

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

PROJET DE REFERENCE FINAL – PROGETTO DI RIFERIMENTO FINALE

CUP C11J05000030001

GEOLOGIE – GEOLOGIA

GENERAL – GENERALE

HYDROGEOLOGIE – IDROGEOLOGIA

DOCUMENTS HYDROGÉOLOGIQUES COTE FRANCE – DOCUMENTI IDROGEOLOGICI LATO FRANCIA

RAPPORT SUR LES POINTS D'EAU ET LEURS RISQUES D'IMPACT (France)
RELAZIONE SUI PUNTI ACQUA E LORO RISCHIO DI IMPATTO (Francia)

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	5/12/2013	Première diffusion / Prima emissione	L. FERRERO (SEA) R. TORRI (SEA)	R. TORRI. C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	14/02/2014	Reception observations LTF/Recepimento osservazioni LTF	L. FERRERO (SEA) M. STRA(SEA)	A. DEMATTEIS C. OGNIBENE	L. CHANTRON C. OGNIBENE
B	22/04/2014	Passage au statut AP /Messo allo stato AP	L. FERRERO (SEA) M. STRA(SEA)	A. DEMATTEIS C. OGNIBENE	L. CHANTRON C. OGNIBENE
C	04/11/2016	Première diffusion phase PRF-PRV Prima emissione fase PRF-PRV	G. RICCI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A: MORDASINI
D	10/03/2017	Reception observations TELT Recepimento osservazioni TELT	G. RICCI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A: MORDASINI
E	14/04/2017	Reception observations TELT Recepimento osservazioni TELT	G. RICCI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A: MORDASINI

CODE DOC	P	R	F	C	3	B	T	S	3	0	0	1	2	E
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3B	//	//	00	02	02	10	03

ECHELLE / SCALA



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment “Homère”
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet
est cofinancé par
l'Union européenne
(DG-TREN)



Questo progetto
è cofinanziato
dall'Unione europea
(TEN-T)

SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUCTION	16
1.1 Documents utilisés issus du projet Lyon - Turin	17
1.2 Application de la méthode DHI	18
2. METHODES DE CALCUL	19
2.1 Index de probabilité de tarissement des points d'eau souterraine	19
2.2 Indice de probabilité d'impact des eaux superficielles	20
3. ETUDE D'IMPACT SUR LES POINTS D'EAU SOUTERRAINE.....	21
3.1 Inventaire des points d'eau	21
3.2 Retour d'expérience de l'excavation des descenderies	22
3.2.1 Secteur de la descenderie de Villarodin-Bourget / Modane	25
3.2.2 Secteur de la descenderie de La Praz	43
3.2.3 Secteur de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte	47
3.2.4 Autre observations	77
3.3 Résultats de l'analyse du risque d'impact	84
3.3.1 Points d'eau situés à une distance supérieure à 2000 m	86
4. ETUDE D'IMPACT SUR LES EAUX SUPERFICIELLES.....	87
4.1 Ruisseau Le Claret (CLT).....	90
4.2 Ruisseau Saint-Bernard (Saint-Martin-la-Porte) (SBP).....	91
4.3 Torrent Saint-Bernard (Modane) (SBM).....	95
4.4 Ruisseau Le Povaret (PVT)	98
4.5 Ruisseau Saint-Benoît (SBT).....	102
4.6 Ruisseau d'Ambin (AMB).....	105
4.7 Risque d'impact sur les ouvrages hydroélectriques.....	109
5. ANALYSE DE LA SENSIBILITE DES POINTS D'EAU AU RISQUE D'IMPACT ...	111
5.1 Usages des points d'eau à risque	111
5.2 Débits des points d'eau à risque	111
5.3 Conductivité Electrique des points d'eau à risque.....	111
5.4 Sensibilité des points d'eau à risque	111
6. RECHERCHE DE RESSOURCES DE REMPLACEMENT.....	112
6.1 Commune de Saint-Martin-la-Porte	113
6.1.1 Bilan des points sensibles	113
6.1.2 Alimentation en eau potable de la commune	114
6.1.3 Identification des ressources de remplacement.....	115
6.2 Commune de Saint-Michel-de-Maurienne	118
6.2.1 Bilan des points sensibles	118
6.2.2 Alimentation en eau potable de la commune	118
6.2.3 Identification des ressources de remplacement.....	123
6.3 Commune d'Orelle	126
6.3.1 Bilan des points sensibles	126
6.3.2 Alimentation en eau potable de la commune	126
6.3.3 Identification des ressources de remplacement.....	127
6.4 Commune de Saint-André	129
6.4.1 Bilan des points sensibles	129
6.4.2 Alimentation en eau potable de la commune	129
6.4.3 Identification des ressources de remplacement.....	132

6.5	Commune de Modane.....	133
6.5.1	Bilan des points sensibles	133
6.5.2	Identification des ressources de remplacement.....	133
6.6	Commune de Villarodin Le Bourget	133
6.6.1	Bilan des points sensibles	133
6.6.2	Identification des ressources de remplacement.....	134
6.7	Commune d'Avrieux	134
6.7.1	Bilan des points sensibles	134
6.7.2	Alimentation en eau potable de la commune	135
6.7.3	Identification des ressources de remplacement.....	136
6.8	Commune de Bramans.....	137
6.8.1	Bilan des points sensibles	137
6.8.2	Identification des ressources de remplacement.....	137
7.	SOLUTIONS DE REMPLACEMENT	138
7.1	Solutions d'urgence	138
7.1.1	Commune de Saint-Michel-de-Maurienne.....	138
7.1.2	Commune d'Orelle.....	138
7.1.3	Commune de Saint-André.....	138
7.1.4	Commune de Modane	139
7.1.5	Commune d'Avrieux	139
7.2	Solutions transitoires	139
7.2.1	Sources non affectées ou faiblement affectées par les travaux.....	139
7.2.2	Nappe alluviale de l'Arc	139
7.2.3	Connexion avec les réseaux AEP des communes voisines.....	139
7.3	Solutions permanentes	140
8.	CONTRAINTES REGLEMENTAIRES ET ECONOMIQUES.....	141
8.1	Contraintes réglementaires	141
8.2	Contraintes économiques.....	142
9.	CONCLUSION	147
10.	BIBLIOGRAPHIE.....	149

ANNEXE 1 - Méthode de calcul pour l'évaluation de l'index de probabilité de tarissement des points d'eau souterraine

ANNEXE 2 - Méthode de calcul pour l'évaluation de l'indice de probabilité d'impact des eaux superficielles

ANNEXE 3 - Résultats de l'index de probabilité de tarissement des points d'eau souterraine

ANNEXE 4 - Comparaison des résultats de l'index de probabilité de tarissement des points d'eau souterraine APR-PR

ANNEXE 5 - Résultats de l'index de probabilité de tarissement des points d'eau superficielle

ANNEXE 6 - Analyse de sensibilité

ANNEXE 7 - Note hydrogéologique des sources du Ruisseau de la forêt de Beaune

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figure 1 – Correspondance des classes DHI APR et PR/PRF	18
Figure 2 – Répartition par commune des points d'eau recensés sur le versant français	21
Figure 3 – Légende de la carte hydrogéologique (Réf. PRF_C3B_0013_00-01-01_30_02)...	23
Figure 4 – Légende de la coupe hydrogéologique (Réf. PRF_C3B_0014_00-02-02_40-01). Pour les complexes hydrogéologiques c'est la légende de la carte hydrogéologique (Figure 3)	24
Figure 5 – Synthèse des données de suivi du point d'eau 1 (Forage de Loutraz). Période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.	26
Figure 6 – Synthèse des données de suivi du point d'eau 2 (Captage du Claret). Période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.	26
Figure 7 – Synthèse des données de suivi du point d'eau 3 (Captage de Combacille). Période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.	27
Figure 8 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 1 (Forage de Loutraz), 2 (Captage du Claret) et 3 (Captage de Combacille). Les points cerclés en jaunes indiquent les trois points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Villarodin- Bourget/Modane. Une légende complète est reportée sur la Figure 3	28
Figure 9 – Extrait de la coupe hydrogéologique avec l'indication (ellipse orangée) du circuit d'alimentation des points d'eau 1 (Forage de Loutraz), 2 (Captage du Claret) et 3 (Captage de Combacille)	29
Figure 10 – Synthèse des données de suivi du Captage de Jorio (point d'eau n. 8). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.	30
Figure 11 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation du Captage de Jorio (point d'eau n. 8). Cerclé en jaune le point d'eau, la ligne rouge le tracé de la descenderie de Villarodin-Bourget / Modane et la ligne jaune le tracé de la descenderie de La Praz. La légende est reportée en Figure 3.....	30
Figure 12 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 4002 (Ruisseau de la Chaussina) et 4011 (Source aménagée de Rimollard bas). Les points cerclés en jaune indiquent les deux points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane. Légende complète sur la Figure 3	31
Figure 13 – Synthèse des données de suivi du point 4002 (Ruisseau de la Chaussina). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.	32
Figure 14 – Synthèse des données de suivi du point 4011 (Source aménagée de Rimollard bas). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.....	32
Figure 15 – Synthèse des données de suivi de la Source aménagée de l'Envers (point n. 6007). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.	33
Figure 16 – Synthèse des données de suivi de la Source CLEMENT Henri (point n. 12-B) ..	34
Figure 17 – Synthèse des données de suivi de la source aménagée de la Fourrière (ou de Chatalamia haut) (point n. 4014). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.....	35
Figure 18 – Synthèse des données de suivi de la source aménagée Le Freney (point n. 6005). Période du creusement de la descenderie est reporté par l'ellipse rouge. La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.	35
Figure 19 – Diagramme récapitulatif des débits cumulés mesurés dans le caniveau situé à proximité du portail de la descenderie (mesuré automatiquement à partir du 26/11/2002).....	36
Figure 20 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 4014 (Source aménagée de la Fourrière (ou de Chatalamia haut)), 6005 (Source aménagée Le	

Freney) et 6006 (Source aménagée du Gros Saule). Les points cerclés en aunes indiquent les trois points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Villarodin-Bourget / Modane. La légende complète est reportée sur la Figure 3 37

Figure 21 – Synthèse des données de suivi de la Source aménagée de l'Envers (point n. 6007). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge. 38

Figure 22 – Diagramme récapitulatif des débits cumulés mesurés dans le caniveau situé à proximité du portail et au PM 400 38

Figure 23 – Synthèse des données de suivi du Captage AEP de Plan d'Aval Nord (point n. 322). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge. 39

Figure 24 – Chroniques de débit enregistrées aux trois sections de jaugeage de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane. Les flèches bleues indiquent approximativement les dates de début et de fin des travaux d'excavation entre les PM 663 et 767 40

Figure 25 – Synthèse des données de suivi de la source 277,1 (Captage des Avenières - arr. de gauche). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge..... 40

Figure 26 – Synthèse des données de suivi de la source 277,2 (Captage des Avenières - arr. du milieu). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge..... 41

Figure 27 – Synthèse des données de suivi de la source 277,3 (Captage des Avenières - arr. de droite). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge..... 41

Figure 28 – Chroniques de débit enregistrées aux trois sections de jaugeage de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane. Les flèches bleues indiquent approximativement les dates de début et de fin des travaux d'excavation dans les niveaux de cargneules 42

Figure 29 – Extrait de la coupe géologique de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane avec la projection approximative des sources 277,1, 277,2 et 277,3 sur l'axe de la descenderie. Les niveaux de cargneules sont en jaune (K). La section dans laquelle on a enregistré le plus de venues d'eau (environ du PM 600 au PM 700) est indiquée par les points bleus. L'ellipse verte indique la présence en profondeur, à la cote de l'ouvrage principal, d'anhydrites étanches (tG) 42

Figure 30 – Positionnement des venues (V) et sondages de reconnaissance (Sp) le long de la descenderie et gamme des débits observés à l'avancement dans la zone des 40 m du front (document DEP - LTF). Les données se réfèrent au secteur entre les PM 0 et 1855..... 44

Figure 31 – . Coupe synthétique des éléments géologiques et hydrogéologiques le long de la descenderie 45

Figure 32 – Synthèse des données de suivi du Captage du Villard ou du Champ de la Côte (point n. 28). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge. ... 46

Figure 33 – Chroniques de débits enregistrées dans la descenderie de La Praz. La flèche verte indique le pic de débit de juillet-août 2006 46

Figure 34 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation du Captage du Villard ou du Champ de la Côte (point n. 28). Le point cerclé en jaune indique le point d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de La Praz. Une légende complète est reportée sur la Figure 3 47

Figure 35 – Schéma de localisation de la partie 3a de al descenderie de SMLP. 48

Figure 36 – Synthèse des données de suivi de la Source aménagée de la Porte (point n. 2002). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge. 50

Figure 37 – Suivi de la Source aménagée de la Porte (point n. 2002), période 2014-2016. La période du creusement de la descenderie 3a est reportée par l'ellipse rouge..... 50

Figure 38 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation de la Source aménagée de la Porte (point n. 2002). Le point cerclé en jaune indique le point d'eau, la ligne jaune, le tracé de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte et la ligne rouge le tracé de la partie 3a de

connexion entre la descenderie et le tunnel de base du lot SMP4. Une légende complète est reportée sur la Figure 3.....	51
Figure 39 – Synthèse des données de suivi du Ruisseau 1 de la Forêt de Beaune, alimenté par une source (point n. 2015). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.....	52
Figure 40 – Extrait de la coupe hydrogéologique avec la projection des sources 2015 et 2016 sur l'axe du Tunnel de Base. Les lignes pointillées rouges identifient les limites étanches représentées par les schistes de la Zone Houillère à l'est du Front Houiller et par les flysch de la Zone Ultradaphinoise à l'ouest de la Zone Subbriançonnaise. La ligne pointillée bleue identifie la limite d'échanges hydrogéologiques entre le Front Houiller, le Front Pennique et les calcaires et dolomies de la Zone Subbriançonnaise.....	53
Figura 41 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 3011 (Captage de Villard Bernon), 3016 (Captage de la galerie de Pré Mollard), 3017 (Captage Milla), 3022 (Source aménagée de l'Etraz Ouest gauche), 3023 (Source aménagée de l'Etraz Ouest droite), 3025 (Source du lavoir bas de l'Etraz), 3031 (Source du Lavoir de Le Chêne) et 3043 (Captage du Thyl dessus). Les points cerclés en jaunes indiquent les points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Une légende complète est reportée sur la Figure 3.....	55
Figure 42 – Synthèse des données de suivi du point 3011 (Captage de Villard Bernon). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.	56
Figure 43 – Synthèse des données de suivi du point 3016 (Captage de la galerie de Pré Mollard). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.....	56
Figure 44 – Synthèse des données de suivi du point 3017 (Captage Milla). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	57
Figure 45 – Synthèse des données de suivi du point 3022 (Source aménagée de l'Etraz ouest gauche). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	57
Figure 46 – Synthèse des données de suivi du point 3023 (Source aménagée de l'Etraz ouest droite). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	58
Figure 47 – Synthèse des données de suivi du point 3025 (Source du lavoir bas de l'Etraz). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	58
Figure 48 – Synthèse des données de suivi du point 3043 (Captage du Thyl dessus). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	59
Figure 49 – Synthèse des données de suivi de la Source du Lavoir de Le Chêne (point n. 3031). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.	60
Figure 50 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau. 3018,1 (Captage des Fortunes/ arr.G.), 3041,1 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):2 griffons) et 3041, 2 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):dév. bois). Les points jaunes indiquent les points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Une légende complète est reportée sur la Figure 3.....	61
Figure 51 – Synthèse des données de suivi du point 3018,1 (Captage des Fortunes/ arr.G.). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	61
Figure 52 – Synthèse des données de suivi du point 3041,1 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):2 griffons). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	62
Figura 53 – Synthèse des données de suivi du point 3041, 2 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):dév. bois). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	62

Figure 54 – Evolution du débit des principales venues d'eau dans la partie calcaire de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte	63
Figura 55 – Evolution du débit des principales venues d'eau au portail de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte à partir de mai 2007	64
Figure 56 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 316 (Captage amont de Fontaine Froide) et 318 (Captage de la Saussaz). Les points violet/jaunes indiquent les deux points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Une légende complète est reportée sur la Figure 3	65
Figure 57 – Synthèse des données de suivi de la source 316 (Captage amont de Fontaine Froide). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	66
Figure 58 – Mise à jour des données de la source 316 (Captage amont de Fontaine Froide) 2013-2016.....	66
Figure 59 – Synthèse des données de suivi de la source 318 (Captage de la Saussaz). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	67
Figure 60 – Synthèse des données de suivi du Captage de Pré Garin (point n. 3004). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	68
Figure 61 – Synthèse des données de suivi du Captage de Pré Garin (point n. 3004), période 2013-2016.....	68
Figure 62 – Profil géologique de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte (A) et du Tunnel de Base (B) avec localisation de la zone tectoniquement perturbée (carrés blancs). La verticale de l'intersection de la descenderie avec le TdB (PM 11+597) est indiquée par la ligne rouge dans le profil B.	69
Figure 63 – Synthèse des données de suivi de la source 2005,1 (Captage de Bordeaux - La Planchette arr. G). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	70
Figure 64 – Synthèse des données de suivi de la source 2005,2 (Captage de Bordeaux - La Planchette ar. D). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.	70
Figure 65 – Synthèse des données de suivi de la source 2006,1 (Captage de Charbutan - RATEL E. source). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	71
Figure 66 – Mise à jour des données des sources 2005.1, 2005.2 et 2006.1 en la période 2013-2016.....	71
Figure 67 – Extrait de la coupe hydrogéologique avec la projection des sources 2005,1, 2005,2, 2006,1 et 12-B sur l'axe du Tunnel de Base. Sont mis en évidence avec l'ellipse pointillée rouge les roches évaporitiques de la Zone Subbrianzone et avec la ligne pointillée jaune le Front du Houiller. Le tronçon d'interférence potentielle de l'excavation avec l'aquifère qui alimente la source est approximativement au PM 10+530. La position indicative des sources sur le profil est obtenue par projection le long du front du Houiller.	72
Figure 68 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 3005,1 (Captage de Beaune: arr. de gauche), 3005,2 (Captage de Beaune: arr. de droite), 3012,1 (Captage des Teppes: arr. de gauche) et 3012,2 (Captage des Teppes: arr. de droite). Les points cerclés en jaunes indiquent les points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Une légende complète est reportée sur la Figure 3	73
Figure 69 – Synthèse des données de suivi du point 3005,1 (Captage de Beaune: arr. de gauche). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	74
Figure 70 – Synthèse des données de suivi du point 3005, 2 (Captage de Beaune: arr. de droite). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.....	74

Figure 71 – Synthèse des données de suivi du point 3012,1 (Captage des Teppes: arr. de gauche). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.	75
Figure 72 – Synthèse des données de suivi du point 3012,2 (Captage des Teppes: arr. de droite). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.	75
Figure 73 – Synthèse du débit des points 3005,1 et 3005,2 (Captage de Beaune), période 2013-2016.....	76
Figure 74 – Synthèse du débit des points 3012,1 et 312,2 (Captage des Teppes), période 2013-2016.....	77
Figure 75 – Synthèse des données du suivi du point 6-D0 (Barrage des Herbiers).....	78
Figure 76 – Synthèse des données du suivi du point 6-D (Source des Sangliers)	78
Figure 77 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation du point d'eau 6-D. Une légende complète est reportée sur la Figure 3	79
Figure 78 – Localisation du point d'eau 6-D0 (source Google Earth).....	80
Figure 79 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation du point d'eau 13A. Une légende complète est reportée sur la Figure 3	81
Figure 80 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation du point d'eau 2007,4. Une légende complète est reportée sur la Figure 3	82
Figure 81 – Synthèse des données du suivi du point 13-A (Brise-charge de Sordières (+ seuil)	83
Figure 82 – Synthèse des données du suivi du point 2007,4 (Captage de Champieu / plymouth (bachelier))	83
Figure 83 – Distribution en pourcentages des sources par degré de probabilité d'impact et nombre de sources dans chaque classe.....	84
Figure 84 – Répartition par commune du nombre de points d'eau à risques vis-à-vis du seul creusement du tunnel de base.....	85
Figure 85 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau Le Claret (CLT1 jaune et CLT2 vert), des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) et des points de mesures (points blancs).....	91
Figure 86 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau Saint-Bernard (Saint-Martin-la-Porte), des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) et des points de mesure (points blancs)	94
Figure 87 – Synthèse des données de suivi du point 6-A (Ruisseau de Saint-Bernard (Modane)).....	97
Figure 88 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau Saint-Bernard (Modane), des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) et des points de mesures (points blancs)	98
Figure 89 – Synthèse des données du suivi du point 6-B (Ruisseau du Povaret)	100
Figure 90 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau Le Povaret, des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) et des points de mesure (points blancs)	101
Figure 91 – Débits et Conductivités Electriques du Saint-Benoît en 2003 et 2004 sur 3 stations	103
Figure 92 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau de Saint-Benoît, des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) et des points de mesure (points blancs)	104
Figure 93 – Synthèse des données de suivi du Ruisseau de Saint-Benoît (cascade Saint-Benoît) (point n. 2-B).....	105

Figure 94 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau d'Ambin, des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) ; A : tronçon à l'amont ; B : tronçon à l'aval.....	108
Figure 95 – Aménagements EDF en Maurienne. Les barrages et les galeries/conduites forcées (lignes pointillées) sont reportés	110
Figure 96 – Localisation des sources sensibles 2005, 1, 2005,2 (en violet/ rouge), et de remplacement 2008, 2009, 1 et 2009,2(en violet/vert)	117
Figure 97 – Réseau AEP de la commune de Saint-Michel-de-Maurienne (rive droite). D'après APR_B2_TS2-0051-B	121
Figure 98 – Réseau AEP de la commune de Saint-Michel-de-Maurienne (rive gauche). D'après APR_B2_TS2-0051-B.....	122
Figure 99 – Réseau AEP de la commune d'Orelle. D'après APR_B2_TS2-0051-B	128
Figure 100 – Réseau AEP de la commune de Saint-André. D'après APR_B2_TS2-0051-B	131
Figure 101 – Réseau AEP de la commune d'Avrieux. D'après APR_B2_TS2-0051-B	136

LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

Tableau 1 – Distribution en pourcentages des sources par degré de probabilité d'impact, et nombre de sources dans chaque classe. NC=non classé ; PI= point impacté	13
Tableau 2 – Distribution en pourcentages des cours d'eau par degré de probabilité d'impact, et nombre dans chaque classe.	14
Tableau 3 – Liste des cours d'eau avec niveau de risque d'impact DHI calculé.....	15
Tableau 4 – Description du type d'intervention en fonction de la probabilité d'impact attribuée aux points d'eau analysés	18
Tableau 5 – Degrés de probabilité de tarissement des sources en fonction du DHI.....	19
Tableau 6 – Degrés de probabilité de tarissement des cours d'eau en fonction du DHI. (Ref.: Torri, R et al., 2007).....	21
Tableau 7 – points d'eau impacté par l'excavation des descenderies.....	22
Tableau 8 – Degré de probabilité de tarissement des sources du secteur de la descenderie de Villarodin-Bourget / Modane en fonction du DHI défini dans l'APR.....	25
Tableau 9 – Degré de probabilité de tarissement des sources 4002 (Ruisseau de la Chaussina) et 4011 (Source aménagée de Rimollard bas) en fonction du DHI défini dans l'APR	31
Tableau 10 – Récapitulatif des conditions hydrogéologiques entre les PM 186 et 332 de la descenderie	36
Tableau 11 – Degré de probabilité de tarissement des sources 28 (captage du Villard) en fonction du DHI définie dans l'APR	43
Tableau 12 – Degré de probabilité de tarissement des sources du secteur de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte en fonction du DHI défini dans l'APR.....	49
Tableau 13 – Degré de probabilité de tarissement des sources 3011 (Captage de Villard Bernon), 3016 (Captage de la galerie de Pré Mollard), 3017 (Captage Milla), 3022 (Source aménagée de l'Etraz Ouest gauche), 3023 (Source aménagée de l'Etraz Ouest droite), 3025 (Source du lavoir bas de l'Etraz) et 3043 (Captage du Thyl dessus) en fonction du DHI défini dans l'APR.....	54
Tableau 14 – Degré de probabilité de tarissement des sources 3018,1 (Captage des Fortunes/ arr.G.), 3041,1 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):2 griffons) et 3041,2 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):dév. bois) en fonction du DHI défini dans l'APR.....	60
Tableau 15 – Degré de probabilité de tarissement des sources 3005,1 (Captage de Beaune: arr. de gauche), 3005,2 (Captage de Beaune: arr. de droite), 3012,1 (Captage des Teppes: arr. de	

gauche) et 3012,2 (Captage des Teppes: arr. de droite) en fonction du DHI défini dans l'APR	72
Tableau 16 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul de l'indice DHI pour la Source des Sangliers (point n. 6-D) et pour le point Barrage des Herbiers (point n. 6-D0).....	80
Tableau 17 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul de l'indice DHI pour les points 13-A (Brise-charge de Sordières (+ seuil)) et 2007,4 (Captage de Champieu / plymouth (bachellerie))	82
Tableau 18 – Distribution en pourcentages des sources par degré de probabilité d'impact, et nombre de sources dans chaque classe.....	84
Tableau 19 – Degré de probabilité de tarissement des points d'eau extérieurs au couloir de 2000 m axé sur le tunnel, caractérisés par une alimentation profonde et/ou impactés par l'excavation des descenderies	86
Tableau 20 – Liste des cours d'eau avec niveau de risque d'impact DHI calculé dans l'APR	89
Tableau 21 – Mesures sur le torrent du Claret le 8 septembre 2003	90
Tableau 22 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés le long du cours du ruisseau Le Claret	91
Tableau 23 – Mesures sur le Ruisseau Saint-Bernard (Saint-Martin-la-Porte).....	93
Tableau 24 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul, et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés et pour les points d'eau suivis le long du ruisseau Saint Bernard (Saint-Martin-la-Porte).....	95
Tableau 25 – Mesures sur le Ruisseau Saint-Bernard (Modane)	96
Tableau 26 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés le long du ruisseau du Saint-Bernard (Modane).	98
Tableau 27 – Evolution de la Conductivité Electrique et de la température de l'amont vers l'aval du ruisseau du Povaret le 9 août 2004 vers 16h00	99
Tableau 28 – Mesures sur le Ruisseau Le Povaret.....	100
Tableau 29 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés et pour les points d'eau suivis le long du ruisseau Le Povaret.	101
Tableau 30 – Débits et Conductivités Electriques du Saint-Benoît en 2003 et 2004 sur 3 stations.....	103
Tableau 31 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul, et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés et pour les points d'eau suivis le long du cours du ruisseau de Saint-Benoît.	105
Tableau 32 – Mesures sur le torrents de l'Ambin et l'Etache.....	107
Tableau 33 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul, et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés et pour les points d'eau suivis le long du cours du ruisseau d'Ambin.....	109
Tableau 34 – Liste de point sensibles divisés par Communes	113
Tableau 35 – Points sensibles sur la commune de Saint-Martin-la-Porte. CC= captage ; SNC=source non captée	114
Tableau 36 –Captages AEP de la commune de Saint-Martin-la-Porte	115
Tableau 37 – Données provenant du suivi des sources 2008, 2009,1 et 2009,2. CP= source aménagée.....	116
Tableau 38 – Points sensibles sur la commune de Saint-Michel-de-Maurienne. CC=captage	118

Tableau 39 –Captages AEP de la commune de Saint-Michel-de-Maurienne : En gras et fond grisé sont indiqués les points sensibles.	119
Tableau 40 –Captages AEP de la commune d'Orelle. Les points sensibles sont indiqués en gras et fond gris foncé.	126
Tableau 41 – Points sensibles sur la commune de Saint-André.....	129
Tableau 42 –Captages AEP de la commune de Saint André. Les points sensibles sont indiqués en gras et fond gris foncé	130
Tableau 43 – Points sensibles sur la commune de Modane	133
Tableau44 – Points sensibles sur la commune de Villarodin Le Bourget.....	134
Tableau 45 – Points sensibles sur la commune d'Avrieux.....	134
Tableau 46 –Captages AEP de la commune d'Avrieux. Les points sensibles sont indiqués en gras et fond grisé.	135
Tableau 47 – Points sensibles sur la commune de Bramans	137
Tableau 48 – Unité de traitement mobile (UTM)	142
Tableau49 – Captage de sources de remplacement non affectées par les travaux situés à une altitude supérieure aux ressources menacées – Débit de 15 à 25 m ³ /h. La longueur des tranchées et canalisations est estimée sur la base d'hypothèses réalistes.	143
Tableau 50 –Connexion aux réseaux AEP des communes voisines – Débit de 15 à 25 m ³ /h. La longueur des tranchées et canalisations est estimée sur la base d'hypothèses réalistes.	143
Tableau 51 – Dispositif de relevage des eaux depuis le fond de la vallée pour un dénivelé de 450 à 600 m - Débit de 15 à 25 m ³ /h. La longueur des tranchées et canalisations est estimée sur la base d'hypothèses réalistes.	144
Tableau 52 – Puits de pompage dans la plaine de l'Arc – Débit de 15 à 25 m ³ /h. La longueur des tranchées et canalisations est estimée sur la base d'hypothèses réalistes.	145
Tableau 53 – Synthèse des coûts et délais des différentes solutions envisageables Débit de 15 à 25 m ³ /h.....	145
Tableau 54 – Résumé des résultats de l'étude de interférence sur le points d'eau	147
Tableau 55 – Résumé des résultats de l'étude de interférence sur les cours d'eau et les eaux de surface	148

RESUME / RIASSUNTO

Ce rapport est la mise à jour du rapport issu pour la phase précédent de Projet de Référence (PR) que actuellement a été redéfini comme Projet de Référence Final (PRF). Ce nouvelle phase ne comporte aucune variation de projet relevant sur le tracé de la ligne, mais bénéficie de l'apport de connaissance dérivé de plusieurs activités réalisées le long du trace en territoire française, dont le creusement de ouvrages de connexion, les nouvelles investigations géologiques et géotechniques et une activité de auscultation hydrogéologique qui ont permis de valider les hypothèses faites dans la phase précédente et, dans certains cas, de affiner la fiabilité de prévisions.

En ce qui concerne la finalité de ce rapport, l'apports de connaissances n'a pas déterminé une réévaluation de la probabilité d'interférence de l'excavation du tunnel de base (classe DHI) sur l'ensemble des points d'eau, mais plutôt a permis de confirmer localement les prévisions faites dans le précédent rapport de PR.

L'évaluation de la probabilité d'impact a été réalisée selon la méthode DHI (Drawdown Hazard Index, Dematteis et al., 2001, Torri et al., 2007), en cohérence avec les phases d'étude précédentes et le Projet Définitif côté Italie (PD2/PR). Cette méthode est basé sur la paramétrisation du type de source (ou puits) et sur sa relation avec la géologie et l'ensemble des ouvrages en projet. La probabilité d'impact est exprimée à travers une valeur numérique qui représente l'Index Probabilité d'Impact.

La méthode DHI a été appliquée de manière systématique aux points d'eau qui se trouvent à l'intérieur d'une zone d'influence large de 2000 m et axée sur le tunnel, aux points plus éloignés mais avec un type d'alimentation lié aux circuits profonds, et aux points d'eau qui ont été influencés par le creusement des descenderies. Pour les points d'eau localisés à l'extérieur de ce couloir on a retenu une probabilité d'impact à long terme

Questa relazione è l'aggiornamento della relazione emessa nella fase precedente del Project de Reference (PR) che attualmente è definito come Project de Reference Final (PRF). Questa nuova fase non comporta alcuna variazione di progetto rilevante lungo il tracciato dell'opera, ma beneficia dell'apporto di conoscenza derivata da diverse attività svolte lungo il tracciato in territorio francese tra le quali lo scavo delle opere di connessione, nuove indagini geotecniche e una attività di monitoraggio idrogeologico che hanno permesso di validare le ipotesi fatte nella fase precedente e in alcuni casi, di affinare l'affidabilità delle previsioni.

Per quanto riguarda la finalità di questo rapporto, i nuovi dati non hanno determinato una rivalutazione della probabilità di interferenza dello scavo del tunnel di base (classe DHI) sull'insieme dei punti d'acqua, ma hanno permesso di confermare localmente le previsioni fatte nel precedente rapporto di PR.

La valutazione della probabilità d'isterilimento è stata realizzata applicando il metodo DHI (Drawdown Hazard Index, Dematteis et al., 2001; Torri et al., 2007), già utilizzato nelle fasi precedenti di progetto e per il Progetto Definitivo lato Italia (PD2/PR). Il metodo si basa sulla parametrizzazione del tipo di sorgente (o pozzo) e delle sue relazioni con la geologia e l'insieme delle opere di progetto. La probabilità d'impatto è espressa attraverso un valore numerico che rappresenta l'Indice di Probabilità d'Impatto.

La metodologia DHI è stata applicata in modo sistematico per i punti acqua che ricadono nelle aree di influenza delle opere sotterranee che è stata valutata in 2000m dall'asse delle gallerie. Per i punti che sono localizzati all'esterno di questo corridoio si è assunto una probabilità

très basse ou nulle.

Dans cet phase du projet, le DHI est subdivisé en trois classes et non plus en quatre comme dans la phase APR2006. La subdivision en trois classes permet d'identifier avec plus de simplicité les solutions d'approvisionnement alternatives proposées pour les points d'eau considérés à risque.

L'étude a concerné un total de 656 points d'eau.

Les résultats de cette étude sont présentés de façon schématique dans le tableau suivant.

d'impacto a lungo termine da basso a nullo.

In questa fase progettuale, l'indice DHI è stato suddiviso in tre classi e non più quattro come nella fase precedente APR2006. La suddivisione in tre classi permette di individuare con più facilità le soluzioni alternative di approvvigionamento proposte per i punti d'acqua a rischio.

L'intero studio ha considerato un numero totale di punti acqua pari a 656.

I risultati di questo studio sono presentati in modo schematico nella tabella seguente.

Classe DHI	Valeurs DHI	RISQUE	N.	%
1	DHI < 0.17	TRES FAIBLE À NUL	563	86.0%
2	0.17 ≤ DHI < 0.25	FAIBLE	74	11.3%
3	DHI ≥ 0.25	FORT	8	1.2%
NC	NC	NC	1	-
PI		POINTS IMPACTÉS PAR LES DESCENDERIES	10	1.5%
TOTAL			656	

Tableau 1 – Distribution en pourcentages des sources par degré de probabilité d'impact, et nombre de sources dans chaque classe. NC=non classé ; PI= point impacté

L'analyse de la distribution des classes de probabilités montre que la majorité des points d'eau (563 correspondant à 86%) présente une probabilité d'impact nulle ou très faible, tandis que 11.3% (74 points d'eau) ont une probabilité faible et 8 points (1.2%) ont une probabilité forte. L'analyse a été réalisée en considérant le retour d'expérience du creusement des descenderies et des impacts observés. Ceci a permis de reconnaître les points d'eau qui ont subi un impact (10 au total), et de recalibrer la probabilité d'impact pour l'ensemble des points d'eau par rapport aux futurs travaux de réalisation du tunnel de base. Un point n'a pas été considéré (point 318).

Dall'analisi della distribuzione delle classi di probabilità si evince che la maggioranza dei punti acqua (563 equivalenti all'86%) non presentano alcuna probabilità d'isterilimento o hanno rischio di isterilimento basso, l'11.3%, ovvero 74 punti hanno una probabilità debole e 8 punti hanno probabilità d'isterilimento alta (1.2%). L'analisi è stata realizzata considerando l'esperienza maturata con lo scavo delle discenderie e gli impatti osservati. Questo ha permesso di individuare i punti che hanno subito un impatto (10 in totale) e di ricalibrare la probabilità d'impacto valutata per l'insieme dei punti acqua in funzione dei futuri lavori per la realizzazione del

Pour les points d'eau à risques identifiés comme sensibles des ressources alternatives ont été identifiées.

Eaux de surface

L'évaluation de la probabilité d'impact des cours d'eau et des eaux de surface a été réalisée en suivant une approche similaire à celle du DHI pour les eaux souterraines.

La probabilité d'impact est également fournie sous forme d'Index de Probabilité d'Impact. La probabilité d'impact a été évaluée pour des secteurs hydrogéologiquement homogènes, et au niveau des points faisant partie du réseau du suivi.

Les résultats de cette étude sont présentés de façon schématique dans les tableaux suivants.

Par ailleurs, aucun cours d'eau n'a été impacté par l'excavation des descenderies.

tunnel de base. Un punto non è stato considerato (punto 318).

Per i punti d'acqua a rischio e identificati come sensibili sono stati individuati degli approvvigionamenti alternativi.

Acque superficiali

La valutazione della probabilità d'isterilimento è stata realizzata applicando un approccio simile a quello del metodo DHI utilizzato per le acque sotterranee.

La probabilità di isterilimento, fornita come Indice di Probabilità di Impatto, è stata valutata per tratti idrogeologicamente omogenei dei corsi d'acqua e in corrispondenza dei punti di monitoraggio degli stessi corsi d'acqua

I risultati di questo studio sono presentati in modo schematico nelle tabelle seguenti.

Inoltre, nessun corso d'acqua è stato perturbato dallo scavo delle discenderie.

Classe DHI	Valeurs DHI	RISQUE	N.	%
1	DHI < 0.17	TRES FAIBLE À NUL	16	59%
2	0.17 ≤ DHI < 0.25	FAIBLE	5	19%
3	DHI ≥ 0.25	FORT	6	22%
TOTAL			27	

Tableau 2 – Distribution en pourcentages des cours d'eau par degré de probabilité d'impact, et nombre dans chaque classe.

Ruisseau	Commune	Numéro du point	Classe DHI TdB
Le Claret	Saint Julien Montdenis	CLT-1	3
Le Claret	Saint Julien Montdenis	CLT-2	1
St. Bernard (Saint Martin de La Porte)	Saint Martin de la Porte	12-C	2
St. Bernard (Saint Martin de La Porte)	Saint Martin de la Porte	2017	2
St. Bernard (Saint Martin de La Porte)	Saint Martin de la Porte	SBP-1	3
St. Bernard (Saint Martin de La Porte)	Saint Martin de la Porte	SBP-2	1
St. Bernard (Modane)	Modane	SBM-1	1

Ruisseau	Commune	Numéro du point	Classe DHI TdB
St. Bernard (Modane)	Modane	SBM-2	3
St. Bernard (Modane)	Modane	SBM-3	1
St. Bernard (Modane)	Modane	SBM-4	1
Povaret	Villarodin Le Bourget	293	1
Povaret	Modane	PVT-1	1
Povaret	Modane	PVT-2	1
St Benoît	Aussois	1-B	1
St Benoît	Avrieux	2-B	2
St Benoît	Aussois	295	1
St Benoît	Aussois	296	1
St Benoît	Avrieux	6004	1
St Benoît	Avrieux	SBT-1	3
St Benoît	Avrieux	SBT-2	3
Ambin	Bramans	279	2
Ambin	Bramans	280	1
Ambin	Bramans	281	1
Ambin	Bramans	282	1
Ambin	Bramans	AMB-1	1
Ambin	Bramans	AMB-2	3
Ambin	Bramans	AMB-3	2

Tableau 3 – Liste des cours d'eau avec niveau de risque d'impact DHI calculé

1. Introduction

Ce rapport est la mise à jour du rapport issu pour la phase précédent de Projet de Référence (PR) que actuellement a été redéfini comme Projet de Référence Final (PRF). Ce nouvelle phase ne comporte aucune variation de projet relevant sur le tracé de la ligne, mais bénéficie de l'apport de connaissance dérivé de plusieurs activités réalisées le long du trace en territoire française, dont le creusement de ouvrages de connexion, les nouvelles investigations géologiques et géotechniques et une activité de auscultation hydrogéologique qui ont permis de valider les hypothèses faites dans la phase précédente et, dans certains cas, de affiner la fiabilité de prévisions.

En ce qui concerne la finalité de ce rapport, l'apports de connaissances n'a pas déterminé une réévaluation de la probabilité d'interférence de l'excavation du tunnel de base (classe DHI) sur l'ensemble des points d'eau, mais plutôt a permis de confirmer localement les prévisions faites dans le rapport de PR.

Ce rapport illustre la méthode de calcul et les résultats obtenus pour évaluer les probabilités d'interférences de l'excavation du tunnel de base avec les eaux souterraines et superficielles présentes dans le secteur d'étude.

Cette analyse a été effectuée sur un total de 683 points d'eau (656 relatifs aux eaux souterraines et 12 relatifs aux eaux superficielles), et 6 cours d'eau (15 points représentatifs des secteurs hydrogéologiquement homogènes).

Elle présente la mise à jour des résultats de l'APR en 2006 (APR-B2/-TS2-0051-B-AP-NOT) et a été réalisée en tenant compte des nouvelles données du suivi des sources acquises jusqu'au mois de juillet 2016, et des travaux d'excavation réalisés à partir du 2002 dans les descenderies de Villarodin – Bourget/Modane, La Praz et Saint-Martin-la-Porte En outre, pour ce dernier ouvrage (Partie 3a et Partie 4 de la descenderie de SMLP), les données d'auscultation récentes (2014-2016) ont été examiné pour vérifier si il y a eu un impact additionnel due au creusement de ces dernières ouvrages.

L'ensemble des points d'eau analysés a donc été subdivisé en trois catégories selon la manière avec laquelle la probabilité d'impact a été évaluée :

1. Points d'eau pour lesquels la valeur de la classe de DHI évaluée dans l'APR a été directement confirmée :
 - a) Points d'eau pour lesquels le suivi n'a pas révélé de variations significatives des paramètres hydrogéochimiques après 2006 ;
 - b) Points d'eau pour lesquels l'évaluation effectuée au cours de l'APR a été confirmée à l'aval de l'excavation des descenderies (points d'eau non impactés avec un degré DHI inférieur ou égal à 2 ; points d'eau impactés avec un DHI supérieur à 2).
2. Points d'eau pour lesquels la valeur de la classe de DHI a été réévaluée :
 - c) Sources pour lesquelles le suivi a montré des changements de caractère hydrogéochimique depuis 2006 ;
 - d) Points d'eau pour lesquels l'évaluation effectuée au cours de l'APR n'a pas été confirmée à l'aval de l'excavation des descenderies (points d'eau impactés avec un degré DHI inférieur ou égal à 2 ; points d'eau non impactés avec un DHI supérieur à 2)

3. Points d'eau faisant partie du suivi qui n'ont pas été évalués au cours de l'APR et dont l'analyse a totalement été reprise.

La méthode de calcul DHI (Dematteis et al., 2001¹, Torri et al., 2007²), a été appliquée pour tous les points d'eau qui se trouvent dans les zones d'influence du Tunnel de Base, c'est-à-dire se situant dans une bande large de 2000 m et axée sur le tunnel de base.

Pour les points d'eau situés en dehors de cette bande on a considéré que l'impact à long terme était soit très faible soit nul. Toutefois, au-delà de ces 2000 m, les sources ayant un type d'alimentation lié aux circuits profonds, ainsi que les points d'eau qui ont été influencés par le creusement des descenderies ont également été étudiés avec la méthode DHI.

1.1 Documents utilisés issus du projet Lyon - Turin

Pour obtenir les différents paramètres nécessaires aux calculs du DHI nous avons consulté :

- la base de données ACCES avec toutes les informations relatives aux sources, fournie par LTF (évolution de la température, de la Conductivité Electrique, du débit, et description du point d'eau) ;
- projet SIG avec la base topographique, le tracé ferroviaire et les points d'eau ;
- la coupe hydrogéologique du tracé présentée dans ce projet sur laquelle sont représentés les aquifères et les zones de failles au niveau du tunnel (PRF_C3B_0014_00-02-02_40-01);
- la carte hydrogéologique présentée dans ce projet sur laquelle sont représentés les aquifères et les zones de failles (PRF_C3B_0013_00-01-01_30_02);
- nos connaissances de terrain, notamment pour la classification de certaines sources et pour la localisation de certaines zones de faille.

L'ensemble des informations a été organisé dans un SIG, qui a permis de thématiser les données à disposition en mettant en évidence les rapports géométriques des points d'eau avec le tracé, la topographie et le contexte géologique et hydrogéologique de la zone d'étude.

Le rapport est divisé en deux parties distinctes :

- la première partie illustre la méthode et les résultats de l'évaluation de la probabilité d'impact sur les eaux souterraines et superficielles ;
- la deuxième partie décrit les mesures de prévention et de réduction du risque de tarissement, ainsi que l'identification des sources d'approvisionnement alternatives à retenir pour les sources (plus particulièrement celles en eau potable) et les cours d'eau à risque.

Les tableaux présentés en annexes contiennent les valeurs attribuées aux divers paramètres qui déterminent l'indice DHI pour chaque point analysé.

La représentation graphique des probabilités d'impact sur les points d'eau considérés est reportée sur la planche PRF_C3B_0015_00-02-02-30-02.

¹ Dematteis, A., Kalamaras, G., Eusebio, A. (2001). "A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunnelling", AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress, Milano, Italy 10-13 June, II, pp. 257-264.

² Torri, R., Dematteis, A L. Delle Piane (2007). "Drawdown hazard of springs and wells in tunneling: predictive model and verification" Proc. XXXV IAH Congress, Groundwater and Ecosystems, Lisbon 17-21 Sept. 2007, 10 pp.

1.2 Application de la méthode DHI

La méthode DHI a été appliquée dans la continuité des phases précédent de APR, PR et maintenant de PRF. Comme pour la phase PD2, le retour d'expérience dans l'application de cette méthode a conduit à réévaluer le nombre d'indice DHI, afin que cet indice soit plus fiable pour la détermination des mesures de réduction ou de compensation à mettre en œuvre.

Classe DHI	Probabilité	Intervention
1	Très faible à nulle	Aucune intervention prévue
2	Faible	Prévoir la mise en place d'interventions pour assurer un approvisionnement de substitution en eau potable
3	Eléevée	Prévoir la conception et la réalisation d'interventions pour assurer un approvisionnement de substitution en eau potable

Tableau 4 – Description du type d'intervention en fonction de la probabilité d'impact attribuée aux points d'eau analysés

Ainsi, en cohérence avec la phase de PD2/PR, le DHI est subdivisé en trois classes et non plus en quatre comme dans la phase APR2006 (Figure 1). En effet, sur la base de l'expérience acquise dans des projets déjà réalisés (par ex. le Tunnel du Perthus, la ligne ferroviaire à grande vitesse Perpignan), la subdivision en trois classes permet d'identifier avec plus de simplicité les solutions d'approvisionnement alternatives proposées pour les points d'eau considérés à risque. Les valeurs seuil entre les trois classes (Figure 1) ont été en outre définies sur la base des impacts qui se sont réellement vérifiés. Ces valeurs seuil ont été confirmées par le retour d'expérience du creusement des descenderies.

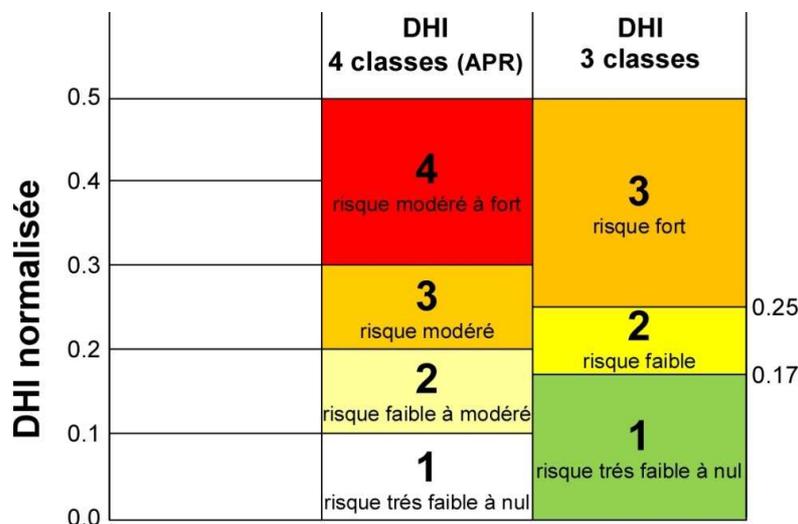


Figure 1 – Correspondance des classes DHI APR et PR/PRF

Cette même approche a été développée pour l'évaluation de la probabilité d'impact sur les cours d'eau.

2. Méthodes de calcul

2.1 Index de probabilité de tarissement des points d'eau souterraine

Le système aquifère – galerie est représenté de manière satisfaisante par 8 variables, listées ci-dessous :

- Fréquence de fracturation (FF)
- Perméabilité du massif (MK)
- Epaisseur de la couverture rocheuse (OV)
- Ampleur de la zone plastique (PZ)
- Distance au tunnel (DT)
- Intersection avec des horizons de perméabilité (failles principales et phénomènes de dissolution – karst) (CP)
- Type de source (TS): superficielles, profondes et mixtes.
- Effet topographique (EF)

La méthode appliquée est la même que celle de l'APR 2006 et du PD2/PRV pour le côté Italie. La définition des variables et la description des critères d'attribution des paramètres considérés sont reportées en annexe 1.

La théorie des matrices d'interaction à la base de la méthode n'est pas reportée. Pour une description détaillée se référer directement à la littérature scientifique de référence, voir ¹).

L'indice de probabilité de tarissement (DHI) exprimé en pour cent est le produit du potentiel de drainage (PI) par les facteurs clé, normalisé par rapport à la valeur maximale :

$$DHI = PI*CP*TS*DT*ET*100/DHI_{max}$$

Le DHI_{max} que l'on obtient dans la situation théorique de plus grande probabilité de tarissement de la source (FF = 1; MK = 0,9; OV = 0,9; PZ = 1; DT = 1,9; CP = 2; ST = 2; ET = 2) est égal à 1461.

La prévision du tarissement des sources analysées pour chaque tracé a été exprimée en utilisant 3 degrés, représentés dans le tableau suivant (Torri et al., 2007):

Classe DHI	Valeurs DHI	RISQUE
1	DHI < 0.17	TRES FAIBLE À NUL
2	0.17 ≤ DHI < 0.25	FAIBLE
3	DHI ≥ 0.25	FORT

Tableau 5 – Degrés de probabilité de tarissement des sources en fonction du DHI

2.2 Indice de probabilité d'impact des eaux superficielles

La méthode est basée sur la méthodologie du calcul de DHI adaptée aux spécificités des cours d'eau. La description de la méthode utilisée, soulignant en particulier les principales différences par rapport à la méthode DHI appliquée aux sources est fournie en Annexe 2.

Pour appliquer la méthodologie sur le réseau hydrographique, chaque cours d'eau pris en examen a été subdivisé en tronçons homogènes sur la base des données géologiques et hydrogéologiques (lithologie, complexes hydrogéologiques, présence de failles, etc.). Pour chaque tronçon homogène un unique point représentatif du tronçon a été identifié sur lequel effectuer le calcul. Le choix du point ne suit pas une procédure unique, mais est effectué pour chaque tronçon en évaluant, soit les aspects géométriques (ex. cote point-galerie, distance point-galerie, etc.), soit les aspects géologiques (ex. présence de failles, plans de glissements, etc.). De manière générale, le point représentatif correspond au point de vallée ou, dans le cas de la présence de failles, au point médian du tronçon. La valeur calculée sur le point est ensuite appliquée à tout le tronçon.

Les variables analysées reprennent celles déjà déterminées pour les sources, mais recalculées pour les cours d'eau. La détermination des variables:

- Fréquence de fracturation FF
- Perméabilité du massif MK
- Epaisseur de la couverture OV
- Largeur de la zone plastique PZ

procède de la même manière que celle effectuée pour les sources. En outre, les variables suivantes sont définies pour le nouveau système d'évaluation:

- Distance du tunnel (DT)
- Intersection avec des canaux de perméabilité élevée (CP)
- Type d'alimentation (RT)
- Effet topographique (ET_réseau)

L'indice de probabilité d'impact exprimé en pourcentage est le produit du potentiel de drainage (PI) par les facteurs clés, normalisé par rapport à sa valeur maximale :

$$DHI_{\text{réseau}} = PI * CP * RT * DT * ET_{\text{réseau}} * 100 / DHI_{\text{max}}$$

Le DHI_{max} , qui s'obtient dans la condition théorique de plus haute probabilité d'impact du cours d'eau ($FF = 1$; $MK = 0,9$; $OV = 0,9$; $PZ = 1$; $DT = 1,9$; $CP = 2$; $ST, RT = 2$; $ET = 2$) est égal à 1461.

