


DOCUMENT ANNEXÉ
A MON ARRÊTÉ N° 7415506-80008
DU - 9 OCT. 2006

LE MAIRE,
Le Maire,
Evelyne THOMAS



Photographie de la station météorologique, vue d'ensemble



La hauteur de la station météorologique sera comprise entre 3 et 4 mètres

**AUTORISATION DE PASSAGE D'UNE STATION
METEOROLOGIQUE**

Thonon, le 5 août 2006

Je, soussigné *M^{me} MONTE POTTET*

S.I.E.M.
REÇU LE :
08 AOÛT 2006

Propriétaire de(s) parcelle(s)

Section

N° *161*

Lieu-dit : *TRÈS LE MONT*

Code postal et nom de la commune : *74470 LULLIN*

- Autorise le passage d'une station météorologique sur ma propriété pour une durée de 2 ans
- Autorise le Syndicat Intercommunal des Eaux des Moises à effectuer à l'intérieur de ma propriété toutes les interventions nécessaires pour l'installation, l'entretien, la réparation et le remplacement de cet appareil
- Tous les dégâts pouvant être causés à ma propriété par l'installation, l'entretien, la réparation et le remplacement de cet appareil seront à la charge du Syndicat Intercommunal des Eaux des Moises

DOCUMENT ANNEXÉ

A MON ARRÊTÉ DT 7415506 - B0008
DU - 9 OCT. 2006

Le (ou la) Propriétaire,

LE MAIRE,

Le Maire,
Evelyne THOMAS



6.5 Demande d'autorisation des stations de mesures au titre de la police des eaux et de la police de la pêche



PREFECTURE DE LA HAUTE-SAVOIE



Direction Départementale de
l'Agriculture et de la Forêt
de Haute-Savoie

DEMANDE D'AUTORISATION AU TITRE DE LA POLICE DES EAUX ET DE LA POLICE DE LA PECHE

Service de l'Eau et de la Pêche

Cité Administrative
7 rue Duparloup
74040 ANNECY CEDEX

POUR TRAVAUX INTERESSANT LES EAUX SUPERFICIELLES ET MILIEUX AQUATIQUES
(ne concerne pas les rejets domestiques, industriels ou agricoles)

A **NOM DU DEMANDEUR** Syndicat Intercommunal des Eaux des Noises (SIEA)
Adresse Z.I / BP 16 74550 PERRIGNIER
Tél. 04 50 72 40 26
Fax 04 50 72 40 60

Lieu des travaux :

Commune : Drailant
Parcelles : Aucune Sections : AC
Cours d'eau, canal ou plan d'eau : Ruisseau des Noises
Bassin versant : Noises
Lieu-dit : Les Nés
N° : Sous la CD 12

Géoréférencement

X (9)(1)(9)(0)(9)(9)
9 1 8 0 0 0

Y (2)(1)(4)(7)(4)(9)
1 5 1 9 0 7

Z () (3) (5) (0)

B **NATURE DES TRAVAUX** (1)

() 2.1.0. PRELEVEMENT dans un cours d'eau, sa nappe d'accompagnement, un plan d'eau ou un canal
débit : m³/h ou l/s

() 2.2.0. REJET dans un cours d'eau, sa nappe d'accompagnement, un plan d'eau ou un canal
5.3.0.

s'agit-il d'eaux pluviales ? oui non (2)

débit : m³/h

superficie desservie par le collecteur : m²

() 2.4.0. OUVRAGE placé en TRAVERS DU LIT d'un cours d'eau (barrage, seuil...)

nature de l'ouvrage : Seuil jaugeur...
hauteur de chute : 20 cm

(2) Rayer la ou les mention(s) inutile(s)

- 2.5.0. Opération créant une **MODIFICATION DU PROFIL EN LONG OU EN TRAVERS** (sauf protection de berges), **DERIVATION** ou **DETOURNEMENT** d'un cours d'eau

nature de l'opération :
longueur de cours d'eau concernée : m

- 2.5.2. **COUVERTURE** d'un cours d'eau

cours d'eau naturel ? oui non (2)
longueur : m
type d'ouvrage :