La prévision de la stérilité des tronçons des cours d'eau analysés a été exprimée à travers trois degrés, comme cela est reporté dans le tableau suivant.

Classe DHI	Valeurs DHI	RISQUE
1	DHI < 0.17	TRES FAIBLE À NUL
2	0.17 ≤ DHI < 0.25	FAIBLE
3	DHI ≥ 0.25	FORT

Tableau 6 – Degrés de probabilité de tarissement des cours d'eau en fonction du DHI. (Ref.: Torri, R et al., 2007)

3. Etude d'impact sur les points d'eau souterraine

Ce chapitre décrit les résultats globaux de l'étude. Les points d'eau considérés sont au nombre de 656. Le point 318 fait partie du réseau du suivi, mais n'est plus en état de fonctionnement depuis le 24 septembre 2010 pour des raisons externes à la réalisation de la ligne ferroviaire. L'indice DHI n'a donc pas été calculé pour ce point, et par conséquent le total est ramené à 655.

3.1 Inventaire des points d'eau

L'inventaire des points d'eau a été effectué à partir des études antérieures, initiées depuis les années 1990.

La liste des points d'eau souterraine recensés sur la partie française est fournie dans le tableau joint en Annexe 3. La répartition par commune du nombre de points d'eau recensés est illustrée sur le graphique ci-dessous.

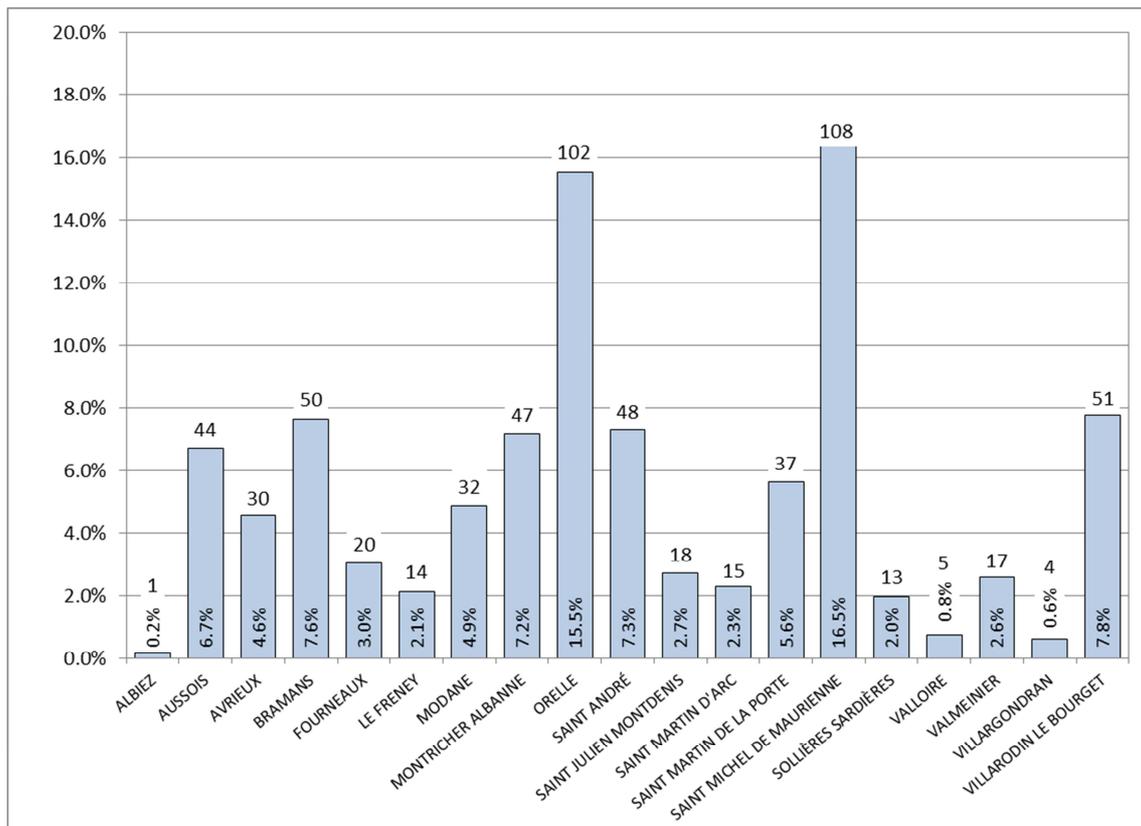


Figure 2 – Répartition par commune des points d'eau recensés sur le versant français

3.2 Retour d'expérience de l'excavation des descenderies

La confrontation entre l'évaluation de l'indice DHI proposé dans l'APR et les données du suivi effectué par LTF après 2006 sur les secteurs des descenderies met en évidence quelques situations d'incohérence entre la prévision des impacts et les impacts réellement observés.

Contrairement à l'APR où les impacts avaient été évalués en fonction des ouvrages projetés (descenderie ou tunnel de base), la présente étude n'a porté que sur les impacts liés au tunnel de base, l'excavation des descenderies étant terminée. Malgré l'excavation des trois descenderies est terminée, une attention particulière a été accordée à la vérification des effets causés par l'excavation de la partie 3a de la descenderie de SMLP.

L'annexe 4 liste les points d'eau pour lesquels, sur la base du retour d'expérience de l'excavation des descenderies, l'indice DHI a changé par rapport à celui de l'APR.

Le tableau suivant présente les points d'eau impactés par l'excavation des descenderies.

Commune	N. point d'eau	Classe DHI APR
Aussois	322	1
Saint Michel de Maurienne	3004	1
Avrieux	6007	2
Villarodin Le Bourget	4001	2
Villarodin Le Bourget	4015	2
Villarodin Le Bourget	4016	2
Villarodin Le Bourget	18-B	2
Villarodin Le Bourget	18-C,1	2
Villarodin Le Bourget	18-C,2	2
Villarodin Le Bourget	18-D	2

Tableau 7 – points d'eau impacté par l'excavation des descenderies.

Une analyse détaillée est reportée ci-dessous. Secteur par secteur, les points d'eau pour lesquels des incohérences sont apparues dans l'analyse de l'APR ont été décrits.

Toutefois, on doit préciser que l'évaluation faite dans l'APR est de bonne qualité si l'on considère que le niveau de connaissance du modèle hydrogéologique n'était pas appuyé par les données de l'excavation des descenderies et des sondages complémentaires. En effet, ceux-ci, et surtout l'excavation des descenderies, ont permis d'acquérir des connaissances pertinentes pour la caractérisation hydrodynamique en profondeur (à la cote du tunnel de base) de l'amas rocheux. Par exemple, le long de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane, les phénomènes de dissolution observés (liés à la présence d'horizons de cargneules) se limitent à la partie la plus superficielle des circuits souterrains. Aucun phénomène de dissolution n'a été observé pour des cotes inférieures à celles du fond de la vallée de l'Arc, qui a été prise comme niveau de base des circuits souterrains les plus superficiels. L'amas rocheux à la cote du tunnel de base se montre imperméable et dans la majorité des cas les impacts prévus n'ont pas été vérifiés.

Pour faciliter la lecture des extraits cartographiques insérés dans les paragraphes suivants, la légende de la carte hydrogéologique (Réf. PRF_C3B_0013_00-01-01_30_02) et du profil hydrogéologique (Réf. PRF_C3B_0014_00-02-02_40-01) est reportée ci-dessous.

Legenda
Légende

Elementi strutturali
Eléments structuraux

- Limiti geologici / Limites géologiques
- Faglie principali certe/Failles principales certaines
- Contatto tettonico certo / Contact tectonique certain
- Contatto tettonico incerto / Contact tectonique incertain
- Faglie presunte/ Failles présumées

Altri simboli

Autres symboles

- idrografia / Hydrographie
- Limite di flusso alimentante / Limite hydrogéologique alimentant
- Limite di flusso tamponante / Limite hydrogéologique tamponnant
- Linee di flusso principali in roccia (faglie e bande di fratturazione intensa) / Lignes d'écoulement principales en roche (failles et couloir de fracturation intense)
- Limite di flusso in settori interessati da carsismo / Lignes d'écoulement dans le karstique
- Elementi di progetto / Eléments de projet
- Confine di Stato / Frontière nationale
- PK di progetto / PK du projet
- Sondaggi geognostici antecedenti all'APR (2006) / Forages Avant APR (2006)
- Sondaggi geognostici successivi all'APR (2006) / Forages Après APR (2006)

Punti acqua
Points d'eau

- Sorgente e relativo codice / Source et code

Code	Complexe hydrogéologique		Classes de perméabilité			
	Lithotypes	Codes lithotypes	<1E-8	1E-8-K>1E-6	1E-6-K>1E-4	>1E-4
1	Carniolo, breccia tettonica / Carnioulos, breccias tectoniques	ATM, BCC, BCCs, cBr, cvla, cvla1, eBr, e7CBr, jBr, j5Br, K, Kng, Ksb, Kud, l2-3Br, MMDk, Rtk, U, ZSTm, ZSTs			K	
2	Rocce carbonatiche (FR) / Roches carbonatées (FR)	Cb, cEc, cs-e, e7A, e7N, j1-4, j3-4, j4-7, j-e, jM, jm, jmC, jsEc, l1-2, l1-4, l3-4, l4, ol-cs, ol-cl, t3-5, tC, tCd, tmV		F/K		
3	Rocce carbonatiche e metadolomie (IT) / Roches carbonatées et métadolomies (IT)	DGA, DSE, DSEs, FMD, IMC, MCF, MEX, MGZ, MMD, MMDc, MMDg, MPM, OMD, TMD, XMD, XMDc, XMDm, ZSTd			F/K	
4a	Quarziti, conglomerati quarziti / Quartzites, conglomérats quartzitiques	csQ, e7Cq, h3C, h5-r, h5-rv, ml, MGZ, OGM, PQZ, QSE, QSEm, r-t, r-tCG, tQ, tQ-tas, tQs, tQZ, VQZ, XQZ		F		
4b	Metabasiti e rocce verdi / Métabasites et roches vertes	AMM, CLb, CVLm, dAm, DMSH, GCB, MMB, MMBI, MPP, MPSt, OMB, OMBa, OMBI, OMBp, OMG, OSS, TCsg, St		F		
5	Micascisti e gneiss / Micaschistes et gneiss	AMA, AMB, AMC, AMD, AME, AMF, AMG, CL, CLg, CLm, CLs, CVLa, CVLb, CVLn, CL, DGL, DGLk, DGLl, DGLz, DGP, DMS, DMSa, DMSg, DRT, GCM, MMS, MPK, GS, OCF, S, S, SV, ZSTg		F		
6a	Calcoscisti e flysch (FR) / Calcoschistes et flysch (FR)	cBe, ci, csC, csEc, csS, e4-7, e7, e7C, eFs, eFsg, e7G, hBF4-5, j1, j5, l3, l3-j1, jmCM, r, sN, t7, t7GM, t7SB, t7UD			F/K	
6b	Soristi, calcoscisti illiadi e calcemicascisti (IT) / Schistes, calcoschistes phyllitiques et calc-micaschistes (IT)	CMS, CVL, CVLc, GCC, GCCk, GCCm, GCCe, GCK, GCKs, MCF, MCFb, MCFm, MPC, OCS, OSS, OSSs, TCS, TCSm, TPG, ZSTc, ZSTm, ZSTs		F		
7a	Houillère arenacea / Houiller gréseux	hF, hLP		F		
7b	Houillère scistosa / Houiller schisteux	hBO, hE, h4-5		F		
8	Anidriti e dolomie e marmi dolomitici con anidriti / Anhydrites et dolomies et marbres dolomitiques avec anhydrites	CDng, Cng, Gng-tas, Dng, GDng, SGng, teD, tD, tDB, tDD, tDEc, tS, tGd, tGng, tGsb, tGud, tng, tS, tSd, tS, tSS, tS		F/K		
Q1	Depositi quaternari detritici e alluvionali / Dépôts quaternaires détritiques et alluviaux	aa, ac, at, ant, at, od, db, cf, fc, for, fg, fm, fmg				P
Q2	Depositi glaciali indifferenziati / Dépôts glaciaires indifférenciés	ag, EG, tQ, tS, ga, gf, gh, gi, gv, Gz			P	
Q3	Depositi lacustri / Dépôts lacustres	le		P		

*Nella colonna Codes Lithotypes sono stati inseriti i litotipi appartenenti al settore francese e italiano
 *Dans la colonne des Codes Lithotypes, les lithologies appartenant au secteur français et italien ont été insérées

Figure 3 – Légende de la carte hydrogéologique (Réf. PRF_C3B_0013_00-01-01_30_02)

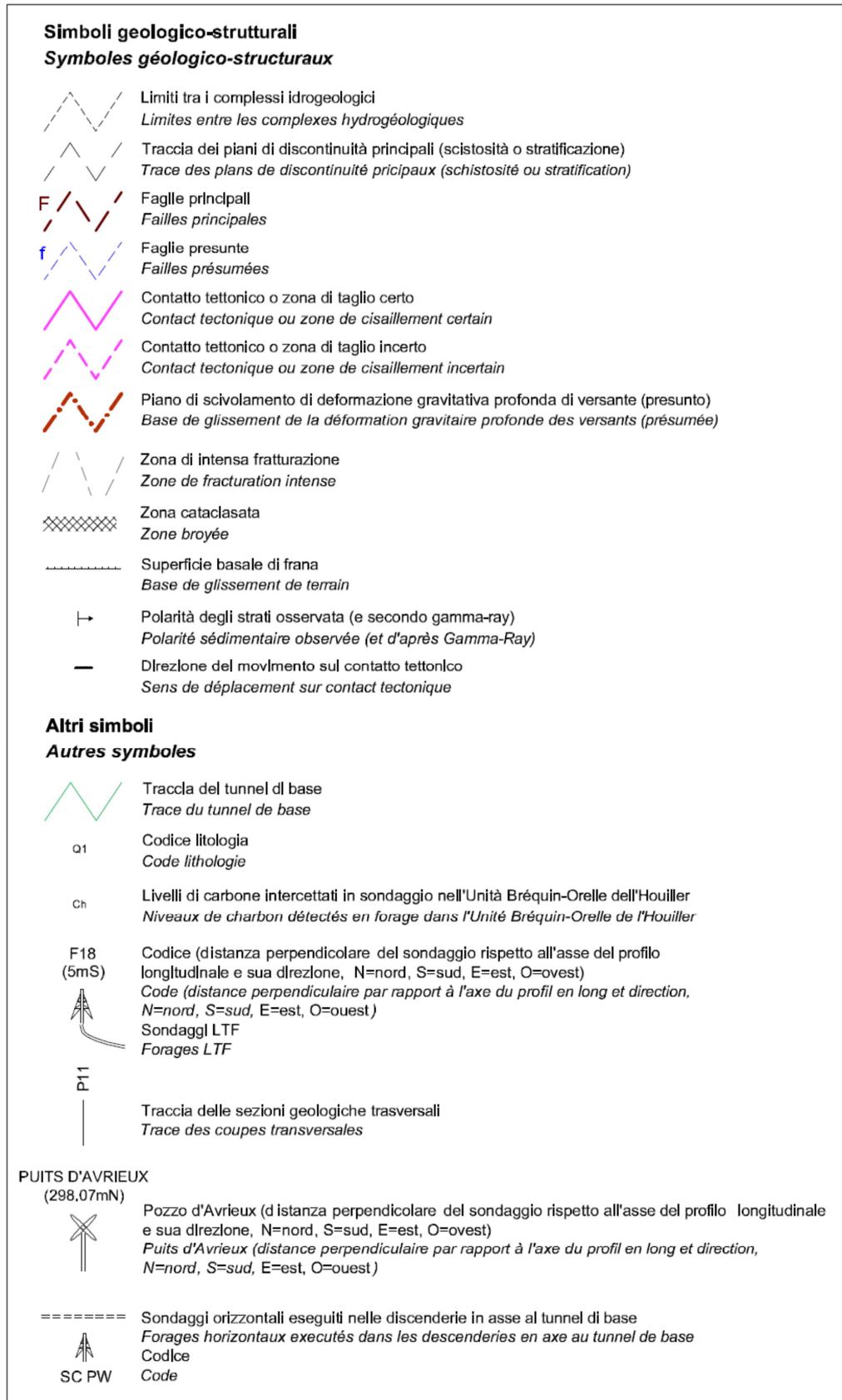


Figure 4 – Légende de la coupe hydrogéologique (Réf. PRF_C3B_0014_00-02-02_40-01). Pour les complexes hydrogéologiques c'est la légende de la carte hydrogéologique (Figure 3)

3.2.1 Secteur de la descenderie de Villarodin-Bourget / Modane

La vérification des impacts a été réalisée avec l'analyse des données du suivi des points d'eau fait pendant les travaux d'excavation de la descenderie, effectués de Juillet 2002 à Mai 2004 (jusqu'au pk 1+086), puis de Novembre 2005 à Novembre 2007. Au total, la descenderie fait 4035 mètres de long. Les points d'eau décrits dans les paragraphes suivants sont reportés dans le tableau ci-dessous :

N. point d'eau	Nom	DHI Total (APR)	DHI TdB (APR)
1	Forage de Loutraz	4	4
2	Captage du Claret	3	3
3	Captage de Comacille	3	3
8	Captage de Jorio	2	2
322	Captage AEP Plan d'Aval Nord	2	1
4002	Ruisseau de la Chaussina	3	1
4011	Source aménagée de Rimollard bas	4	1
4014	Source de la Fourrière	3	1
6005	La Freney	4	3
6006	Source Gros Saule	4	2
12-B	Clement Henri	3	2
6007	Source de l'Envers	4	2
277,1	Captage des Avenières	1	1
277,2	Captage des Avenières	1	1
277,3	Captage des Avenières	1	1

Tableau 8 – Degré de probabilité de tarissement des sources du secteur de la descenderie de Villarodin-Bourget / Modane en fonction du DHI défini dans l'APR

POINTS D'EAU NON PERTURBES

Points d'eau n. 1-2-3

Le Forage de Loutraz (point d'eau n. 1), le Captage du Claret (point d'eau n. 2) et le Captage de Combacille (point d'eau n. 3) n'ont pas été impactés par les travaux d'excavation de la descenderie (Figure 5), alors que l'APR prévoyait pour ces points un indice d'impact DHI, que ce soit pour le seul tunnel de base ou pour l'ensemble des ouvrages (tunnel de base + descenderie), égal respectivement à 4 (probabilité de modérée à forte), 3 (probabilité modérée) et 3 (modérée).

Les données du suivi montrent qu'aucun changement du régime hydrologique des sources n'a été mesuré au cours de la période de réalisation de la descenderie (Figure 5, Figure 6 et Figure 7).

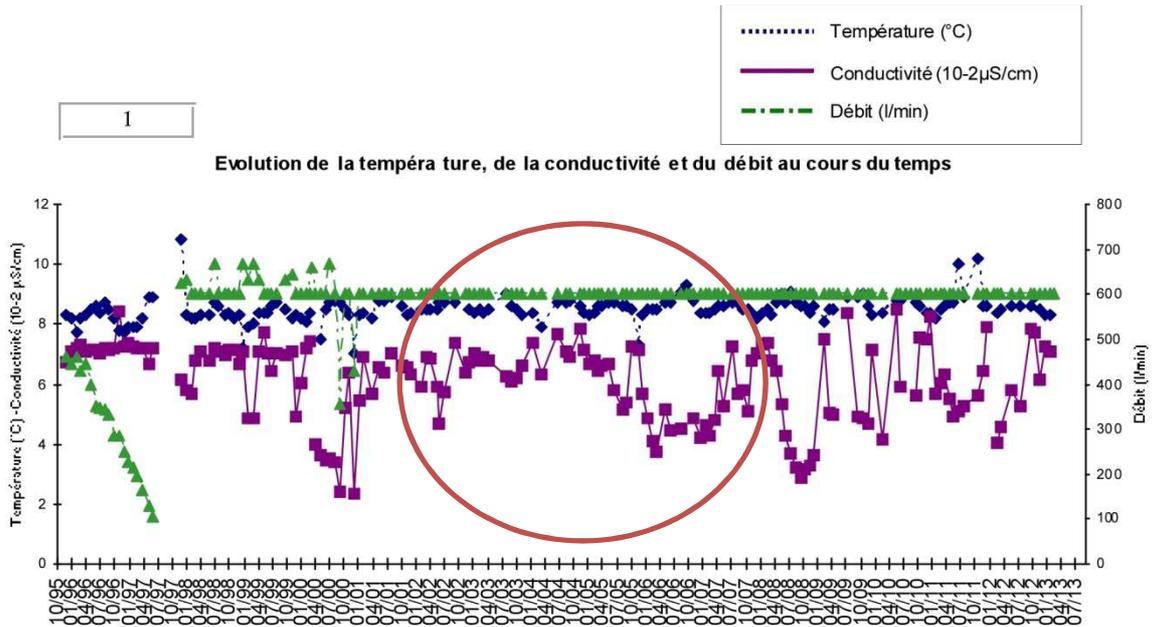


Figure 5 – Synthèse des données de suivi du point d'eau 1 (Forage de Loutraz). Période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

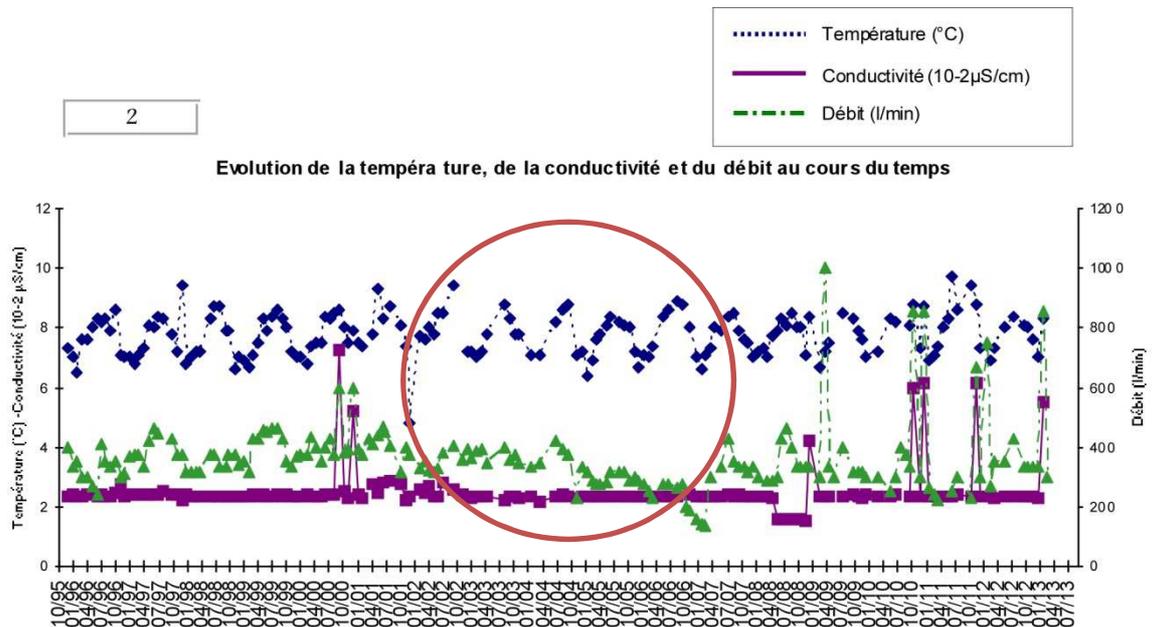


Figure 6 – Synthèse des données de suivi du point d'eau 2 (Captage du Claret). Période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

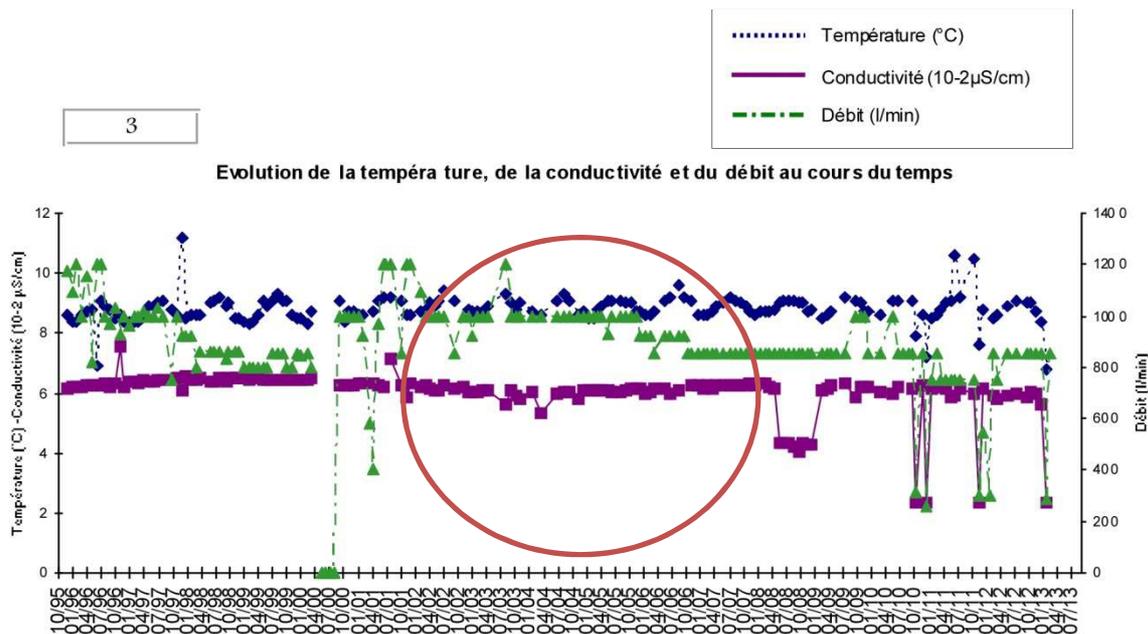


Figure 7 – Synthèse des données de suivi du point d'eau 3 (Captage de Combacille). Période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

Comme on peut l'observer dans les figures précédentes, le circuit souterrain qui alimente ces trois points d'eau n'a pas été intercepté par la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane. Celui-ci, en effet, est représenté par des quartzites et des conglomérats quartzitiques cataclasés au niveau d'un contact tectonique dont l'interception directe par la descenderie n'a pas été prévue. Il est donc plausible que la probabilité d'interférence des points d'eau, dans l'APR, ait été attribuée au risque d'influence des travaux du tunnel de base plutôt qu'à ceux de la descenderie. Toutefois, l'expérience acquise au cours de l'excavation de la descenderie montre qu'à la profondeur du tunnel de base, les zones de fracturation associées aux horizons de dissolution se présentent « fermées », peu perméables et sans flux hydrique significatif. En outre, les niveaux fracturés rencontrés par les forages F20 et F64 ont été interceptés à des cotes supérieures à celles du fond actuel de la vallée. Pour plus de détails voir les développements de caractère hydrogéologique (PRF_C3B_0013_00-01-01_30_02, PRF_C3B_0014_00-02-02_40-01 et PRF_C3B_0009_00-02-01_10_02).

A partir de ces éléments, la réévaluation du DHI après l'excavation de la descenderie permet de retenir pour ces points d'eau, une classe de probabilité d'impact de 2 (faible) inférieure à celle prévue dans l'APR, sans toutefois exclure la possibilité qu'en conditions d'équilibre hydrodynamique particulier (par ex. liées à une fracturation plus intense ou un abaissement de la cote du niveau de base des circuits karstiques) ces circuits (flèche orange de la Figure 8) puissent se poursuivre en profondeur jusqu'à la cote du tunnel de base (flèche bleue dans la Figure 9).

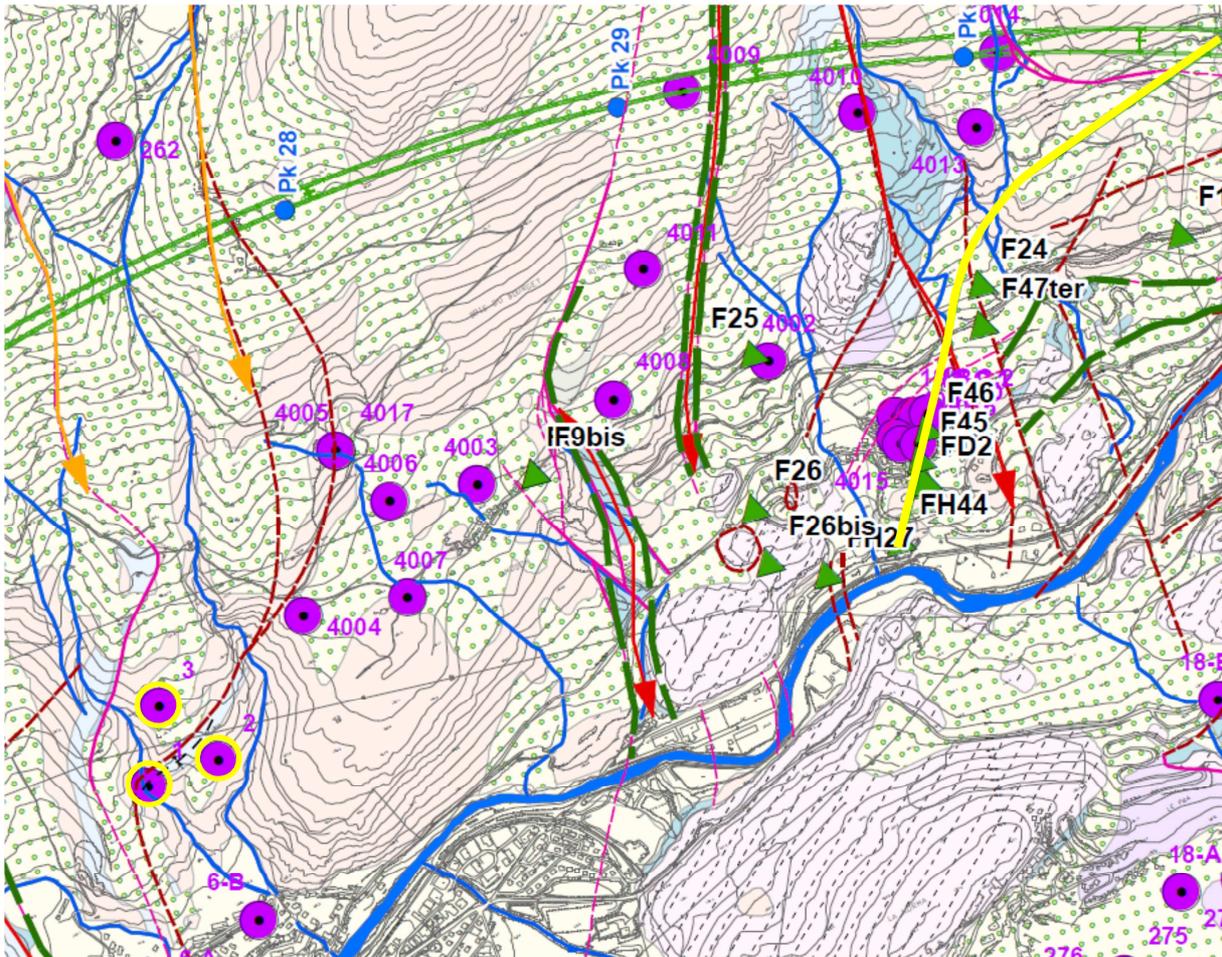


Figure 8 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 1 (Forage de Loutraz), 2 (Captage du Claret) et 3 (Captage de Combacille). Les points cerclés en jaunes indiquent les trois points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descendrière de Villarodin-Bourget/Modane. Une légende complète est reportée sur la Figure 3

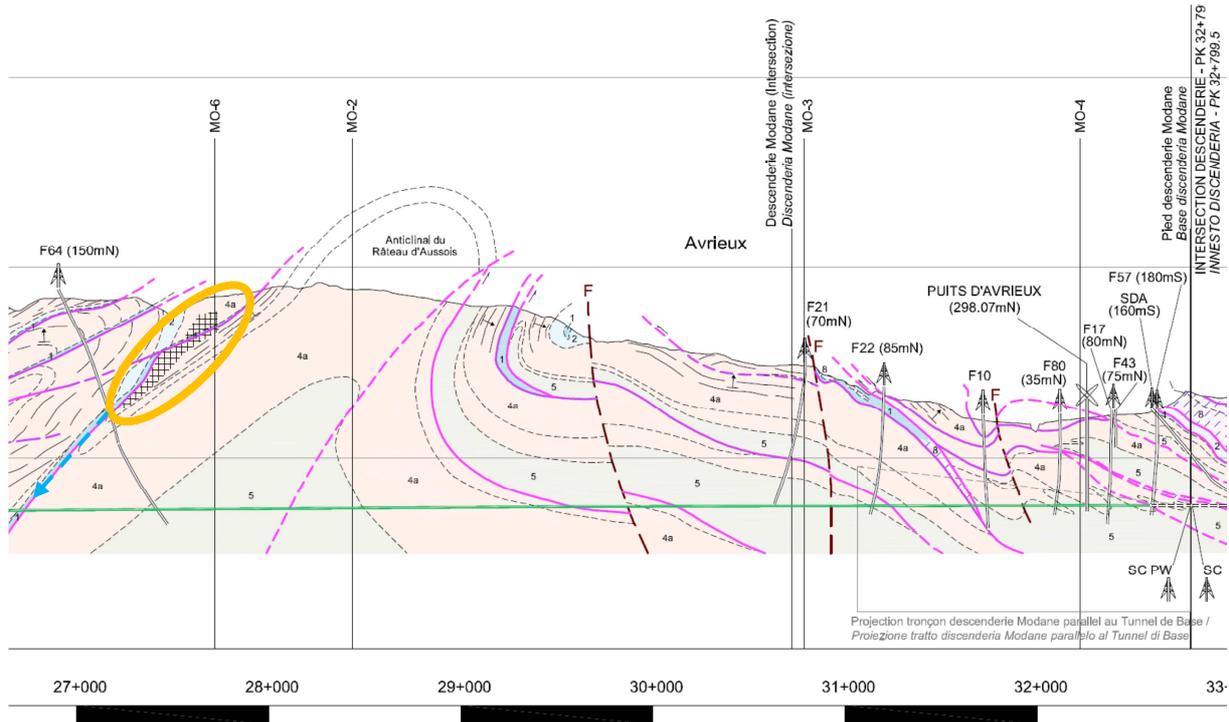


Figure 9 – Extrait de la coupe hydrogéologique avec l'indication (ellipse orangée) du circuit d'alimentation des points d'eau 1 (Forage de Loutraz), 2 (Captage du Claret) et 3 (Captage de Combacille)

Point d'eau n. 8

Le Captage de Jorio (point d'eau n. 8) est situé à une distance d'environ 5000 m du tracé du tunnel de base et le long du versant opposé à celui qui sera excavé. On attribue par conséquent à ce point une classe DHI égale à 1 (très faible à nul) plutôt que 2 (faible à modéré) comme indiqué dans l'APR.

Bien que le suivi de ce point n'ait pas été réalisé mensuellement, on peut considérer qu'il n'a pas été perturbé par l'excavation de la descenderie.

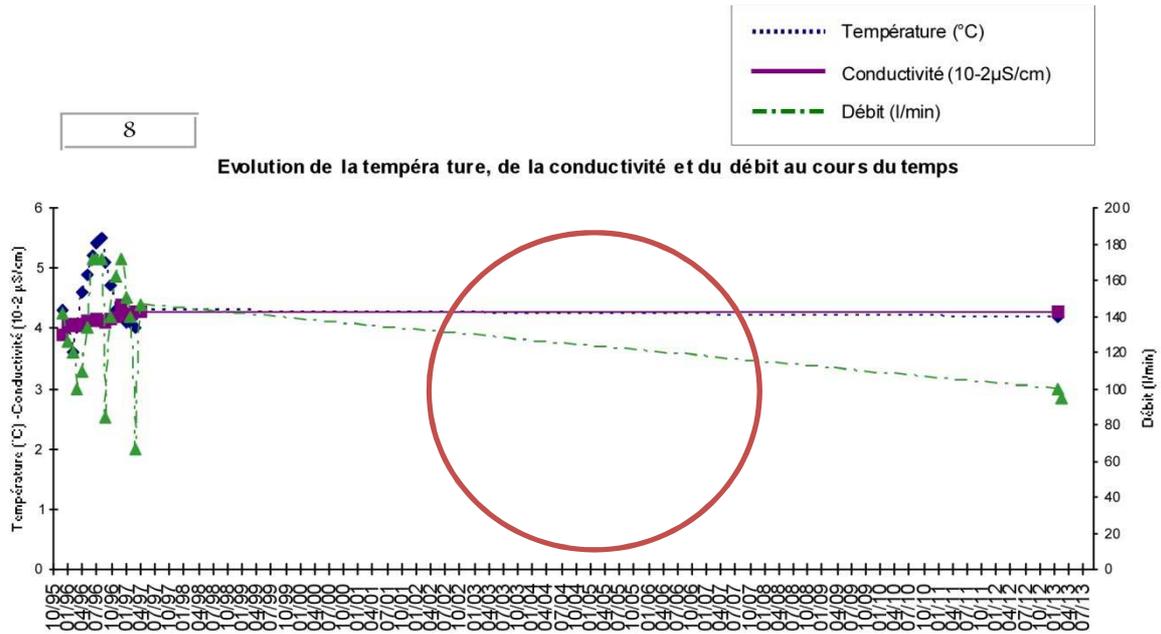


Figure 10 – Synthèse des données de suivi du Captage de Jorio (point d'eau n. 8). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

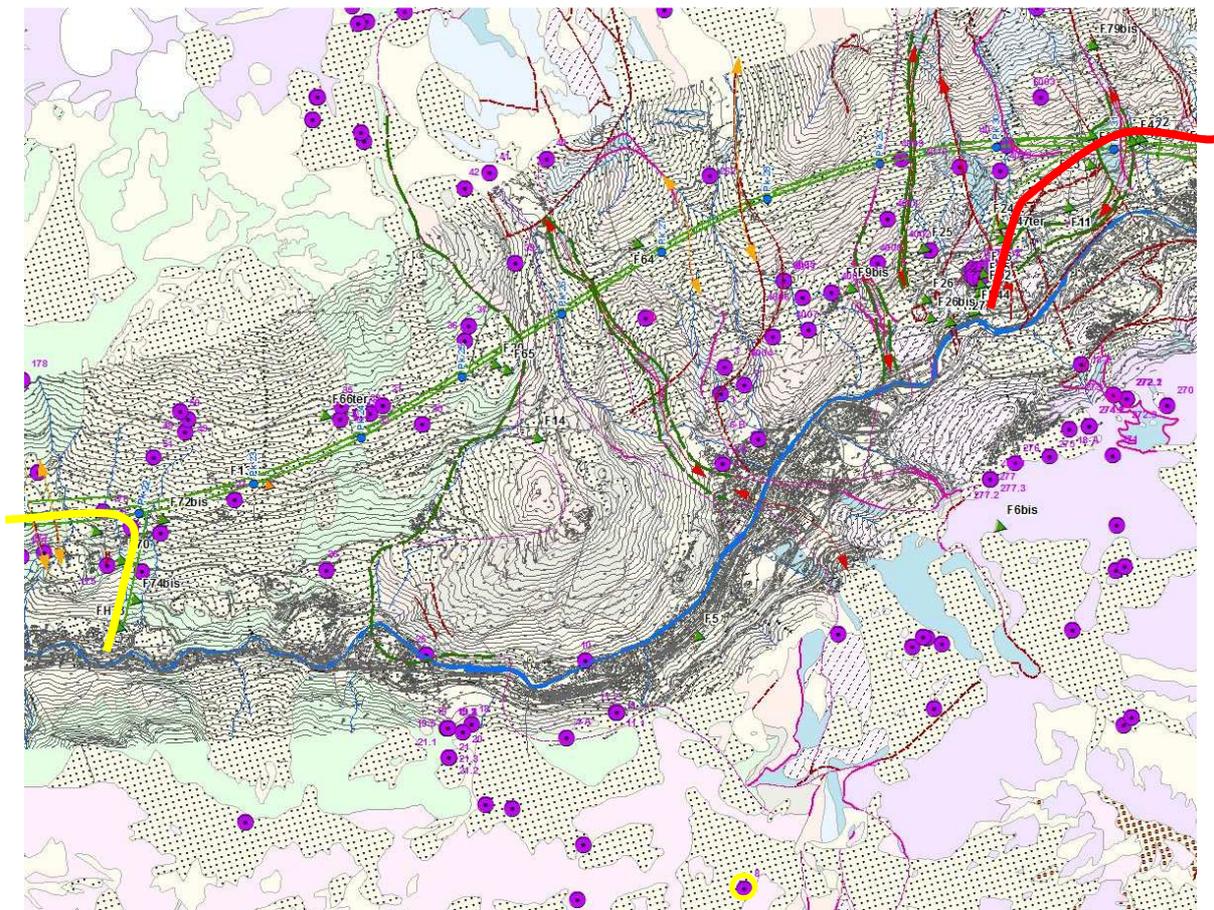


Figure 11 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation du Captage de Jorio (point d'eau n. 8). Circulé en jaune le point d'eau, la ligne rouge le tracé de la descenderie de Villarodin-Bourget / Modane et la ligne jaune le tracé de la descenderie de La Praz. La légende est reportée en Figure 3

Points d'eau n. 4002 et 4011

Les points d'eau 4002 (Ruisseau de la Chaussina) et 4011 (Source aménagée de Rimollard bas) (Figure 12) n'ont pas été impactés par l'excavation de la descenderie de Villarodin-Bourget / Modane (Figure 12 et Figure 13). Les classes de risque d'impact DHI prévues dans l'APR pour ces sources vis-à-vis de l'excavation de la descenderie sont celles reportées dans le tableau suivant (DHI Total). En ce qui concerne la probabilité d'impact attribuée pour l'excavation du Tunnel de Base, l'APR ne prévoyait aucun impact (DHI Tunnel de Base - TdB).

N. point d'eau	Nom	DHI Total (APR)	DHI TdB (APR)
4002	Ruisseau de la Chaussina	3	1
4011	Source aménagée de Rimollard bas	4	1

Tableau 9 – Degré de probabilité de tarissement des sources 4002 (Ruisseau de la Chaussina) et 4011 (Source aménagée de Rimollard bas) en fonction du DHI défini dans l'APR

Les données du suivi hydrogéologique confirment une alimentation superficielle pour ces points d'eau (circuits dans la couverture quaternaire - dépôts glaciaires indifférenciés) qui ne seront pas perturbés par les travaux souterrains.

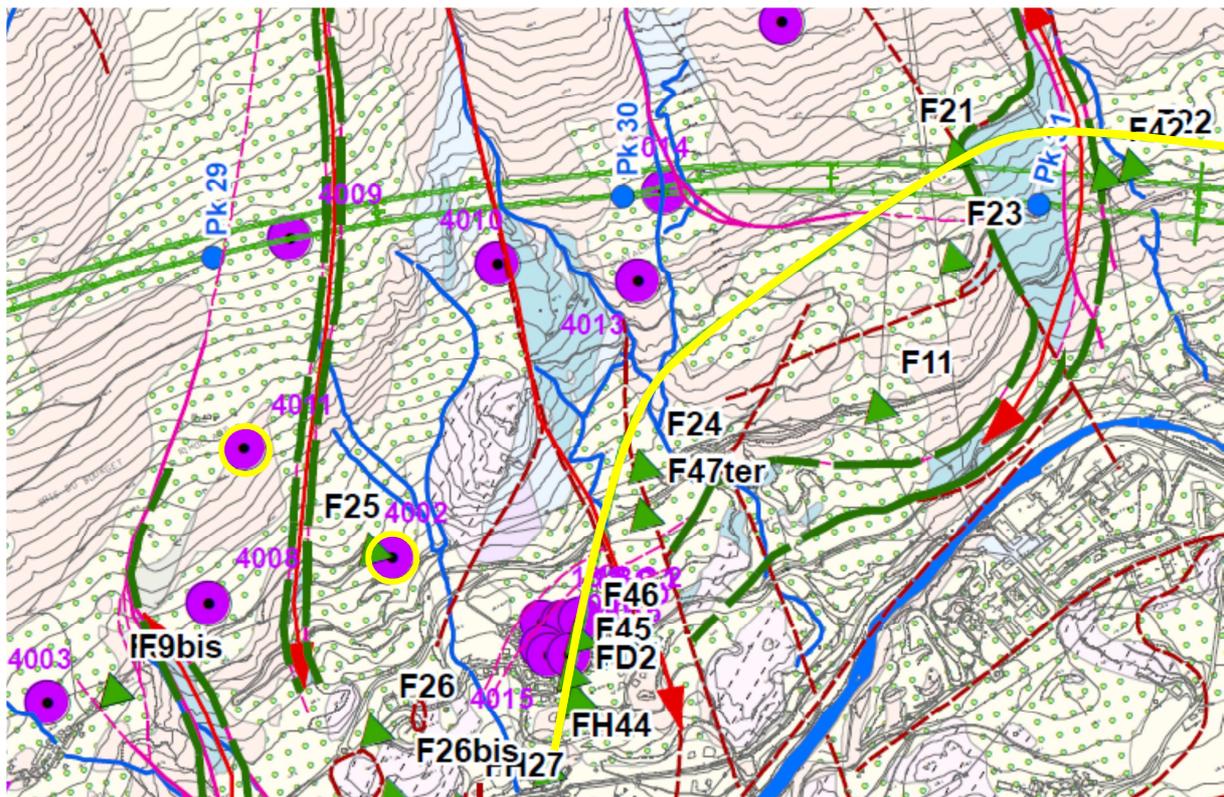


Figure 12 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 4002 (Ruisseau de la Chaussina) et 4011 (Source aménagée de Rimollard bas). Les points cerclés en jaune indiquent les deux points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane. Légende complète sur la Figure 3

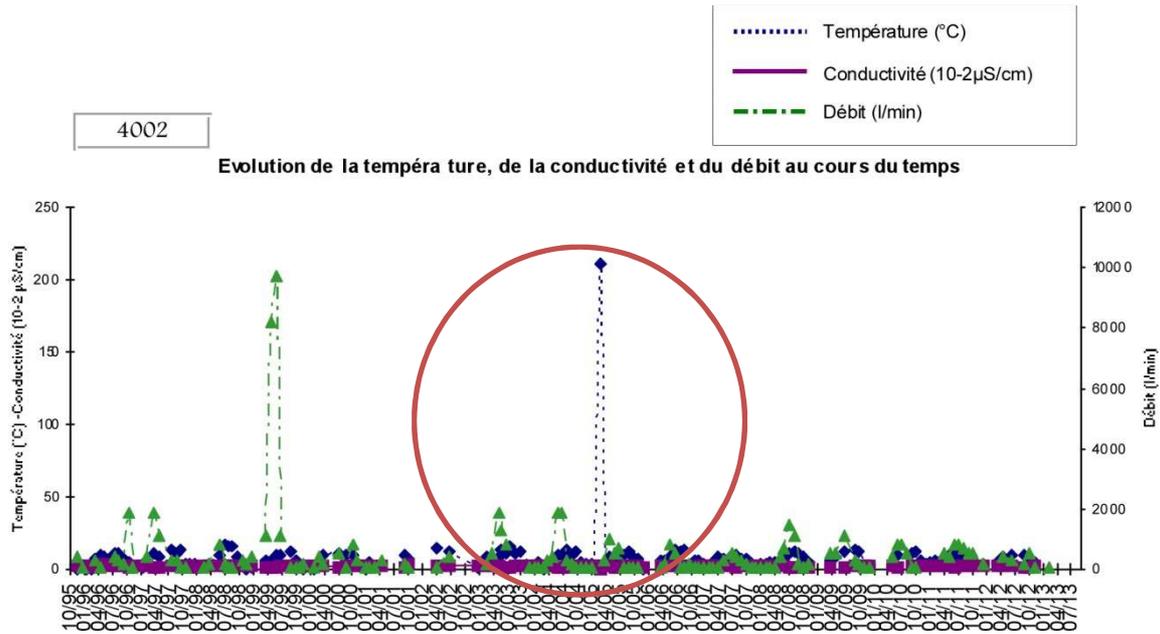


Figure 13 – Synthèse des données de suivi du point 4002 (Ruisseau de la Chaussina). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

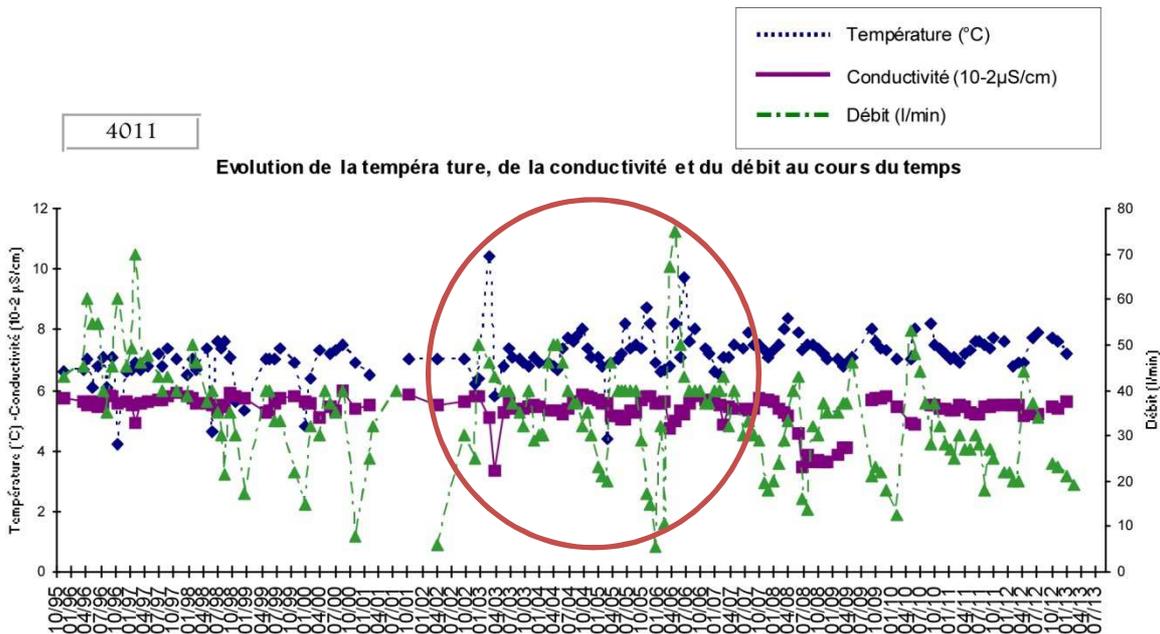


Figure 14 – Synthèse des données de suivi du point 4011 (Source aménagée de Rimollard bas). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

Pour ces points d'eau l'indice d'impact DHI a été réévalué, il reste égal à 1 (très faible à nul) comme prévu dans l'APR, de même selon la nouvelle classification.

Point d'eau n. 6006

La Source aménagée du Gros Saule (point n. 6006 en Figure 20) n'a pas subi de variations de régime durant et à la suite des travaux d'excavation de la descenderie de Villarodin-

Bourget / Modane. La classe de risque d'impact DHI assignée dans l'APR qui est égale à 2 (faible dans la nouvelle classification) est toutefois maintenue. La Figure 20 (voir plus loin) indique le site de la source sur la carte hydrogéologique, et celle-ci-dessous donne la synthèse des données de suivi.

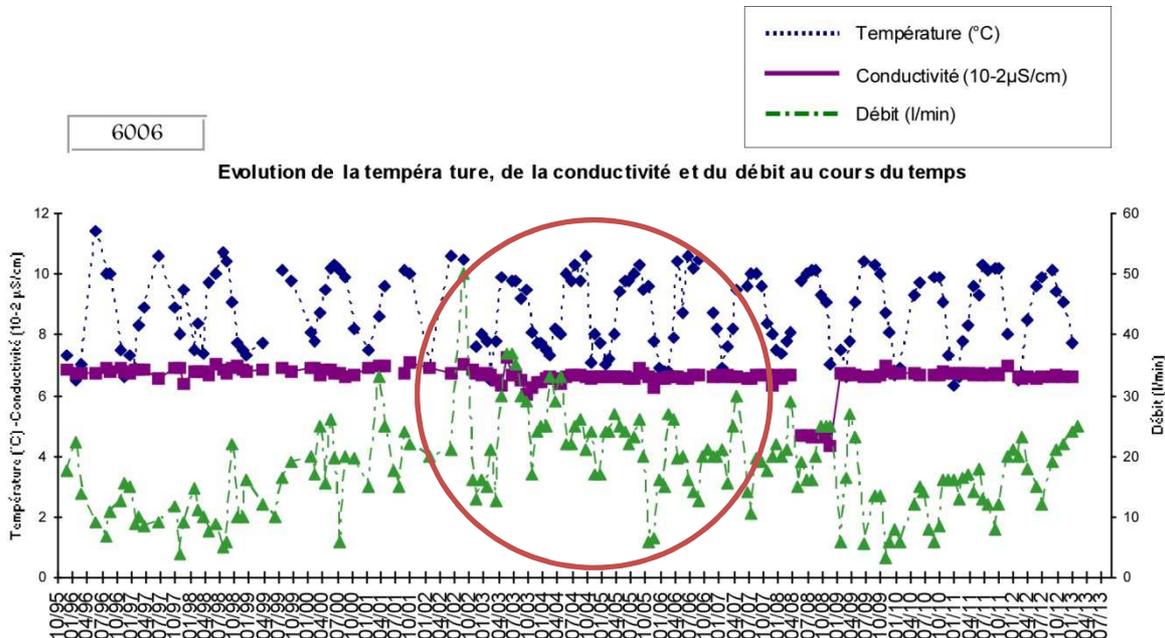


Figure 15 – Synthèse des données de suivi de la Source aménagée de l'Envers (point n. 6007). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

Point d'eau n. 12-B

Pour la source CLEMENT Henri (point n. 12-B), l'évaluation des variations de régime à la suite des travaux d'excavation de la descenderie de Modane n'est pas possible. En effet, les données à partir de novembre 1999 jusqu'à juin 2013 ne sont pas disponibles, période qui comprend l'excavation de la descenderie. Pour rester cohérent avec les considérations du paragraphe précédent, la classe de risque d'impact DHI a été recalculée. Pour cette source à alimentation superficielle, elle est égale à 2 (faible). La figure ci-dessous donne la synthèse des données de suivi du point 12-B.

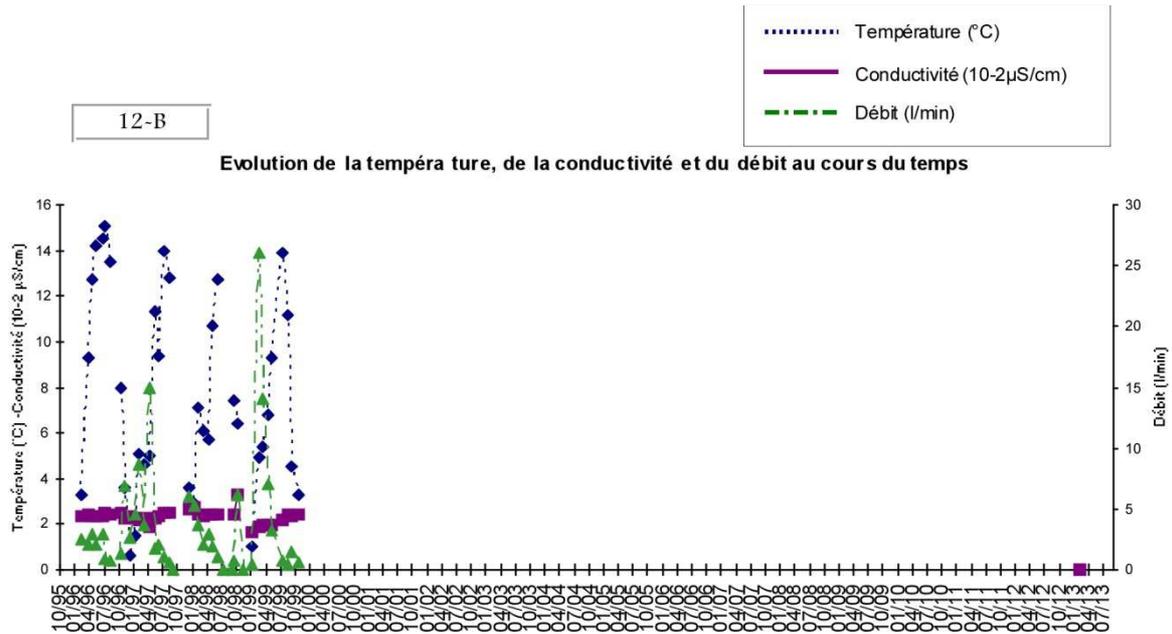


Figure 16 – Synthèse des données de suivi de la Source CLEMENT Henri (point n. 12-B)

POINTS D'EAU PERTURBES

Points d'eau n. 4014 et 6005

Les sources de la Fourrière (ou de Chatalamia haut) (point n. 4014) et Le Freney (point n. 6005), comme prévu dans l'APR (DHI respectivement égal à 3 (probabilité modérée) et 4 (probabilité de modérée à forte)), ont été perturbées par les travaux d'excavation de la descenderie de Villarodin-Bourget / Modane. On a constaté une réduction du débit moyen de respectivement 8 l/min et 5 l/min environ. Ce type de source présente généralement un faciès hydrogéochimique sulfaté-alkalino terreux comme dans le cas de la source 6005. Les données géochimiques de la source 4010 ne sont pas disponibles. Toutefois, les valeurs de conductivité de cette dernière indiquent des eaux peu minéralisées appartenant plutôt au faciès bicarbonaté-alkalino terreux.

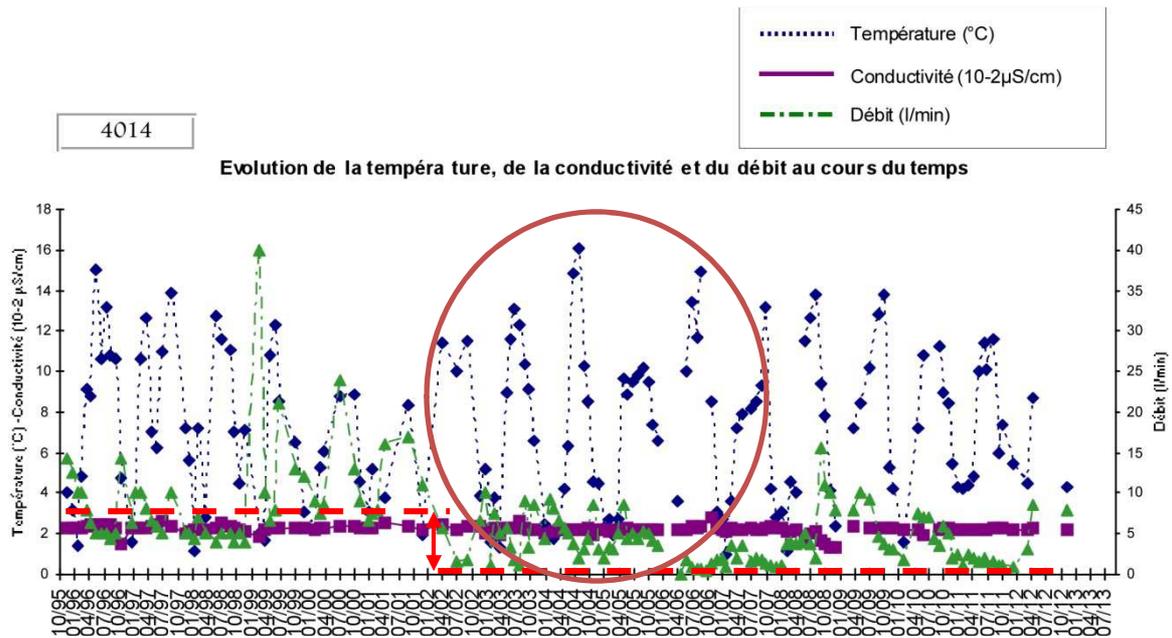


Figure 17 – Synthèse des données de suivi de la source aménagée de la Fourrière (ou de Chatalamia haut) (point n. 4014). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

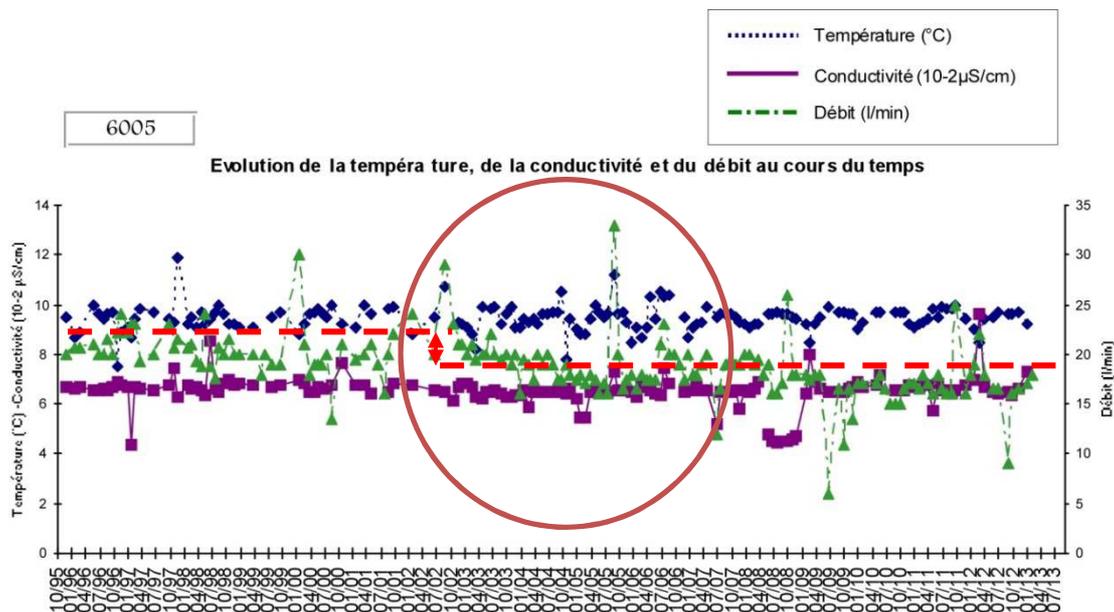


Figure 18 – Synthèse des données de suivi de la source aménagée Le Freney (point n. 6005). Période du creusement de la descenderie est reporté par l'ellipse rouge. La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

On note que ces diminutions de débit se sont produites durant la période comprise entre Octobre-Décembre 2002 et Février-Mars 2004, c'est-à-dire pendant l'excavation de la descenderie entre les points métriques (PM) 240 et 900. Dans ce tronçon des venues d'eau ponctuelles et diffuses avec des caractéristiques hydrogéochimiques comparables à celles des sources 4014 et 6005 ont été enregistrées. Les eaux drainées en descenderie sont

généralement de type bicarbonaté-alcalino terreux avec localement une augmentation de la composante sulfatée. Les venues interceptées autour du PM 900, au contraire, sont franchement sulfatées-alcalino terreuses comme la source 6005.

En effet, à partir du PM 298, de faibles venues ont été observés au niveau du front sur les côtés droit et gauche, et des venues beaucoup plus fortes à partir du PM 332. Durant cette période, deux lithologies principales ont été rencontrées : des quartzites du Trias (tQ) et des marbres dolomitiques (tD). Le système de flux intercepté est probablement celui situé dans les salbandes de roches fracturées et décompressées présentes aux marges de la zone d'accident géologique rencontrée au PM 370 environ.

Le tableau ci-dessous résume les observations hydrogéologiques effectuées au front. Le graphique suivant montre l'évolution du débit en fonction de l'avancement de l'excavation.

PM	Débit	Système des joints
186	suintement	Sp, J4
196	suintement	Sp, J1
200	suintement	Sp, J1
209	suintement	Sp
216	suintement	Sp, J4
298	ruissellement/venues	-
332	Venues (débit cumulé au portail de l'ordre de 22 l/s)	-

Tableau 10 – Récapitulatif des conditions hydrogéologiques entre les PM 186 et 332 de la descenderie

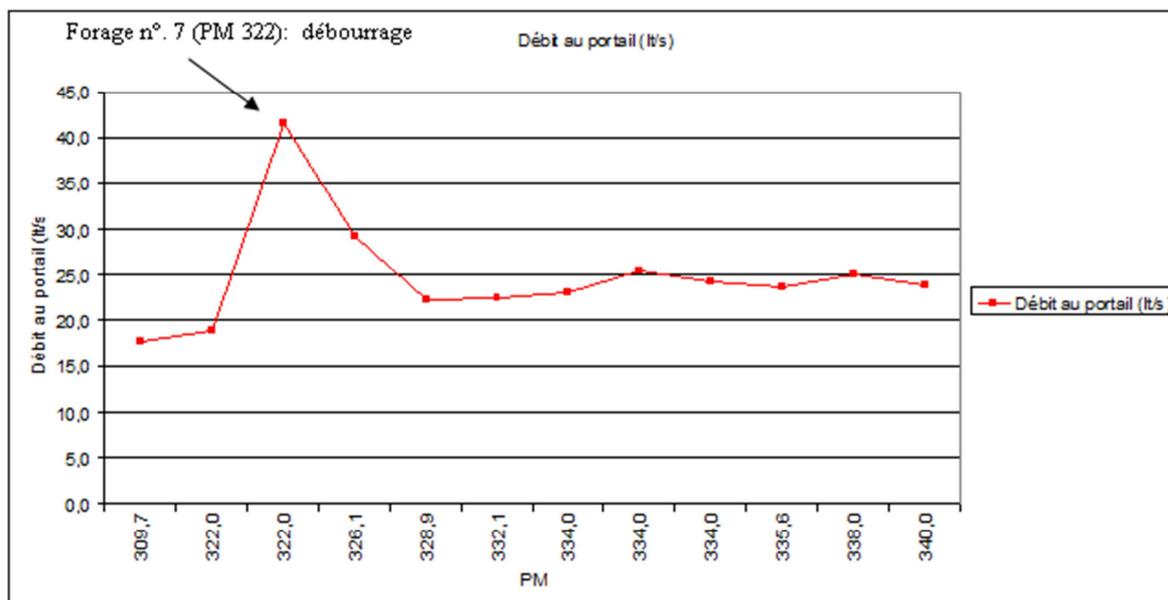


Figure 19 – Diagramme récapitulatif des débits cumulés mesurés dans le caniveau situé à proximité du portail de la descenderie (mesuré automatiquement à partir du 26/11/2002)

Le régime hydrogéologique des sources semble avoir été rééquilibré. On suppose par conséquent que l'effet de l'impact est actuellement stabilisé. On fait l'hypothèse que le circuit hydrogéologique qui alimente les sources ne s'approfondira pas à la cote prévue pour

l'excavation du TdB. A cette cote, en effet, l'amas rocheux est moins fracturé et donc moins perméable.

On maintiendra par conséquent un indice de probabilité d'impact DHI de 1 (probabilité très faible à nulle) pour la source à alimentation superficielle n. 4014, et de 3 (probabilité forte) pour la source alimentée par les circuits profonds n. 6005.

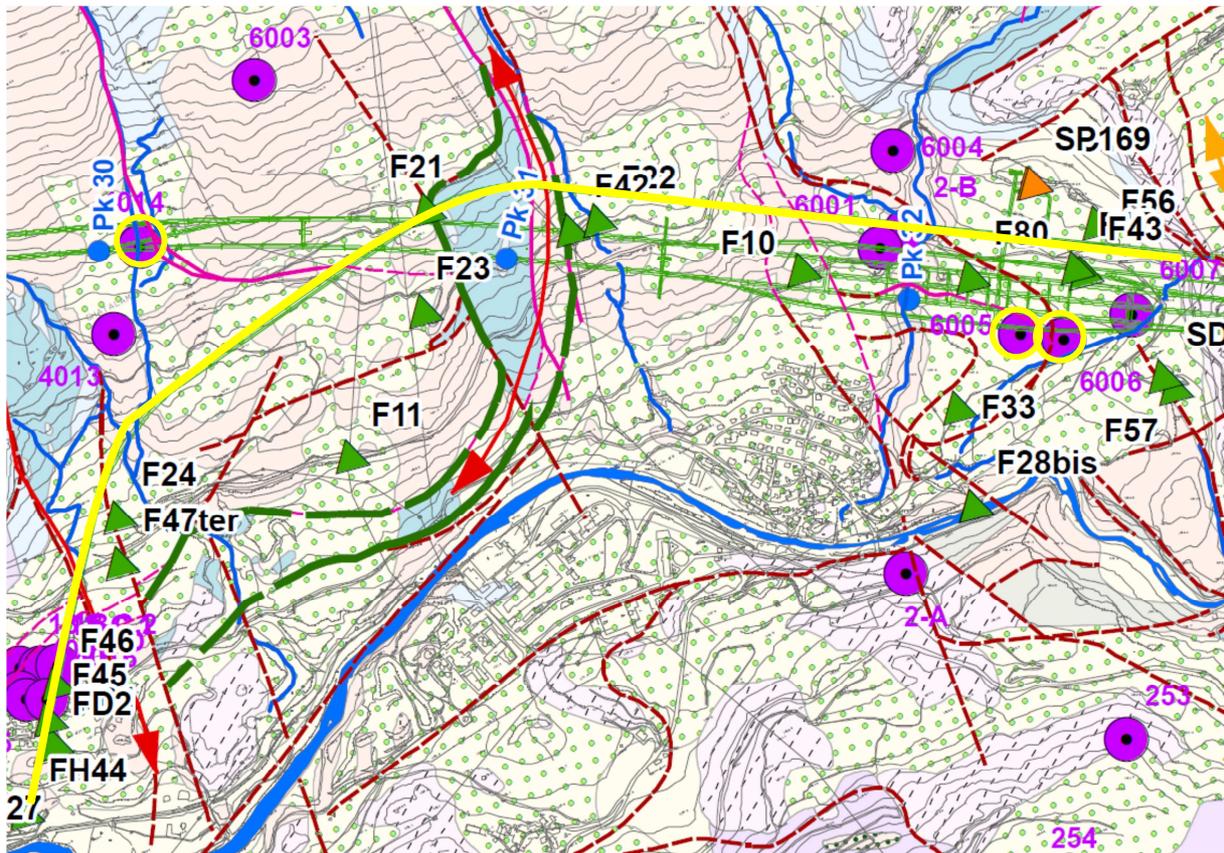


Figure 20 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 4014 (Source aménagée de la Fourrière (ou de Chatalamia haut)), 6005 (Source aménagée Le Freney) et 6006 (Source aménagée du Gros Saule). Les points cerclés en jaunes indiquent les trois points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Villarodin-Bourget / Modane. La légende complète est reportée sur la Figure 3

Point d'eau n. 6007

L'analyse de la Source aménagée de l'Envers (point n. 6007) de phase APR a été faite de manière globale : DHI pour le TdB et la descenderie de 4 (modéré à fort), et DHI de 2 (faible à modéré) seulement sur le TdB. Cette source a été impactée par les travaux d'excavation de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane, avec comme conséquence un assèchement complet.

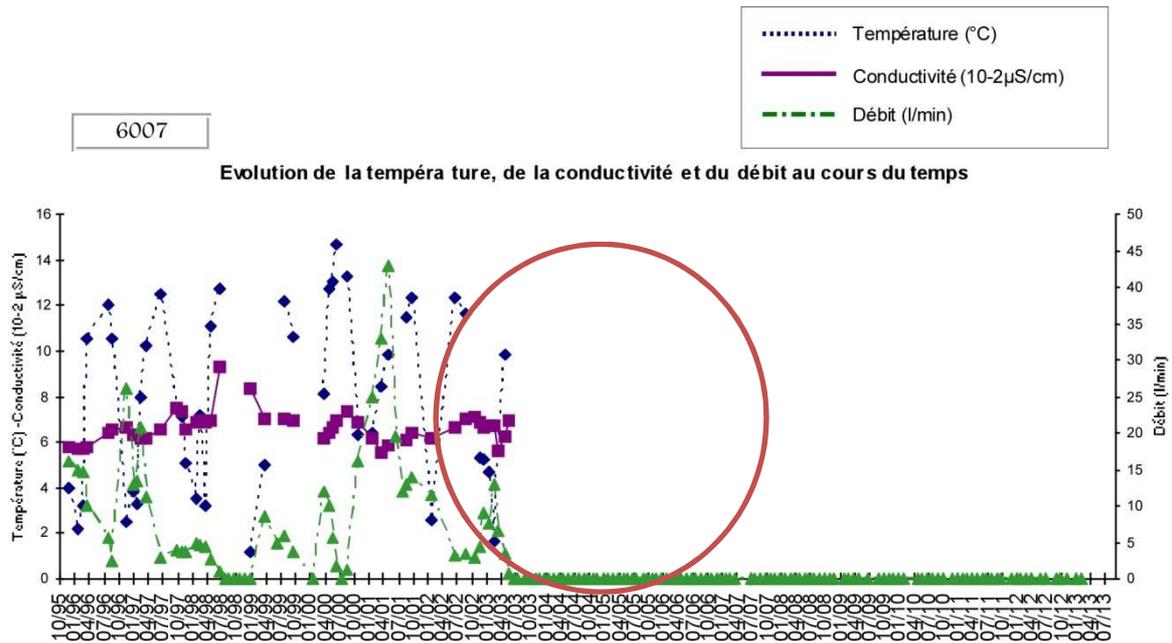


Figure 21 – Synthèse des données de suivi de la Source aménagée de l'Envers (point n. 6007). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

On note un assèchement en Juin-Juillet 2003, qui peut être corrélé avec les venues d'eau enregistrées en galerie lors de l'excavation du tronçon du PM 630 au PM 663 (juin-août 2003). Le système de flux intercepté est vraisemblablement celui situé aux abords de la zone de contact quartzites/cagneules rencontrée au PM 650 environ.

Le graphique ci-dessous donne l'évolution du débit au portail et au débitmètre installé au PM 400 en fonction de l'avancement de l'excavation.

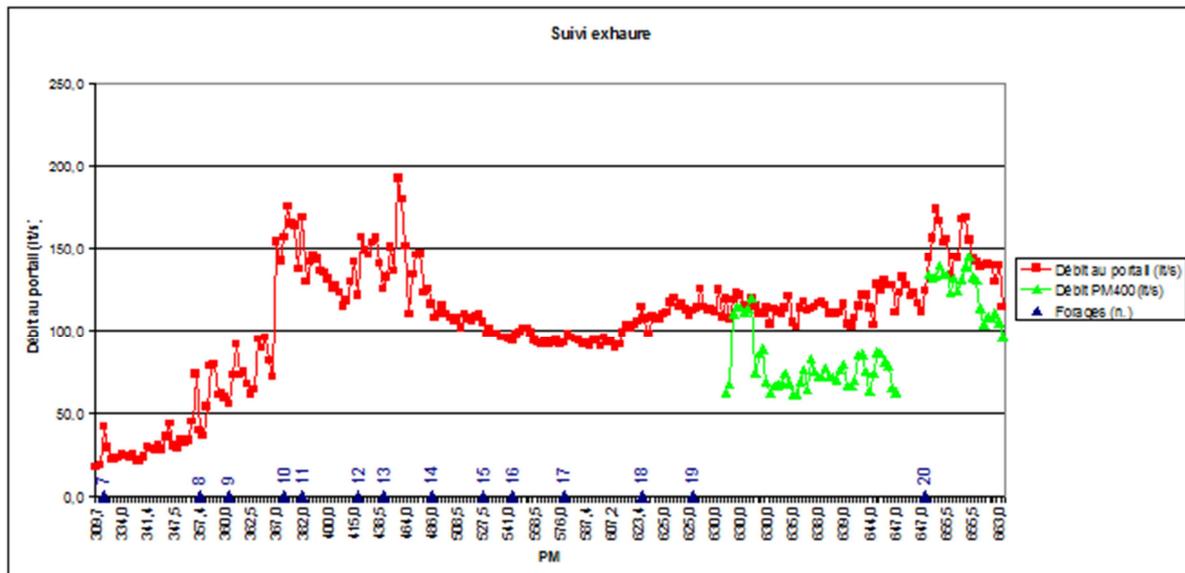


Figure 22 – Diagramme récapitulatif des débits cumulés mesurés dans le caniveau situé à proximité du portail et au PM 400

Les ouvrages compensatoires prévus et les sources d'approvisionnement alternatives retenues sont donc confirmés. Par conséquent, dans cette phase du projet, la probabilité d'impact n'a pas été évaluée.

Point d'eau n. 322

L'évaluation de l'impact sur le captage AEP de Plan d'Aval Nord (point n. 322) effectuée en APR prévoyait une probabilité de faible à modérée (DHI = 2) liée aux travaux de la descenderie. Vis-à-vis du TdB, la probabilité de cet impact se situait entre très faible et nulle. Or, la source a été complètement asséchée durant la période de l'excavation de la descenderie, (Figure 23).

On note que la diminution du débit s'est produite à partir de août-novembre 2003. Cette période correspond à l'excavation de la descenderie entre les PM 663 et 767. Dans ce tronçon des venues d'eau ponctuelles et diffuses ont été enregistrées, au niveau de l'excavation des niveaux de cargneules intercalés avec les quartzites et les micaschistes.

Les ouvrages compensatoires prévus et les sources d'approvisionnement alternatives retenues sont donc confirmés. Par conséquent, dans cette phase du projet, la probabilité d'impact n'a pas été évaluée.

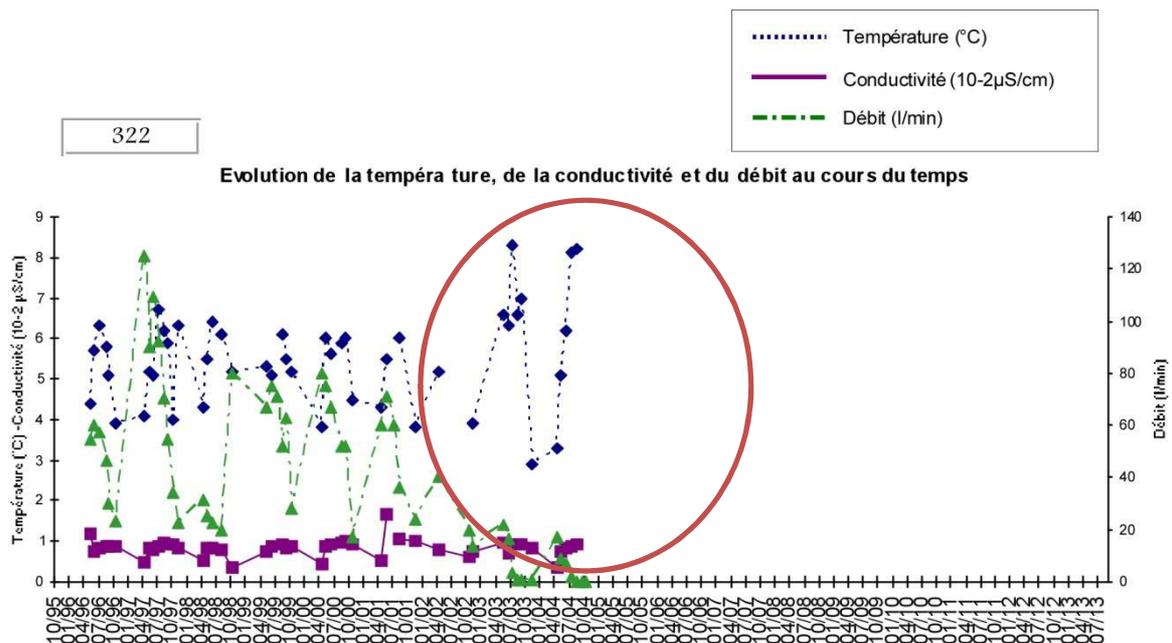


Figure 23 – Synthèse des données de suivi du Captage AEP de Plan d'Aval Nord (point n. 322). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

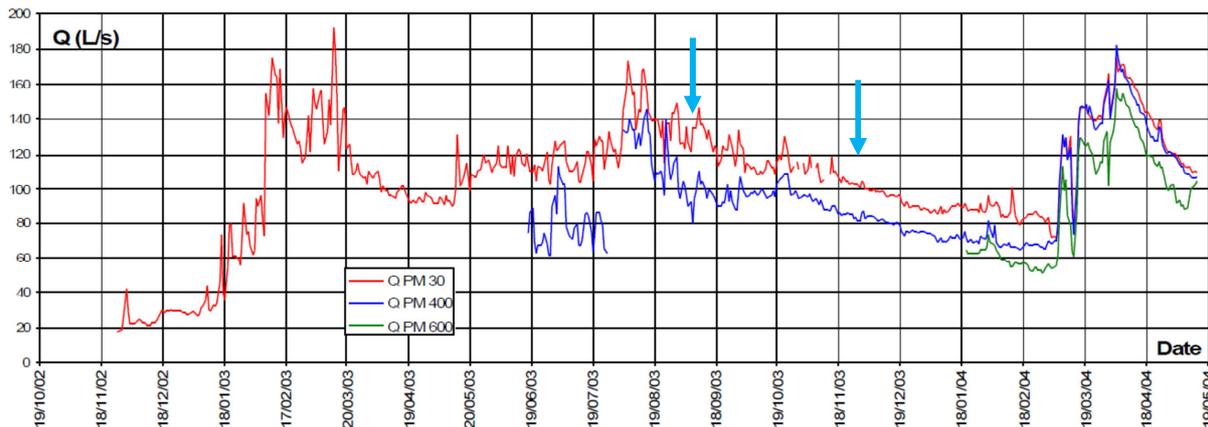


Figure 24 – Chroniques de débit enregistrées aux trois sections de jaugeage de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane. Les flèches bleues indiquent approximativement les dates de début et de fin des travaux d'excavation entre les PM 663 et 767

Points d'eau n. 277,1-277,2-277,3

Les points d'eau 277,1, 277,2 et 277,3 (Captage des Avenières) ont été classés à risque faible – nul dans l'étude de l'APR. Toutefois, les données du suivi LTF indiquent que les sources ont été légèrement perturbées (pour 277,1 de manière moins évidente) (Figure 25, Figure 26, Figure 27).

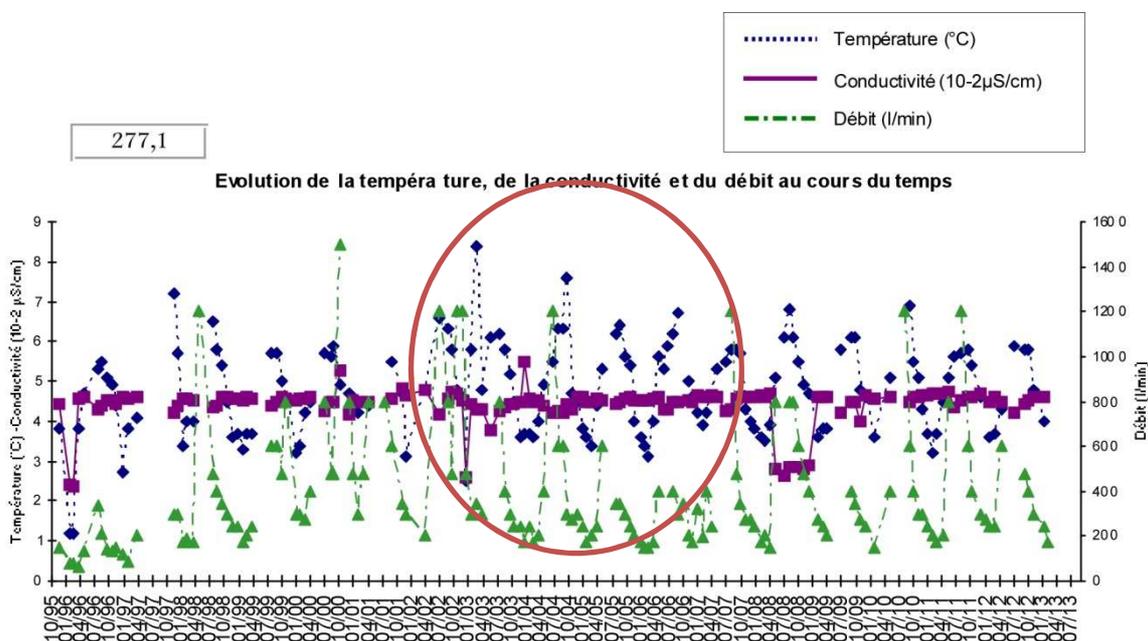


Figure 25 – Synthèse des données de suivi de la source 277,1 (Captage des Avenières - arr. de gauche). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

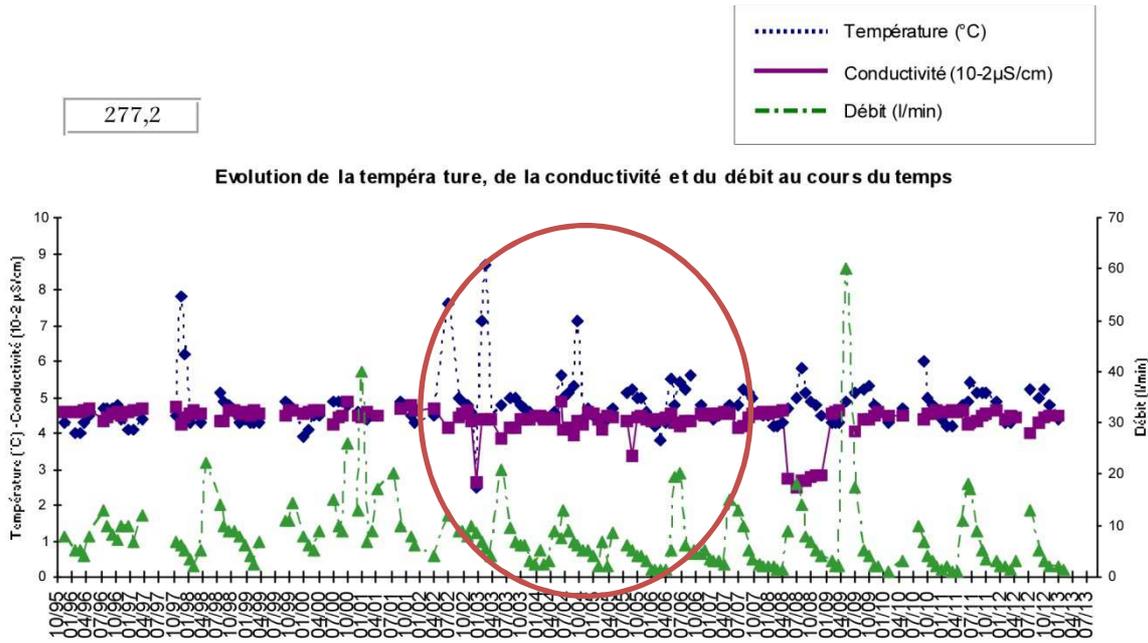


Figure 26 – Synthèse des données de suivi de la source 277,2 (Captage des Avenières - arr. du milieu). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

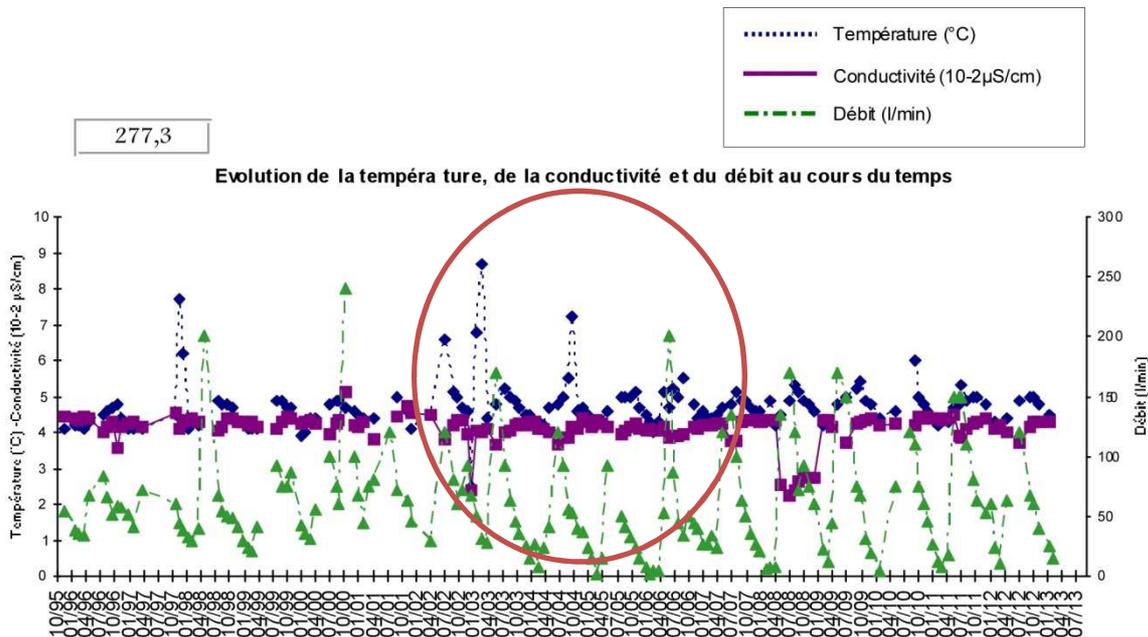


Figure 27 – Synthèse des données de suivi de la source 277,3 (Captage des Avenières - arr. de droite). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

Des travaux de maintenance effectués sur les captages auraient pu perturber le flux d'eau, mais ils ont en fait été réalisés au cours de l'été 1997, soit bien avant la diminution de débit enregistrée à partir du juillet-août 2003. Toutefois, durant cette période, le creusement de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane concernait le secteur des cagneules interceptées à partir du PM 600 environ (Figure 28), accompagné d'une augmentation des débits en galerie comme cela a été enregistré par les capteurs installés aux PM 30 et 400. Enfin, les éléments

disponibles montrent que les eaux des sources 277 ont une origine mixte (CE moyenne de 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$: cf. Figure 25, Figure 26, Figure 27).

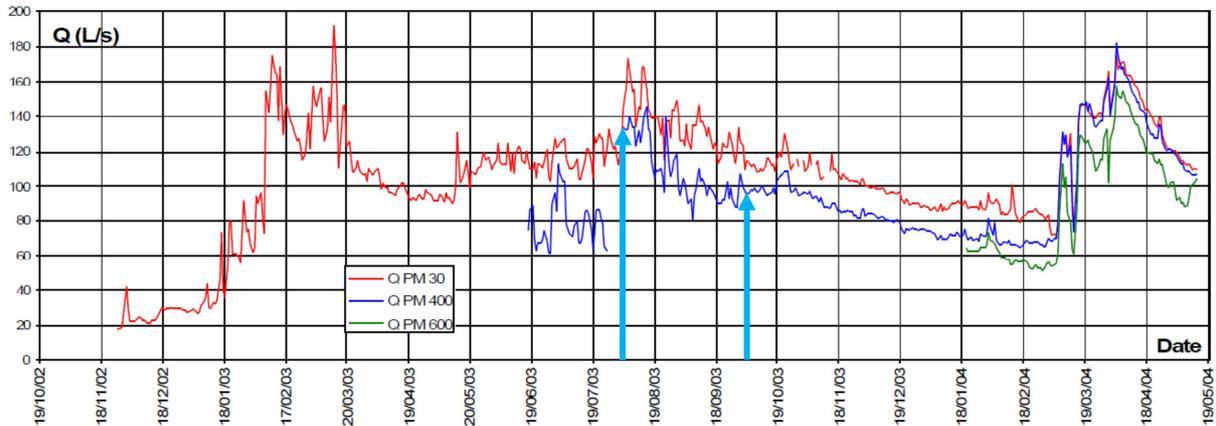


Figure 28 – Chroniques de débit enregistrées aux trois sections de jaugeage de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane. Les flèches bleues indiquent approximativement les dates de début et de fin des travaux d'excavation dans les niveaux de cargneules

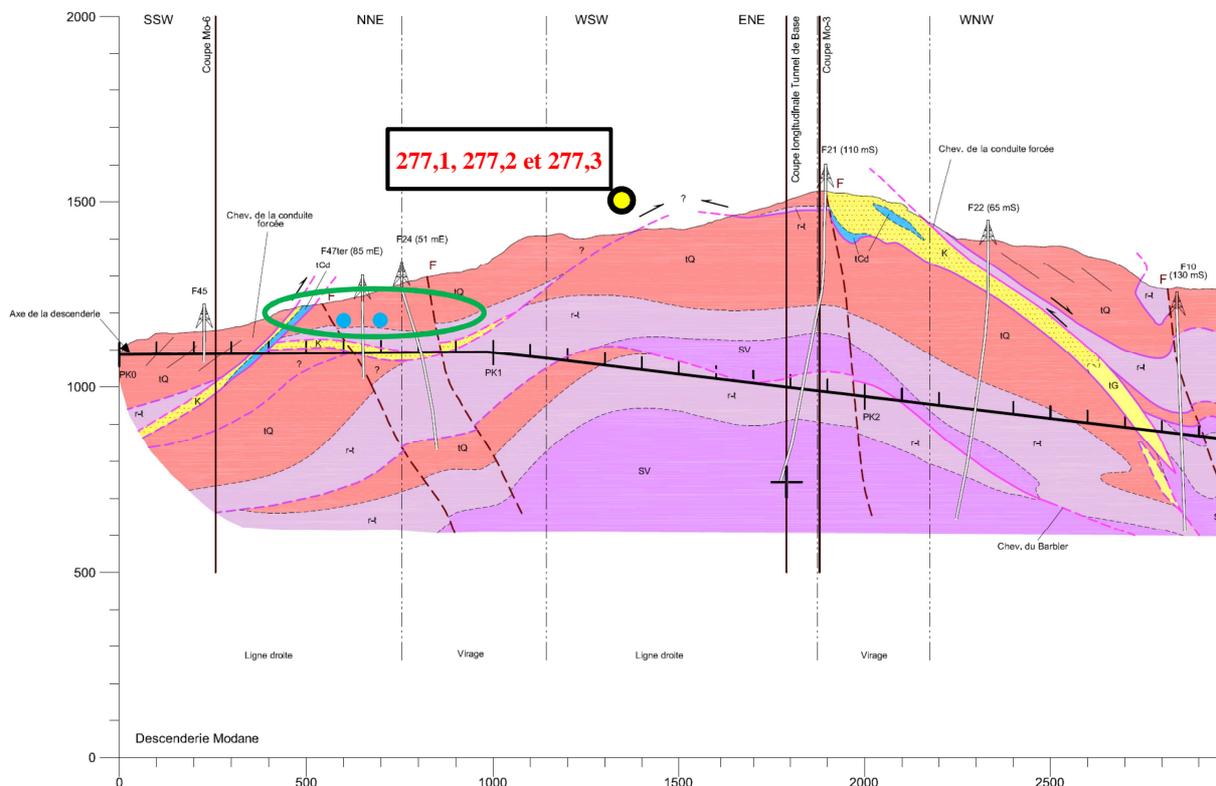


Figure 29 – Extrait de la coupe géologique de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane avec la projection approximative des sources 277,1, 277,2 et 277,3 sur l'axe de la descenderie. Les niveaux de cargneules sont en jaune (K). La section dans laquelle on a enregistré le plus de venues d'eau (environ du PM 600 au PM 700) est indiquée par les points bleus. L'ellipse verte indique la présence en profondeur, à la cote de l'ouvrage principal, d'anhydrites étanches (tG)

Il nous semble donc qu'une liaison entre le circuit d'alimentation des sources 277 et les venues d'eau enregistrées pendant le creusement de la descenderie est probable. Toutefois, une interaction entre les écoulements à l'intérieur des niveaux de cargneules et le creusement du tunnel de base est peu probable, mais non exclue. En effet, en profondeur et à la cote de l'ouvrage principal, la descenderie a mis en évidence la présence d'anhydrites étanches et l'absence de venues d'eau.

A ce stade, et en mettant en relation la baisse de débit avec le creusement de la descenderie, on propose pour le tunnel de base un DHI de 2 (ou bien une probabilité d'impact faible).

3.2.2 Secteur de la descenderie de La Praz

POINTS D'EAU NON PERTURBES

Aucun point d'eau à remarquer car la classe de DHI évaluée dans l'APR a été directement confirmée.

POINTS D'EAU PERTURBES

Point d'eau n. 28

Le Captage du Villard ou du Champ de la Côte (point n. 28) a été perturbé par les travaux d'excavation de la descenderie de La Praz, avec une réduction évidente du débit (Figure 32). Ceci correspond à ce qui était prévu par l'étude APR qui avait assigné une probabilité d'impact de moyenne à élevée (DHI = 3). En ce qui concerne la probabilité d'impact attribuée pour l'excavation du Tunnel de Base, l'APR ne prévoyait aucun impact (DHI TdB).

N. point d'eau	Nom	DHI Total (APR)	DHI TdB (APR)
28	Captage du Villard	3	1

Tableau 11 – Degré de probabilité de tarissement des sources 28 (captage du Villard) en fonction du DHI définie dans l'APR

La synthèse des données acquises pendant le creusement de la descenderie de La Praz est fournie par le rapport d'expertise hydrogéologique DCO-ELP-EXP-0003-A « Expertise géologique et hydrogéologique – Rapport de synthèse - La Praz » rédigé par M. Dzikowski et G. Martinotti, daté du 9/1/2009. Les principales venues d'eau ont été rencontrées au début (PM 200-500), et ensuite vers la fin du virage (V7). Quand la galerie a intercepté les venues des PM 200-500, un abaissement rapide du niveau piézométrique des forages F70, F71 et F72bis est apparu, ainsi que des interférences sur la source S28. Le contexte hydrogéologique est fourni dans la coupe synthétique le long de la descenderie.

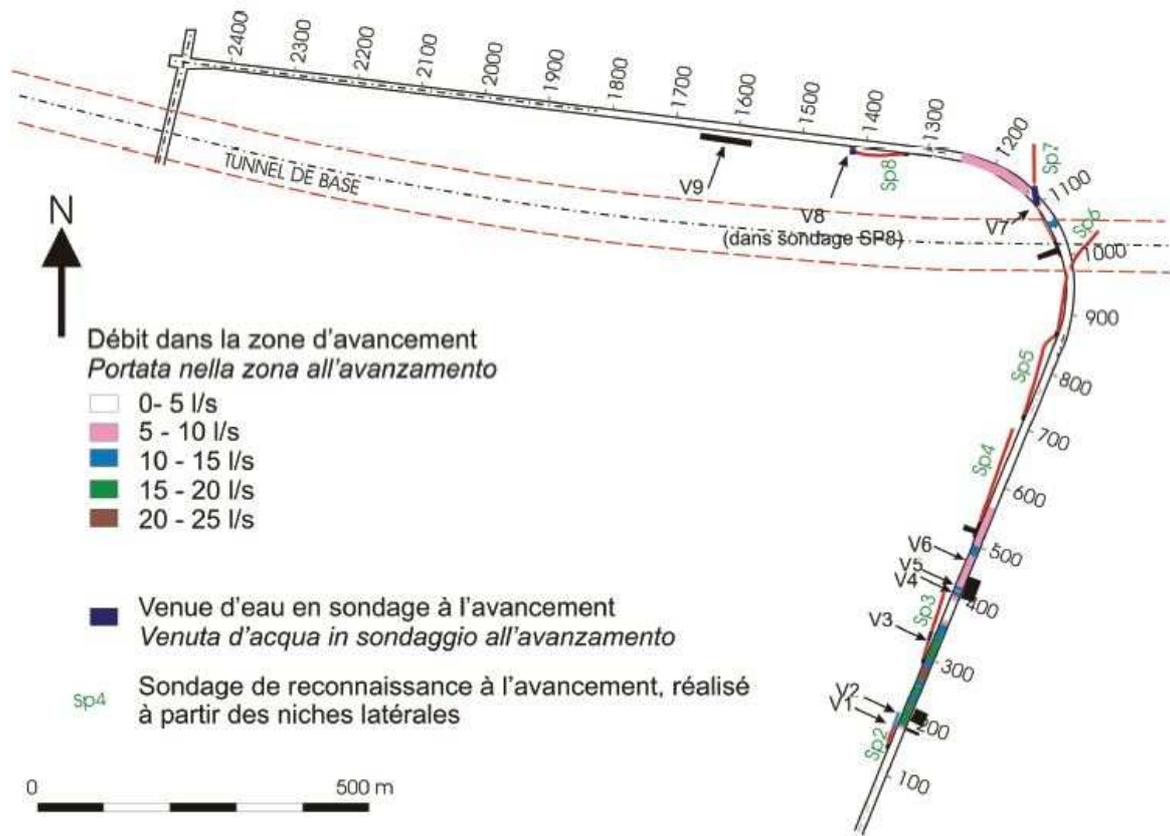


Figure 30 – Positionnement des venues (V) et sondages de reconnaissance (Sp) le long de la descendierie et gamme des débits observés à l'avancement dans la zone des 40 m du front (document DEP - LTF). Les données se réfèrent au secteur entre les PM 0 et 1855.

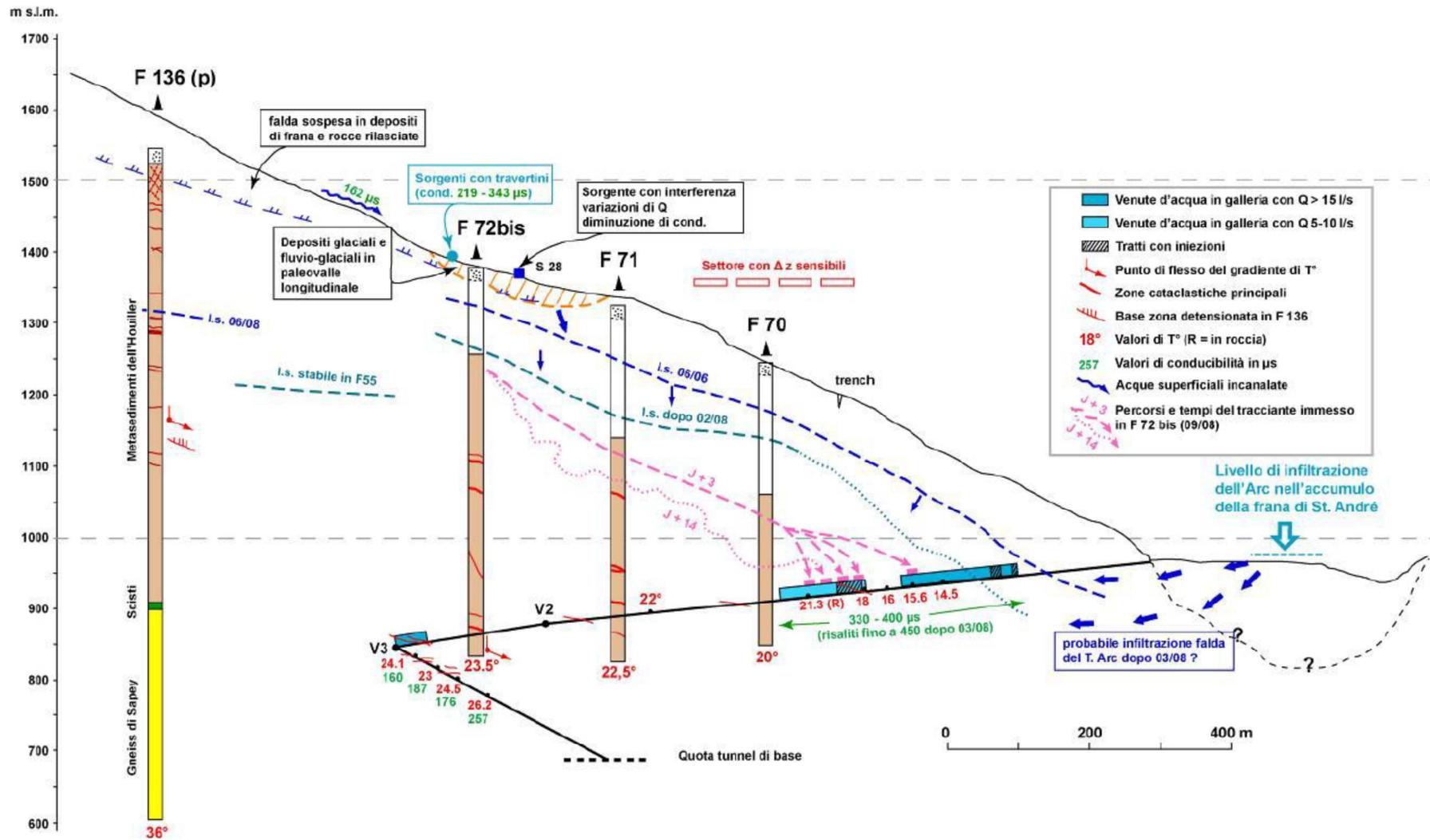


Figure 31 – . Coupe synthétique des éléments géologiques et hydrogéologiques le long de la descendierie

L'interférence a été notée durant l'excavation des formations de la zone Briançonnaise (Houiller), qui ont caractérisé la descenderie entière. En profondeur, la descenderie a été excavée dans les lithologies du Houiller gréseux, avec des perméabilités allant de faible à moyenne. La probabilité d'impact en rapport avec l'excavation du tunnel de base reste donc, pour ce point, basse (DHI = 1).