- 2.5.3. **CONSTRUCTION** d'un **PONT**, d'une **PASSERELLE**....., au-dessus d'un cours d'eau

emprise dans le lit mineur ? oui non (2)

- 2.5.3. **REMBLAIS**, **EPIS** dans un cours d'eau

emprise dans le lit mineur ? oui non (2)

- 2.5.4. **CONSTRUCTION**, **DIGUE** ou **REMBLAI** dans le **LIT MAJEUR** d'un cours d'eau

nature de la construction :
hauteur maximale :m
surface au sol :m

- 2.5.5. Consolidation ou mise en place d'une **PROTECTION DE BERGE** latérale

emprise dans le lit mineur ? oui non (2)
longueur en rive droite :m ; en rive gauche :m
type de protection :

- 2.6.0. **CURAGE** ou **DRAGAGE** d'un cours d'eau ou étang

longueur : m largeur : m profondeur : m
volume estimé : m³
volume annuel prélevé au même endroit : m³

- 2.6.2. **VIDANGE** de plan d'eau

s'agit-il d'une pisciculture ? oui non (2)
s'agit-il d'un plan d'eau existant au 30 juin 1984 ? oui non (2)
s'agit-il d'une vidange périodique d'un barrage ? oui non (2)
si oui : hauteur : m
volume de la retenue : m³

- 4.1.0. **ASSECHEMENT**, **IMPERMEABILISATION**, **REMBLAIS de ZONES HUMIDES** ou **de MARAIS**

superficie : m²

- 6.4.0. **CREATION D'UNE ZONE IMPERMEABILISEE** (sauf les voies publiques affectées à la circulation)

superficie d'un seul tenant : m²

- AUTRES**

C DESCRIPTION DETAILLEE

Creation d'un seuil jaugeur et installation d'un capteur de pression dans le lit du cours d'eau (sur le radier du pont géré par la DDE)

La durée prévue pour les travaux est environ de : 2 jours
Date de commencement envisagée : septembre 2006

Les travaux seront exécutés par : Le SIEN

(1) Je déclare être propriétaire des terrains concernés par les travaux.

Je déclare avoir l'autorisation du propriétaire des terrains concernés pour entreprendre les travaux envisagés.

Je m'engage à ne pas commencer les travaux avant d'avoir reçu l'autorisation administrative nécessaire.

PIECES COMPLEMENTAIRES A JOINDRE A CET IMPRIME :

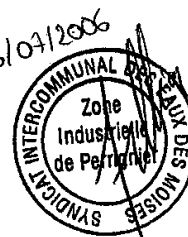
PLAN DE SITUATION (1/25 000 par exemple)
EXTRAIT DE PLAN CADASTRAL (indication de l'échelle et de la direction du Nord)
précisant la situation des ouvrages projetés
PLANS, COUPES, PROFILS, SCHEMAS des ouvrages à réaliser

FAIT à Perrignie

, le 26/07/2006

Nom et Signature :

Le Président,
Jean-Pierre FILLION



Demande à renvoyer à :

Pour le Chablais-Genevois : Pisciculture de THONON-LES-BAINS - 13 Quai de Rives - 74200 THONON-LES-BAINS (M. MICHOU - M. FILIPOVIC) (Tél. 04.50.71.26.05 - Fax 04.50.71.99.01)
Pour le bassin de l'Arve : DDAF - Cité Administrative - 74040 ANNECY CEDEX (M. LEPERS) (Tél. 04.50.88.43.36 - Fax 04.50.88.45.25 - Portable 06.80.61.88.89)
Pour le Genevois et le bassin annécien : DDAF - Cité Administrative - 74040 ANNECY CEDEX (M. BUNZ) (Tél. 04.50.88.42.19 - Fax 04.50.88.45.25)
Pour l'Albanais et les Ussets : DDAF - Cité Administrative - 74040 ANNECY CEDEX (M. BOUVIER) (Tél. 04.50.88.45.90 - Fax 04.50.88.45.25 - Portable 06.80.61.88.88)