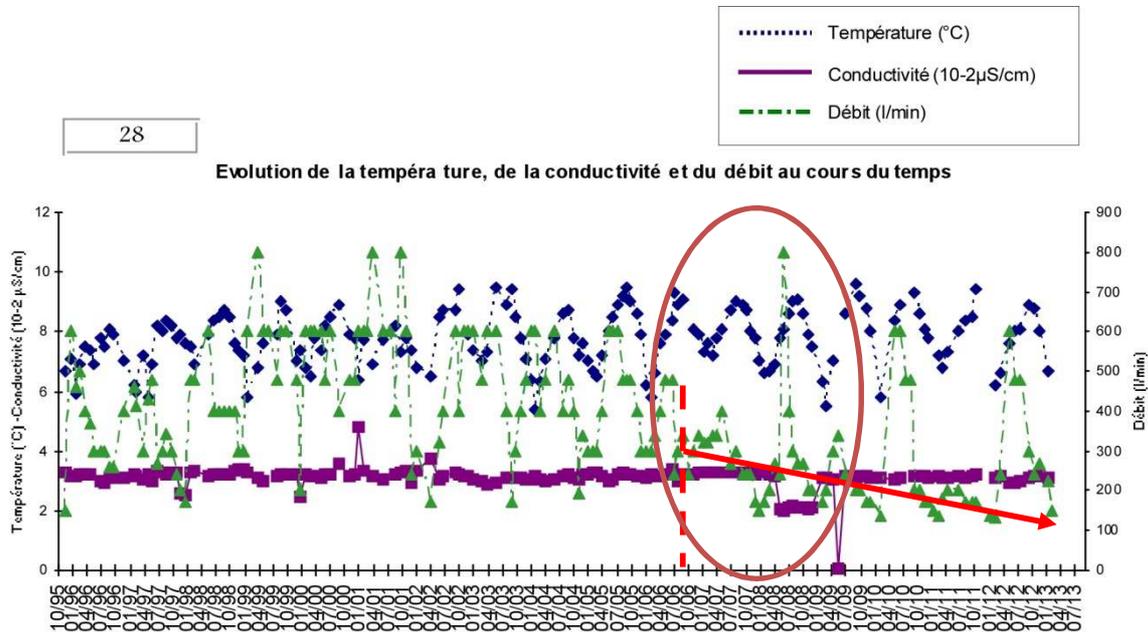


Figure 32 – Synthèse des données de suivi du Captage du Villard ou du Champ de la Côte (point n. 28). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

On note que la diminution de débit a été constatée durant la période juillet-août 2006. Elle peut donc être corrélée avec les venues d'eau enregistrées en galerie lors de l'excavation du tronçon du PM 400 au PM 410 environ (juillet-août 2006) (Figure 33).

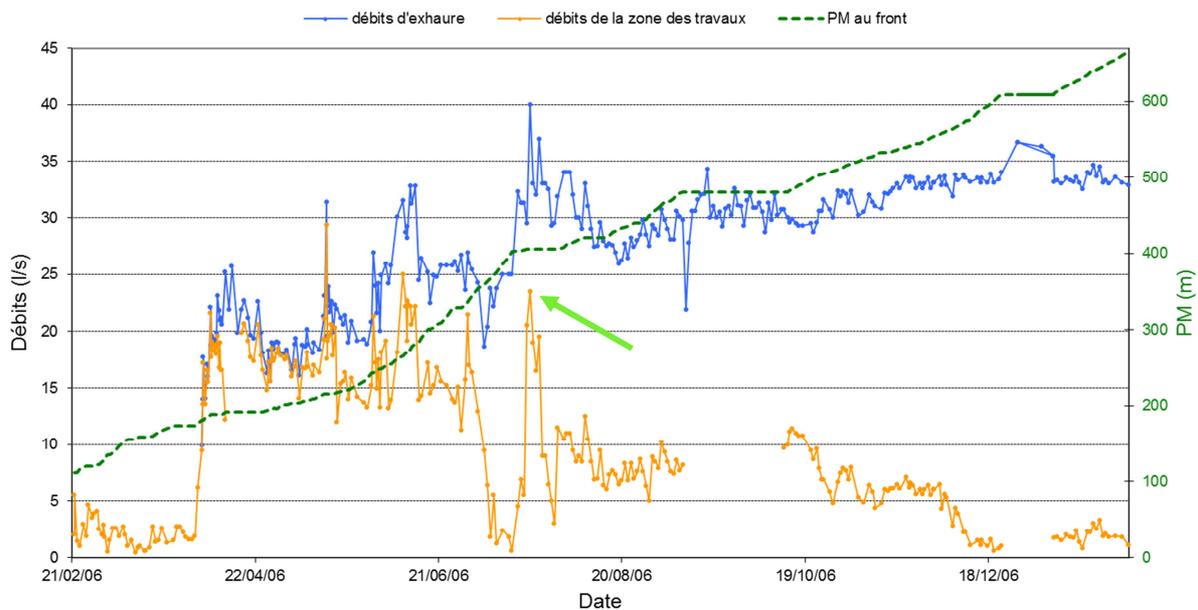


Figure 33 – Chroniques de débits enregistrés dans la descenderie de La Praz. La flèche verte indique le pic de débit de juillet-août 2006

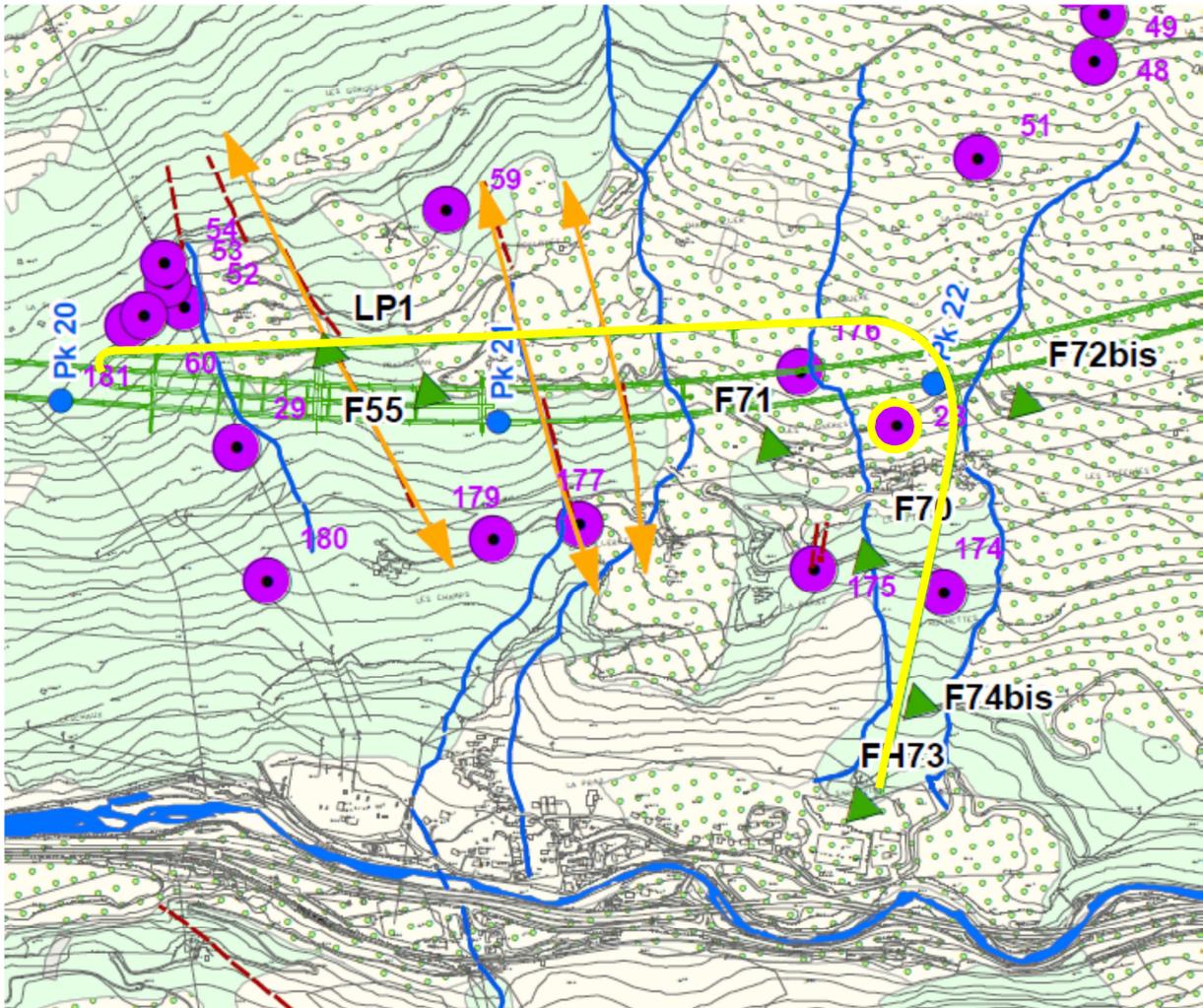


Figure 34 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation du Captage du Villard ou du Champ de la Côte (point n. 28). Le point encerclé en jaune indique le point d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de La Praz. Une légende complète est reportée sur la Figure 3

3.2.3 Secteur de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte

Comme anticipé dans le paragraphe 1 (Introduction), la partie 3a de la descenderie de SMLP, excavée dès début 2015 (cf Figure 35), peut impacter des points d'eau déjà affectés par les travaux d'excavation de la galerie de SMLP. Il a donc été vérifié pour certains points critiques avec les données actualisées à disposition, l'évolution et la tendance du régime hydraulique de ces points.

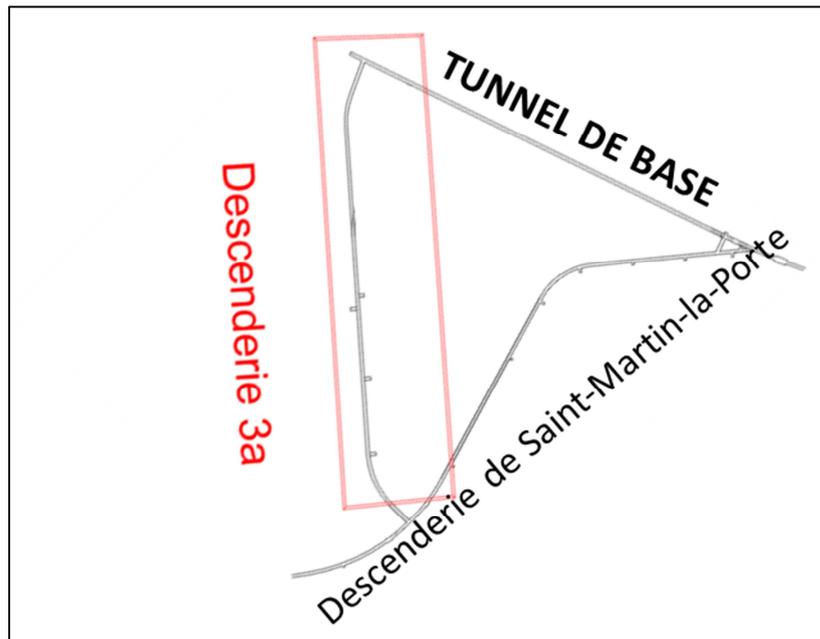


Figure 35 – Schéma de localisation de la partie 3a de la descenderie de SMLP.

Les points d'eau concernant le secteur de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte sont donnés dans le tableau suivant. Les classes de risque d'impact DHI prévues dans l'APR pour ces sources vis-à-vis de l'excavation de la descenderie et du Tunnel de Base sont également indiquées.

N. point d'eau	Nom	DHI Total (APR)	DHI TdB (APR)
316	Captage amont de Fontaine Froide	2	1
318	Captage de la Saussaz	1	1
2002	Source La Porte	4	3
2015	Ruisseau 1 de la Forêt de Beaune	4	4
2016	Ruisseau 2 de la Forêt de Beaune	4	4
3004	Captage de Pré Garin	3	1
3011	Captage de Villard Bernon	4	1
3016	Captage de la galerie de Pré Mollard	4	1
3017	Captage Milla	4	1
3022	Source aménagée de l'Etraz ouest gauche	3	1
3023	Source aménagée de l'Etraz ouest droite	3	1
3025	Source du lavoir bas de l'Etraz	3	1
3031	Source du Lavoir de Le Chêne	3	3
3043	Captage du Thyl dessus	3	1
2005,1	Captage de Bordeaux - La Planchette arr G	2	1
2005,2	Captage de Bordeaux - La Planchette arr D	2	1
2006,1	Captage de Charbutan - RATEL E source	2	2
3005,1	Captage de Beaune: arr. de gauche	3	2
3005,2	Captage de Beaune: arr. de droite	3	2
3012,1	Captage de Teppes: arr. de gauche	3	1

N. point d'eau	Nom	DHI Total (APR)	DHI TdB (APR)
3012,2	Captage de Teppes: arr. de droite	3	1
3018,1	Captage des Fortunes/ arr.<G	3	1
3041,1	Source am. lav. du Thyl (Dessus):2 griffons	3	1
6-D		1	1
6-D0		1	1

Tableau 12 – Degré de probabilité de tarissement des sources du secteur de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte en fonction du DHI défini dans l'APR

POINTS D'EAU NON PERTURBES

Point d'eau n. 2002

La série des données du suivi de la source aménagée de La Porte (point n. 2002) s'interrompt entre janvier 2005 et décembre 2012, et aucune donnée n'existe pour 2013 sauf un mesure à la fin de l'année. En suite le suivi reprends dans la période 2014-2016.

Les études APR attribué une probabilité d'impact de modérée à forte (DHI = 4). La réévaluation de la probabilité de risque liée à l'excavation du tunnel de base attribue une valeur de la classe de DHI égale à 3 (risque modéré à fort). Cette même évaluation est appliquée à l'analyse réalisée pour l'excavation de la "partie 3a" de connexion entre la descenderie et le tunnel de base du lot SMP4.

A partir de l'analyse des données disponibles (Figure 36) il semble que la source n'ait pas subi de perturbations suite à l'excavation de la descenderie SMLP. La Figure 37 montre les données dans la période 2014-2016 avec, en évidence, la période de creusement de la partie 3a. Le débit évidence un décroissance en passant de 6 l/min (début 2013) à 4 l/min (début 2016), mais les valeurs du débit de janvier 2015 et janvier 2016 sont similaires. Il faudra attendre un cycle de mesure en plus pour bien comprendre s'il y a eu interférence entre l'excavation et la source 2002. Donc, il nous semble correcte continuer dans l'attribution du risque "modéré à fort" (DHI = 3) pour la source 2002.

La source a une alimentation de type mixte, à la fois par les circuits dans les dépôts superficiels et dans les roches évaporitiques qui affleurent largement le long du versant où se situe la source. Ce dernier circuit en milieu fracturé pourrait s'approfondir jusqu'à intercepter le tracé du TdB, ce qui représente donc une cause d'impact potentiel sur la source. Ce tronçon de la section est la partie 3a, prévu à l'intérieur des roches carbonatées subbriançonnaises. Toutefois, on ne peut pas exclure la présence de zones de fracturation/karsts qui mettraient en communication hydraulique le tracé avec l'aquifère des roches évaporitiques, mais les données aujourd'hui disponibles (levés du front d'excavation de la partie 3a avancé à la PM 1237 à la fin du mois de Juin 2016) n'indiquent pas la présence de zones karstiques particulièrement étendue à la cote du tunnel de base.

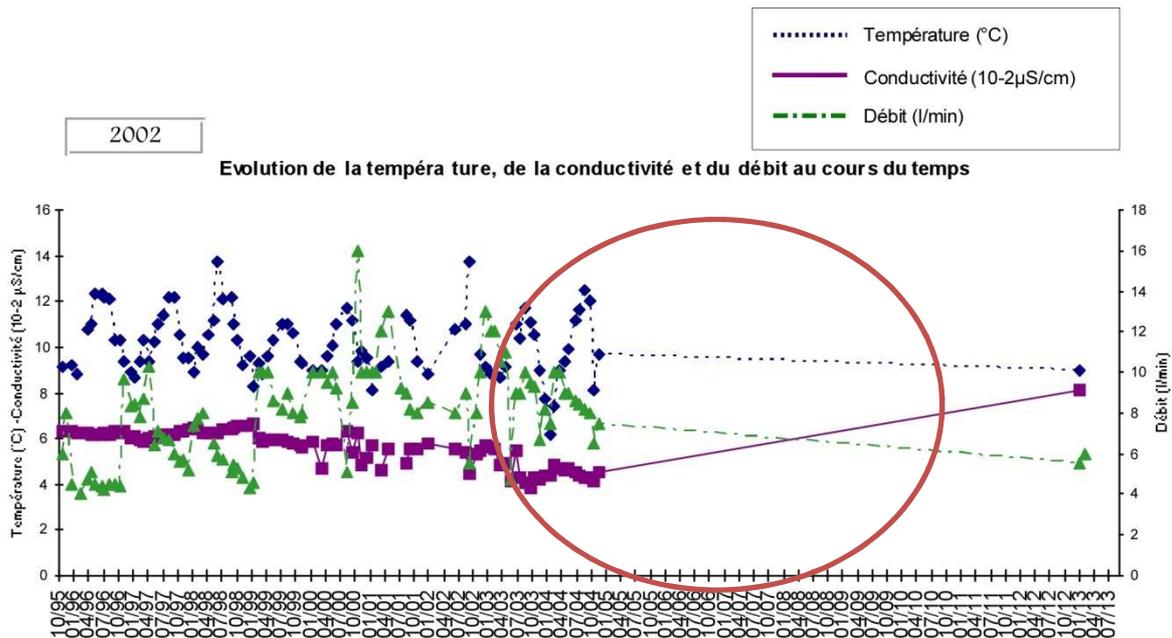


Figure 36 – Synthèse des données de suivi de la Source aménagée de la Porte (point n. 2002). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

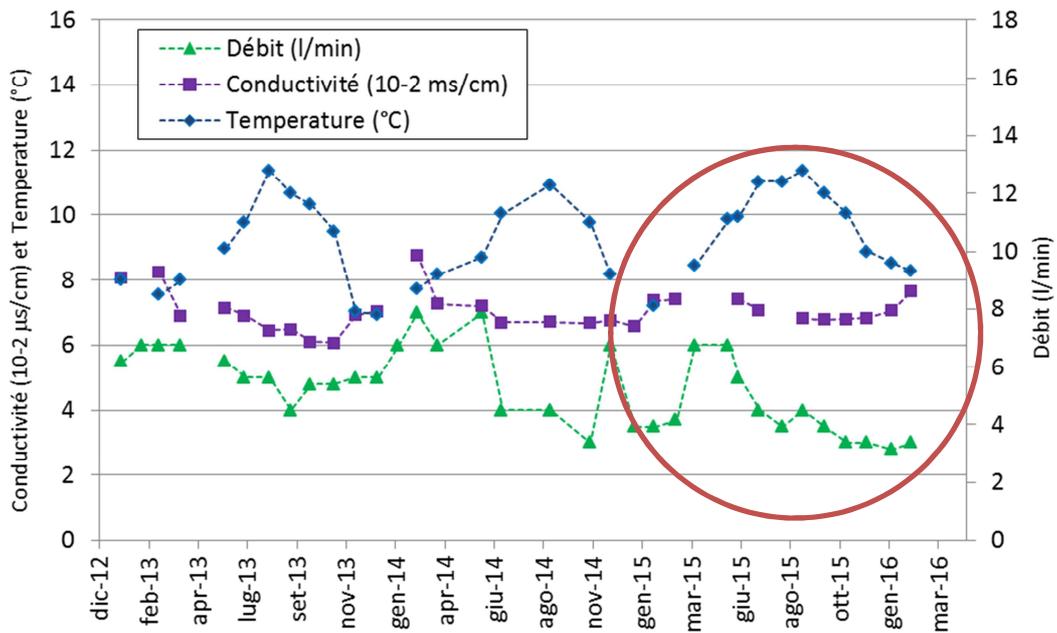


Figure 37 – Suivi de la Source aménagée de la Porte (point n. 2002), période 2014-2016. La période du creusement de la descenderie 3a est reportée par l'ellipse rouge

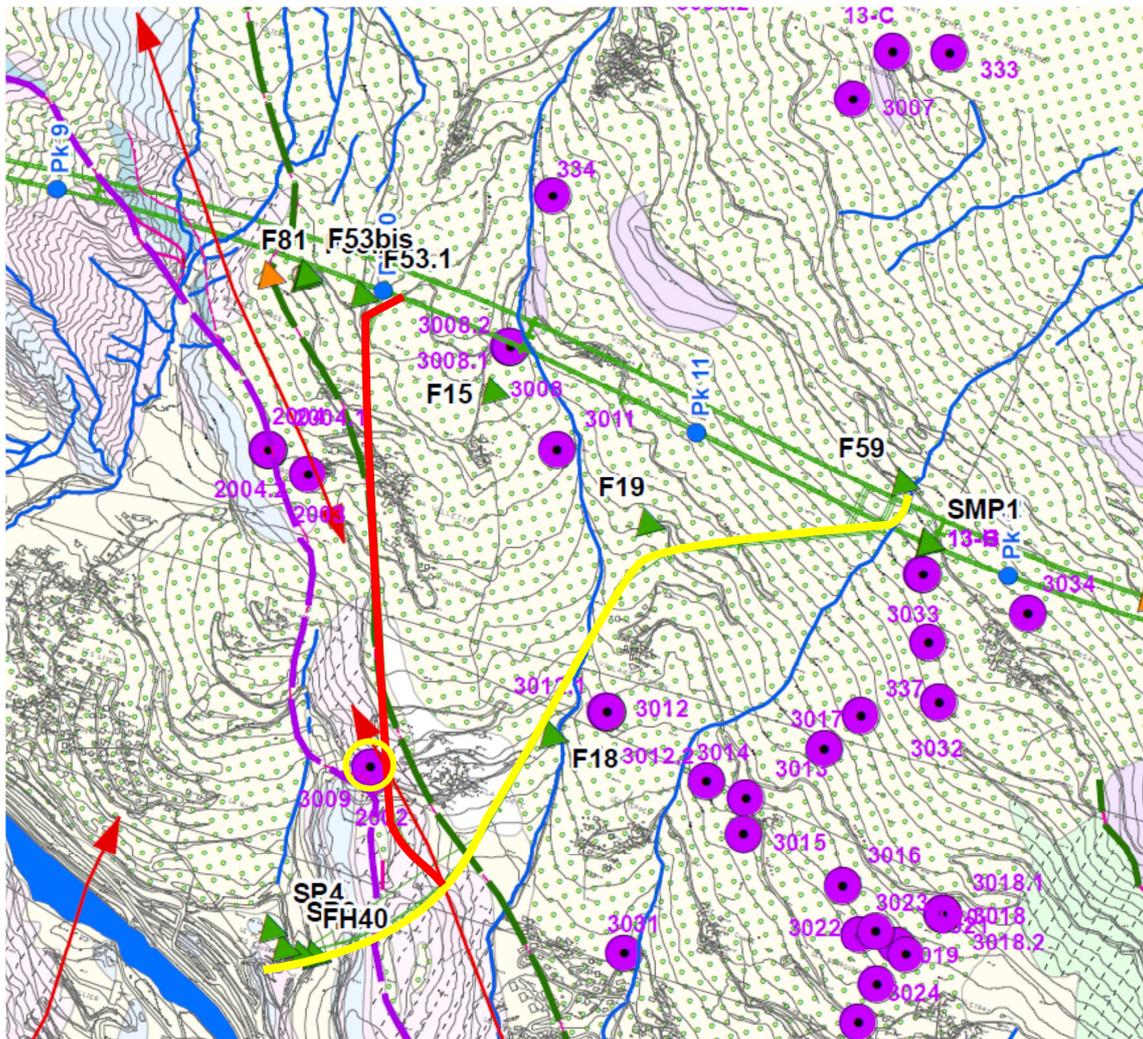


Figure 38 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation de la Source aménagée de la Porte (point n. 2002). Le point cerclé en jaune indique le point d'eau, la ligne jaune, le tracé de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte et la ligne rouge le tracé de la partie 3a de connexion entre la descenderie et le tunnel de base du lot SMP4. Une légende complète est reportée sur la Figure 3

Points d'eau n. 2015-2016

Aucun impact n'a été enregistré lors du suivi des Ruisseaux 1 et 2 de la Forêt de Beaune, alimentés respectivement par les sources « point n. 2015 » et « point n. 2016 » (Figure 39). Les analyses de l'APR, toutefois, avaient attribué à ces points une probabilité d'impact allant de modérée à forte (DHI = 4).

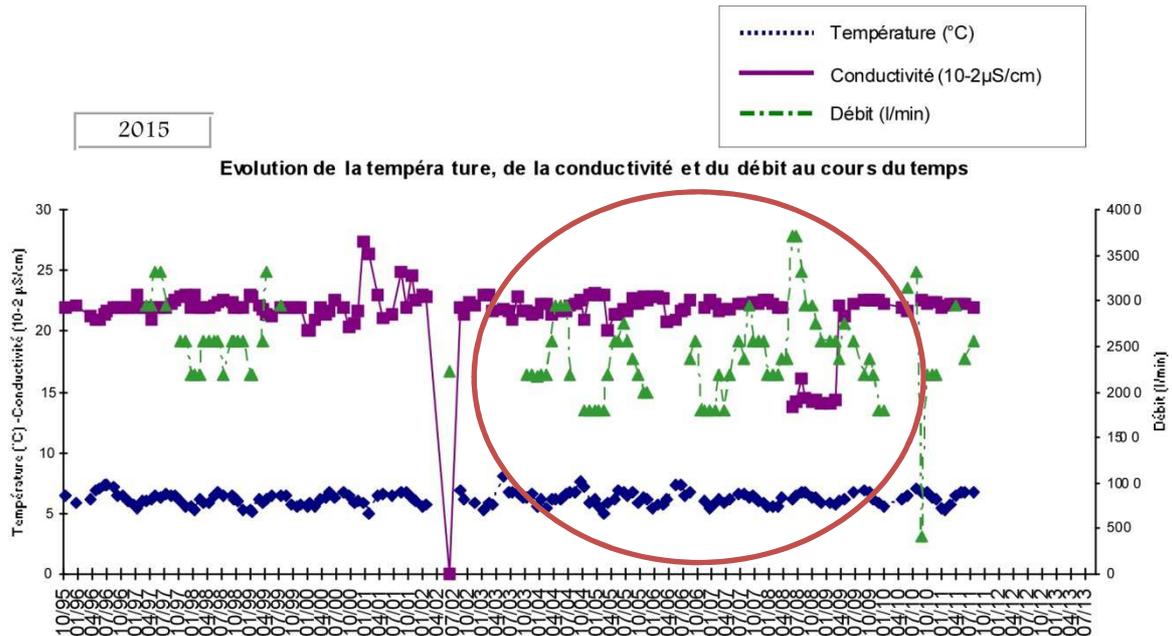


Figure 39 – Synthèse des données de suivi du Ruisseau 1 de la Forêt de Beaune, alimenté par une source (point n. 2015). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

L'auscultation des paramètres hydrauliques (débit, température et conductibilité de l'eau) est cessé au début de 2013 suite à la impossibilité de rejoindre le point (note "*accès impossible plus de pont*" dans le fiche d'auscultation mensuel).

Toutefois, même si à ce stade le risque pour le TdB de traverser un conduit karstique ne peut être totalement écarté, il reste limité. Sous de plus faibles couvertures, et donc dans une situation plus propice à la présence de karsts, la descenderie de Saint-Martin-La-Porte n'en a traversé aucun, et les spéléologues de la région n'ont encore jamais trouvé de karst descendant à la cote du tunnel de base.

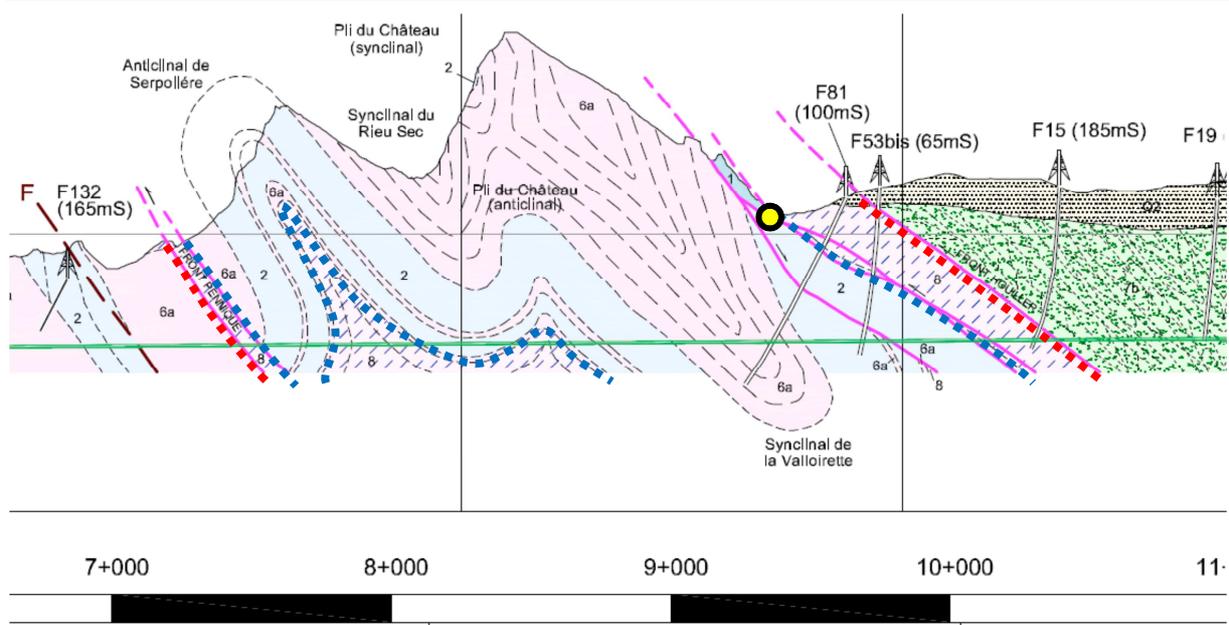


Figure 40 – Extrait de la coupe hydrogéologique avec la projection des sources 2015 et 2016 sur l’axe du Tunnel de Base. Les lignes pointillées rouges identifient les limites étanches représentées par les schistes de la Zone Houillère à l’est du Front Houiller et par les flysch de la Zone Ultra-dauphinoise à l’ouest de la Zone Subbriançonnaise. La ligne pointillée bleue identifie la limite d’échanges hydrogéologiques entre le Front Houiller, le Front Pennique et les calcaires et dolomies de la Zone Subbriançonnaise.

L’analyse des venues d’eau en galerie effectuée montre que les débits attendus le long du tronçon des anhydrites du Front du Houiller sont de l’ordre de 0.5 à 3 l/s. Toutefois, dans le cas d’une venue ponctuelle en présence d’un réseau karstique développé à la cote du tunnel de base, un débit de 25 l/s résiduel devrait être affecté à ce tronçon. Ceci doit être mis en relation avec les 190 l/s (650 m³/h) observés en moyenne sur les sources de la forêt de Beaune (points 2015 et 2016), ces sources représentant entre 50 % et 95 % du débit du ruisseau du Saint-Bernard.

En outre, l’évaluation d’un débit résiduel de 25 l/s est le résultat de l’influence du creusement sur l’ensemble des aquifères du front du Houiller, et ne concerne donc pas uniquement les sources 2015 et 2016. Il est donc envisageable que, selon les conditions suggérées par les données disponibles en cours de révision, l’impact hydrogéologique du creusement du tunnel de base sur les sources du Ruisseau de Beaune se traduirait par une réduction très faible du débit du ruisseau et non par sa disparition.

Toutefois, à ce stade de révision des études nous ne pouvons exclure totalement la présence d’un réseau karstique développé au niveau du tunnel de base et en équilibre avec les sources. Ceci implique de mettre en œuvre les mesures adéquates d’auscultation et de prévention du risque lors du creusement, et de maintenir la probabilité d’impact de modérée à forte.

Enfin, un débit moyen de 190 l/s arrivant dans le tunnel de base au droit de ces sources est à éviter. Cela provoquerait des problèmes de gestion pendant et après le creusement. Dans ce but, des forages à l’avancement (sous SAS) sont prévus afin de vérifier la présence de karst, et si besoin de traiter le massif rocheux avant son creusement pour minimiser les débits en galerie et l’impact en surface.

Sur la base de ce qui a été dit précédemment, la réévaluation du DHI pour ces points d’eau indique une classe de probabilité d’impact de 3 (modéré à fort).

Points d'eau n. 3011-3016-3017-3022-3023-3025-3043

Les points d'eau 3011 (Captage de Villard Bernon), 3016 (Captage de la galerie de Pré Mollard), 3017 (Captage Milla), 3022 (Source aménagée de l'Etraz ouest gauche), 3023 (Source aménagée de l'Etraz ouest droite), 3025 (Source du lavoir bas de l'Etraz) et 3043 (Captage du Thyl dessus) n'ont pas été impactés par l'excavation de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Les classes de risque d'impact DHI prévues dans l'APR pour ces sources sont celles reportées dans le tableau suivant.

N. point d'eau	Nom	DHI Total (APR)	DHI TdB (APR)
3011	Captage de Villard Bernon	4	1
3016	Captage de la galerie de Pré Mollard	4	1
3017	Captage Milla	4	1
3022	Source aménagée de l'Etraz ouest gauche	3	1
3023	Source aménagée de l'Etraz ouest droite	3	1
3025	Source du lavoir bas de l'Etraz	3	1
3043	Captage du Thyl dessus	3	1

Tableau 13 – Degré de probabilité de tarissement des sources 3011 (Captage de Villard Bernon), 3016 (Captage de la galerie de Pré Mollard), 3017 (Captage Milla), 3022 (Source aménagée de l'Etraz Ouest gauche), 3023 (Source aménagée de l'Etraz Ouest droite), 3025 (Source du lavoir bas de l'Etraz) et 3043 (Captage du Thyl dessus) en fonction du DHI défini dans l'APR

Dans l'étude de l'APR sur les prévisions d'impact, ces points d'eau étaient déjà jugés à risque à cause d'une probable interaction entre l'excavation de la descenderie et les circuits hydriques qui les alimentent. Cette interaction n'a donc pas eu lieu.

L'excavation de la descenderie a en effet montré que les terrains des formations Houillères (hE et hBO), bien qu'ayant un degré de fracturation intense, ont un degré de perméabilité généralement bas, avec une absence de venues d'eau ou des débits très faibles. Les venues en galerie, non encore stabilisées, ont un débit qui ne dépasse pas 0.5 l/s chacune.

Sur la base de l'ensemble des observations, la probabilité d'impact des travaux d'excavation du tunnel de base sur ces sources apparait comme nulle à très basse (DHI = 1).

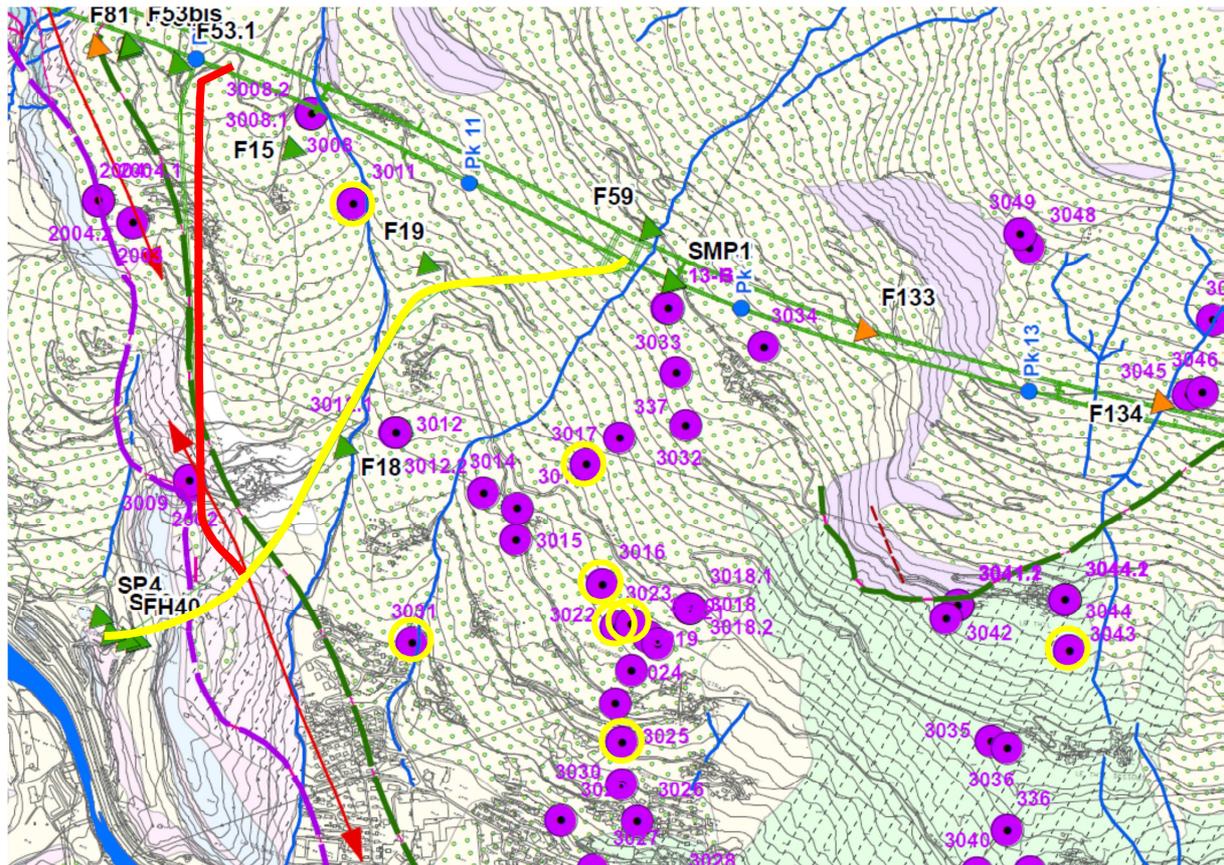


Figura 41 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 3011 (Captage de Villard Bernon), 3016 (Captage de la galerie de Pré Mollard), 3017 (Captage Milla), 3022 (Source aménagée de l'Etraz Ouest gauche), 3023 (Source aménagée de l'Etraz Ouest droite), 3025 (Source du lavoir bas de l'Etraz), 3031 (Source du Lavoir de Le Chêne) et 3043 (Captage du Thyl dessus). Les points cerclés en jaunes indiquent les points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Une légende complète est reportée sur la Figure 3

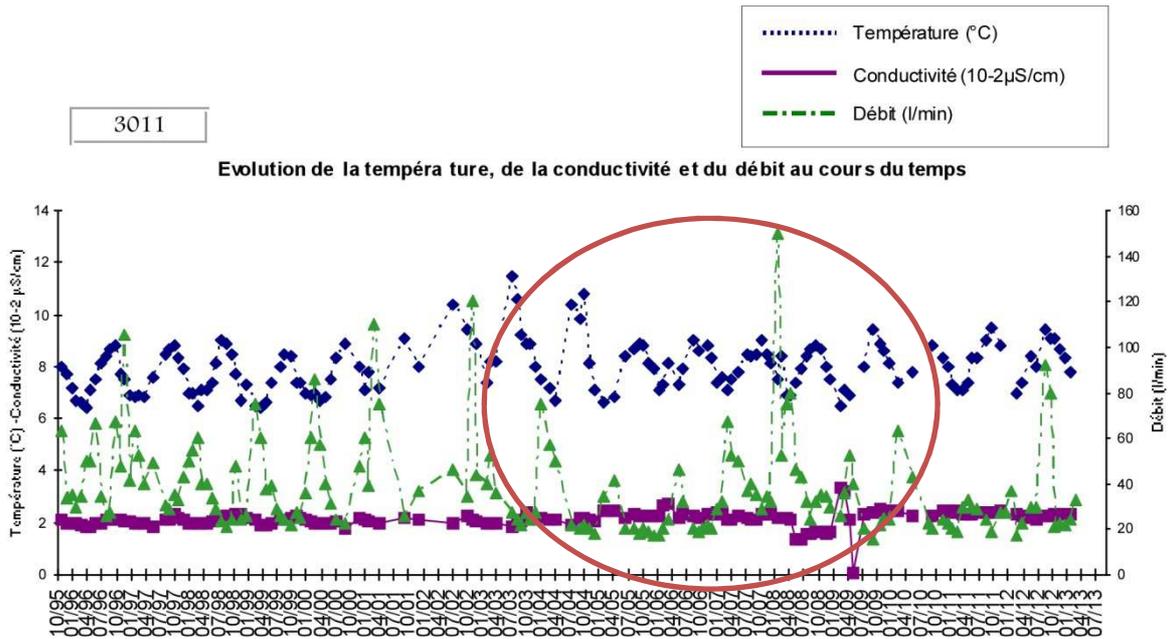


Figure 42 – Synthèse des données de suivi du point 3011 (Captage de Villard Bernon). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

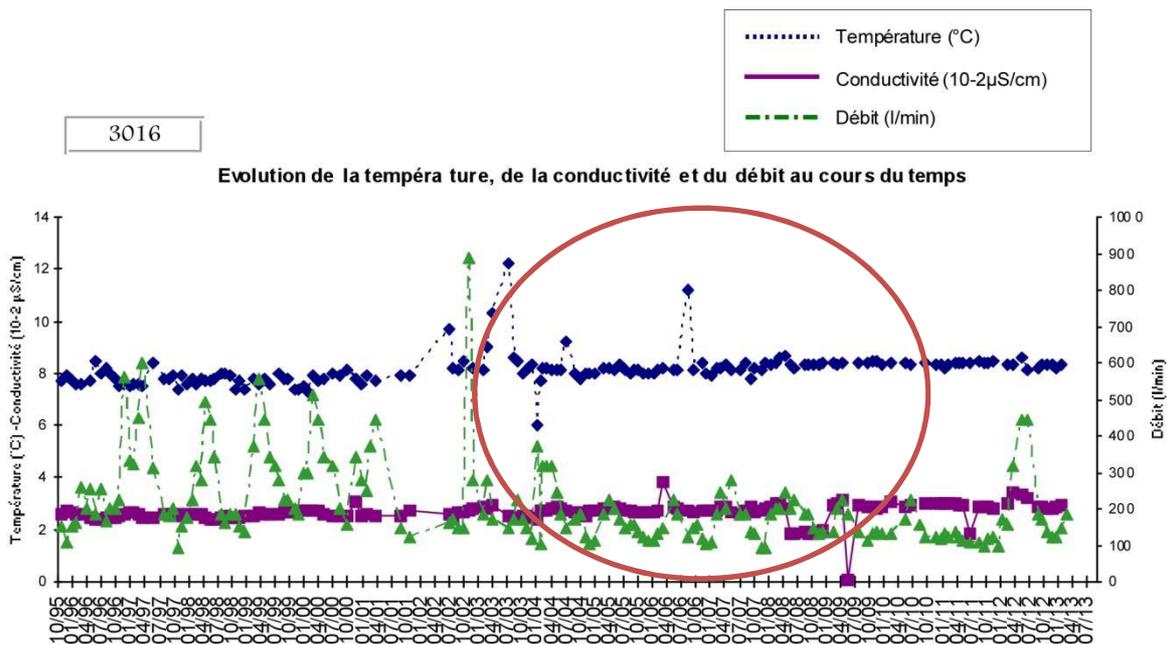


Figure 43 – Synthèse des données de suivi du point 3016 (Captage de la galerie de Pré Mollard). La période du creusement de la descenderie est reportée par l'ellipse rouge.

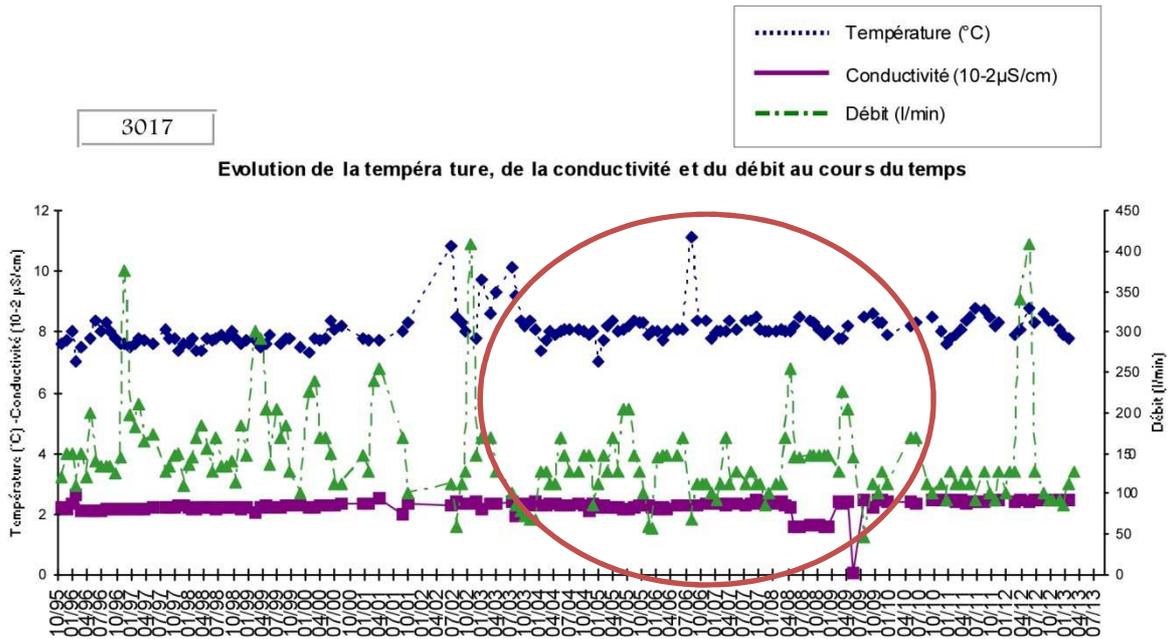


Figure 44 – Synthèse des données de suivi du point 3017 (Captage Milla). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

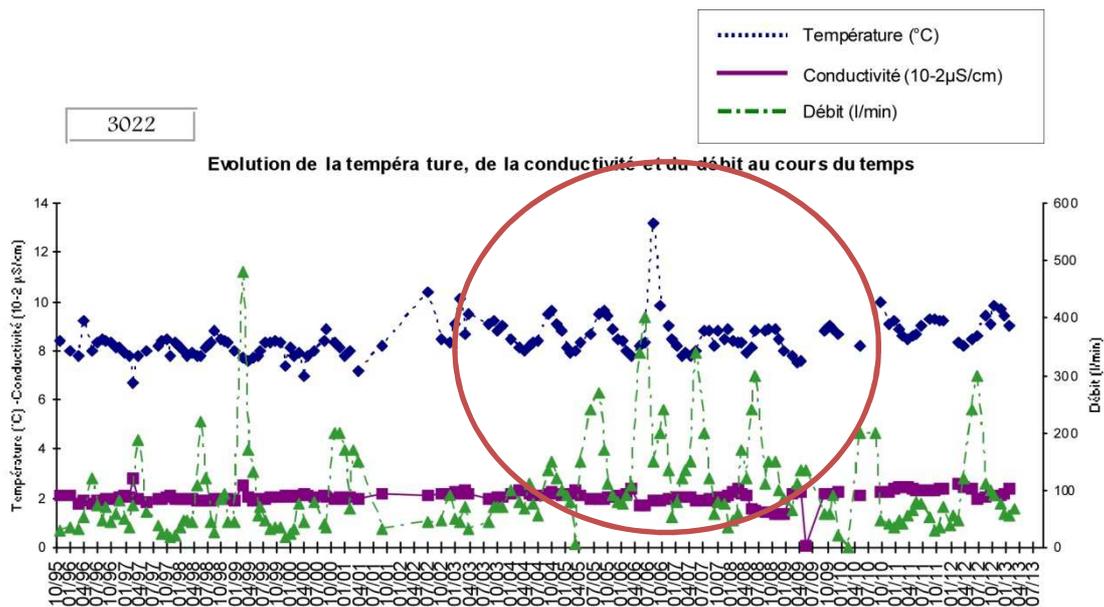


Figure 45 – Synthèse des données de suivi du point 3022 (Source aménagée de l'Etraz ouest gauche). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

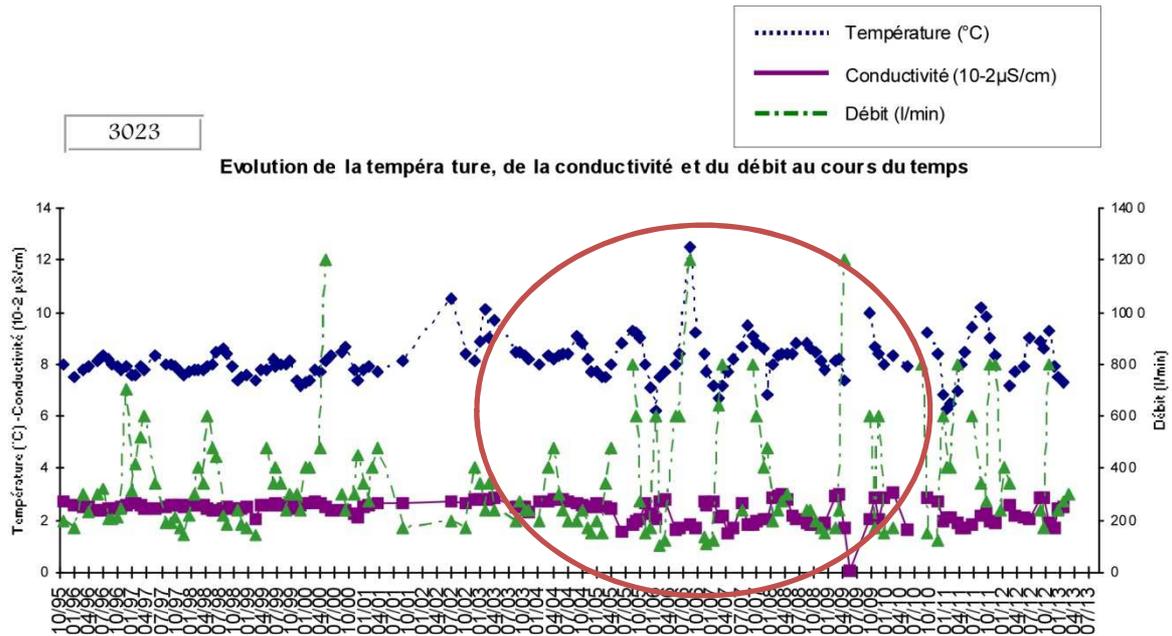


Figure 46 – Synthèse des données de suivi du point 3023 (Source aménagée de l'Etraz ouest droite). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

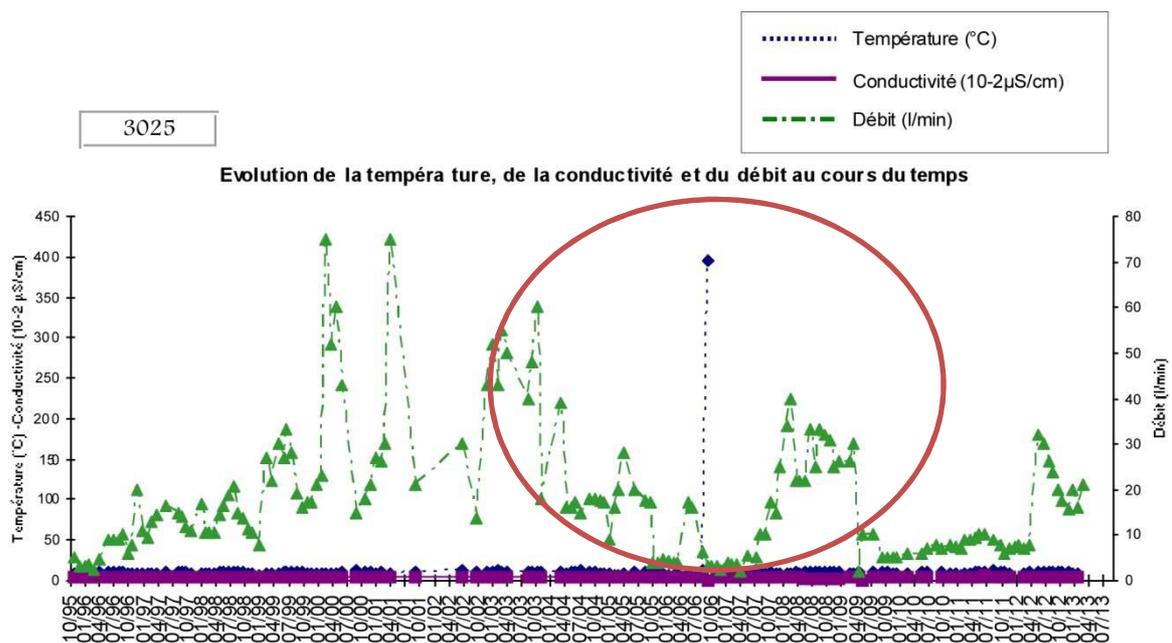


Figure 47 – Synthèse des données de suivi du point 3025 (Source du lavoir bas de l'Etraz). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

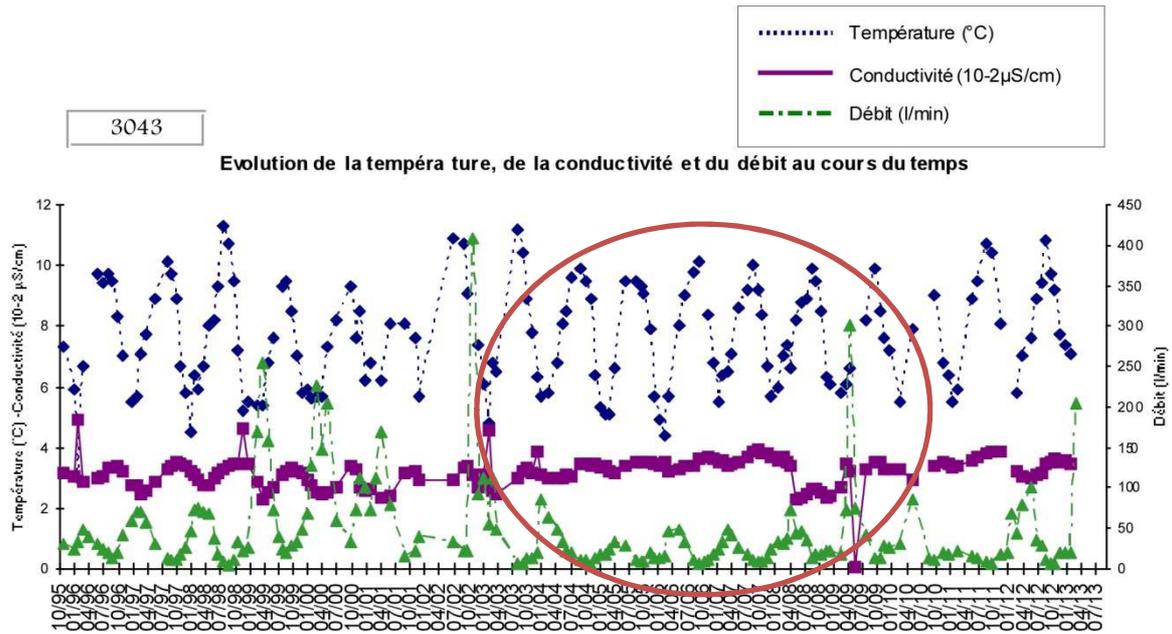


Figure 48 – Synthèse des données de suivi du point 3043 (Captage du Thyl dessus). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

Point d'eau n. 3031

Pour la Source du Lavoir de Le Chêne (point n. 3031), la valeur de la classe DHI totale pour le TdB dans l'APR est égale à 3 (probabilité modérée). Toutefois, malgré l'absence de données entre janvier 2005 et décembre 2012, on peut considérer que cette source n'a pas été perturbée par les travaux d'excavation de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte (Figure 49). Ainsi, la valeur de la classe DHI recalculée pour l'excavation du tunnel de base est égale à 1 (probabilité de très faible à nulle). L'alimentation de cette source apparaît en effet liée aux circuits dans les aquifères superficiels des dépôts quaternaires, et dans les niveaux supérieurs de l'amas rocheux. En profondeur, l'excavation du tronçon final (au niveau du TdB) de la descenderie s'est effectuée dans des lithologies de l'unité de Brequin-Orelle constituées de grès, accessoirement de schistes. Dans le tronçon plus à l'amont de la descenderie, on a traversé une zone intensément fracturée attribuée classiquement au secteur de transition entre l'unité des Encombres (schistes) et l'Unité de Brequin-Orelle. Le secteur de transition est caractérisé par des perméabilités allant de moyenne à basse, et par de faibles venues d'eau. Ces arrivées d'eau n'ont donc pas perturbé la source 3031. On peut donc, en conclusion, exclure le fait que les travaux du TdB puissent interférer avec cette source.

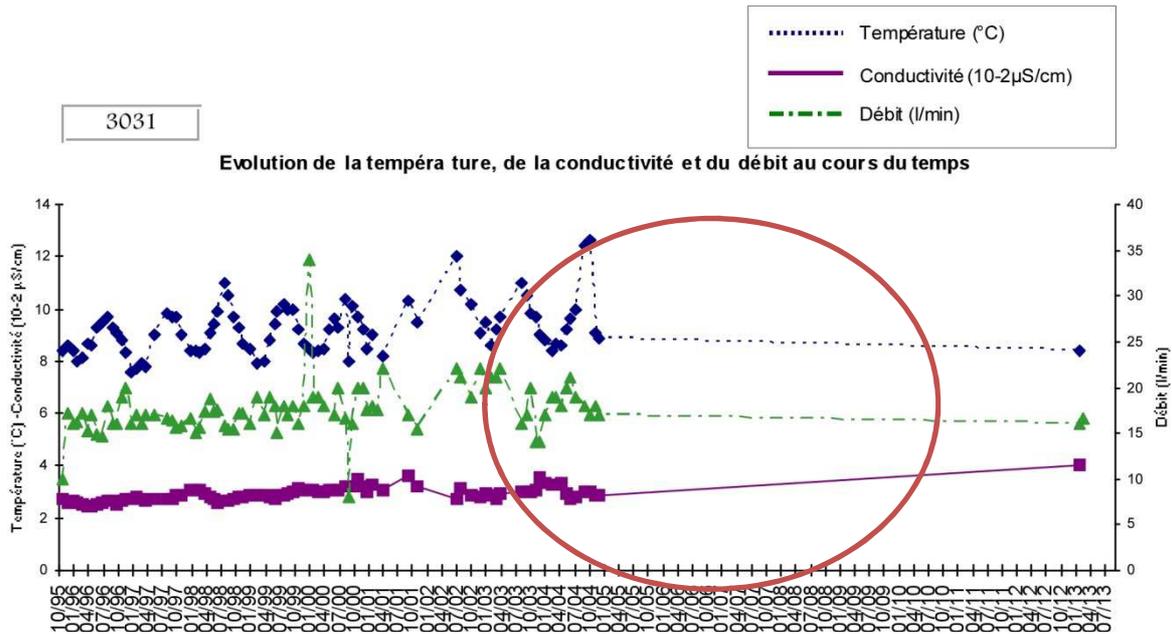


Figure 49 – Synthèse des données de suivi de la Source du Lavoir de Le Chêne (point n. 3031). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

Points d'eau n. 3018,1-3041,1-3041,2

Les points d'eau 3018,1 (Captage des Fortunes/ arr.G.), 3041,1 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):2 griffons) et 3041,2 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):dév. bois) n'ont pas été impactées par l'excavation de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Les classes de risque d'impact DHI prévues dans l'APR pour ces sources sont celles reportées dans le tableau suivant :

N. point d'eau	Nom	DHI Total (APR)	DHI TdB (APR)
3018,1	Captage des Fortunes/ arr.G.	3	1
3041,1	Source am. lav. du Thyl (Dessus): 2 griffons	3	1
3041,2	Source am. lav. du Thyl (Dessus): dév bois	3	1

Tableau 14 – Degré de probabilité de tarissement des sources 3018,1 (Captage des Fortunes/ arr.G.), 3041,1 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):2 griffons) et 3041,2 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):dév. bois) en fonction du DHI défini dans l'APR

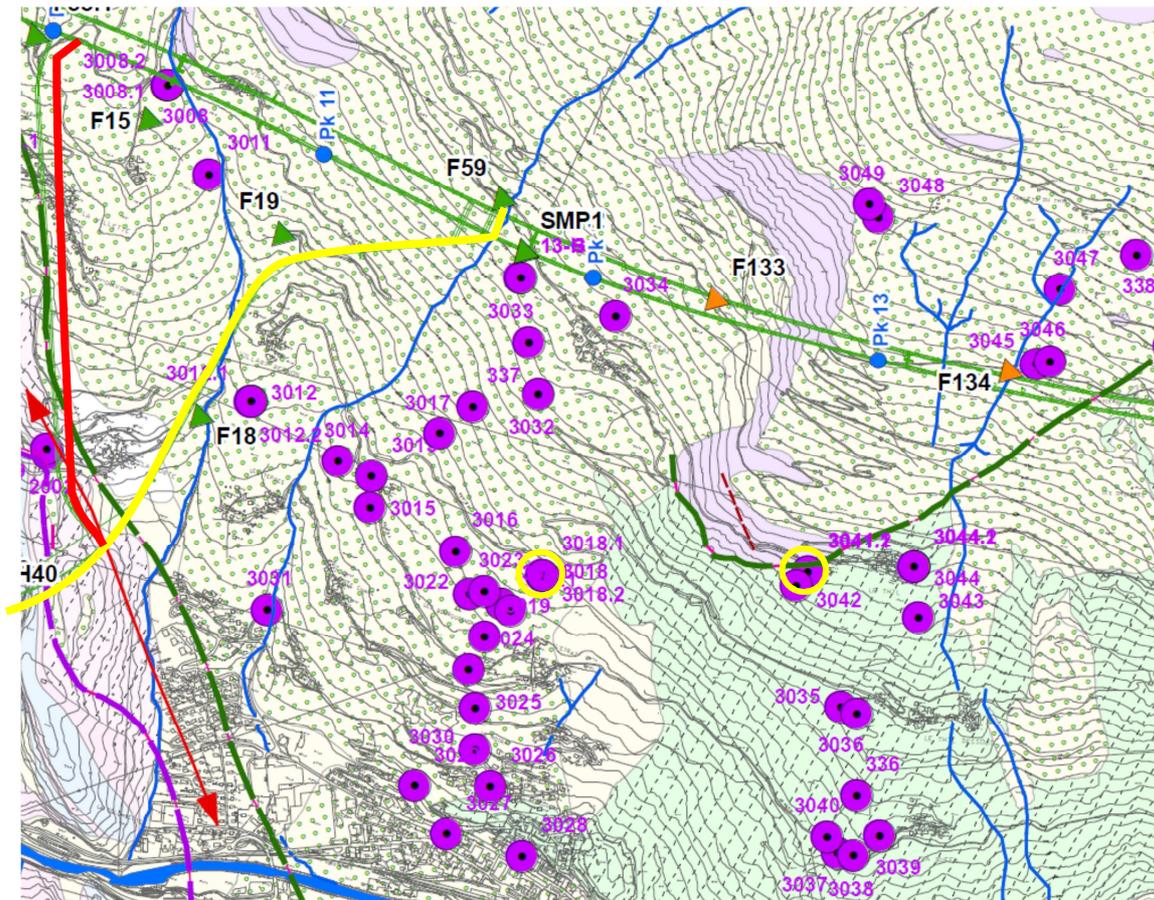


Figure 50 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau. 3018,1 (Captage des Fortunes/ arr.G.), 3041,1 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):2 griffons) et 3041, 2 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):dév. bois). Les points jaunes indiquent les points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenterie de Saint-Martin-la-Porte. Une légende complète est reportée sur la Figure 3

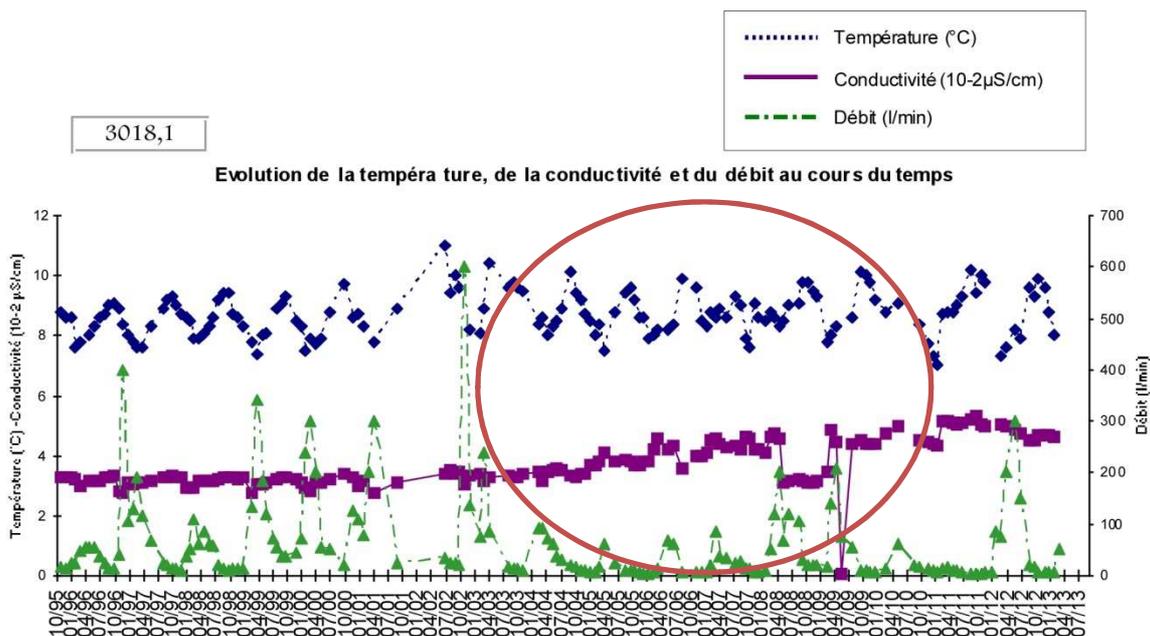


Figure 51 – Synthèse des données de suivi du point 3018,1 (Captage des Fortunes/ arr.G.). La période du creusement de la descenterie est indiquée par l'ellipse rouge.

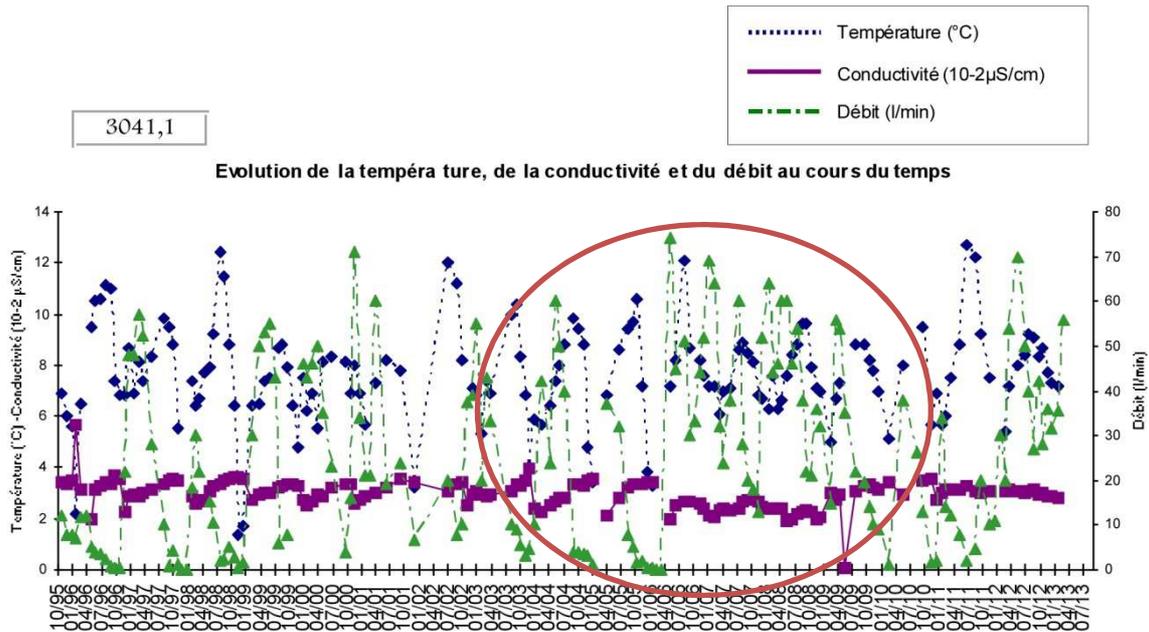


Figure 52 – Synthèse des données de suivi du point 3041,1 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):2 griffons). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

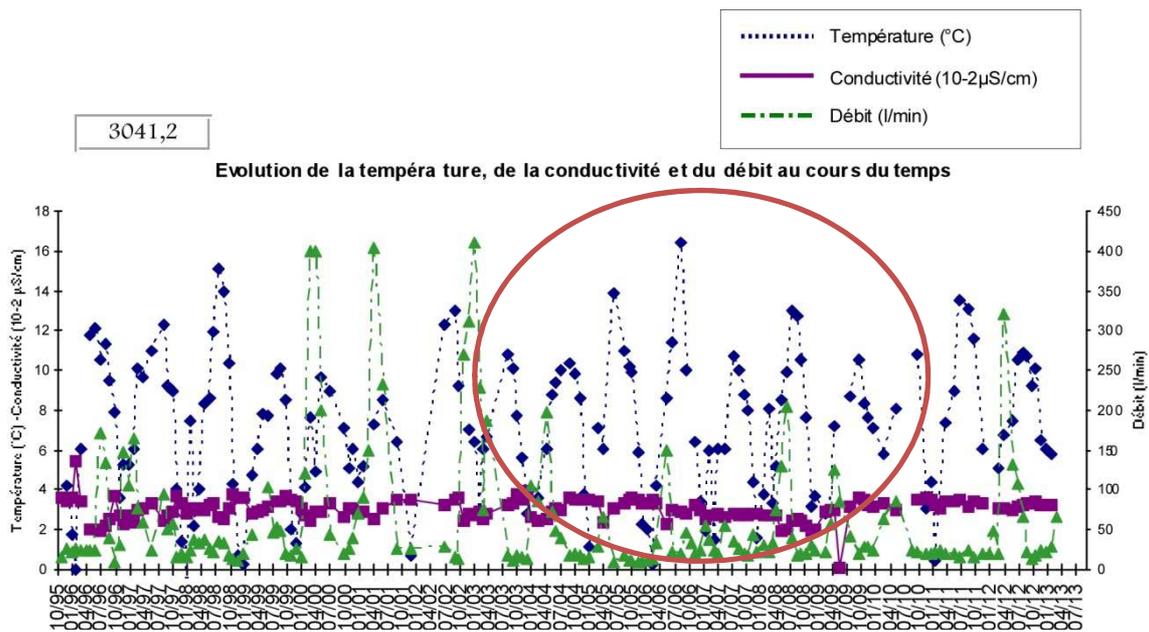


Figure 53 – Synthèse des données de suivi du point 3041, 2 (Source am. lav. du Thyl (Dessus):dév. bois). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

L'indice d'impact DHI de ces sources a été recalculé pour l'excavation du tunnel de base. Il reste égal à 1 (probabilité de très faible à nulle), comme ce qui était prévu dans l'APR, même avec la nouvelle classification en trois classes.

POINTS D'EAU PERTURBES

Lors de la traversée de l'unité des Encombres, quelques venues d'eau ont été observées grâce aux mesures régulières du débit dans le caniveau d'exhaure.

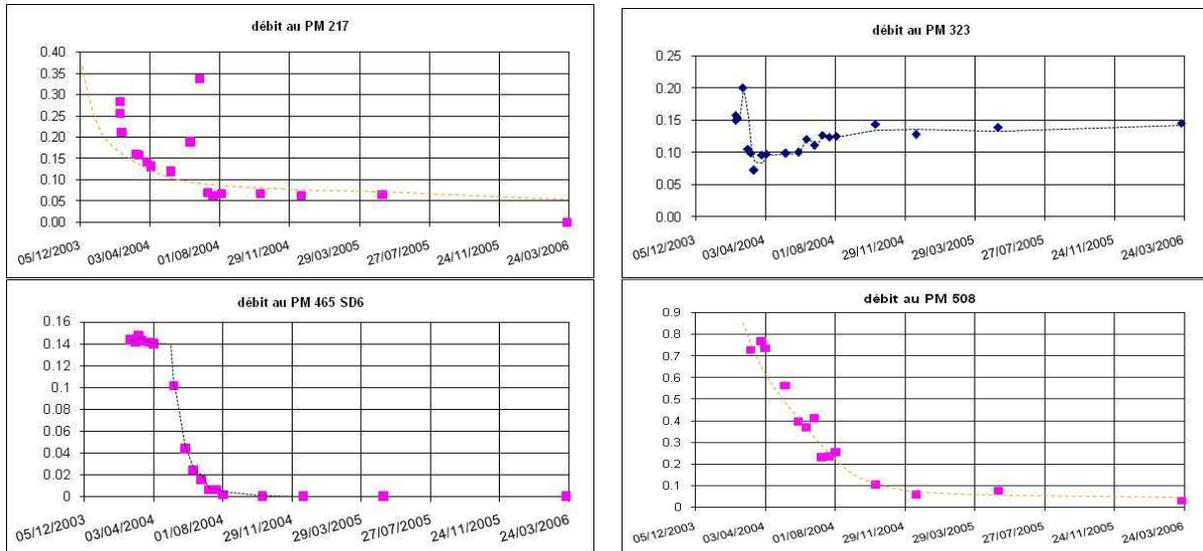


Figure 54 – Evolution du débit des principales venues d'eau dans la partie calcaire de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte

De manière générale, les venues d'eau recoupées avaient un débit faible. Ce suivi montre un tarissement progressif de certaines venues (PM 217, 465, 508), et une relative stabilisation pour d'autres (PM 323) (Figure 54).

Le débit global de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte au 30/04/2007 (1550 m excavés) était d'environ 1 l/s, avec 0,7 l/s issu des calcaires et 0,3 l/s pour la totalité des suintements du Houiller, localisés principalement sous ou à proximité des alluvions fluviocalcaires. Cette faible valeur indique que la descenderie n'a pas recoupé d'accident aquifère de type karstique.

L'absence de venues d'eau dans les marno-calcaires du Callovien confirme leur nature imperméable.

Les observations montrent que les phénomènes de dissolution marquant les formations évaporitiques en surface ne se propagent pas en profondeur.

Enfin, l'absence de venues d'eau significatives au sein des schistes et grès du Houiller confirme également leur nature imperméable.

Les données de débit enregistrées au portail au cours de l'excavation du dernier tronçon de la descenderie indiquent quelques pics imputables à l'intersection avec des zones plus fracturées ou des zones de failles (Figure 55).

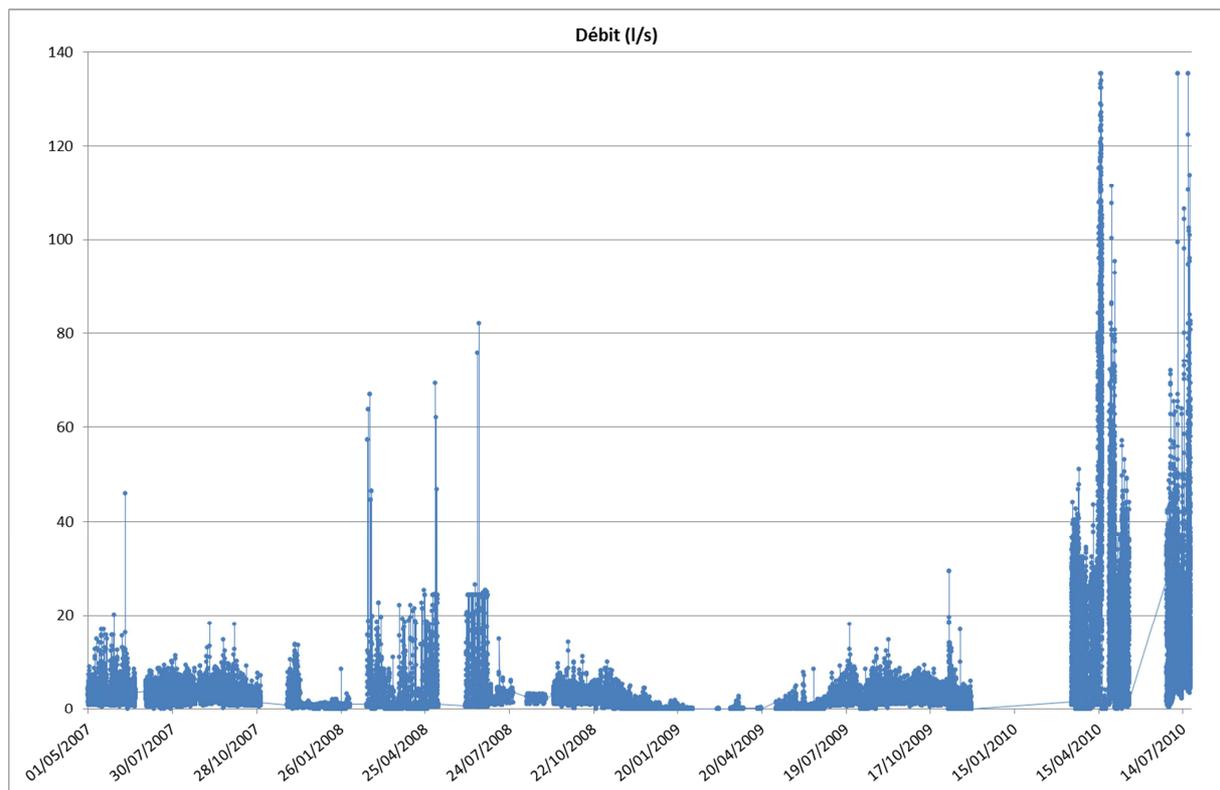


Figure 55 – Evolution du débit des principales venues d'eau au portail de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte à partir de mai 2007

Points d'eau n. 316 et 318

Les points d'eau 316 (Captage amont de Fontaine Froide) et 318 (Captage de la Saussaz) sont situés sur le versant en rive gauche de l'Arc, la descenderie de Saint-Martin-la-Porte étant en rive droite (Figure 56). Les données du suivi (Figure 57) montrent une variation du débit à partir de 2003, date de démarrage de l'excavation de la descenderie. Le débit moyen de la source 316 (Captage amont de Fontaine Froide) est passé d'environ 200 à 70 l/min, et celui du point d'eau 318 (Captage de la Saussaz) d'environ 35 à 15 l/min (Figure 56). Ensuite, les données récentes (2014-2016) montrent une nouvelle baisse et le débit s'atteint en 40 l/min.

Au cours des études de l'APR, ces points d'eau avaient reçu une probabilité d'impact basse, à la fois vis-à-vis de la descenderie et du tunnel de base.

Toutefois, dans le cadre de la nouvelle caractérisation, deux remarques apparaissent. En ce qui concerne le Captage amont de Fontaine Froide (point n. 316), les données de janvier 2000 à décembre 2002 ne sont pas disponibles, période précédant le début des travaux de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. On ne peut donc établir avec certitude une relation entre la baisse de débit et les travaux. D'autres causes peuvent être recherchées. Le point d'eau 318 (Captage de la Saussaz) ne fonctionne plus depuis le 24 septembre 2010 pour des raisons extérieures aux travaux de la NLTL.

Par ailleurs, l'impact présumé se serait produit durant l'excavation de la zone du portail de la descenderie, où aucune venue d'eau n'a été constatée.

Finalement, pour le point n°316, la probabilité d'impact par rapport à l'excavation du tunnel de base est basse (DHI = 1). Pour le point 318, celui-ci ne fonctionnant plus, aucune analyse n'est possible.

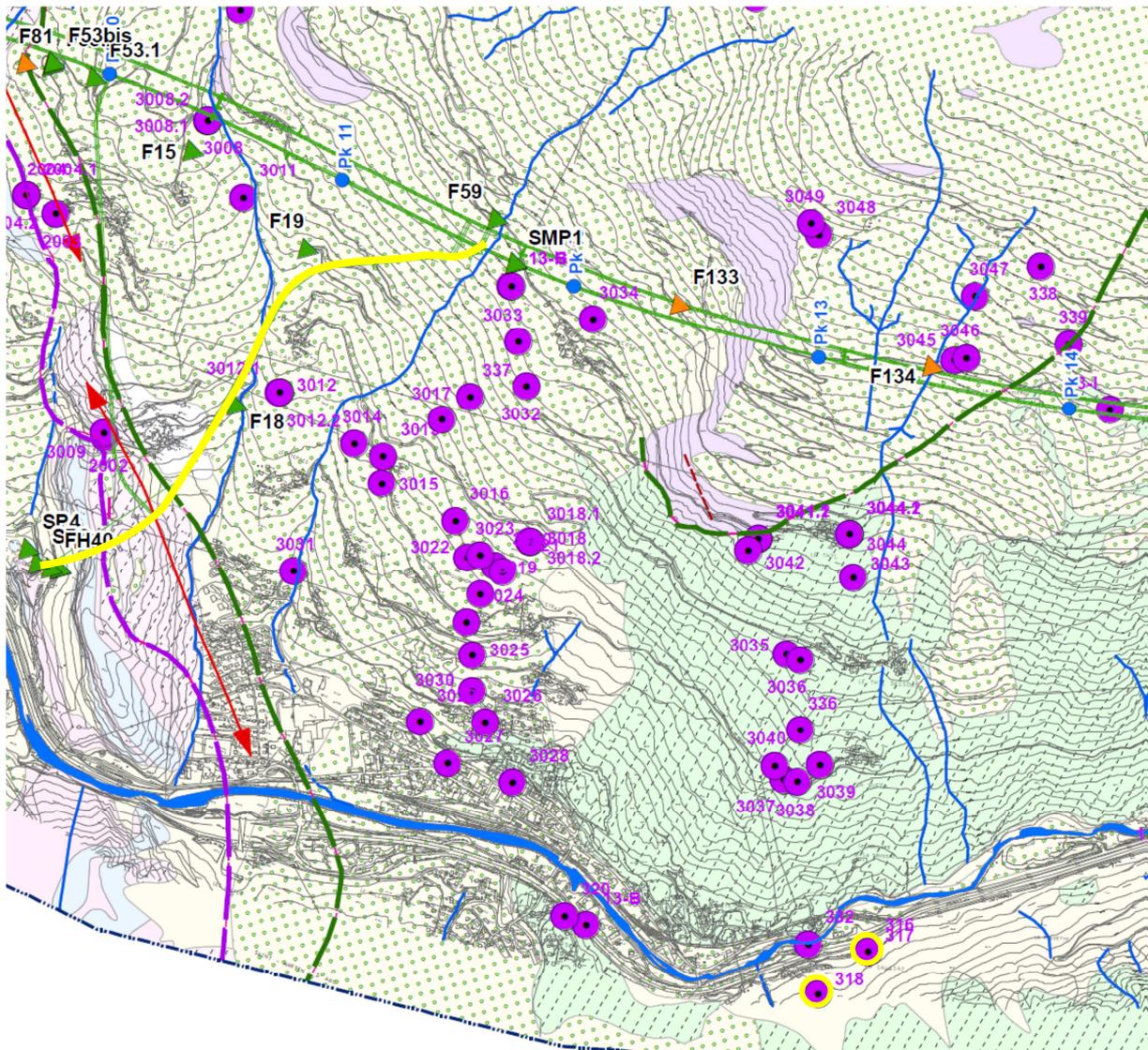


Figure 56 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 316 (Captage amont de Fontaine Froide) et 318 (Captage de la Saussaz). Les points violet/jaunes indiquent les deux points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Une légende complète est reportée sur la Figure 3

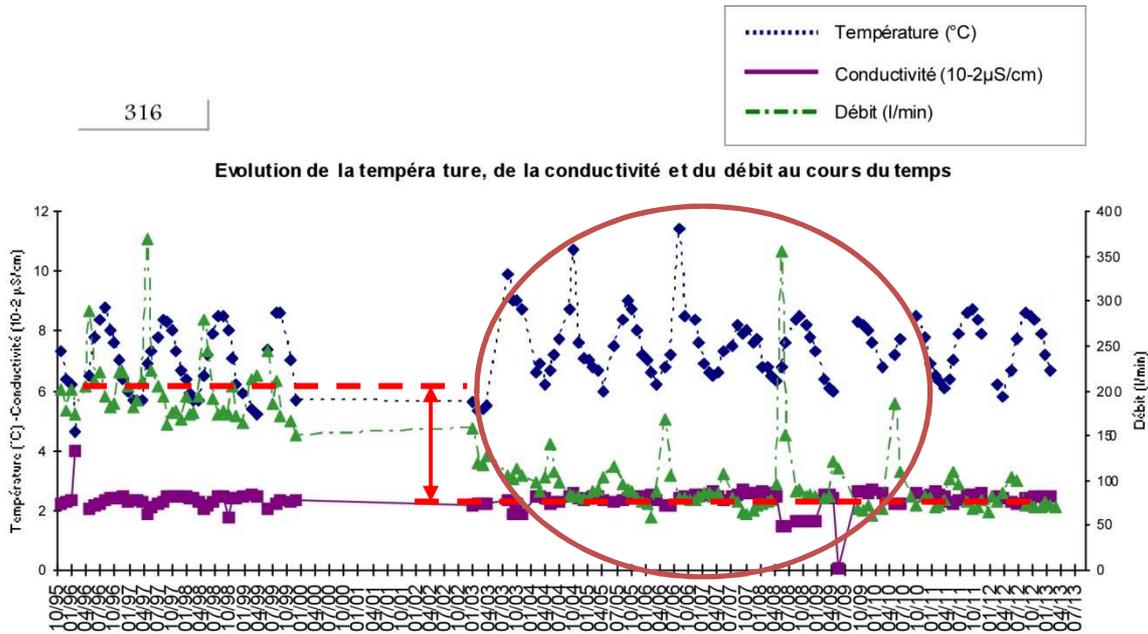


Figure 57 – Synthèse des données de suivi de la source 316 (Captage amont de Fontaine Froide). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

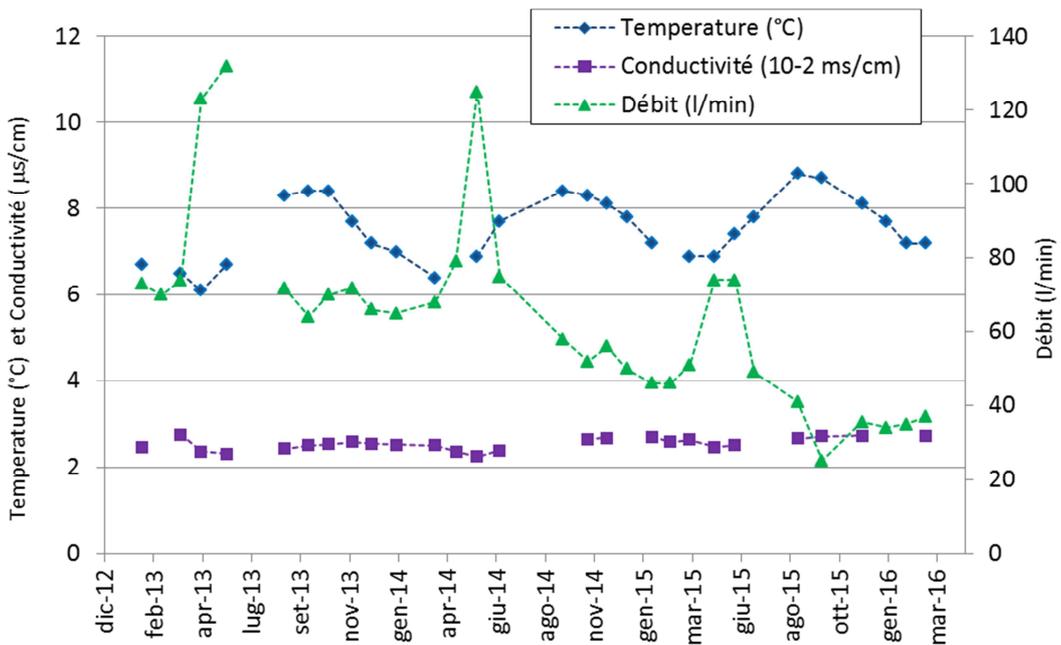


Figure 58 – Mise à jour des données de la source 316 (Captage amont de Fontaine Froide) 2013-2016.

La comparaison entre les deux figures montre que le débit est encore en phase de décroissance et n'a pas encore atteint une stabilisation.

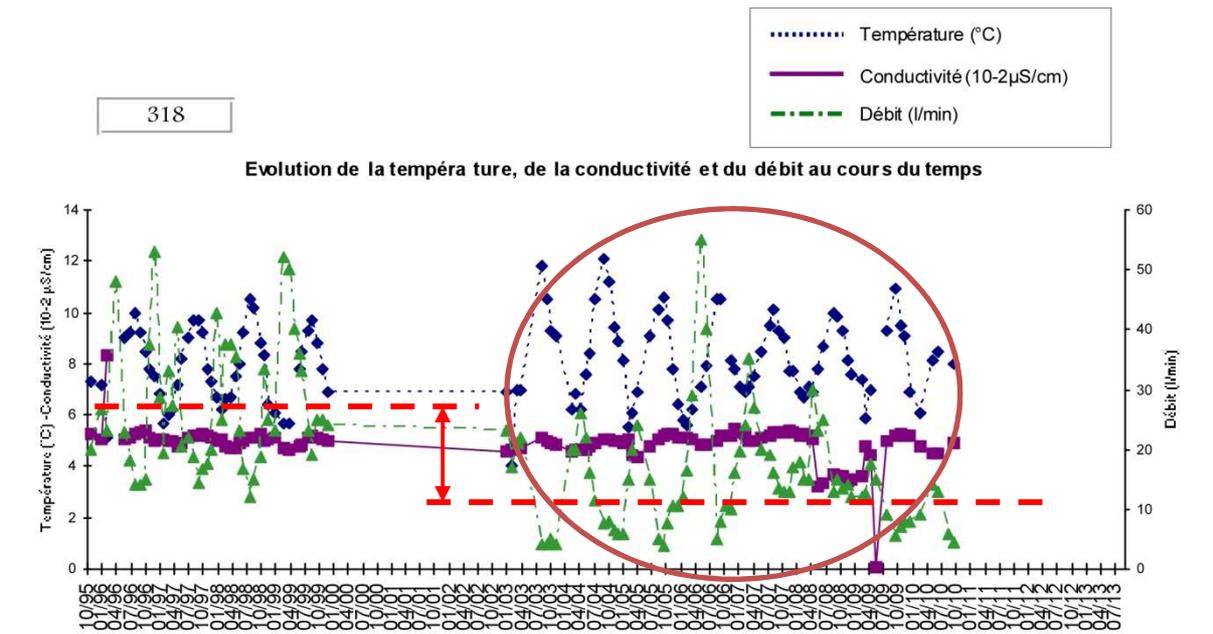


Figure 59 – Synthèse des données de suivi de la source 318 (Captage de la Saussaz). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

Point d'eau n. 3004

Le Captage de Pré Garin (point n. 3004), comme cela était prévu dans l'APR avec une valeur de la classe DHI de 3 (probabilité modérée), a été perturbé par les travaux d'excavation de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte (Figure 60). Le débit est passé en moyenne d'environ 90 l/min à 20-25 l/min. Depuis, le régime hydrogéologique de la source semble s'être rééquilibré, mais avec un débit plus faible.

Le suivi dans la période 2013-2016 évidence que le débit es presque que stabilisé (ou en faible décroissance) autour de une valeur de 20 l/min.

Dans cette phase de projet on n'assigne pas une classe de risque d'impact pour le point d'eau, classe qui impliquerait l'obligation d'effectuer un suivi plus étroit, surtout dans la période dans laquelle sera excavé le tronçon de galerie qui pourrait potentiellement influencer la source. Son circuit d'alimentation est en effet mixte, et comprend les aquifères des dépôts glaciaires superficiels, et probablement des portions superficielles du substrat rocheux (Houiller). L'impact sur le régime hydrologique de cette source est évident à partir du second semestre 2006, quand l'excavation de la descenderie a rejoint la zone tectoniquement perturbée qui a donné les venues d'eau les plus importantes dans la partie basse de la galerie (entre les PM 1600 et 2150 environ).

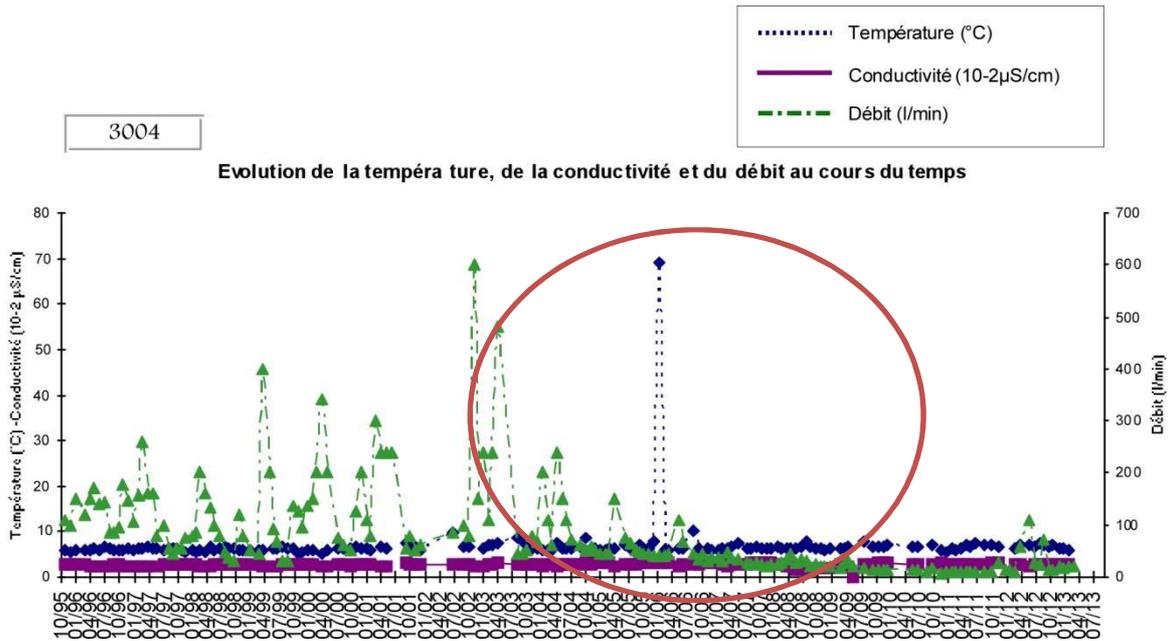


Figure 60 – Synthèse des données de suivi du Captage de Pré Garin (point n. 3004). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

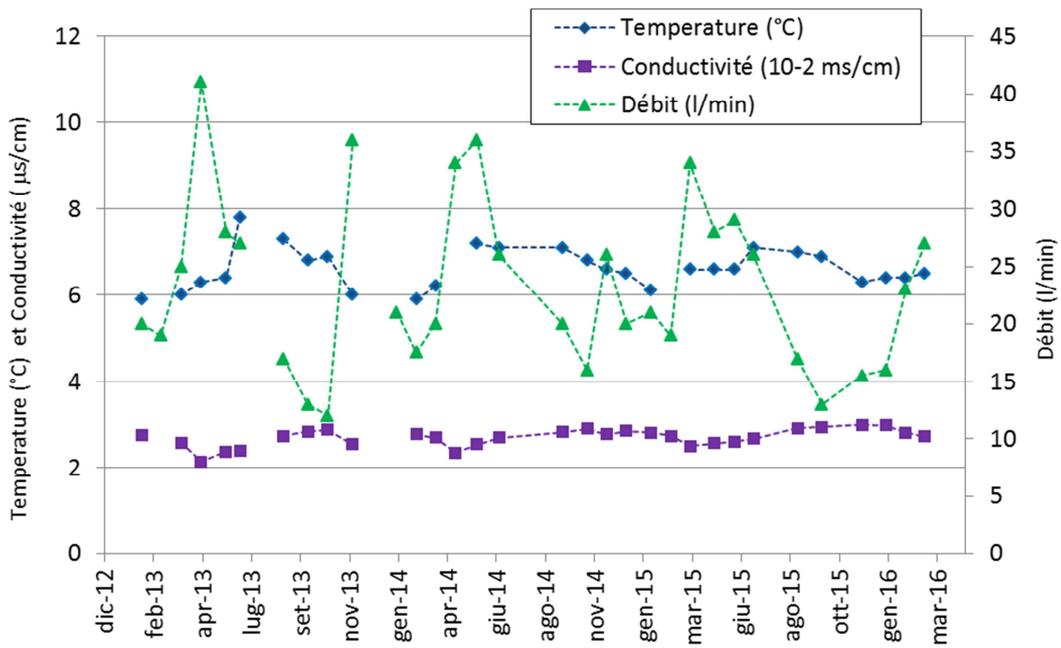


Figure 61 – Synthèse des données de suivi du Captage de Pré Garin (point n. 3004), période 2013-2016.

Il est donc raisonnable d'associer la diminution du débit à ces venues d'eau en galerie.

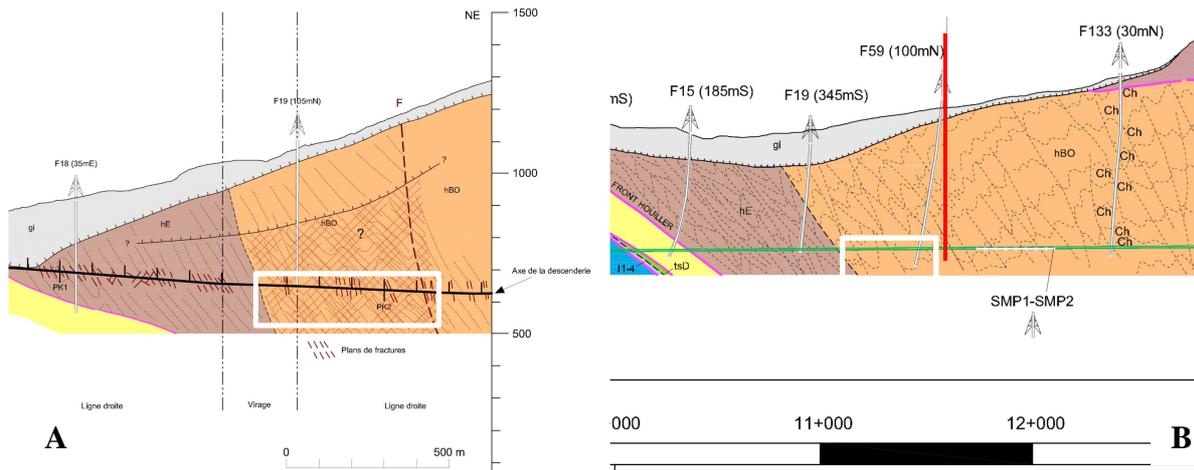


Figure 62 – Profil géologique de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte (A) et du Tunnel de Base (B) avec localisation de la zone tectoniquement perturbée (carrés blancs). La verticale de l'intersection de la descenderie avec le TdB (PM 11+597) est indiquée par la ligne rouge dans le profil B.

Points d'eau n. 2005,1-2005,2-2006,1

Les données du suivi indiquent que les points d'eau 2005,1 (Captage de Bordeaux - La Planchette arr. G), 2005,2 (Captage de Bordeaux - La Planchette arr. D) et 2006,1 (Captage de Charbutan - RATEL E. source), ont été perturbés par le creusement de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Ceci est en accord avec ce qui était prévu par les études APR (probabilité de faible à modérée, DHI = 2). Comme le montre la Figure 63 ci-dessous, à partir de 2003 (début de l'excavation), le débit moyen de la source 2005,1 est passé d'environ 50 l/min à 20 l/min. Idem pour la source 2005,2 dans la même période, qui passe d'environ 80 à 30 l/min (Figure 64). Le point d'eau 2006,1 (de Charbutan) présente également une baisse, mais moins évidente, d'environ 11 à 7 l/min (Figure 65). Actuellement (Figure 66) les trois sources montrent un stabilisation du débit.

L'interférence de l'excavation de la descenderie avec les circuits de ces sources à alimentation mixte (substrat rocheux + dépôts quaternaires) est due à la fonction de drainage préférentiel exercée par le Front du Houiller et par les roches évaporitiques (Anhydrites, dolomies et marbres dolomitiques avec anhydrites) de la zone Subbriançonnaise (Figure 67). Ce contexte hydrogéologique attribue aux paramètres IF (intersection avec failles / fractures) et FD (phénomènes de dissolution) de l'indice DHI des valeurs plus élevées. Toutefois, il faut considérer que ces circuits seront interceptés par le tunnel de base à une profondeur où les phénomènes de dissolution ne sont vraisemblablement pas présents, et où l'amas rocheux est généralement fermé et non perméable.

En conclusion, la nouvelle évaluation de la probabilité d'impact relative à l'excavation du tunnel de base, donne une probabilité d'impact faible (DHI = 2).

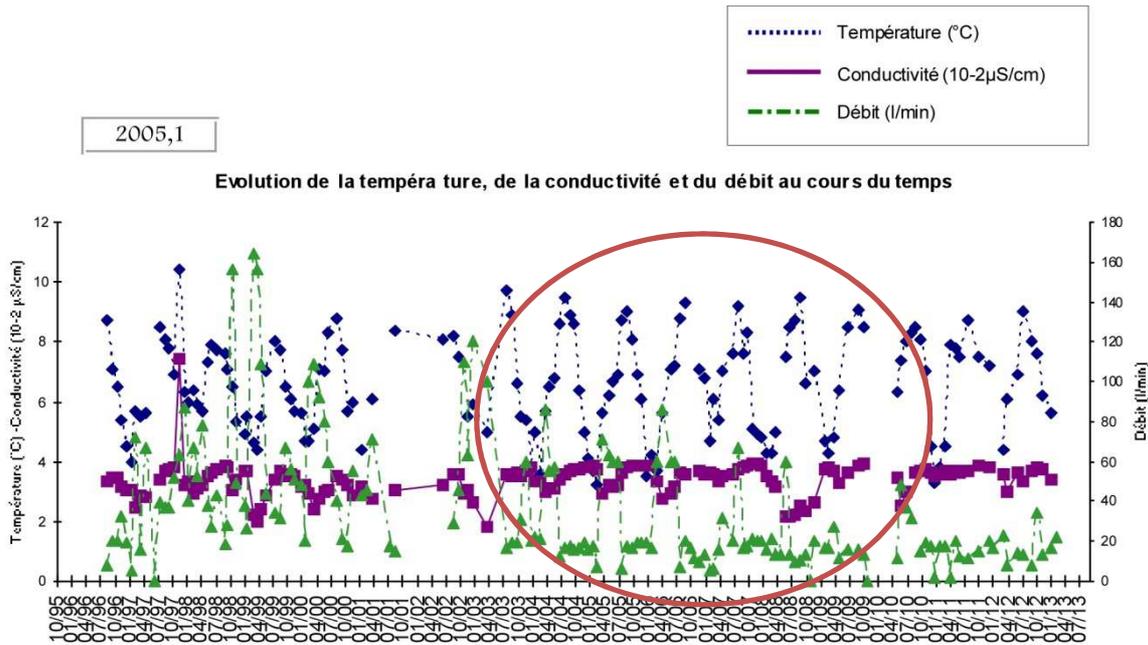


Figure 63 – Synthèse des données de suivi de la source 2005,1 (Captage de Bordeaux - La Planchette arr. G). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

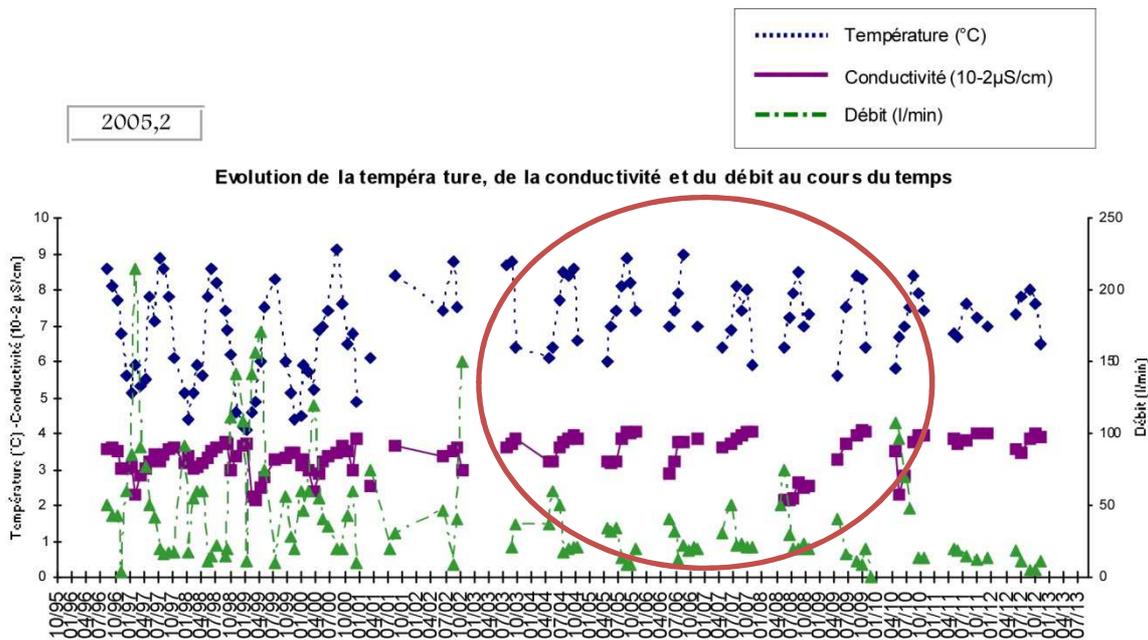


Figure 64 – Synthèse des données de suivi de la source 2005,2 (Captage de Bordeaux - La Planchette arr. D). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

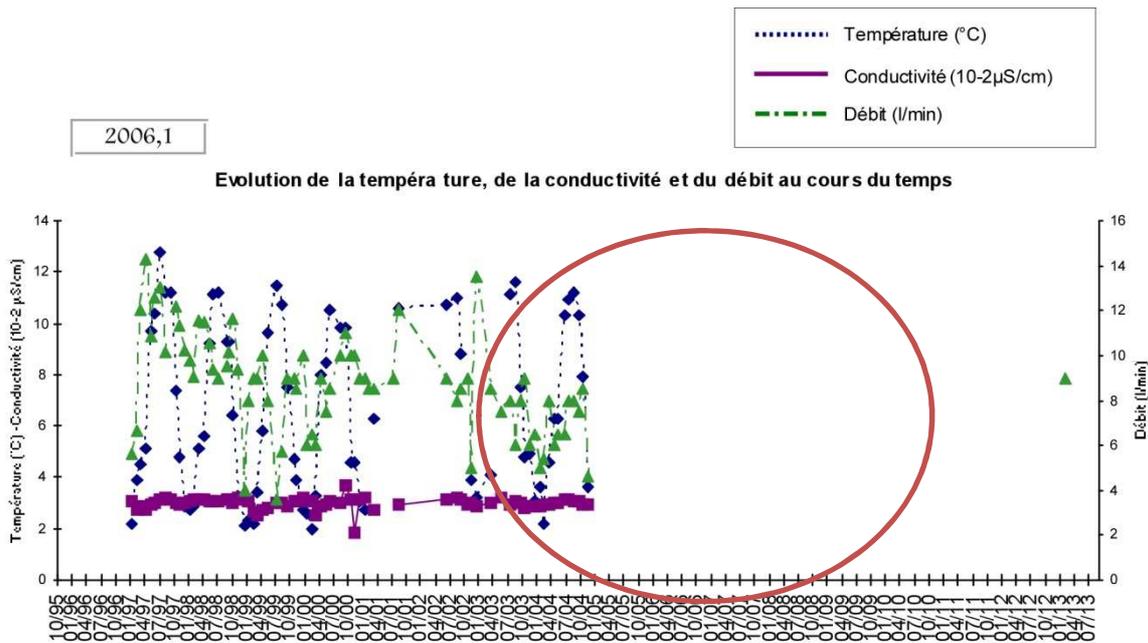


Figure 65 – Synthèse des données de suivi de la source 2006,1 (Captage de Charbutan - RATEL E. source). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

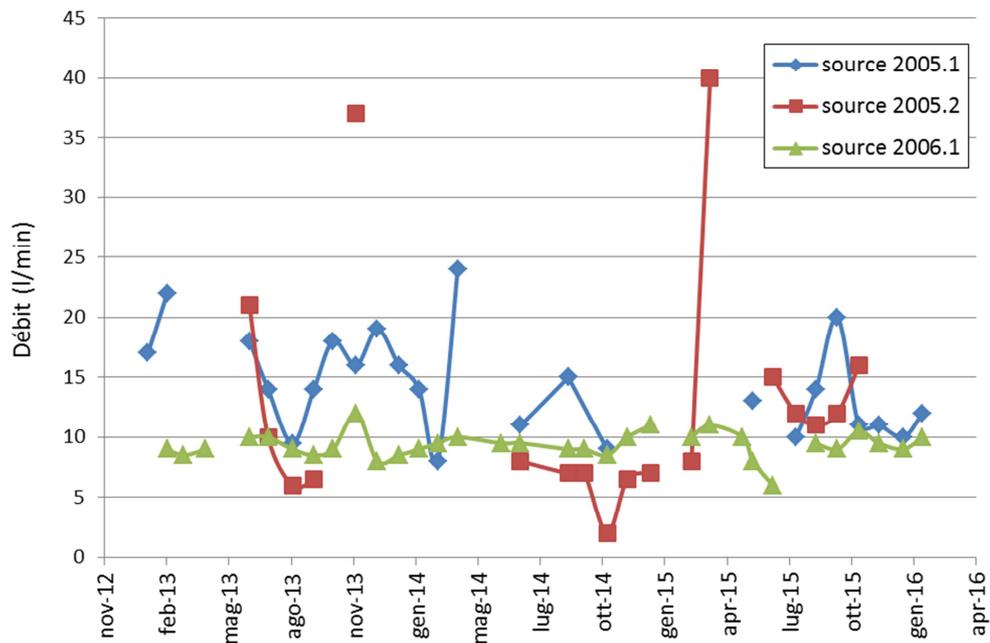


Figure 66 – Mise à jour des données des sources 2005.1, 2005.2 et 2006.1 en la période 2013-2016.

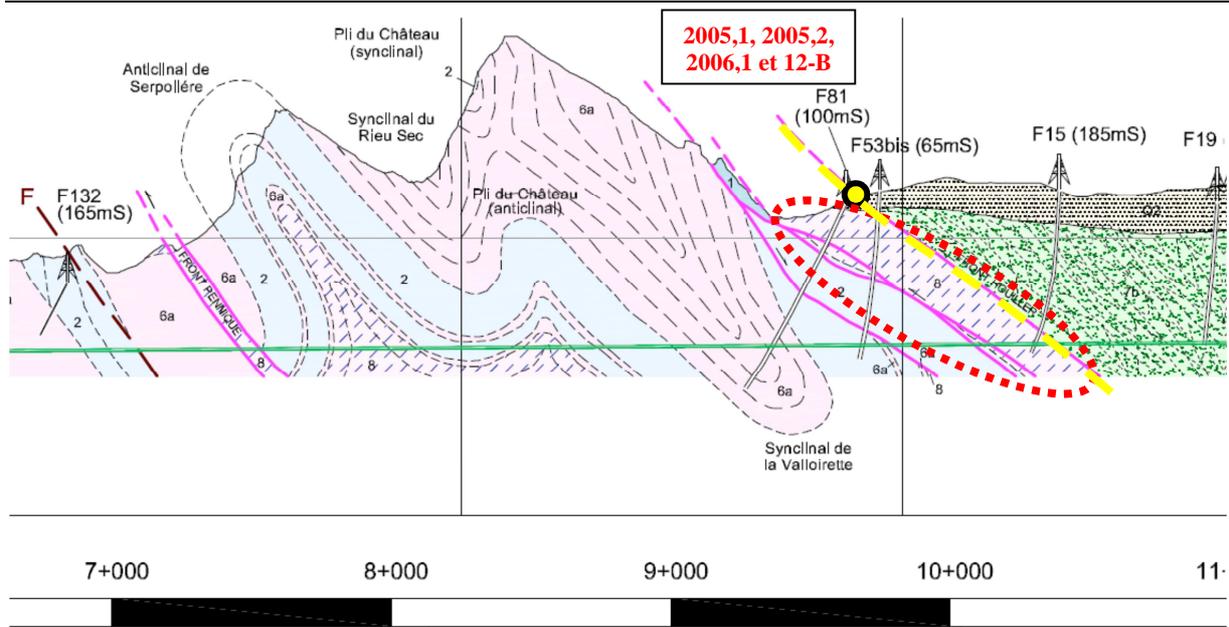


Figure 67 – Extrait de la coupe hydrogéologique avec la projection des sources 2005,1, 2005,2, 2006,1 et 12-B sur l’axe du Tunnel de Base. Sont mis en évidence avec l’ellipse pointillée rouge les roches évaporitiques de la Zone Subbrianzonese et avec la ligne pointillée jaune le Front du Houiller. Le tronçon d’interférence potentielle de l’excavation avec l’aquifère qui alimente la source est approximativement au PM 10+530. La position indicative des sources sur le profil est obtenue par projection le long du front du Houiller.

Points d’eau n. 3005,1-3005,2-3012,1-3012,2

Les points d’eau 3005,1 (Captage de Beaune: arr. de gauche), 3005,2 (Captage de Beaune: arr. de droite), 3012,1 (Captage des Teppes: arr. de gauche) et 3012,2 (Captage des Teppes: arr. de droite) (Figure 68) ont été impactés par l’excavation de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Les débits moyens perdent respectivement environ 70 l/min, 40 l/min, 60 l/min et 15 l/min, pour aboutir à des débits résiduels moyens d’environ 35÷36 l/min, 3÷4 l/min, 35÷36 l/min et 5÷6 l/min (de la Figure 69 à la Figure 72). Les classes de risque d’impact DHI prévues dans l’APR pour ces sources sont celles reportées dans le tableau suivant.

N. point d’eau	Nom	DHI Total (APR)	DHI TdB (APR)
3005,1	Captage de Beaune: arr. de gauche	3	2
3005,2	Captage de Beaune: arr. de droite	3	2
3012,1	Captage des Teppes: arr. de gauche	3	1
3012,2	Captage des Teppes: arr. de droite	3	1

Tableau 15 – Degré de probabilité de tarissement des sources 3005,1 (Captage de Beaune: arr. de gauche), 3005,2 (Captage de Beaune: arr. de droite), 3012,1 (Captage des Teppes: arr. de gauche) et 3012,2 (Captage des Teppes: arr. de droite) en fonction du DHI défini dans l’APR

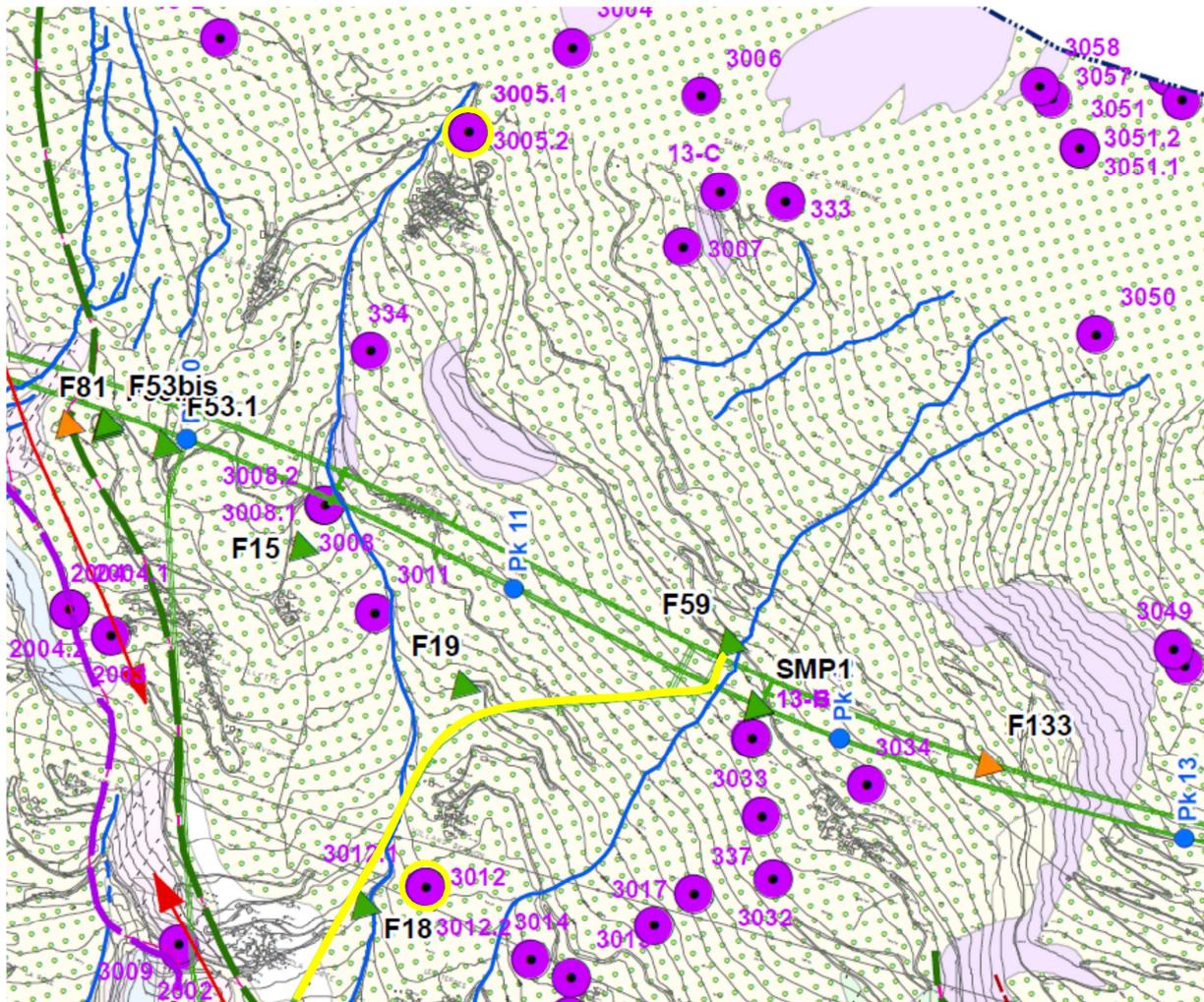


Figure 68 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation des points d'eau 3005,1 (Captage de Beaune: arr. de gauche), 3005,2 (Captage de Beaune: arr. de droite), 3012,1 (Captage des Teppes: arr. de gauche) et 3012,2 (Captage des Teppes: arr. de droite). Les points cerclés en jaunes indiquent les points d'eau et la ligne jaune le tracé de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte. Une légende complète est reportée sur la Figure 3

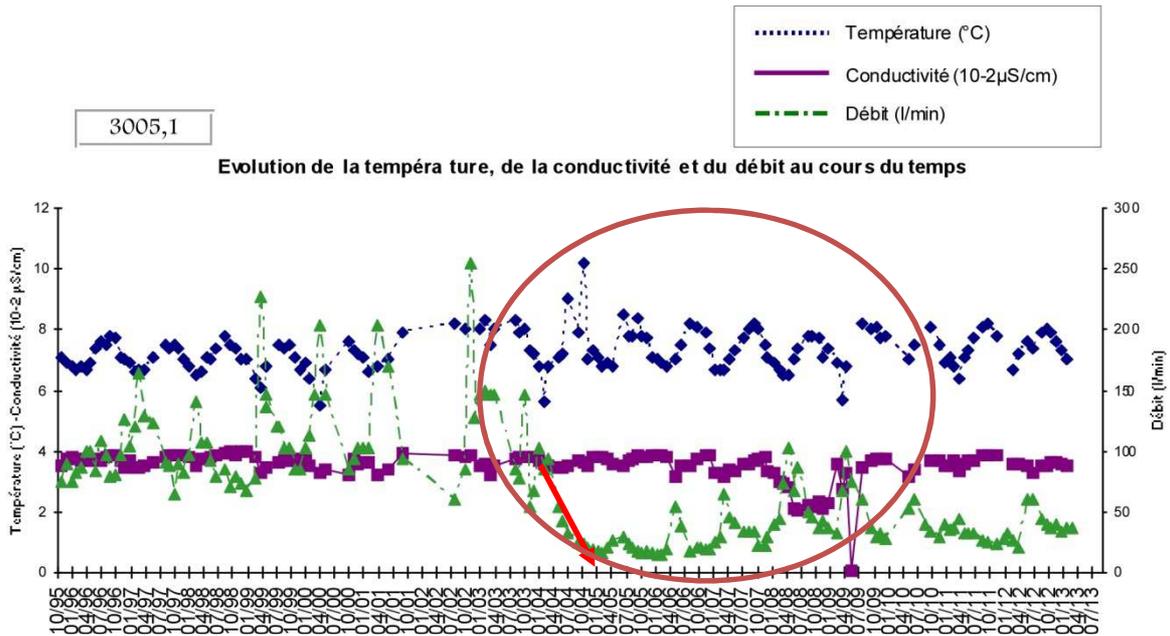


Figure 69 – Synthèse des données de suivi du point 3005,1 (Captage de Beaune: arr. de gauche). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

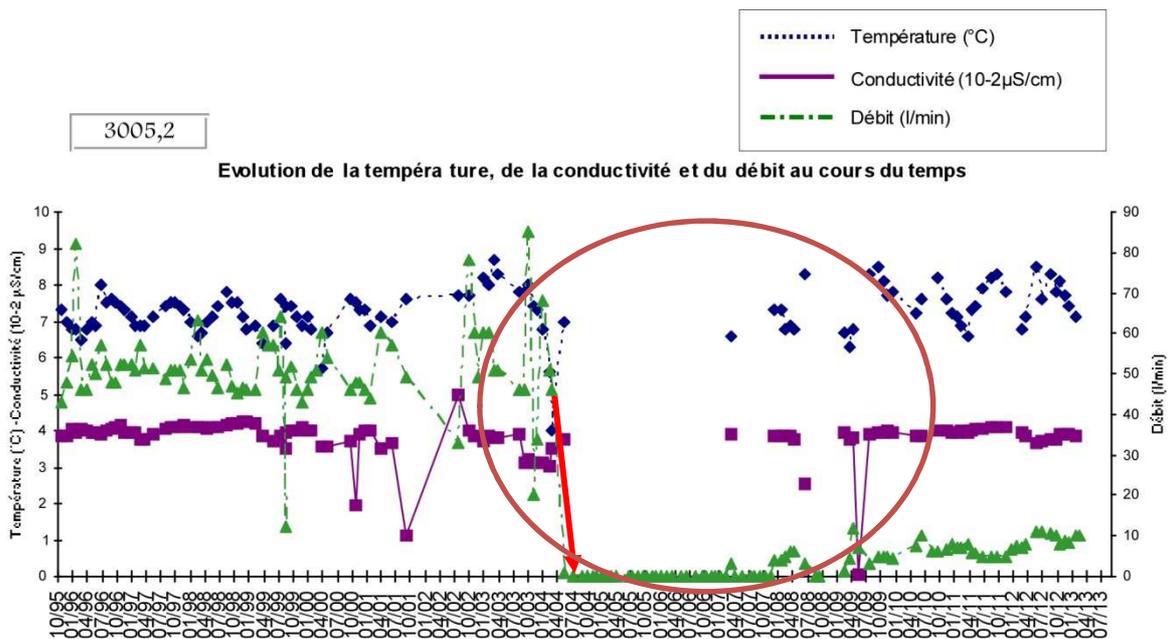


Figure 70 – Synthèse des données de suivi du point 3005, 2 (Captage de Beaune: arr. de droite). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

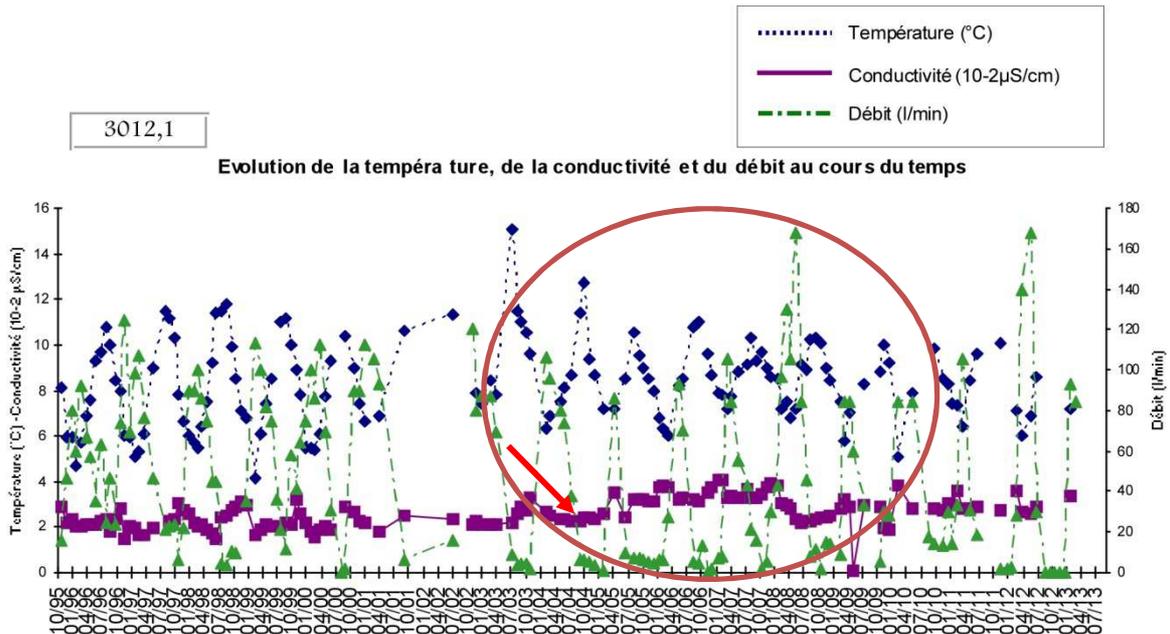


Figure 71 – Synthèse des données de suivi du point 3012,1 (Captage des Teppes: arr. de gauche). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

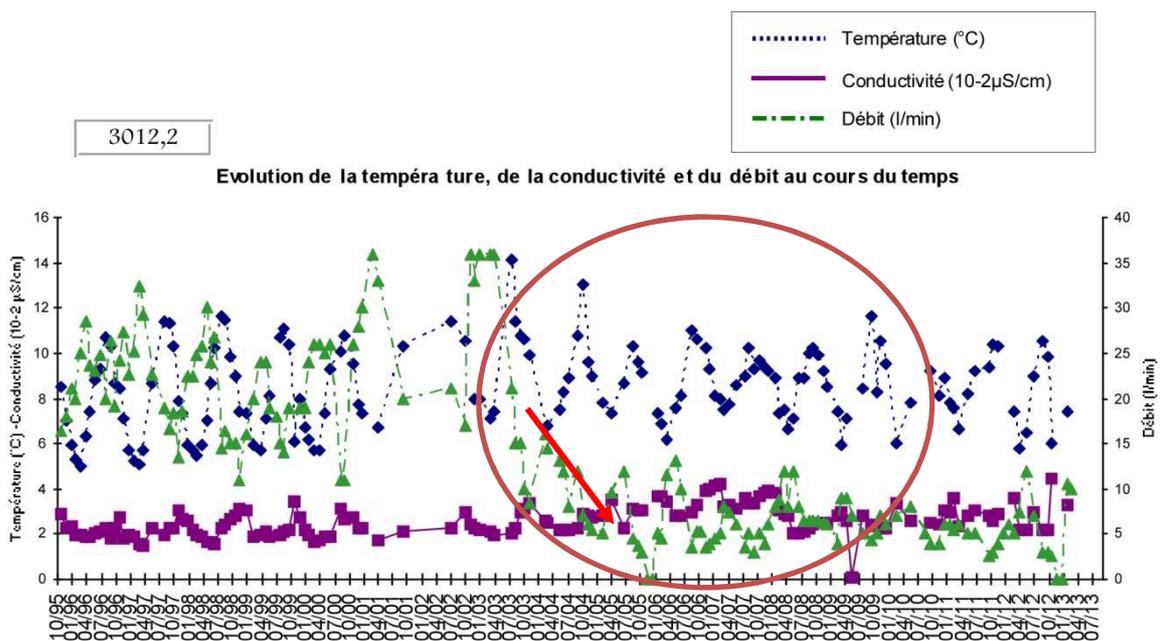


Figure 72 – Synthèse des données de suivi du point 3012,2 (Captage des Teppes: arr. de droite). La période du creusement de la descenderie est indiquée par l'ellipse rouge.

Il y a eu une diminution du débit des sources et un rééquilibrage de leur régime hydrologique. Les données du suivi indiquent que cela n'a pas entraîné de modification en ce qui concerne les valeurs de conductivité électrique et de température. Il s'agirait donc d'un circuit superficiel (comme en témoigne l'influence saisonnière sur les températures de l'eau) avec une alimentation garantie par les précipitations atmosphériques. On fait donc l'hypothèse d'une dépressurisation générale de l'aquifère due au drainage par la galerie au cours de l'excavation de la partie initiale (période entre la fin 2003 et le début 2004) faite sous des couvertures réduites et à des cotes comparables à celles du fond de la vallée de l'Arc. Les

données, en outre, indiquent que le nouvel état d'équilibre hydrologique s'instaure au cours de la poursuite de l'excavation. Dans le cas des sources 3005,1 et 3005,2 on enregistre une augmentation progressive du débit dès le début 2007, toujours durant l'excavation de la descenderie. Ces éléments montrent que l'excavation de la descenderie dans le tronçon qui se trouve à une cote comparable à celle du tunnel de base n'a pas généré d'impact ultérieur sur les sources.

Les données du débit concernant les quatre sources mises au jour jusqu'à février 2016 montre que:

- toutes les quatre source montrent un régime stabilisés avec variation saisonnière que reflètent leur circulation superficiel
- la augmentation progressive du débit des sources 3005,1 et 3005,2 observé à partir du creusement de la descenderie de SMLP, semble stabilisée à des valeurs intermédiaires entre l'état pré-excavation et celle réduite immédiatement postérieure à début des travaux (fin 2003 et le début 2004)
- le creusement de la Descenderie Partie 3a n'a pas eu des effets visibles sur les régimes de toutes les quatre sources.

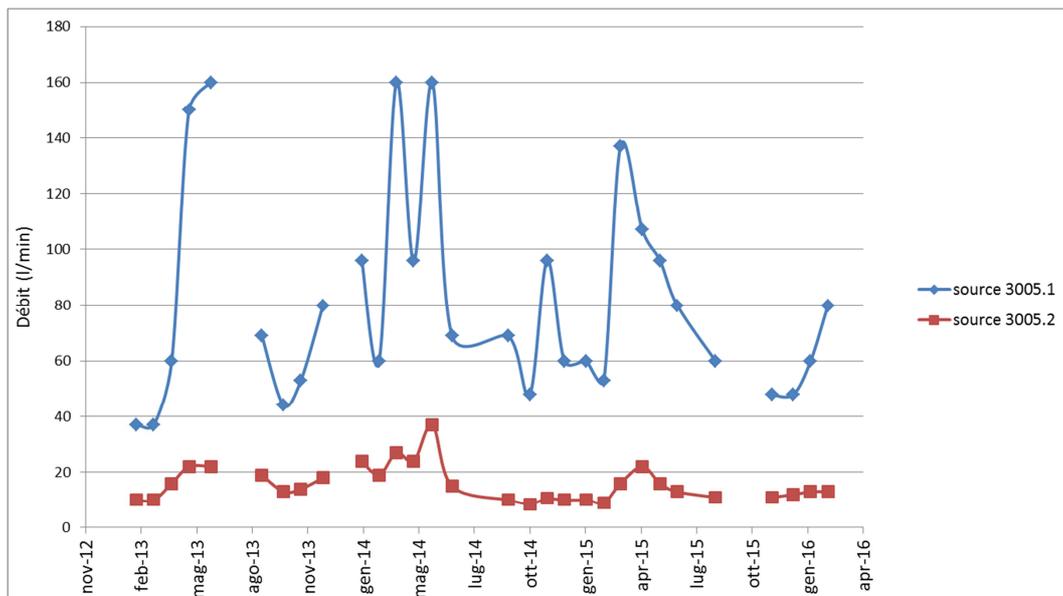


Figure 73 – Synthèse du débit des points 3005,1 et 3005,2 (Captage de Beaune), période 2013-2016.

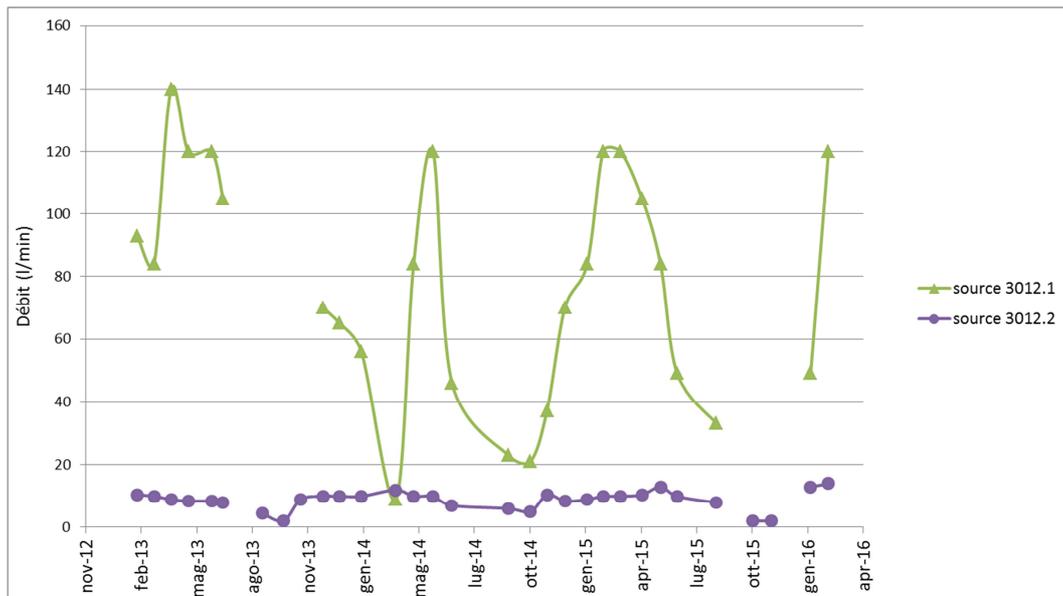


Figure 74 – Synthèse du débit des points 3012,1 et 312,2 (Captage des Teppes), période 2013-2016.

La réévaluation de la probabilité d'impact relative au tunnel de base confirme les évaluations de l'APR, et attribue une valeur de l'indice DHI égale à 2 (probabilité faible) pour les points 3005,1, 3005,2 et 3012,2, et égale à 1 (probabilité de très faible à nulle) pour la source 3012,1 (Captage des Teppes: arr. de gauche).

3.2.4 Autre observations

L'analyse de la base de données du suivi hydrogéologique de LTF a permis d'identifier et de résoudre certaines conditions spécifiques et certaines anomalies de forme sur le suivi des différents points d'eau.

Points d'eau n. 6-D et 6-D0

La base de données TELT/LTF fournit pour le point 6-D une première série de données entre avril 1996 et novembre 1999, et une seconde série à partir d'avril 2012. Toutefois, l'analyse des données disponibles suggère une variation importante du régime hydrologique avant 1999 et après 2012.

Après vérification auprès de l'agent TELT/LTF en charge de ce suivi, il s'avère que les données acquises avant 1999 se réfèrent au point d'eau du Barrage des Herbiers situé en rive gauche de la vallée de l'Arc, alors que celles acquises depuis 2012 correspondent à la Source des Sangliers située en rive droite. Il a donc été décidé de renommer les points d'eau de façon à éliminer tout risque de confusion.

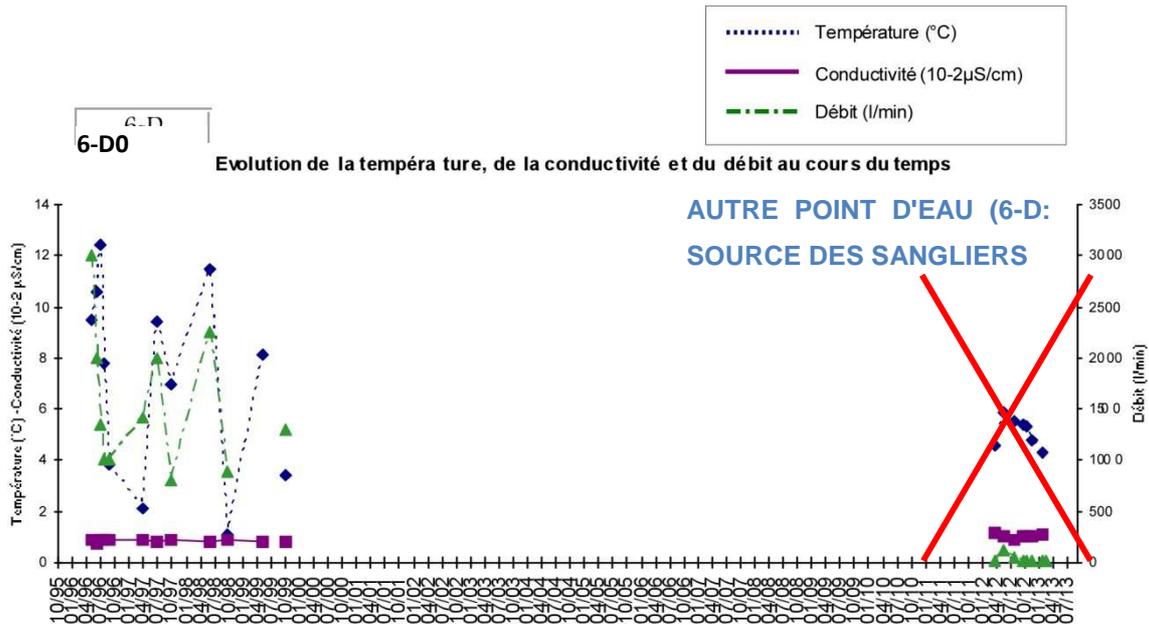


Figure 75 – Synthèse des données du suivi du point 6-D0 (Barrage des Herbiers)

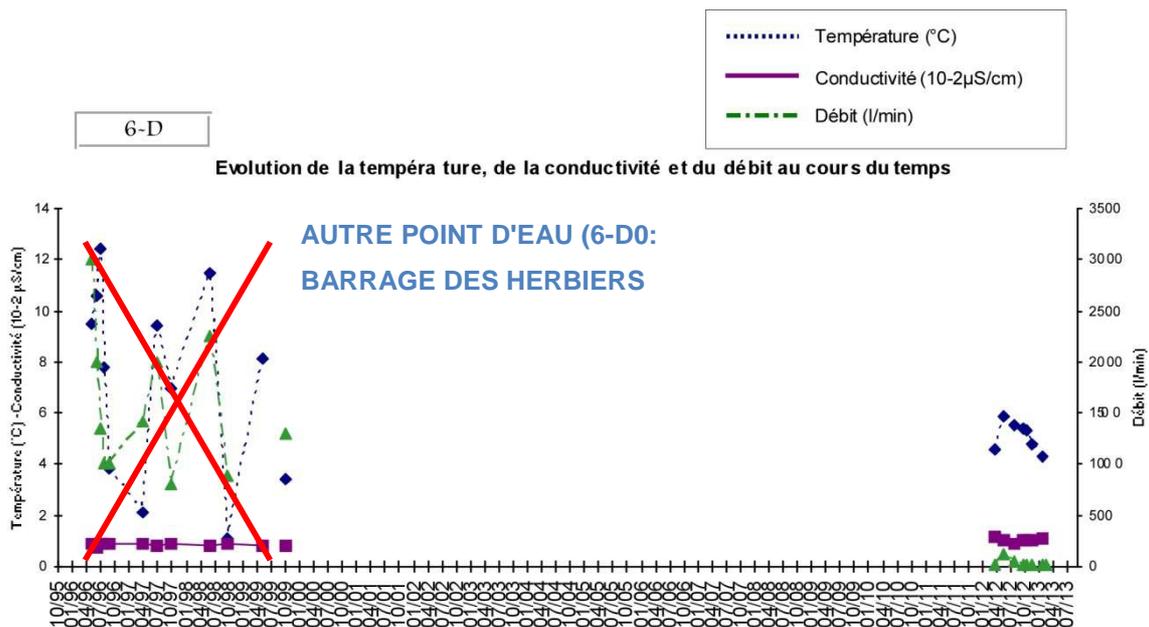


Figure 76 – Synthèse des données du suivi du point 6-D (Source des Sangliers)

La Source des Sangliers (initialement code point n. 6-C dans la base de données LTF) est suivie depuis 2009, année de sa restauration, avec la nouvelle dénomination 6-D.

Le point d'eau au Barrage des Herbiers (initialement indiqué comme le point n. 6-D sur la base de données LTF) n'est plus suivi depuis 2001. Il a été renommé 6-D0.

La Source des Sangliers (point n. 6-D) est située à la cote 1670 m NGF, à environ 1.7 km au NW du hameau de Modane (Figure 77). Le point d'eau au Barrage des Herbiers (point n. 6-D0) est situé à la cote 1672 m NGF à environ 1.5 km en amont du Charmaix (Figure 78).

Par ailleurs, ces points n'avaient pas fait l'objet d'une évaluation de la probabilité d'impact. Le DHI a donc été évalué pour la première fois dans le cadre de cette étude. Le tableau 12 synthétise les paramètres retenus pour le calcul de l'indice DHI pour ces 2 points 6-D et 6-D0.



Figure 77 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation du point d'eau 6-D. Une légende complète est reportée sur la Figure 3

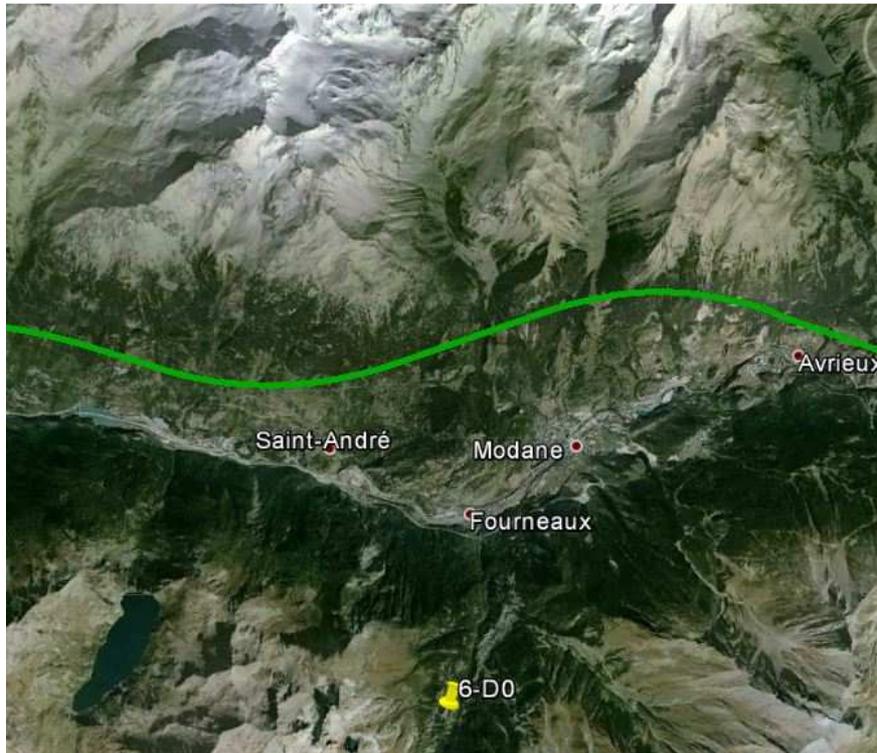


Figure 78 – Localisation du point d'eau 6-D0 (source Google Earth)

Code du point d'eau	Intersection avec failles majeures	Phénomènes de dissolution	Type de source	Effet topographique	Fréquence de la fracturation	Perméabilité du massif	Amplitude de la zone plastique
	IF	FD	TS	ET	FF	MK	PZ
6-D0	1	0	1	1.5	0.10	0.3	1
6-D	1	0	1	1.5	0.10	0.3	1

Tableau 16 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul de l'indice DHI pour la Source des Sangliers (point n. 6-D) et pour le point Barrage des Herbiers (point n. 6-D0)

Il en ressort que la probabilité d'impact pour les deux sources va de très basse à nulle (DHI = 1). Les données relatives aux deux points d'eau sont reportées dans le graphique suivant.

Points d'eau n. 13-A et 2007,4

Les points 13-A (Brise-charge de Sordières (+ seuil)) et 2007,4 (Captage de Champieu / plymouth (bachellerie)), bien que faisant partie du réseau de suivi, n'ont pas été considérés dans l'étude APR. Leur probabilité d'impact par rapport à l'excavation du tunnel de base a donc été évaluée pour la première fois dans le cadre de cette étude.

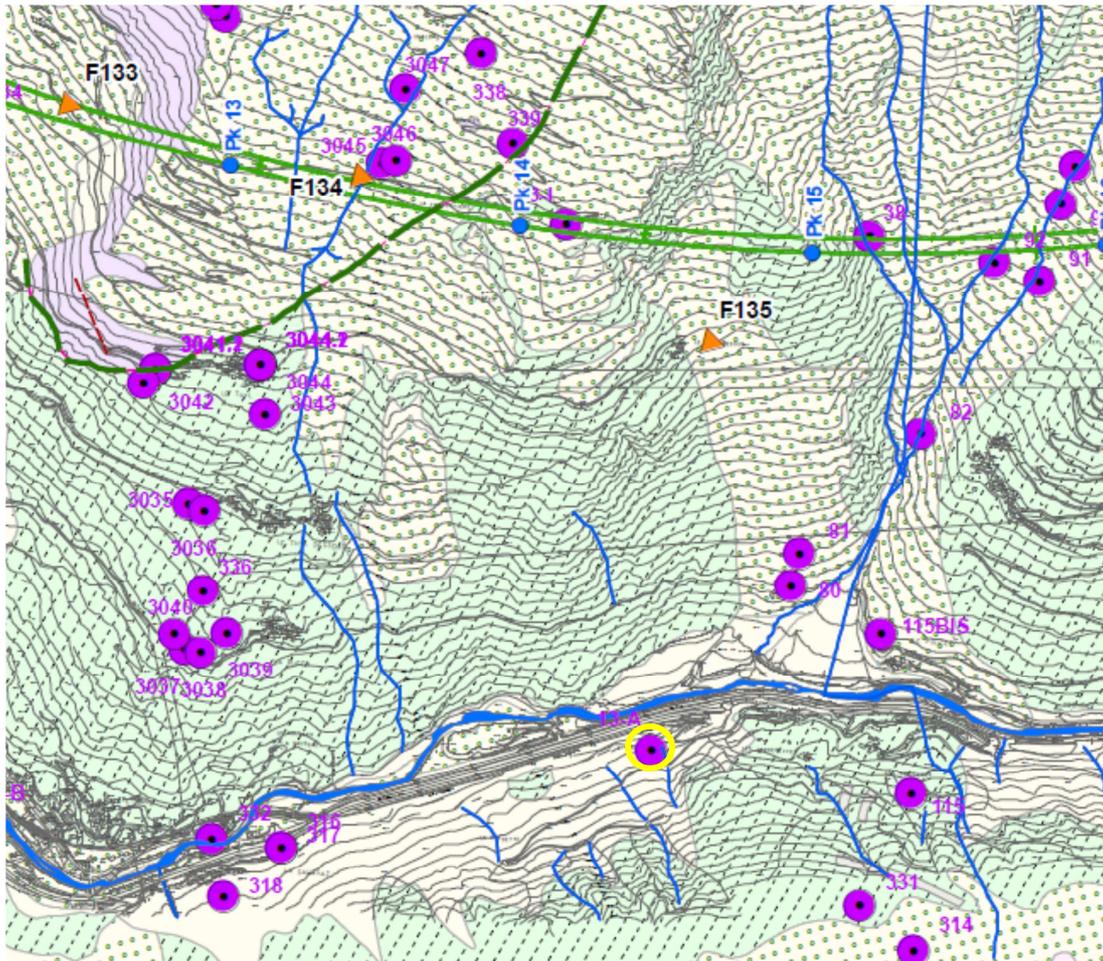


Figure 79 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation du point d'eau 13A. Une légende complète est reportée sur la Figure 3

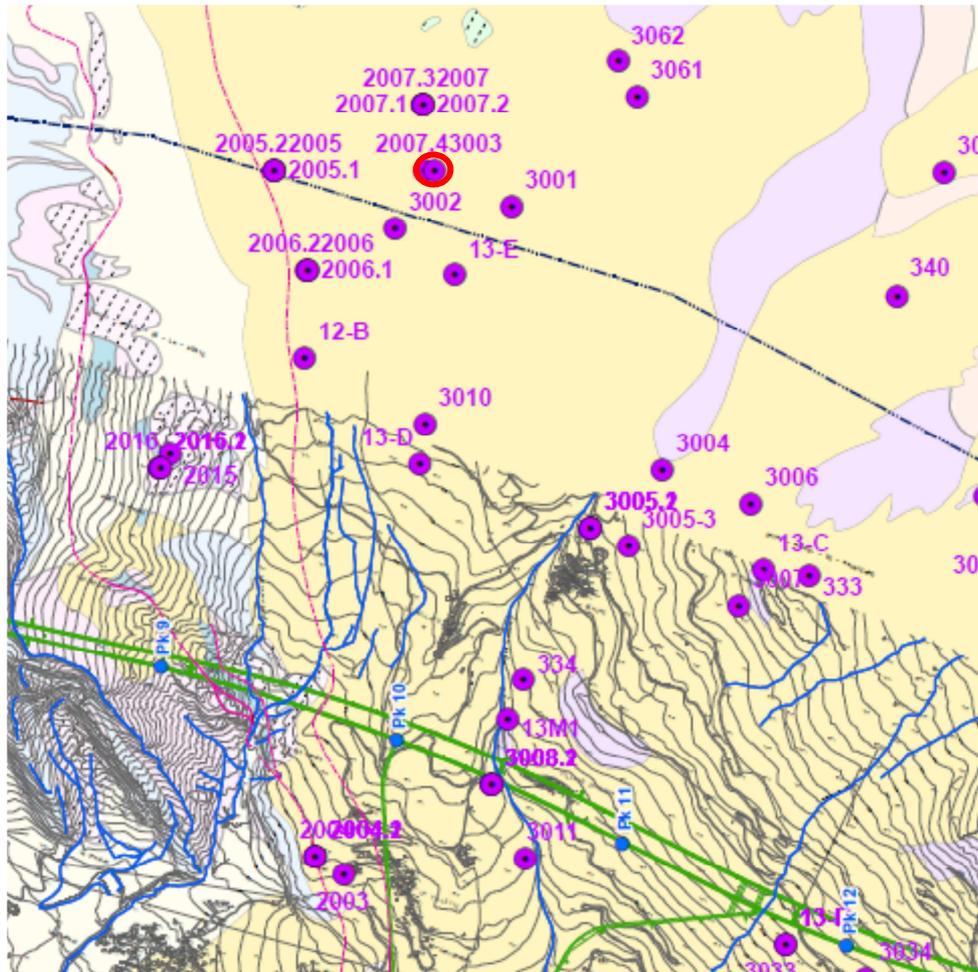


Figure 80 – Extrait de la carte hydrogéologique avec la localisation du point d'eau 2007,4. Une légende complète est reportée sur la Figure 3

Le Tableau 17 synthétise les paramètres retenus pour le calcul de l'indice DHI pour ces 2 points 13-A et 2007,4.

Numéro du point	Intersection avec failles majeures	Phénomènes de dissolution	Type de source	Effet topographique	Fréquence de la fracturation	Perméabilité du massif	Amplitude de la zone plastique
	IF	FD	TS	ET	FF	MK	PZ
13-A	1	0	1.5	1.5	0.10	0.3	1
2007,4	1.5	0.5	1	2	1.00	0.3	1

Tableau 17 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul de l'indice DHI pour les points 13-A (Brise-charge de Sordières (+ seuil)) et 2007,4 (Captage de Champieu / plymouth (bachellerie))

La classe de risque DHI obtenue pour le Brise-charge de Sordières (+ seuil) (point n. 13-A) est de 1 (probabilité de très faible à nulle), et pour le Captage de Champieu / plymouth (bachellerie) (point n. 2007,4) de 2 (probabilité faible).

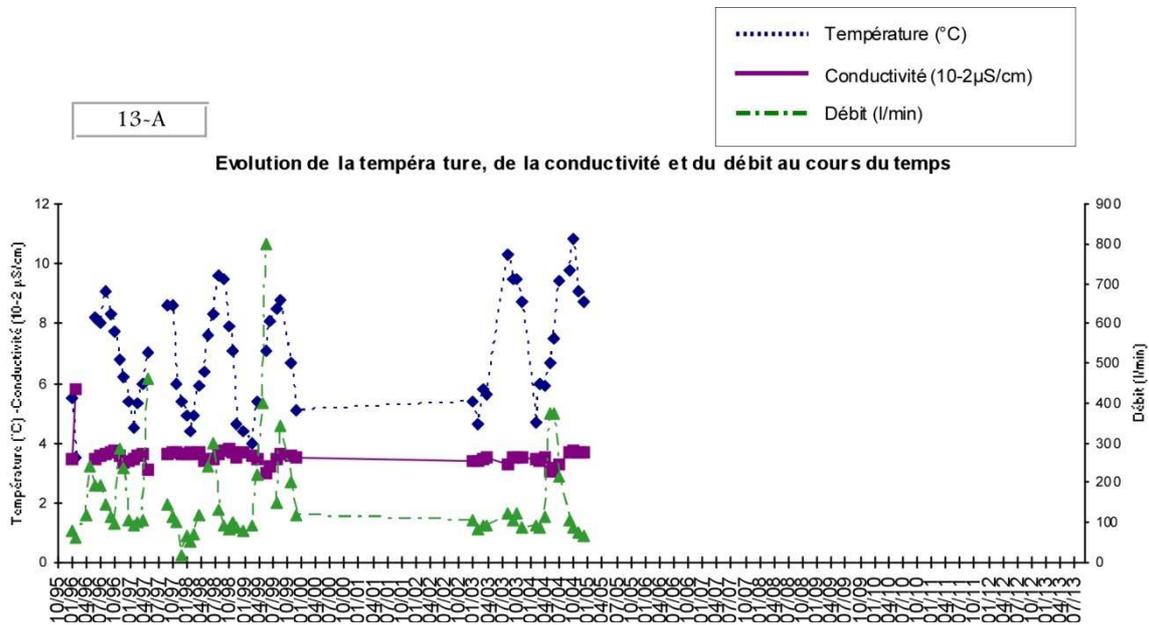


Figure 81 – Synthèse des données du suivi du point 13-A (Brise-charge de Sordières (+ seuil))

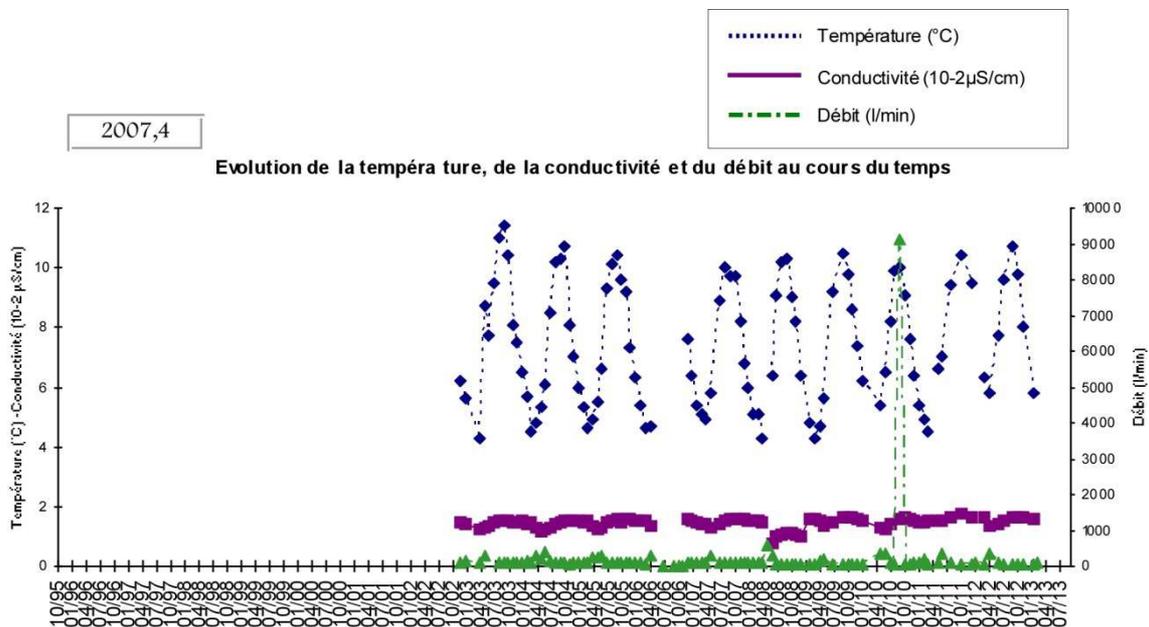


Figure 82 – Synthèse des données du suivi du point 2007,4 (Captage de Champieu / plymouth (bachellerie))

3.3 Résultats de l'analyse du risque d'impact

Le Tableau 18 résume les résultats globaux de l'étude d'impact sur les points d'eau situés dans l'aire d'influence du Tunnel de Base côté France. Il ressort de l'analyse de la distribution des classes de probabilité que la plus grande partie des points d'eau (563 soit 86.0%) présente une probabilité d'impact allant de basse à nulle, 74 points (soit 11.3%) une probabilité basse, et 8 points une probabilité haute (soit 1.2%). Le point 318, comme vu plus haut, n'a pas été classé, et 10 points (soit 1.5%) sont signalés comme déjà impactés par l'excavation des descenderies.

Classe DHI	Valeurs DHI	RISQUE	N.	%
1	DHI < 0.17	TRES FAIBLE À NUL	563	86.0%
2	0.17 ≤ DHI < 0.25	FAIBLE	74	11.3%
3	DHI ≥ 0.25	FORT	8	1.2%
NC	NC	NC	1	-
PI		POINT IMPACTÉ PAR LES DESCENDERIES	10	1.5%
TOTAL			656	

Tableau 18 – Distribution en pourcentages des sources par degré de probabilité d'impact, et nombre de sources dans chaque classe

A titre indicatif, la répartition par commune du nombre de points d'eau à risques est illustrée par les graphiques de la Figure 84 ci-dessous.

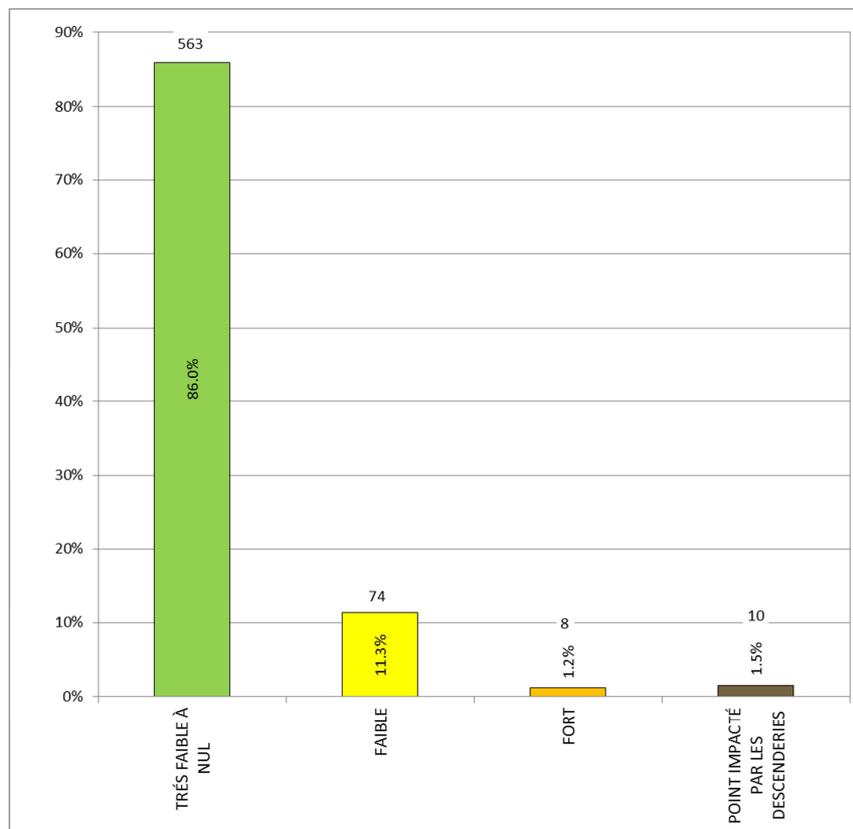


Figure 83 – Distribution en pourcentages des sources par degré de probabilité d'impact et nombre de sources dans chaque classe

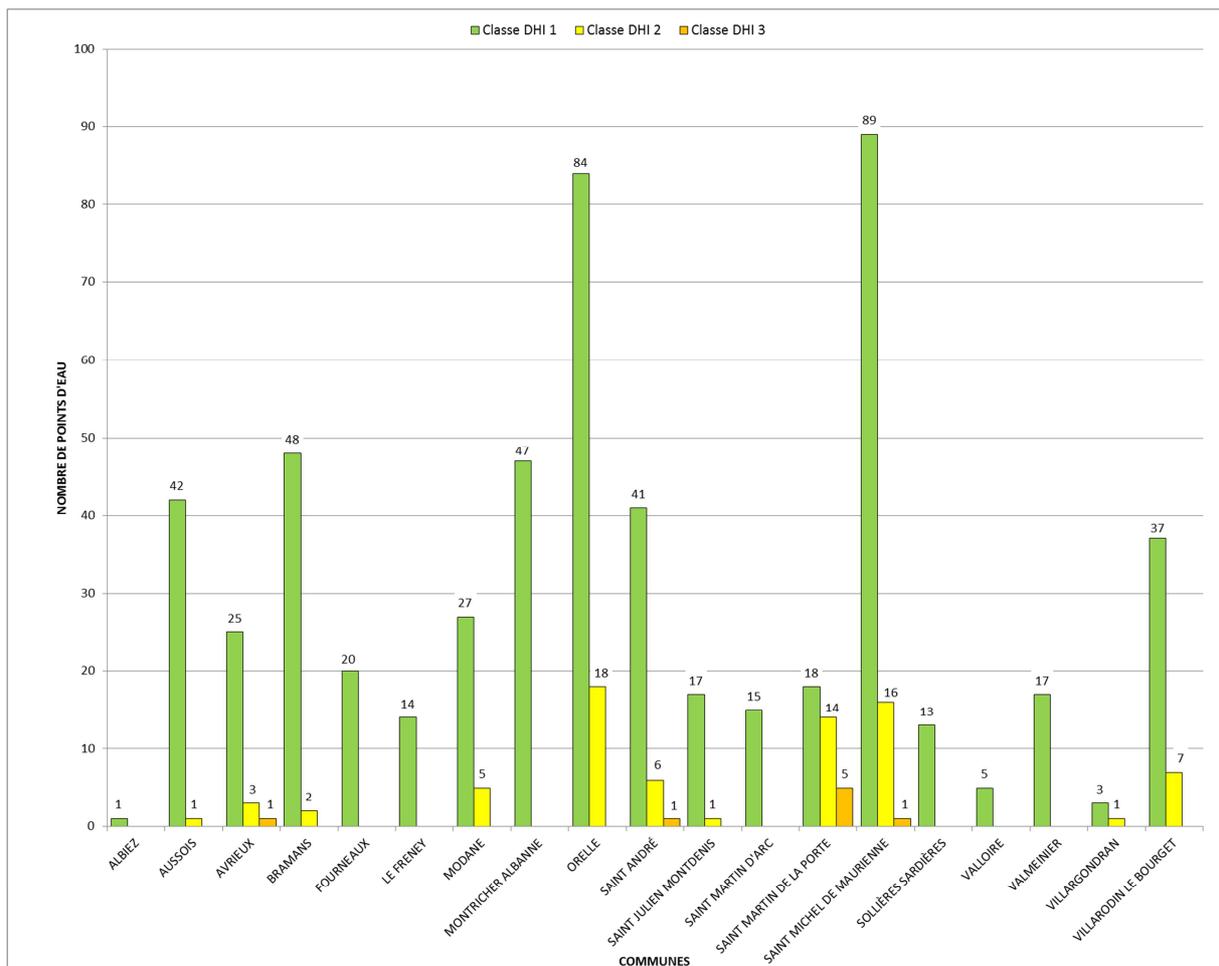


Figure 84 – Répartition par commune du nombre de points d'eau à risques vis-à-vis du seul creusement du tunnel de base

D'après le graphique de la Figure 84, on constate que, comme dans l'analyse de l'APR, les points d'eau présentant les risques les plus importants ne sont pas répartis uniformément le long du tracé du tunnel de base, mais sont plutôt localisés principalement dans deux secteurs géographiques :

- Secteur de Saint-Michel-de-Maurienne et de Saint-Martin-de-la-Porte ;
- Secteur de Villarodin Le Bourget, Avrieux, Aussois et Modane.

Ces deux secteurs correspondent à des entités géologiques perméables au sein desquelles des communications hydrauliques entre les horizons superficiels et profonds sont possibles.

On distingue un troisième secteur. Il s'agit de celui d'Orelle et Saint-André, mais avec des risques de perturbation moins importants car les entités géologiques de ce secteur sont beaucoup moins perméables.

Ces trois secteurs sont aussi ceux des trois descenderies d'accès au tunnel de base :

- Descenderie de Saint-Martin-la-Porte ;
- Descenderie de La Praz (avec des risques de perturbation moins importants) ;
- Descenderie de Villarodin-Bourget/Modane.

3.3.1 Points d'eau situés à une distance supérieure à 2000 m

La méthode DHI a aussi été appliquée pour l'évaluation de la probabilité d'impact sur certains points d'eau se trouvant à l'extérieur de la zone d'influence large de 2000 m et axée sur le tunnel de base. Ces points sont caractérisés par un type d'alimentation lié aux circuits profonds et/ou ont été influencés par le creusement des descenderies. Une synthèse des résultats obtenus est reportée dans le tableau suivant.

N. point d'eau	Distance horizontale	DHI TdB (APR)	DHI TdB (PR)
8	4983	2	1
137	4077	1	1
316	2250	1	1
318	2456	1	NC
322	2996	1	PI
2005,1	2076	1	2
2005,2	2077	1	2
2007,4	2231	NC	2
277,1	2820	1	2
277,2	2819	1	2
277,3	2819	1	2
6-D0	5820	1	1
6-D	5212	1	1
159	3250	1	1
3002	2020	2	2
158,1	3600	1	1
158,2	3600	1	1

Tableau 19 – Degré de probabilité de tarissement des points d'eau extérieurs au couloir de 2000 m axé sur le tunnel, caractérisés par une alimentation profonde et/ou impactés par l'excavation des descenderies

Dans cette phase d'étude, sur un total de 17 points d'eau éloignés du axe du tunnel, seulement 8 présente le même risque évalué lors du APR, les restants 9 points présente une augmentation ou diminution du risque. Dans le premier cas, bien plus nombreux (6 points), le risque change de très faible à nul du APR à faible du PR tandis que dans le deuxième cas pour un point le risque change de faible à modéré à très faible à nul. Enfin, le point 322, classé à risque très faible à nul lors du APR, a été impacté par le creusement des descenderies

4. Etude d'impact sur les eaux superficielles

Les cours d'eau considérés dans l'étude d'impact se localisent dans les secteurs potentiellement influencés par l'excavation du Tunnel de Base côté France. A l'intérieur de chaque secteur le choix des cours d'eau a été fait sur la base de trois facteurs principaux :

- intersection directe entre le cours d'eau/bassin d'alimentation et le tracé de l'ouvrage souterrain ;
- importance du cours d'eau, en termes de débit (prioritairement) d'étendue du bassin d'alimentation et d'environnement ;
- contexte géologique du bassin d'alimentation du cours d'eau. Ce facteur se réfère surtout à la présence de faciès déformés tectoniquement, avec développement de zones de fracturation et de phénomènes de dissolution pouvant constituer une connexion entre le tunnel et les cours d'eau. Ceci est également valable pour les cours d'eau ne recoupant pas directement l'ouvrage.

La méthodologie utilisée est celle déjà développée dans le cadre du PD2 pour le tunnel de base et la galerie d'interconnexion en territoire italien. L'application de cette méthodologie est subordonnée à la disponibilité des données hydrologiques spécifiques acquises selon les critères décrits dans l'annexe 2. Sur la base des facteurs énumérés ci-dessus, et des données disponibles, six torrents situés entre Saint-Julien-Montdenis et Bramans ont été étudiés, à savoir, d'Ouest en Est :

- Le Claret, (Saint-Julien-Montdenis),
- Saint-Bernard (Saint-Martin-de-La-Porte),
- Saint-Bernard (Modane),
- Povaret (Modane)
- Saint-Benoît (Avrieux),
- Ambin (Bramans).

Ceux-ci correspondent aux cours d'eau analysés et reconnus comme à risque dans l'APR.

Pour obtenir les différents paramètres utiles dans l'analyse d'interférence potentielle on a utilisé des données provenant de différentes sources :

- les résultats du suivi sur les cours d'eau, réalisé par LTF au cours des deux premiers mois de 2013 (paramètres physico-chimiques et débits mesurés sur le terrain) ;
- les reconnaissances hydrogéologiques, essais de traçage et échantillonnages réalisés par différents auteurs dans le cadre de l'approfondissement de l'APS (APS2096ESSBRAAHRF021 de 2005) ;
- l'évaluation du risque d'impact des cours d'eau réalisée dans le cadre de l'APR ;
- le modèle géologique et hydrogéologique de référence développé dans cette phase de projet.

Les informations récoltées permettent la définition de tronçons homogènes pour chaque cours d'eau. A cet égard, on a considéré les points d'apports, où le débit du cours d'eau est augmenté par les apports des affluents ou ceux liés aux activités anthropiques (restitutions de centrales hydroélectriques), et les points de *perte*, où le débit du cours d'eau diminue soit du fait de zones d'infiltration (zones de fracturation), soit du fait de dérivations anthropiques

(canaux d'irrigation, dérivations à but hydroélectrique). Pour chaque tronçon, un point représentatif a été établi pour le calcul du DHI. Ce point est celui pour lequel les paramètres de l'index DHI sont les plus défavorables, ou bien, par précaution, fournissent des valeurs de DHI supérieures.

Par ailleurs, aucun cours d'eau n'a été impacté par l'excavation des descenderies.

Les données d'entrée pour les calculs, ainsi que les résultats obtenus, sont reportés dans l'annexe 5 (DHI torrents).

Les autres cours d'eau (cours d'eau mineurs) suivis ont été traités comme des sources ponctuelles au niveau du point de suivi et donc, en l'absence de nouvelles données, on a retenu pour eux le niveau de risque d'impact DHI calculé dans l'APR. Ces résultats sont donnés dans le Tableau 20 suivant.

Commune	Numéro du point	Type de point	Classe DHI TOT APR	Classe DHI TdB APR	Classe DHI TdB PR
Saint Julien Montdenis	1007	RU	1	1	1
Saint Martin de la Porte	12-C	RU	2	2	2
Saint Martin de la Porte	2017	RU	2	2	2
Saint Martin d'Arc	195	RU	1	1	1
Saint Martin d'Arc	196	RU	1	1	1
Saint Martin d'Arc	197	RU	1	1	1
Saint Martin d'Arc	198	RU	1	1	1
Saint Michel de Maurienne	3053	RU	1	1	1
Saint Michel de Maurienne	3054	RU	1	1	1
Saint Michel de Maurienne	3056	RU	1	1	1
Saint Michel de Maurienne	3060	RU	1	1	1
Saint Michel de Maurienne	3061	RU	1	1	1
Saint Michel de Maurienne	13-I	RU	1	1	1
Saint Michel de Maurienne	3053,1	RU	1	1	1
Saint Michel de Maurienne	3053,2	RU	1	1	1
Saint Michel de Maurienne	3055	RU	1	1	1
Saint Michel de Maurienne	3062	RU	1	1	1
Orelle	182	RU	1	1	1
Orelle	183	RU	1	1	1
Orelle	184	RU	1	1	1
Orelle	185	RU	1	1	1
Orelle	186	RU	1	1	1
Orelle	187	RU	1	1	1
Orelle	188	RU	1	1	1
Orelle	189	RU	1	1	1
Orelle	190	RU	1	1	1
Orelle	191	RU	1	1	1
Orelle	192	RU	1	1	1

Rapport sur les points d'eau et leurs risque d'impact (France) - Relazione sui punti acqua e loro rischio di impatto (Francia)

Commune	Numéro du point	Type de point	Classe DHI TOT APR	Classe DHI TdB APR	Classe DHI TdB PR
Orelle	193	RU	1	1	1
Orelle	194	RU	1	1	1
Saint André	171	RU	1	1	1
Saint André	172	RU	1	1	1
Saint André	173	RU	1	1	1
Saint André	174	RU	2	1	1
Saint André	175	RU	2	1	1
Saint André	176	RU	1	1	1
Saint André	177	RU	1	1	1
Saint André	178	RU	1	1	1
Saint André	179	RU	1	1	1
Saint André	180	RU	1	1	1
Saint André	181	RU	1	1	1
Villarodin Le Bourget	294	RU	1	1	1
Villarodin Le Bourget	4002	RU	3	1	1
Villarodin Le Bourget	4009	RU	1	1	1
Avrieux	289	RU	1	1	1
Avrieux	290	RU	1	1	1
Avrieux	291	RU	1	1	1
Avrieux	292	RU	1	1	1
Aussois	237	RU	1	1	1
Aussois	300	RU	2	1	1
Aussois	301	RU	2	1	1
Aussois	302	RU	2	1	1
Bramans	278	RU	1	1	1
Bramans	283	RU	1	1	1
Bramans	284	RU	1	1	1
Bramans	285	RU	1	1	1
Bramans	286	RU	1	1	1
Bramans	287	RU	1	1	1
Bramans	288	RU	1	1	1
Bramans	297	RU	1	1	1
Bramans	298	RU	1	1	1
Bramans	299	RU	1	1	1
Bramans	303	RU	1	1	1
Sollières Sardières	304	RU	1	1	1
Sollières Sardières	305	RU	1	1	1
Sollières Sardières	306	RU	1	1	1

Tableau 20 – Liste des cours d'eau avec niveau de risque d'impact DHI calculé dans l'APR

4.1 Ruisseau Le Claret (CLT)

Ce torrent s'écoule sur la commune de Saint-Julien-Montdenis. Il jouxte à l'Ouest le bassin versant du torrent de Saint-Julien et à l'Est celui du Saint-Bernard (de Saint-Martin-la-Porte). Son talweg est localisé sur la zone du front Subbriançonnais avec un substratum constitué en rive gauche par des évaporites, et en rive droite par des flyschs. En amont, son cours est très encaissé, alors qu'en aval il coule sur un vaste cône de déjection.

Trois campagnes de mesures effectuées en hiver 1999, juin 2000 et septembre 2003 ont mis en évidence des apports provenant de sources sulfatées en amont du bassin versant, au droit de la zone du front Subbriançonnais, et des pertes en aval au droit du cône de déjection. En septembre 2003, le débit du ruisseau en amont était de 34 l/s (environ 122,5 m³/h), alors qu'à l'aval il n'était plus que de 0,3 l/s (environ 11 m³/h). La Conductivité Electrique des eaux de ce ruisseau était homogène, supérieure à 2300 µS/cm.

Les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques, avec des zones de dissolution et de karstification qui conditionnent les écoulements sur le Claret, constituent un risque important pour les travaux du tunnel.

Il est à noter que le régime du Claret est torrentiel, avec une réponse très rapide et violente aux précipitations du fait d'un bassin versant très pentu. Le débit de ce ruisseau peut donc être beaucoup plus important. Cette forte augmentation de débit est accompagnée d'une baisse de Conductivité Electrique liée aux apports d'eaux météoriques. Les mesures effectuées le 8 septembre 2003 sont reportées dans le tableau suivant, et la figure qui suit indique les points de mesure.

Point	Q (l/s)	C.E. (µS/cm)	T (°C)
Claret 1	0.3	2350	17.7
Claret 2	6.5	2520	12.1
Claret 3	26	2320	14.4
Claret 4	34	2330	13.5

Tableau21 – Mesures sur le torrent du Claret le 8 septembre 2003

Sur la base de ces observations, le cours d'eau a été subdivisé en tronçons homogènes représentés dans la figure qui suit. L'indice d'impact pour chaque tronçon a été évalué au niveau du point considéré comme représentatif du tronçon. Ces points sont matérialisés par les étoiles rouges sur la figure.

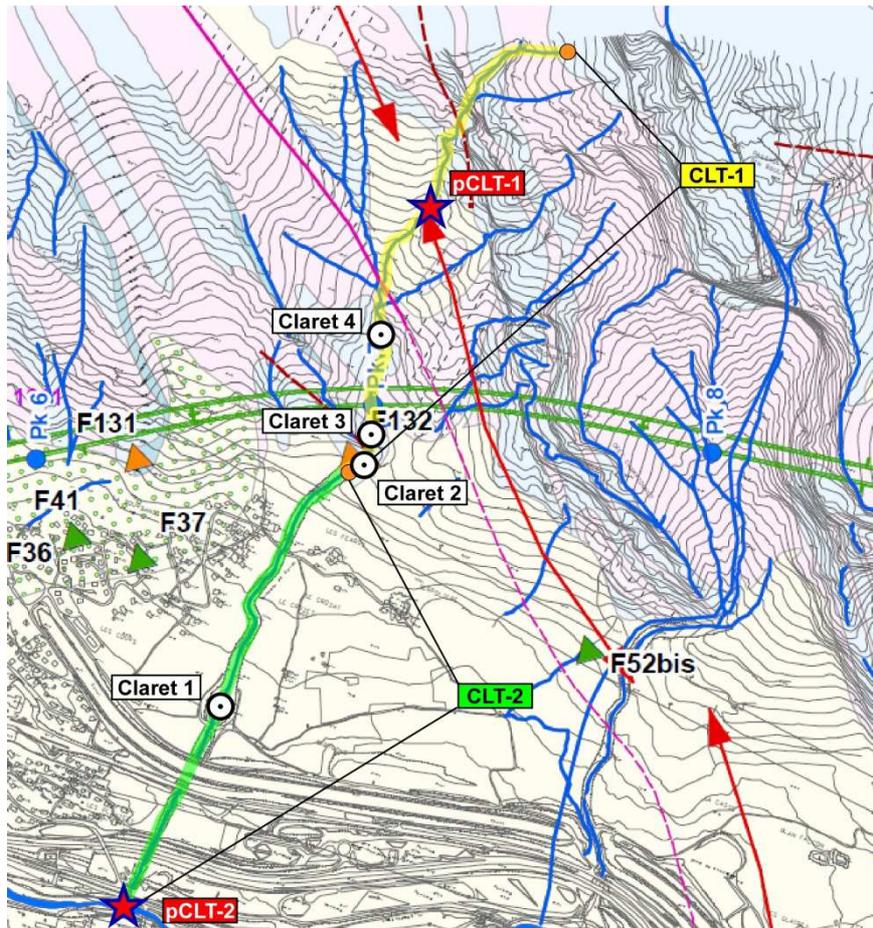


Figure 85 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau Le Claret (CLT1 jaune et CLT2 vert), des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) et des points de mesures (points blancs)

Pour ce cours d'eau, l'analyse du risque d'impact sur les différents tronçons identifiés fournit les résultats reportés dans le tableau suivant.

Numéro du point	Intersection avec failles majeures	Phénomènes de dissolution	Type d'alimentation	Effet topographique	Fréquence de la fracturation	Perméabilité du massif	Amplitude de la zone plastique	Classe DHI
	IF	FD	RT	ET_réseau	FF	MK	PZ	
CLT-1	1.5	0.25	2.0	2.0	0.40	0.3	1	2
CLT-2	1.0	0.00	1.5	2.0	0.10	0.3	1	1

Tableau22 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés le long du cours du ruisseau Le Claret

4.2 Ruisseau Saint-Bernard (Saint-Martin-la-Porte) (SBP)

Géologiquement, le talweg du ruisseau correspond pratiquement au contact anormal entre la zone Subbriançonnaise et la Zone Houillère Briançonnaise, souligné par les gypses et cargneules. Des dépôts morainiques masquent la Zone Houillère.

Le bassin versant du Saint-Bernard a fait l'objet d'investigations en septembre 1995, juin 2000, septembre 2002, août 2003 et 2004.

Ces campagnes de mesures ont mis en évidence des apports importants provenant des sources sulfatées du ruisseau de la forêt de Beaune situées en rive droite du ruisseau. Ces apports peuvent représenter entre 50 % du débit du ruisseau en période de hautes eaux, et 95 % en période d'étiage. Ces apports entraînent une augmentation notable de la Conductivité Electrique des eaux. Aucune perte significative n'a été mise en évidence à l'aval, au droit du cône de déjection.

Les principaux résultats sont les suivants :

- Le débit du Saint-Bernard est très marqué par d'importants apports sulfatés visibles en rive droite vers la cote 1350 m, en aval de Charbutant (Conductivité Electrique supérieure à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Lors de la campagne de 2003, le débit a été multiplié par 90, passant de 2,4 à 225 l/s en deux kilomètres, entre SBP4 (hors carte) et SBP2 ;
- En rive gauche, les apports sont faiblement minéralisés (Conductivité Electrique inférieure à 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ;
- Au débouché de son cône de déjection, on note une baisse de débit malgré les faibles apports de la dérivation du ruisseau des Combes.

Les apports importants d'eau sulfatée dans le torrent dominant sur les pertes dans les karsts ou fissures des évaporites. Des pertes avaient néanmoins été mesurées antérieurement, lors de la campagne de 1995 entre la zone d'émergences et le point 2.

En aval de la confluence avec la dérivation du ruisseau des Combes, les infiltrations dominant probablement dans le cône de déjection au droit du chef-lieu de Saint-Martin-la Porte.

La campagne de mesures de juin 2004, réalisée lors de débits élevés liés à la fonte des neiges, a permis de nuancer les relations entre les eaux superficielles et souterraines :

- un débit à tendance excédentaire entre les points SBP5 et SBP4 (hors carte) (+17 l/s) ;
- un débit excédentaire entre les points SBP4 et SBP2 bis (+521 l/s), en prenant en compte l'apport provenant de SBP3 ;
- un débit plutôt excédentaire entre les points SBP2 bis et SBP1 (+20 l/s).

Les deux premiers bilans excédentaires s'accompagnent d'une augmentation de la Conductivité Electrique, ce qui traduit des apports d'eau plus minéralisée. Les ruisseaux issus de la zone Houillère (ruisseau de la Buffaz, ruisseau des Combes et d'autres mineurs) contribuent fortement au débit du Saint-Bernard (50 % du débit), contrairement à la situation d'étiage (1 à 2 %). Le débit des sources de Beaune, liées au contact tectonique entre la zone Houillère et la zone Subbriançonnaise, s'élèverait à environ 600 l/s (soit 50 % du débit).

Les mesures effectuées au cours des différentes campagnes sont reportées dans le Tableau 23 ci-dessous, et la figure qui suit donne la localisation des points de mesure.

<i>Date</i>	<i>Point</i>	<i>Q (l/s)</i>	<i>C.E. (μS/cm)</i>	<i>T (°C)</i>
04/10/2002	St. Bernard P. 1	506	1822	11.0
	St. Bernard P. 2	539	2170	8.9
	St. Bernard P. 3	76	186	10.4
	Deriv. R. des Combes	6	157	10.4
	Zone d'émergences	non mesuré	2200	6.7
13/08/2003	St. Bernard P. 1	205	2160	17.7
	St. Bernard P. 2	225	2270	11.5
	St. Bernard P. 3	4	198	17.7
	Deriv. R. des Combes	0	-	-
	Zone d'émergences	non mesuré	2255	6.8
13/06/2004	St. Bernard P. 1	1239	1104	11.0
	St. Bernard P. 2	1219	1107	11.1
	St. Bernard P. 3	530	124	10.6
	Deriv. R. des Combes	79	115	11.7
	Zone d'émergences	non mesuré	2230	6.7

Tableau 23 – Mesures sur le Ruisseau Saint-Bernard (Saint-Martin-la-Porte)

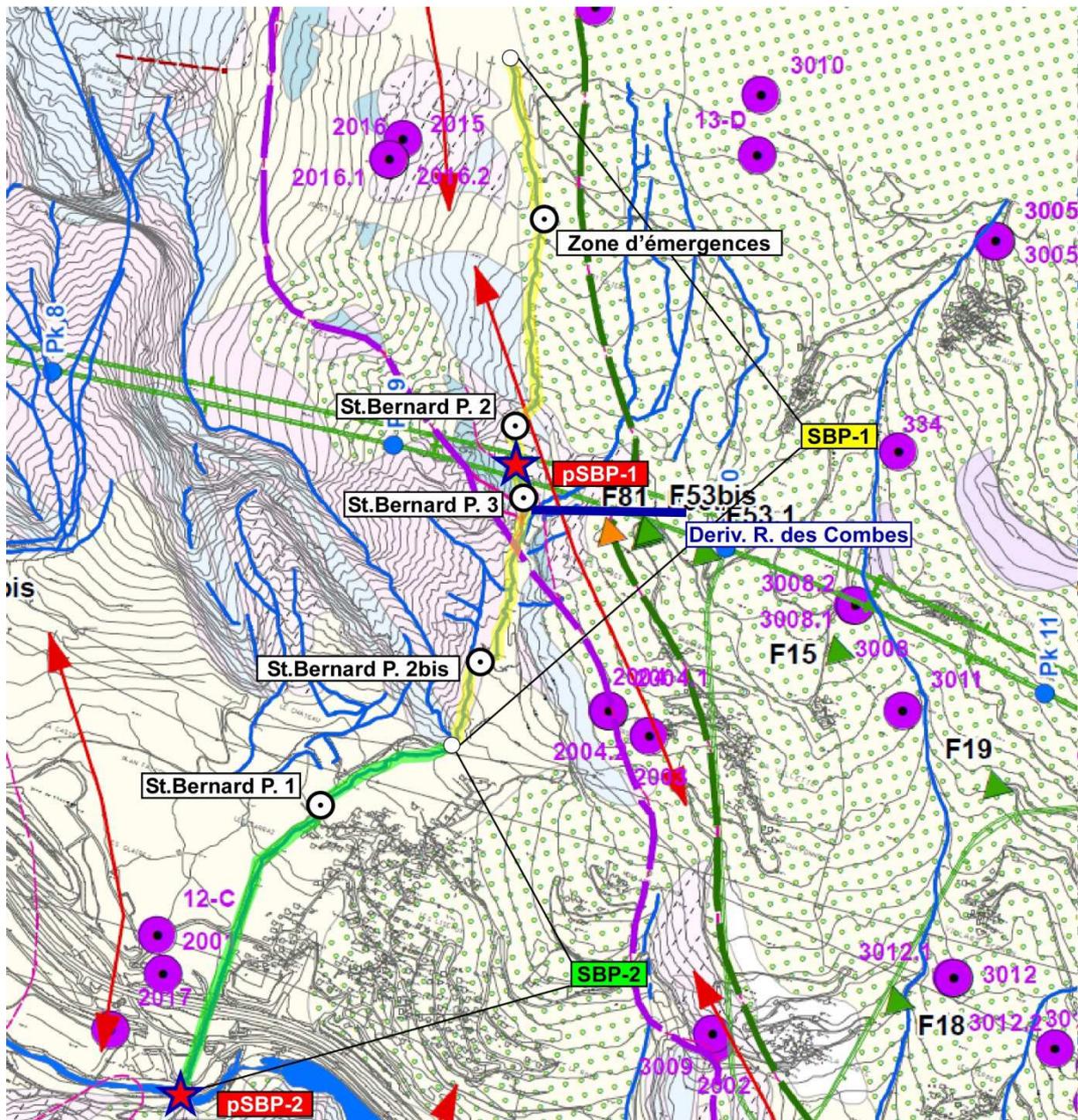


Figure 86 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau Saint-Bernard (Saint-Martin-la-Porte), des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) et des points de mesure (points blancs)

Le débit du torrent pourrait donc être faiblement affecté par les travaux souterrains lorsqu'ils recouperont le contact entre les deux zones Subbriançonnaise et Houillère où s'écoulent les sources de Beaune.

Sur la base de ces observations, le cours d'eau a été subdivisé en tronçons homogènes, représentés sur la figure qui suit. L'indice d'impact pour chaque tronçon a été évalué au niveau du point considéré comme représentatif du tronçon. Ces points sont matérialisés par les étoiles rouges sur la figure.

Pour ce cours d'eau, l'analyse du risque d'impact sur les différents tronçons identifiés, et pour les points d'eau suivis, fournit les résultats reportés dans le tableau suivant.

Rapport sur les points d'eau et leurs risque d'impact (France) - Relazione sui punti acqua e loro rischio di impatto (Francia)

Numéro du point	Intersection avec failles majeures	Phénomènes de dissolution	Type de alimentation	Effet topographique	Fréquence de la fracturation	Perméabilité du massif	Amplitude de la zone plastique	Classe DHI
	IF	FD	RT	ET_réseau	FF	MK	PZ	
SBP-1	1.5	0.5	2	2.0	0.40	0.30	1	3
SBP-2	1.0	0.0	1	2.0	0.10	0.30	1	1
12-C	1.5	0	1.5	2.0	0.80	0.20	1	2
2017	1.5	0	1.5	2.0	0.80	0.35	1	2

Tableau 24 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul, et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés et pour les points d'eau suivis le long du ruisseau Saint Bernard (Saint-Martin-la-Porte).

4.3 Torrent Saint-Bernard (Modane) (SBM)

Le talweg de ce ruisseau est localisé sur une zone de cisaillement : l'accident tectonique majeur de Modane - Chavière qui met en contact la zone Houillère (Ouest) et la Zone Briançonnaise (Est). Le substratum est constitué par des formations quaternaires en amont, des quartzites du Trias inférieur dans sa partie intermédiaire et des gypses et dolomies à l'aval.

Ce torrent a déjà été étudié lors de trois campagnes en août 1998, juillet 2000 et octobre 2002. Les mesures de débit ont été réalisées au sein :

- des formations quaternaires (formations alluviales) pour les points amont Saint-Bernard 4 et 5 ;
- des quartzites du Trias inférieur pour les points Saint-Bernard 3 et 2b en partie masqués par les formations quaternaires ;
- des gypses et dolomies pour les points de Saint-Bernard 1 et 2.

Trois suivantes campagnes ont été effectuées les 6 octobre 2002, 17 octobre 2003 et 9 août 2004 (voir le tableau et la figure suivants).

Date	Point	Q (l/s)	C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	T (°C)
06/10/2002	St. Bernard M. 1	945	1450	7.5
	St. Bernard M. 2	887	1444	7.4
	St. Bernard M. 3	568	1349	5.7
	St. Bernard M. 4	110	127	9.7
	St. Bernard M. 5	122	115	9.2
	émergences 1	diffus	1912	7.3
	émergences 2	diffus	1300	7.3
	émergences 3	diffus	2000	7.3
	dérivation 1	20	-	-
	dérivation 2	25	-	-

17/10/2003	St. Bernard M. 1	868	1515	4.5
	St. Bernard M. 2	1080	1519	4.6
	St. Bernard M. 2b	696	1519	5.2
	St. Bernard M. 3	1188	1549	5.0
	St. Bernard M. 4	68	164	9.7
	St. Bernard M. 5	79	171	9.2
	émergences 2	diffus	1300	-
	émergences 3	diffus	1300	-
	dérivation 1	20	-	-
	dérivation 2	17	-	-
	dérivation 3	15	-	-
09/08/2004	St. Bernard M. 1	887	1483	9.1
	St. Bernard M. 2	934	1479	9.3
	St. Bernard M. 2b	878	1500	7.4
	St. Bernard M. 4	241	96	13.2
	St. Bernard M. 5	204	45	13.3
	émergences 2	diffus	1300	-
	dérivation 1	21	-	-
	dérivation 2	1.7	-	-
	dérivation 3	14	-	-

Tableau 25 – Mesures sur le Ruisseau Saint-Bernard (Modane)

Le torrent peut être découpé en quatre tronçons présentant des caractéristiques différentes :

1. tronçon SBM1 : Sur la partie amont du torrent (en amont du pont de la RD106 situé à 1779 m), dans l'ombilic de Polset, les pertes de débit du cours principal sont liées à des dérivation en rives droite et gauche du torrent. La Conductivité Electrique est faible (inférieure à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ;
2. tronçon SBM2 : En aval de l'ombilic (entre le pont à 1779 m et vers la cote de 1500 m), on observe de nombreuses émergences et écoulements diffus dont la Conductivité Electrique dépasse localement 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les venues proviennent essentiellement de la rive droite du Saint-Bernard. Ces importantes venues d'eau (plus de 1000 l/s) sont sulfatées et proviennent du contact évaporitique. Les gypses et cargneules affleurent en rive gauche du torrent ;
3. tronçon SBM 3 : En aval de la cote de 1500 m jusqu'à 1200 m, le bilan est contrasté selon les campagnes de mesures, avec des zones d'apports dominants ou des zones de pertes dominantes. Compte tenu des difficultés de mesures dans le lit très chaotique du torrent, ces pertes et ces gains peuvent être aussi le résultat d'un écoulement sous les blocs métriques que renferme le lit. Il est raisonnable de considérer que le torrent offre un bilan excédentaire jusqu'à la cote de 1200 m comme cela a été observé le 6 octobre 2002 et le 09 août 2004 ;

4. tronçon SBM 4 : De 1200 m à la station de mesures Saint-Bernard Modane 1 (Loutraz), le bilan est déficitaire, malgré des apports d'eaux sulfatées diffuses et abondantes, notamment vers la cote de 1100 m (vers la carrière en rive droite).

Ces observations ont également été réalisées au cours des campagnes précédentes, en 1998 et 2000.

Le Saint-Bernard de Modane est donc le siège d'importants échanges entre les écoulements superficiels et souterrains, avec des apports souterrains issus du contact évaporitique et des pertes au passage des cargneules. Ce cours d'eau récupère des eaux de circulations dans des gypses et cargneules avec des débits très élevés, de l'ordre de 1000 l/s entre le pont du Polset et Loutraz. Localement ces mêmes eaux se réinfiltrent.

Le Saint-Bernard s'écoule dans une zone géologiquement accidentée avec des phénomènes de dissolution. On peut donc s'attendre à des impacts très forts sur le tunnel et le ruisseau. Les importantes venues d'eau dans le torrent expriment ce risque.

L'unique point de suivi actif le long de ce cours d'eau est le point n. 6-A pour lequel les données récentes ne sont pas fiables car, à la suite de certains travaux de construction de logements après le 2003, 90% environ du débit est capté en amont du point. Les données du suivi du point n. 6-A sont reportées dans la figure qui suit.

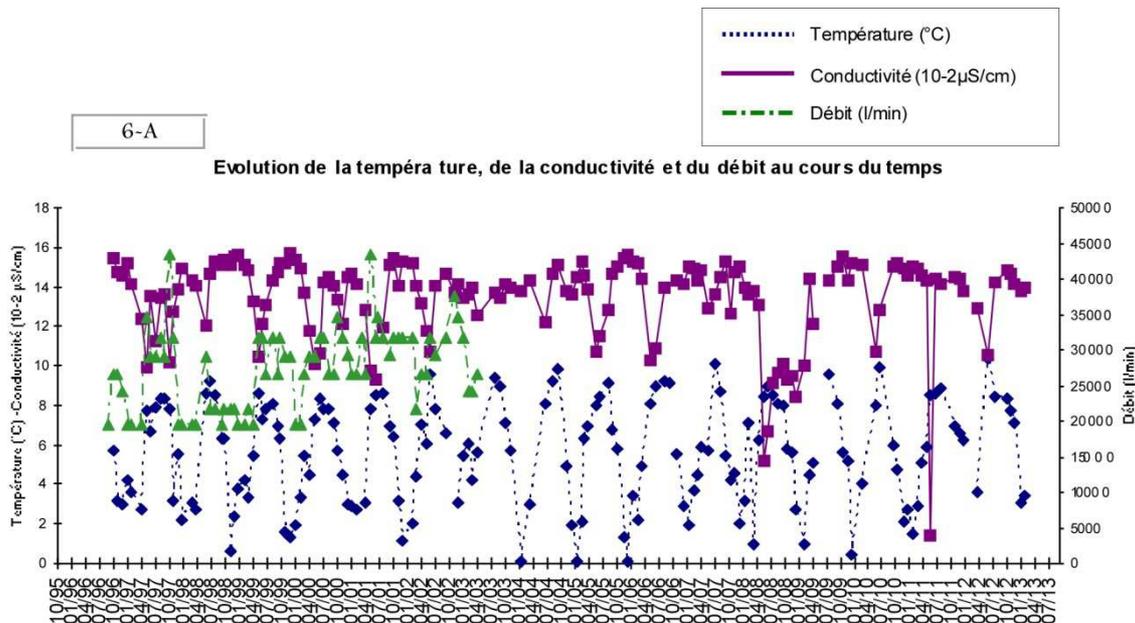


Figure 87 – Synthèse des données de suivi du point 6-A (Ruisseau de Saint-Bernard (Modane))

Sur la base de ces observations, le cours d'eau a été subdivisé en tronçons homogènes, représentés sur la figure qui suit. L'indice d'impact pour chaque tronçon a été évalué au niveau du point considéré comme représentatif du tronçon. Ces points sont matérialisés par les étoiles rouges sur la figure.

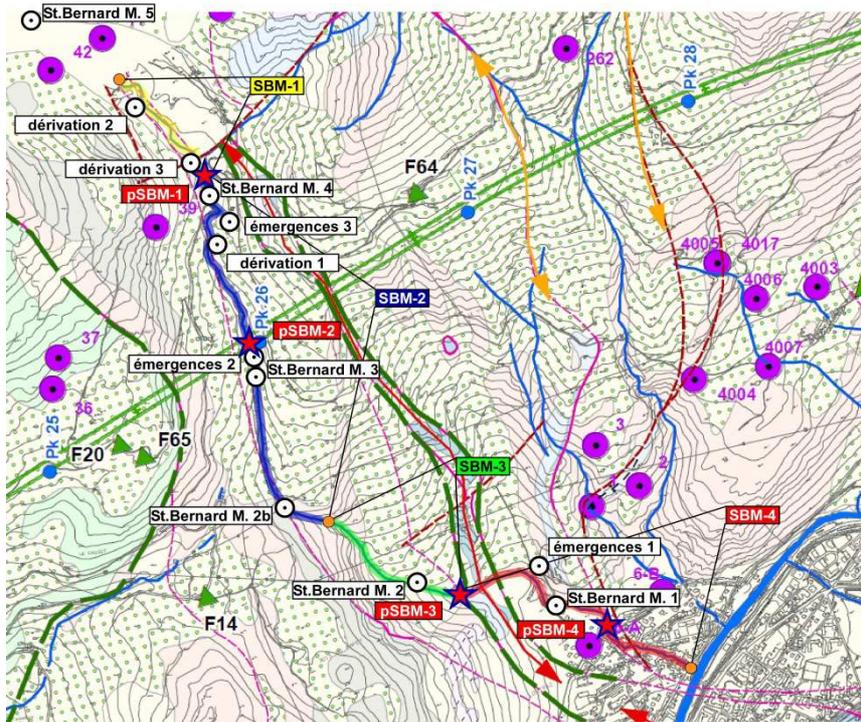


Figure 88 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau Saint-Bernard (Modane), des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) et des points de mesures (points blancs)

Pour ce cours d'eau, l'analyse du risque d'impact sur les différents tronçons identifiés fournit les résultats reportés dans le tableau suivant.

Numéro du point	Intersection avec failles majeures	Phénomènes de dissolution	Type de alimentation	Effet topographique	Fréquence de la fracturation	Perméabilité du massif	Amplitude de la zone plastique	Classe DHI
	IF	FD	RT	ET_réseau	FF	MK	PZ	
SBM-1	1.5	0.25	1.0	2.0	0.40	0.3	1	1
SBM-2	1.5	0.25	2.0	2.0	0.40	0.7	1	3
SBM-3	1.5	0.00	1.5	2.0	0.40	0.3	1	1
SBM-4	1.5	0.00	1.5	2.0	0.40	0.1	1	1

Tableau 26 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés le long du ruisseau du Saint-Bernard (Modane).

4.4 Ruisseau Le Povaret (PVT)

Le talweg de ce ruisseau est localisé le long de l'accident de Modane - Chavière (décochevauchement) avec un substratum constitué principalement par des quartzites du Trias inférieur. Les formations du bassin versant sont essentiellement constituées par des quartzites qui plongent vers l'Ouest en direction de l'accident de Modane - Chavière. Le forage F136 a mis en évidence qu'au niveau du contact Modane-Chavières, le métamorphisme a bien fermé les structures et aucune venue d'eau significative n'a été observée. Les mesures du débit ont été réalisées lorsque le ruisseau s'écoule au sein :

- des formations quaternaires (éboulis, cône de déjection et formations alluviales) pour les points amont Povaret 4, 5, 6 et 7 ;
- des quartzites du Trias inférieur pour les points Povaret 1 et 2.

Les éléments suivants peuvent être tirés de l'analyse des données disponibles :

- A. lors des campagnes de mesures du 12 août 2003 et du 03 août 2004 :
- une perte de 25 l/s entre les points 6 et 7 (ruisseaux de la Masse et du Povaret en aval de la prise EDF), et le point 5 au droit du refuge de l'Orgère, soit un tiers du débit du Povaret. Cette perte correspond à une infiltration du torrent dans les formations alluviales de la plaine de l'Orgère ; elle est comparable pour les deux campagnes, alors que les ruisseaux présentaient des débits différents ;
 - un gain de débit entre les points 5 (refuge de l'Orgère), et 3 et 4 (vers la cote de 1700 m, où le torrent est dérivé vers Amodon). Ce gain était équivalent au doublement du débit entre ce point 5 et les points 3+4 (+44 l/s en août 2003, et +76 l/s en août 2004). Cet apport d'eau peut s'expliquer par une restitution du stockage dans l'ombilic de l'Orgère, du fait du verrou des quartzites.
- B. Ces deux constatations avaient déjà été observées lors des campagnes précédentes d'août 1998, et de juillet 2000.
- C. L'apport en aval de l'ombilic de l'Orgère a été vérifié par des mesures de Conductivité Electrique et de température le 09/08/2004 en remontant le cours d'eau au droit de l'ombilic : la minéralisation du torrent croit progressivement et sa température diminue (tableau suivant). Les venues d'eau sont diffuses et sensiblement plus minéralisées que celle du torrent. Ces venues présentent des températures plus froides que celle du torrent.

Point de mesure	Conductivité Electrique $\mu\text{S/cm}$	Température $^{\circ}\text{C}$
Povaret 5, Orgère amont	98	14.8
Povaret, aval de la dernière maison	113	12.8
Arrivée diffuse amont au Povaret en rive droite	168	7.3
Arrivée diffuse aval au Povaret en rive droite	196	5.4
Povaret 4	125	11.6

Tableau 27 – Evolution de la Conductivité Electrique et de la température de l'amont vers l'aval du ruisseau du Povaret le 9 août 2004 vers 16h00

- D. En aval de la dérivation qui se dirige vers Amodon, les mesures ne montrent pas de modification du débit. Par contre, on note une légère augmentation de la Conductivité Electrique des eaux, ce qui traduirait un apport d'eau plus minéralisée qui serait compensé par des pertes par infiltration.
- E. Les mesures de débit sur le cours aval du Povaret ne mettent pas en évidence d'échanges importants entre les eaux superficielles et les eaux souterraines. Les échanges ont été mis en évidence par une augmentation de la Conductivité Electrique, mais n'ont pas été quantifiés.

Les mesures effectuées au cours des différentes campagnes sont reportées dans le tableau ci-dessous, et la Figure 84 localise les points de mesure.

Date	Point	Q (l/s)	C.E. (µS/cm)	T (°C)
12/08/2003	Povaret 1	56	172	15.0
	Povaret 2	56	137	13.2
	Povaret 3 (der. Vers Amodon)	46	133	12.4
	Povaret 4	52	133	12.4
	Povaret 5	54	107	11.8
	Povaret 6	64	113	6.1
	Povaret 7	15	69	12.4
03/08/2004	Povaret 1	108	141	13.4
	Povaret 2	97	122	11.8
	Povaret 3 (der. Vers Amodon)	49	123	12.1
	Povaret 4	116	123	12.1
	Povaret 5	92	94	14.9
	Povaret 6	102	103	5.9
	Povaret 7	16.1	63	12.5

Tableau 28 – Mesures sur le Ruisseau Le Povaret

L'unique point de suivi actuellement en service le long de ce cours d'eau est le point n. 6-B. Toutefois, les données les plus récentes sont peu fiables à cause des travaux de maintenance sur le captage qui ont provoqué la variation du débit. Il n'est donc pas possible de les confronter avec les débits antérieurs au creusement de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane. La figure qui suit présente les données du suivi du point 6-B.

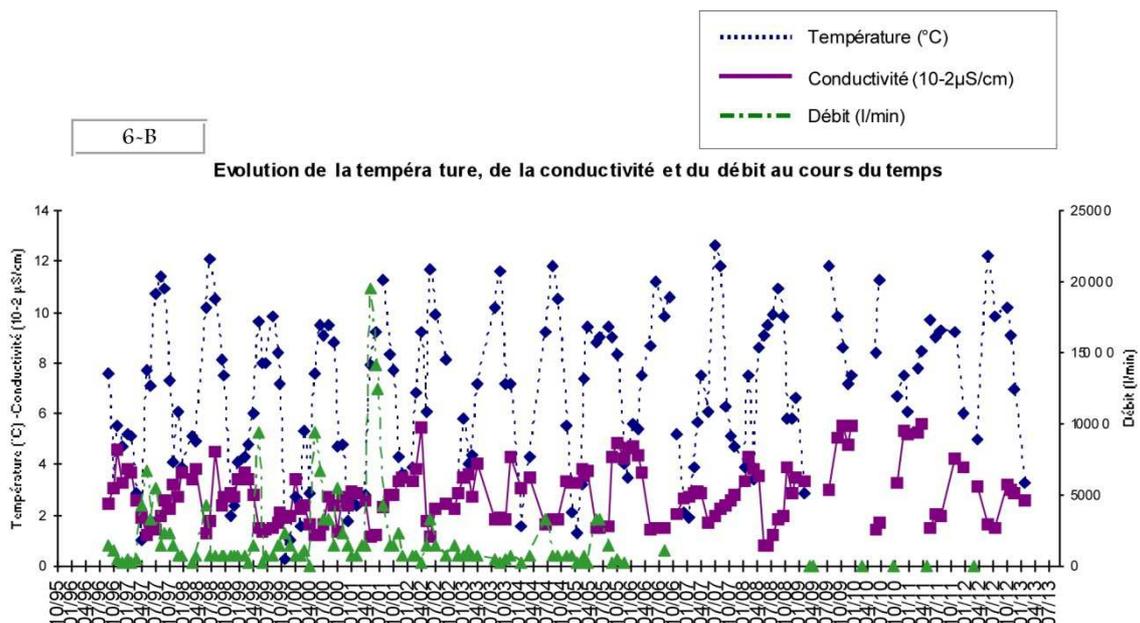


Figure 89 – Synthèse des données du suivi du point 6-B (Ruisseau du Povaret)

Sur la base de ces observations, le cours d'eau a été subdivisé en tronçons homogènes, représentés sur la figure qui suit. L'indice d'impact pour chaque tronçon a été évalué au niveau du point considéré comme représentatif du tronçon. Ces points sont matérialisés par les étoiles rouges sur la figure.

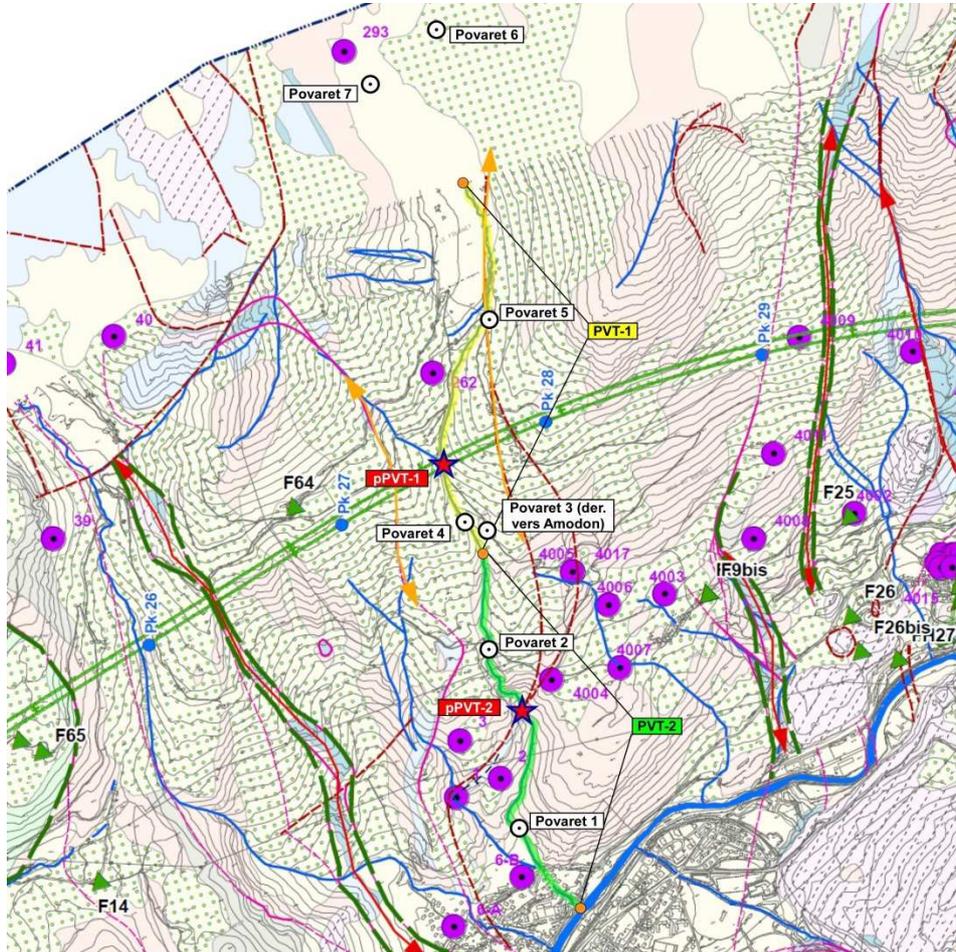


Figure 90 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau Le Povaret, des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) et des points de mesure (points blancs)

Pour ce cours d'eau l'analyse du risque d'impact sur les différents tronçons identifiés et pour les points d'eau suivis fournit les résultats reportés dans le tableau suivant.

Numéro du point	Intersection avec failles majeures	Phénomènes de dissolution	Type de alimentation	Effet topographique	Fréquence de la fracturation	Perméabilité du massif	Amplitude de la zone plastique	Classe DHI
	IF	FD	RT	ET_réseau	FF	MK	PZ	
PVT-1	1.5	0.25	1	2.0	0.75	0.1	1	1
PVT-2	1.5	0.00	1	2.0	0.40	0.3	1	1
293	1.5	0.00	1	2.0	0.10	0.2	1	1

Tableau 29 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés et pour les points d'eau suivis le long du ruisseau Le Povaret.

4.5 Ruisseau Saint-Benoît (SBT)

Ce torrent draine un bassin versant topographique géologiquement très complexe et constitué de trois ensembles de formations : des quartzites du Trias de la série mésozoïque Briançonnaise, des cargneules et des formations quaternaires.

Les données dont on dispose sont celles acquises entre 2002 et 2004 (Etudes hydrogéologiques 2002-2004 – Groupement Arcadis-SEA-Silène-Baptendier).

Les débits et la Conductivité Electrique des eaux du ruisseau sont étroitement liés au fonctionnement des installations EDF :

- période juillet - octobre : le régime hydrologique est influencé par la fonte des neiges et la mise en eau des dérivations. Des débits importants sont soustraits du cours d'eau pour les besoins d'irrigation : échanges difficiles à appréhender ; suite aux apports d'eau par EDF de mai à fin octobre la minéralisation du Saint-Benoît change. Les eaux présentent une minéralisation nettement plus faible, généralement inférieure à 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- période novembre – avril : minéralisation plus importante, généralement supérieure à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les mesures réalisées en période de basses eaux, ou de débits non influencés par des précipitations, sont de l'aval vers l'amont :

- pour SB0 : au début du cône de déjection du Saint-Benoît ;
- pour SB1 : dans les quartzites du Trias inférieur ;
- pour SB2 : dans les calcaires et dolomies du Trias moyen.

Les résultats des mesures réalisées sont synthétisés dans le tableau et la figure qui suivent.

	SB2		SB1		dériva tion	SB0		Tot	différence entre SB1/SB0		différence entre SB2/SB1	
	débit	C.E.	débit	C.E.	débit	débit	C.E.		débit	%	débit	%
07-set-02	303	133	197	136	non mesuré			500	-		-106	-35%
13-gen-03	57	390	27	440	0	40	498	124	13	48%	-30	-53%
17-feb-03	46	359	24	423	0	28	462	98	4	17%	-22	-48%
13-mar-03	52.3	332	26.3	359	0	58.5	435	137.1	32.2	122%	-26	-50%
08-apr-03	75	446	12	495	0	39	524	126	27	225%	-63	-84%
06-mag-03	63	282	26	287	0	97	379	186	71	273%	-37	-59%
06-giu-03	85	93	33	186	28	44	369	190	39	118%	-52	-61%
10-lug-03	279	104	412	110	11	239	146	941	-162	-39%	133	48%
08-ago-03	270	112	287	115	29	237	157	823	-21	-7%	17	6%
08-set-03	284	112	227	115	25	247	146	783	45	20%	-57	-20%
13-ott-03	503	122	486	126	32	416	164	1437	-38	-8%	-17	-3%
12-nov-03	43	362	22.6	363	0.5	45	401	111.1	22.9	101%	-20.4	-47%
08-dic-03	70		38		0	80.6		188.6	42.6	112%	-32	-46%
19-gen-04	90	487	76	496	0	95	516	261	19	25%	-14	-16%
13-feb-04	42.5	405	30	423	0	50.5	472	123	20.5	68%	-12.5	-29%
04-mar-04	52.3	332	26.5	359	0	58.5	435	137.3	32	121%	-25.8	-49%
07-apr-04	57	420	30.5	423	0	99.4	454	186.9	68.9	226%	-26.5	-46%
13-mag-04	344	133	327	136	15.5	277	165	963.5	-34.5	-11%	-17	-5%
10-giu-04	414	106	242	115	58	261	142	975	77	32%	-172	-42%
13-lug-04	501	99	375	101	18	328	130	1222	-29	-8%	-126	-25%
03-ago-04	469	107	329	109	24	333	138	1155	28	9%	-140	-30%

Rapport sur les points d'eau et leurs risque d'impact (France) - Relazione sui punti acqua e loro rischio di impatto (Francia)

	SB2		SB1		dérivation	SB0		Tot	différence entre SB1/SB0		différence entre SB2/SB1	
17-set-04	410	115	370	116	25	358	145	1163	13	4%	-40	-10%
15-ott-04	431	118	379	120	12	389	152	1211	22	6%	-52	-12%
03-nov-04	59	332	25	326	0	70	360	154	45	180%	-34	-58%
13-dic-04	65	434	20.5	452	0	44	488	129.5	23.5	115%	-44.5	-68%

Tableau 30 – Débits et Conductivités Electriques du Saint-Benoît en 2003 et 2004 sur 3 stations

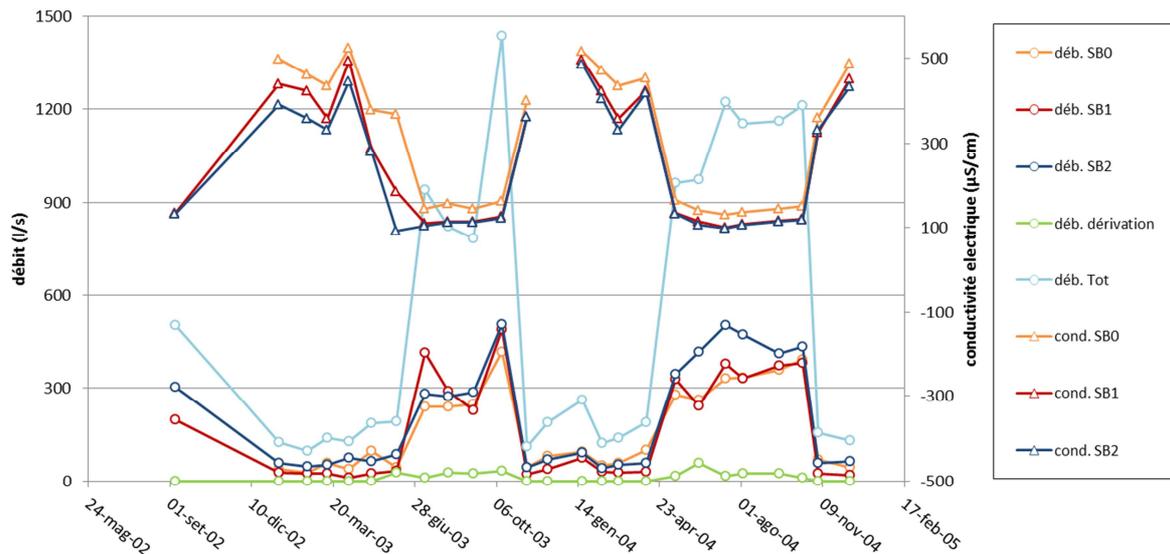


Figure 91 – Débits et Conductivités Electriques du Saint-Benoît en 2003 et 2004 sur 3 stations

Néanmoins, la comparaison des données révèle une tendance générale avec :

- un bilan déficitaire entre SB2 et SB1 (infiltration dans les cargneules), diminution du débit qui peut atteindre 63 l/s et peut représenter jusqu'à 84 % du débit (cas d'avril 2003) ;
- un bilan excédentaire entre SB1 et SB0, apport qui peut atteindre 71 l/s et qui peut doubler le débit de l'amont (cas d'avril et mai 2003, et avril 2004).

Ces échanges laissent penser que les venues d'eau peuvent être importantes au droit du tunnel de base. Le risque se présente sous deux aspects :

- dans le cas des zones de pertes, on peut penser que les eaux s'infiltreraient au contact cargneules - quartzites, le long des niveaux de dissolution. Ces infiltrations d'eau pourraient provoquer des venues d'eau importantes au droit du tunnel de base si on retrouve les mêmes conditions de perméabilité de la surface jusqu'à la cote du tunnel. Il est toutefois certain qu'une alimentation importante à partir du ruisseau du Saint-Benoît vers des niveaux pouvant rejoindre le tunnel est potentiellement présente, mais il faut se rapporter également à d'autres paramètres pour définir l'importance réelle du risque ;
- dans le cas des apports d'eau, l'augmentation de débit sur la partie aval du torrent peut être le résultat de venues issues de failles, en partie alimentées par le tronçon amont du bassin versant. En effet, les études effectuées par la maîtrise d'œuvre sur la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane (ITM - 2003) ont mis en évidence d'importants systèmes de failles au droit de la descenderie. Si ces failles sont

recoupées par les ouvrages, on pourrait avoir une interférence avec les torrents et les ouvrages.

Cependant, le creusement de la descenderie a montré une perméabilité en profondeur, à la cote du tunnel de base, très faible. Les phénomènes de dissolution n'intéressent donc que les portions les plus superficielles du massif.

Sur la base de ces observations, le cours d'eau a été subdivisé en tronçons homogènes représentés sur la figure qui suit. L'indice d'impact pour chaque tronçon a été évalué au niveau du point considéré comme représentatif du tronçon. Ces points sont matérialisés par les étoiles rouges sur la figure.

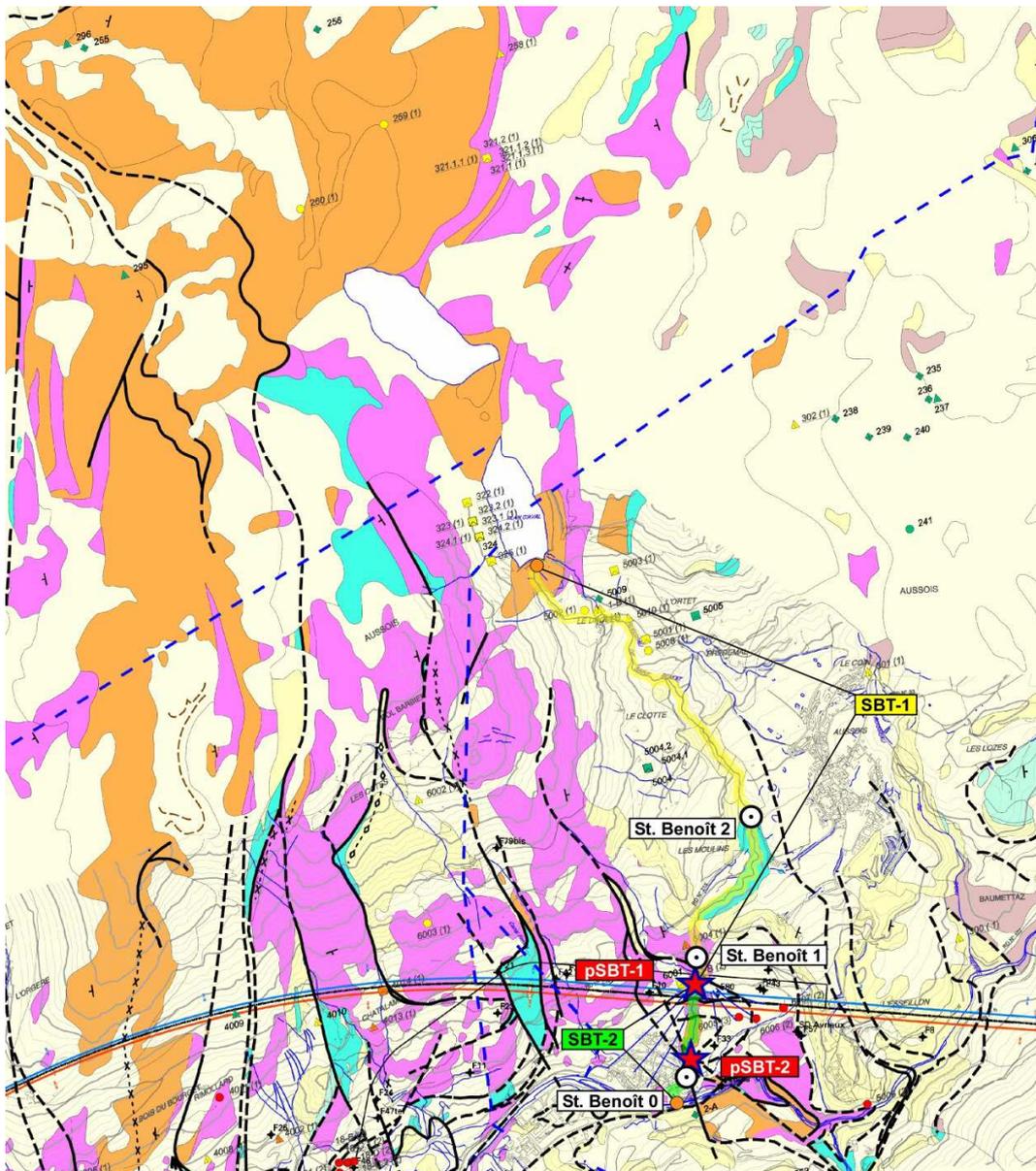


Figure 92 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau de Saint-Benoît, des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) et des points de mesure (points blancs)

Les mesures effectuées le long du ruisseau du Saint-Benoît au niveau du point n. 2-B (coïncidant avec le point pSBT-1, Figure 85) n'indiquent pas de variation du régime hydrologique à la suite des travaux d'excavation de la descenderie (Figure 86).

Toutefois, la probabilité d'un impact sur le cours d'eau généré par le creusement du tunnel de base et/ou de la gare souterraine est maintenue, par précaution, comme haute (DHI = 3).

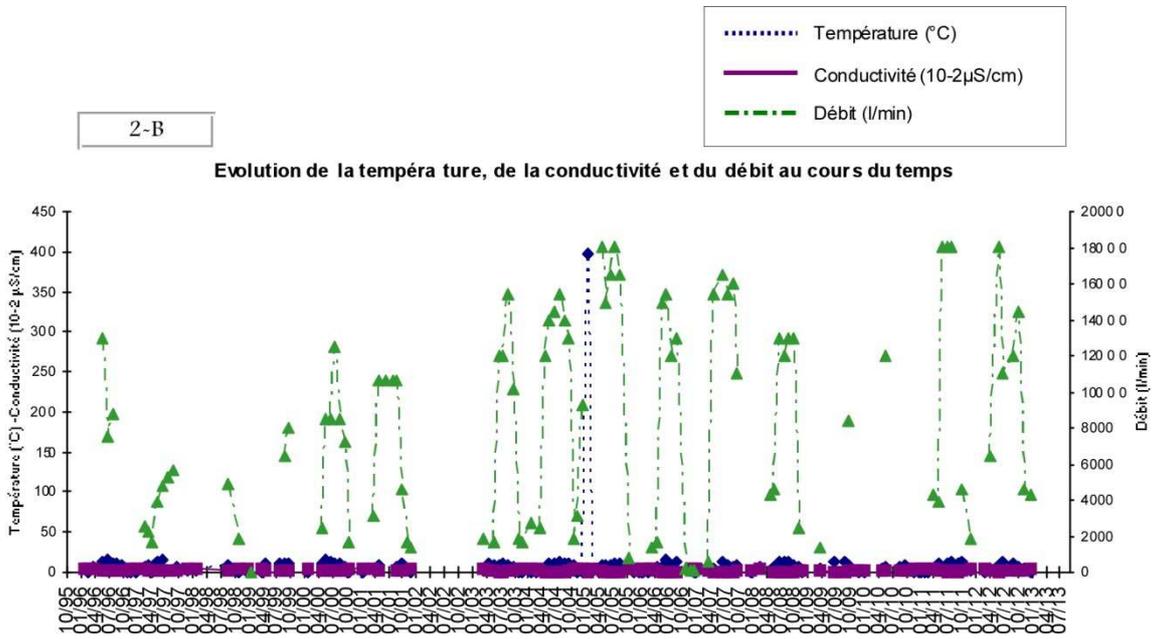


Figure 93 – Synthèse des données de suivi du Ruisseau de Saint-Benoît (cascade Saint-Benoît) (point n. 2-B)

Pour ce cours d'eau, l'analyse du risque d'impact sur les différents tronçons identifiés et sur les points d'eau suivis fournit les résultats reportés dans le tableau suivant.

Numéro du point	Intersection avec failles majeures	Phénomènes de dissolution	Type de alimentation	Effet topographique	Fréquence de la fracturation	Perméabilité du massif	Amplitude de la zone plastique	Classe DHI
	IF	FD	RT	ET_réseau	FF	MK	PZ	
SBT-1	1.5	0.25	1.5	2.0	0.75	0.3	1	3
SBT-2	1.5	0.25	1.5	2.0	0.75	0.3	1	3
1-B	1.0	0.00	1.0	2.0	0.10	0.7	1	1
2-B	1.0	0.00	1.0	2.0	1.00	0.2	1	2
295	1.0	0.00	1.0	2.0	0.1	0.7	1	1
296	1.0	0.00	1.0	2.0	0.1	0.7	1	1
6004	1.0	0.00	1.0	2.0	1.00	0.2	1	1

Tableau 31 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul, et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés et pour les points d'eau suivis le long du cours du ruisseau de Saint-Benoît.

4.6 Ruisseau d'Ambin (AMB)

Le torrent d'Ambin coule de l'amont vers l'aval sur les roches suivantes :

- les micaschistes et amphibolites du socle (points de mesures 6, 7 et 8) ;
- les quartzites et dolomies de la couverture triasique (points de mesures 4 et 5) ;

- les évaporites de la semelle des Schistes Lustrés (points de mesures 1, 2, et 3).

Le ruisseau reçoit les eaux de 3 affluents principaux : ruisseaux de Savine, d'Etache et le torrent Saint-Bernard de Bramans. Ces cours d'eau, y compris l'Ambin, ont fait l'objet d'études spécifiques lors des Etudes hydrogéologiques 2002 - 2004 menées par le groupement Arcadis-SEA-Silène-Baptendier, avec des mesures des paramètres principaux répétées en 2003 et 2004 (voir tableau suivant).

A partir de cette étude, les éléments suivants peuvent être tirés :

- 1) le torrent d'Ambin a été reconnu en deux parties (amont et aval de la prise d'eau EDF de Maroqua) ;
- 2) on observe tout le long du cours d'eau une augmentation régulière du débit provenant des affluents (Savine, Etache ou Saint-Bernard de Bramans) ;
- 3) sur la partie aval, on note une augmentation rapide de 150 l/s en moins de 3 km ;
- 4) une perte a été identifiée entre la confluence de l'Etache et celle du ruisseau de Lameranche. Elle survient dans la couverture faillée au contact de la couverture triasique et de la semelle des Schistes Lustrés ;
- 5) la minéralisation croit également, notamment au contact des formations évaporitiques de la partie aval due à la présence d'une source très sulfatée (C.E. de 2290 $\mu\text{S/cm}$) localisée à l'amont.

Les zones de dissolution se localisent près de la surface. On pourrait s'attendre à des écoulements importants dans les formations évaporitiques lors du creusement du tunnel, à condition de retrouver les mêmes conditions de dissolution à la cote du tunnel, ce qui reste difficile à prévoir. D'ailleurs, il faut rappeler que les conditions décrites n'ont pas été rencontrées par les forages. Les torrents du Saint-Bernard de Bramans, de l'Etache et de Savine, affluents principaux du torrent d'Ambin, ne devraient pas être affectés.

Les mesures effectuées au cours des différentes campagnes sont reportées dans le tableau ci-dessous, et la Figure 94 localise les points de mesure.

Date	Point	Q (l/s)	C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	T (°C)
11/08/2003 (18/10/2003 pour les points Ambin 7 et Ambin 8)	Ambin 1	610	920	14.7
	Ambin 2	380	309	15.8
	Ambin 3	156	239	13.9
	Ambin 4	114	120	13.4
	Ambin 5	50	50	14.4
	Ambin 6	45	41	14.4
	Ambin 7	313	82	2.1
	Ambin 8	382	88	1.0
	St. Bernard	76	268	13.8
	Lamérache	21	2290	6.0
	Etache 1	110	239	14.4

Date	Point	Q (l/s)	C.E. (μS/cm)	T (°C)
10/08/2004	Ambin 1	511	873	13.0
	Ambin 2	390	324	12.7
	Ambin 2b	433	314	12.6
	Ambin 3	179	239	11.7
	Ambin 4	99	91	10.6
	Ambin 5	57	84	10.7
	Ambin 6	24.3	57	10.0
	Lamérache	23	2270	5.9
	Etache 1	120	228	10.9
	Etache 2	120	187	10.8
	Etache 3	17	117	14.1

Tableau 32 – Mesures sur le torrents de l’Ambin et l’Etache

Sur la base de ces observations, le cours d'eau a été subdivisé en tronçons homogènes représentés sur la figure qui suit. L'indice d'impact pour chaque tronçon a été évalué au niveau du point considéré comme représentatif du tronçon. Ces points sont matérialisés par les étoiles rouges sur la figure.

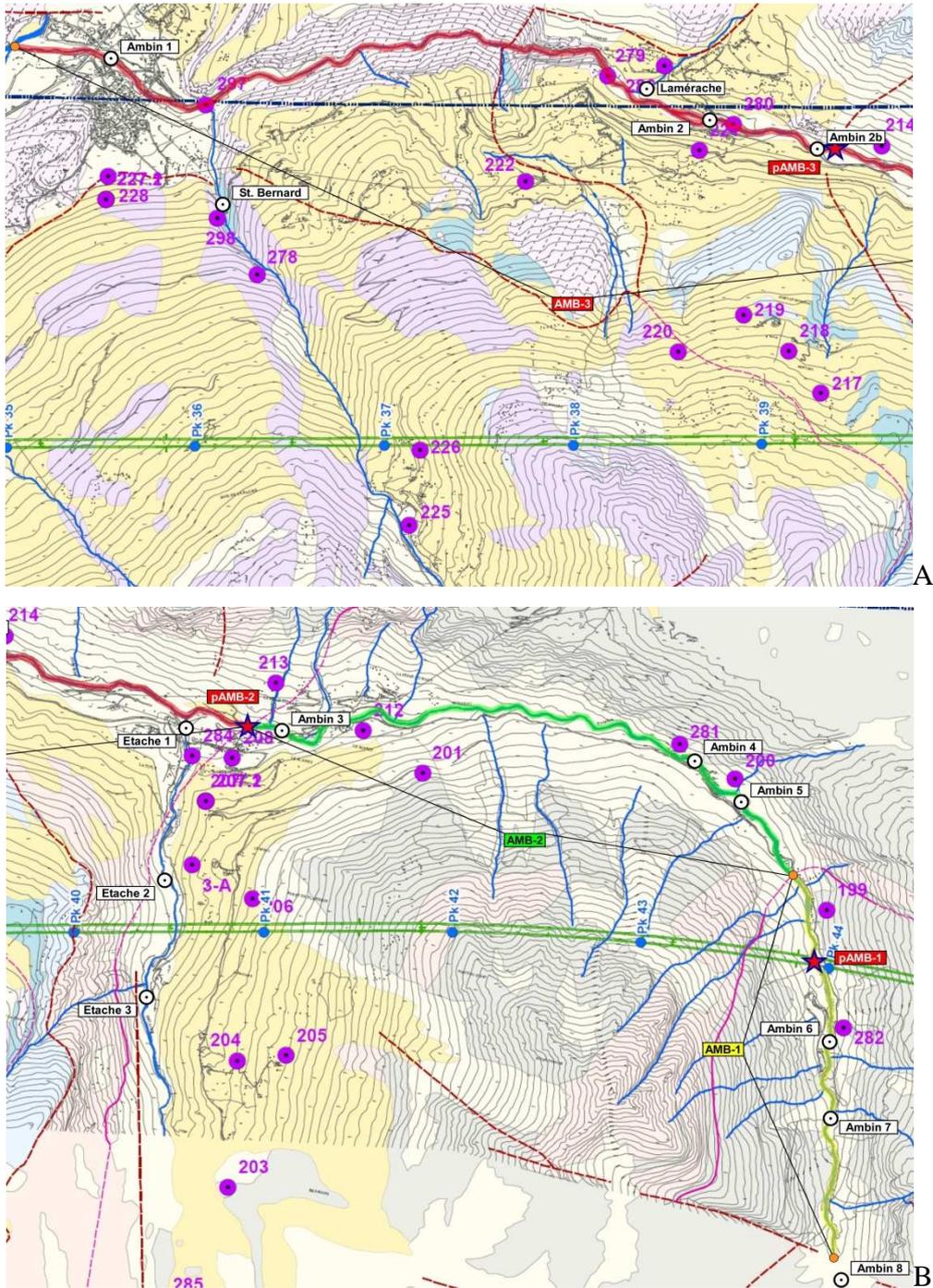


Figure 94 – Identification des tronçons hydrogéologiquement homogènes du Ruisseau d'Ambin, des points représentatifs de ceux-ci (étoiles rouges) ; A : tronçon à l'amont ; B : tronçon à l'aval.

Pour ce cours d'eau, l'analyse du risque d'impact sur les différents tronçons identifiés et pour les points d'eau suivis fournit les résultats reportés dans le tableau suivant.

Numéro du point	Intersection avec failles majeures	Phénomènes de dissolution	Type de alimentation	Effet topographique	Fréquence de la fracturation	Perméabilité du massif	Amplitude de la zone plastique	Classe DHI
	IF	FD	RT	ET_réseau	FF	MK	PZ	
AMB-1	1.0	0.0	1.0	2	0.10	0.3	1	1
AMB-2	1.5	0.5	1.5	2	1.00	0.3	1	3
AMB-3	1.5	0.0	2	2	0.40	0.1	1	2
279	1.5	0.0	1	2	0.80	0.2	1	2
280	1	0.0	1	2	0.80	0.5	1	1
281	1	0.0	1	2	0.10	0.2	1	1
282	1	0.0	1	2	0.10	0.2	1	1

Tableau 33 – Principaux paramètres utilisés pour le calcul, et valeurs de l'indice DHI pour les tronçons hydrogéologiquement homogènes identifiés et pour les points d'eau suivis le long du cours du ruisseau d'Ambin.

4.7 Risque d'impact sur les ouvrages hydroélectriques

Une analyse préliminaire d'évaluation des tarissements des secteurs au droit des ouvrages de retenues hydroélectriques a été menée.

Les ouvrages concernés sont, d'amont en aval, les suivants :

- Barrage de Bramans,
- Barrage de Plan d'Amont,
- Barrage de Plan d'Aval,
- Barrage du Freney,
- Barrage du Pont-des-Chèvres,
- Barrage de Bissorte,
- Barrage de Valmeinier,
- Barrage du Ley,
- Barrage de St-Martin-la-Porte,
- Bassin de Longefan.

La position géographique de l'ensemble de ces ouvrages est donnée sur la figure suivante. La localisation des galeries et des conduites forcées est issue des cartes IGN consultées sur le site internet <http://www.geoportail.gouv.fr>.

Ces aménagements ont été reportés sur la carte des risques des points d'eau (PR_C3B_TS3_0015_A), afin d'évaluer un éventuel impact les concernant. De cette façon un risque indicatif peut être assigné à ces ouvrages sur la base du risque des points d'eau situés à proximité, ainsi que de la différence de cote entre l'ouvrage et le Tunnel de Base et de leur distance horizontale. Si les ouvrages EDF analysés se situent à proximité de points d'eaux caractérisés par risque faible ou nul (DHI=1 et 2), il est probable que ces aménagements présenteront le même risque. Au contraire, s'ils se situent près de points d'eau avec un index DHI égal à 3, le risque sera alors marqué.

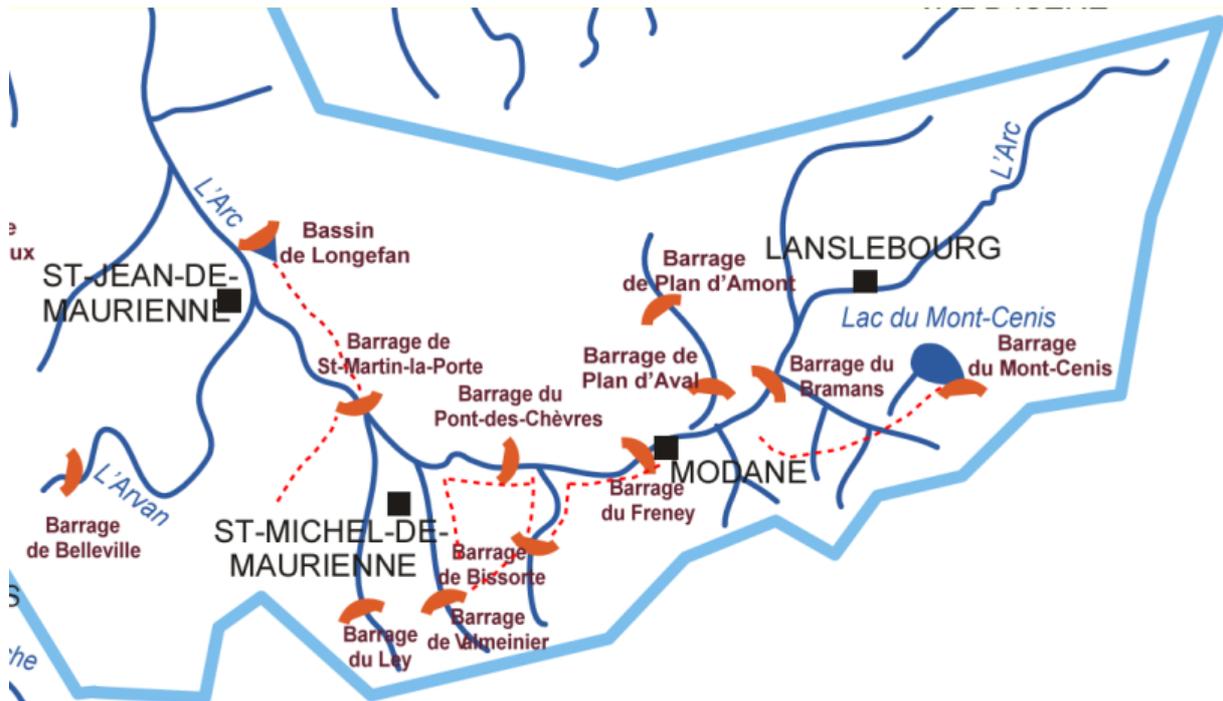


Figure 95 – Aménagements EDF en Maurienne. Les barrages et les galeries/conduites forcées (lignes pointillées) sont reportés

Aucun point avec un risque fort n'a été trouvé à proximité des aménagements localisés sur le versant en rive gauche de l'Arc. En outre, les Barrages du Ley, de Valmeinier, de Brissorte et du Mont-Cenis se situent à plus de 2 kilomètres de l'axe du tracé. On peut donc admettre un risque faible à nul pour ces ouvrages.

Concernant le versant en rive droite et le fond de la vallée de l'Arc, suite à l'analyse, on remarque (d'aval en amont) :

- Barrage Saint Martin la Porte : aucune structure géologique ne met en contact l'ouvrage avec le Tunnel de Base. Le risque assigné est donc très faible à nul ;
- Barrage des Chèvres : certaines failles mineures pourraient mettre en connexion hydraulique le barrage avec le tunnel. Par précaution le risque assigné est faible ;
- Barrage de Freney : cet ouvrage ne présente aucun élément critique. Le risque est donc très faible à nul ;
- Barrage de Plan d'Aval : aucun point d'eau à risque ni de connexion hydraulique entre le bassin et le tunnel n'ont été identifiés dans ce secteur. Pas de criticité pour cet ouvrage ;
- Barrage du Bramans : aucun point d'eau à risque ni de connexion hydraulique entre le bassin et le tunnel n'ont été identifiés dans ce secteur. Pas de criticité pour cet ouvrage.

En conclusion aucun aménageur EDF ne présente de risque plus important que celui de faible.

5. Analyse de la sensibilité des points d'eau au risque d'impact

L'analyse de la sensibilité des points d'eau au risque d'impact a été effectuée en suivant l'approche d'ANTEA mise en œuvre au cours de la réalisation de l'étude APR.

Cette approche consiste à compléter la méthode DHI en intégrant trois critères supplémentaires : l'usage, le débit et la qualité de l'eau.

A partir de la synthèse des notes DHI établies pour le tunnel de base, l'ensemble des points d'eau identifiés comme présentant un risque faible à fort (notes DHI comprises entre 2 et 3) a fait l'objet d'une analyse complémentaire.

Au total, 82 points ont donc été sélectionnés pour lesquels les critères suivants ont été examinés : usage, débit et Conductivité Electrique des eaux. L'ensemble des données collectées sur ces points dans la base SIG de LTF, et dans les études antérieures, est fourni dans le tableau de l'Annexe 6.

Cette approche permet d'augmenter les informations concernant les sources ayant une probabilité de tarissement au minimum « faible », et qui donc pourraient entrer dans la liste des ressources nécessitant des mesures de compensation.

5.1 Usages des points d'eau à risque

Trois catégories d'usages ont été définies :

- Usage « AEP » : points d'eau destinés à l'Alimentation en Eau Potable (AEP) des communes ;
- Usage « Domestique » : points d'eau privés destinés à des usages domestiques ou agricoles, et points d'eau communaux destinés à l'alimentation de lavoirs ou de bassins ;
- Usage « Aucun » : points d'eau non captés ou non exploités.

5.2 Débits des points d'eau à risque

Quatre catégories de débits moyens ont été définies :

- Classe 3 : $Q_{moy} > 10 \text{ m}^3/\text{h}$ ou $Q_{moy} > 3 \text{ l/s}$;
- Classe 2 : $1 \text{ m}^3/\text{h} < Q_{moy} < 10 \text{ m}^3/\text{h}$ ou $0,3 \text{ l/s} < Q_{moy} < 3 \text{ l/s}$;
- Classe 1 : $Q_{moy} < 1 \text{ m}^3/\text{h}$ ou $Q_{moy} < 0,3 \text{ l/s}$;
- Classe NM : non mesuré.

5.3 Conductivité Electrique des points d'eau à risque

Quatre catégories de Conductivités Electriques moyennes ont été définies :

- Classe 3 : $C_{moy} > 650 \mu\text{S}/\text{cm}$ (eaux fortement minéralisées) ;
- Classe 2 : $325 \mu\text{S}/\text{cm} < C_{moy} < 650 \mu\text{S}/\text{cm}$ (eaux moyennement minéralisées) ;
- Classe 1 : $C_{moy} < 325 \mu\text{S}/\text{cm}$ (eaux faiblement minéralisées) ;
- Classe NM : non mesuré.

5.4 Sensibilité des points d'eau à risque

La sensibilité des points d'eau à risque a été établie de manière à intégrer à la fois les impacts potentiels sur les points d'eau, mais également leur usage, débit et qualité. Seuls les points d'eau les plus sensibles seront examinés par la suite.

Par exemple, pour un même risque identifié :

- Les points d'eau présentant de forts débits sont considérés comme plus sensibles que ceux présentant des débits faibles en raison des conséquences plus importantes qui découleraient de leur tarissement ;

- De même, les captages AEP sont jugés plus sensibles que les sources non captées.

Les points d'eau utilisés pour l'AEP sont identifiés comme sensibles s'ils répondent aux critères suivants :

- Tous les points AEP présentant un risque fort (DHI = 3), quelque soient leur débit et leur Conductivité Electrique ;
- Points AEP présentant un risque faible (DHI = 2) et ayant des eaux moyennement minéralisées ainsi que présentant des débits moyens supérieurs à 1 m³/h (0,3 l/s).

Les points d'eau à usage **Domestique** sont identifiés comme sensibles s'ils répondent aux critères suivants :

- Points à usage Domestique présentant un risque fort (DHI = 3) :
 - o et des débits moyens supérieurs à 10 m³/h (3 l/s) quelque soit la Conductivité Electrique ;
 - o et avec des eaux fortement minéralisées (CE > 650 µS/cm) quelque soit le débit ;
- Points à usage Domestique présentant un risque faible (DHI = 2) :
 - o et des débits moyens supérieurs à 10 m³/h (3 l/s), ainsi que des eaux moyennement minéralisées (325<CE<650 µS/cm) ;
 - o et ayant des eaux fortement minéralisées (CE > 650 µS/cm), ainsi que des débits moyens supérieurs à 1 m³/h (0,3 l/s).

Les points d'eau sans usage connu (« **Aucun** ») sont identifiés comme sensibles s'ils répondent aux critères suivants :

- Points à usage « Aucun » présentant un risque fort (DHI = 3) :
 - o et présentant des débits moyens supérieurs à 10 m³/h (3 l/s), ainsi que des eaux moyennement minéralisées (325<CE<650 µS/cm) ;
 - o et ayant des eaux fortement minéralisées (CE > 650 µS/cm) ainsi que des débits moyens supérieurs à 1 m³/h ;
- Points à usage « Aucun » présentant un risque faible (DHI = 2) :
 - o et présentant des débits moyens supérieurs à 10 m³/h, et des eaux fortement minéralisées (CE > 650 µS/cm).

La sensibilité des points d'eau à risque est synthétisée dans les tableaux de l'Annexe 3.

6. Recherche de ressources de remplacement

Des solutions de remplacement doivent être examinées pour les points d'eau à risque identifiés comme sensibles. Ces solutions peuvent être appliquées sur un point d'eau, un groupe de points d'eau ou un secteur géographique, et impliquent la mise en exploitation de ressources alternatives qui doivent être identifiées. Le présent chapitre concerne la recherche de ces ressources de remplacement. Les solutions de remplacement, proposées à partir des ressources qui auront été identifiées ci-dessous, sont présentées en détail dans les chapitres suivants.

La recherche de ressources de remplacement porte sur des ressources non impactées (DHI=1) qui peuvent être captées mais pas exploitées, pas captées ou encore consister en de nouvelles ressources.

Une grande partie des ressources de remplacement proposées ci-dessous provient des études et analyses précédemment développées dans le cadre de l'étude des mesures compensatoires effectuée par le groupement SEA-ARCADIS-SILENE-BAPTENDIER pour les descenderies (2004) et dans l'étude APR (2006).

Dans cette phase d'étude du PRF, la vérification des conditions d'écoulement des sources a été réalisée en fonction du retour d'expérience du creusement des descenderies.

Dans ce contexte, il est à noter que, compte tenu du contexte morphologique des secteurs examinés, la majorité des adductions d'eau s'effectue de manière gravitaire. De ce fait, les ressources menacées situées sur les versants devront être prioritairement remplacées par des ressources situées plus en amont sur le versant. En l'absence de dispositif de relevage, seules les zones d'habitat localisées en fond de vallée pourront être alimentées par des ressources provenant du fond de la vallée.

COMMUNES	nb de points sensibles
Albiez	0
Aussois	0
Avrieux	3
Bramans	1
Fourneaux	0
Le Freney	0
Modane	2
Montricher Albanne	0
Orelle	3
Saint André	3
Saint Julien Montdenis	0
Saint Martin d'Arc	0
Saint Martin de la Porte	5
Saint Michel de Maurienne	3
Sollières Sardières	0
Valloire	0
Valmeinier	0
Villargondran	0
Villarodin Le Bourget	0
TOTAL	20

Tableau 34 – Liste de point sensibles divisés par Communes

6.1 Commune de Saint-Martin-la-Porte

6.1.1 Bilan des points sensibles

Cinq points sensibles ont été identifiés sur cette commune. Il s'agit des sources non captées de la forêt de Beaune (points n. 2015, 2016,1 et 2016,2), et du captage de Bordeau (points n. 2005,1 et 2005,2).

Les sources non captées de la forêt de Beaune peuvent représenter de 50 % en période de hautes eaux à 95 % en période d'étiage du débit du ruisseau du Saint-Bernard. Elles seront captées par un projet communal de micro-centrale en cours d'élaboration.

Les trois points de la forêt de Beaune ont un DHI égal à 3, les autres ont un DHI égal à 2.

Numéro du point	Type Source	DHI	Usages
2005,1	CC	2	AEP
2005,2	CC	2	AEP
2015	SNC	3	Aucune
2016,1	SNC	3	Aucune
2016,2	SNC	3	Aucune

Tableau 35 – Points sensibles sur la commune de Saint-Martin-la-Porte. CC= captage ; SNC=source non captée

6.1.2 Alimentation en eau potable de la commune

En 2005, les besoins en eau potable de la commune de Saint-Martin-La-Porte ont été estimés à 192 m³/j, avec un rendement technique du réseau égal à environ 50 % (Bilan besoins ressources et diagnostic hydraulique sur la Commune de Saint-Martin-la-Porte - communauté de communes de Maurienne Galibier, 2005). Les besoins futurs (horizon 2020) ont été estimés en considérant une augmentation de la population de 20 %, et un accroissement du rendement technique jusqu'à 60 %. Dans ces conditions, les besoins en eau potable de la commune de 195 m³/j seront satisfaits avec les ressources actuelles.

Pour garantir ses besoins, la commune de Saint-Martin-la-Porte exploite actuellement les captages AEP suivants :

- les sources de Champieu (point n. 2007,4), dont la chambre de réunion est située à 1620 m NGF. L'arrivée à droite des captages a le débit le plus important avec une valeur généralement 4 à 5 fois supérieure à celle de gauche ;
- des sources de la Bachellerie captées depuis 2003 et se déversant dans la chambre de réunion des sources de Champieu. Elles émergent et sont captées dans une chambre située à 1862 m NGF ;
- des excédents du réservoir de Beaune Grand Village.

Il faut souligner que, sur le territoire de Saint-Martin-la-Porte, d'autres sources AEP sont présentes mais ne sont pas directement exploitées pour les besoins en eau potable de la commune.

En conclusion les points sensibles AEP 2005,1 et 2005,2 présentent une probabilité d'impact faible, tandis que les points sans usage 2015, 2016,1 et 2016,2, présentent une probabilité d'impact élevée.

6.1.3 Identification des ressources de remplacement

Sur les 37 points d'eau recensés sur cette commune, 19 présentent un risque très faible ou nul de tarissement (DHI = 1). Parmi ces points, aucun ne peut être envisagé pour se substituer aux sources de la forêt de Beaune (points n. 2015, 2016,1 et 2016,2) dont le débit moyen très important est de l'ordre de 739 m³/h. Toutefois, l'analyse de risque des sources de la forêt de Beaune (PR_C3B_TS3-0001-0 « Note hydrogéologique des sources du Ruisseau de la foret de Beaune ») a mis en évidence que l'impact hydrogéologique du creusement du tunnel de base sur les sources du Ruisseau de Beaune se traduirait par une réduction très faible du débit du ruisseau, et non sa disparition. En effet, l'évaluation des venues d'eau en galerie effectuée montre que les débits atteints le long du tronçon des anhydrites du Front du Houiller sont de l'ordre de 0.5 à 3 l/s. Le débit pourrait augmenter jusqu'à 25 l/s, soit environ 12 % du débit moyen des sources (205 l/s ou 739 m³/h) seulement si le tunnel de base intercepte une venue ponctuelle liée à un réseau karstique actif se développant jusqu'à la cote du tunnel.

En outre, l'évaluation d'un débit résiduel de 25 l/s est le résultat de l'influence du creusement sur l'ensemble des aquifères du front du Houiller, et ne concerne donc pas uniquement les sources 2015, 2016,1 et 2016,2.

Toutefois, à ce stade de l'étude nous ne pouvons pas exclure totalement la présence d'un réseau karstique développé au niveau du tunnel de base en équilibre avec les sources, ce qui suggère de mettre en œuvre les mesures adéquates d'auscultations et de prévention du risque. Il est donc envisagé de réaliser un suivi des sources avec une cadence établie en fonction de l'avancement de la descenderie Ouest (Y) de Saint-Martin-La-Porte.

Les sources ayant une utilisation AEP pour lesquelles une probabilité d'impact (DHI>1) a été rencontrée sont reportées dans le tableau qui suit. Parmi celles-ci, seules deux (2005,1 et 2005,2) sont des points sensibles.

Numéro du point	Type de point	Norm	Classe DHI	Usages	Nombre mesures débit	Min débit (l/min)	Max débit (l/min)	Moy débit (l/min)	Classe debit	Nombre mesures conduc	Min conduc (mS/cm)	Max conduc (mS/cm)	Moy conduc (µS/cm)	Classe conduc
2005,1	CC	Captage de Bordeau (La Planchette): arr. G.	2	AEP	158	0.0	164.0	35.0	2	149.0	179.0	395.0	335.8	2
2005,2	CC	Captage de Bordeau (La Planchette): arr. D.	2	AEP	114	0.0	214.3	41.5	2	110.0	214.0	409.0	338.3	2
2006,1	CC	Captage de Charbutan (RATEL E.): source	2	AEP	76	3.6	14.3	8.7	1	74.0	183.0	368.0	299.6	1
2007,4	CC	Captage de Champieu / plymouth (bachellerie)	2	AEP	101	0.0	9120.0	204.0	3	95.0	77.0	176.0	145.2	1
2006	CC	Captage de Charbutan (Ratel Etienne)	2	AEP	15	4.9	21.8	10.4	1	14.0	242.0	313.0	290.4	1
2006,2	CC	Captage de Charbutan (RATEL E.): trop-plein	2	AEP	33	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1

Tableau 36 –Captages AEP de la commune de Saint-Martin-la-Porte

En cas d'impact, les deux sources (2005,1 et 2005,2) pourront être remplacées par les captages existants 2008, 2009,1 et 2009,2 qui ont un débit légèrement supérieur, une Conductivité Electrique comparable, mais une probabilité d'impact de faible à nulle (Tableau 37 et Figure 96). Les sources 2008, 2009,1 et 2009,2 étant des captages privés, leur utilisation pour l'alimentation du réseau public pourrait avoir lieu après l'obtention des autorisations de la part des propriétaires et de la vérification de la potabilité de l'eau. Les sources 2008 et 2009 sont situées à 1780 m NFG environ, et leur raccordement avec le réseau de distribution public pourra se faire sur la conduite de l'une des deux sources 2005,1 ou 2005,2 à 1540 m NGF.

Numéro du point	Type de point	Nom	Classe DHI	Usages	Nombre mesures débit	Min débit (l/min)	Max débit (l/min)	Moy débit (l/min)	Classe débit	Nombre mesures conduc	Min conduc (mS/cm)	Max conduc (mS/cm)	Moy conduc (mS/cm)	Classe conduc
2008	CP	Source aménagée des Rateaux n° 1 (Gros E)	1	#N/D	61	7.5	49.0	17.4	2	57.0	148.0	254.0	219.0	1
2009,1	CP	Source Râteaux n° 2 (RATEL H.) / Robinet	1	#N/D	56	26.5	780.0	79.0	2	54.0	155.0	309.0	224.6	1
2009,2	CP	Source Râteaux n° 2 (RATEL H.) / Trop-plein	1	#N/D	56	0.0	800.0	99.3	2	49.0	155.0	309.0	221.6	1

Tableau 37 – Données provenant du suivi des sources 2008, 2009,1 et 2009,2. CP= source aménagée

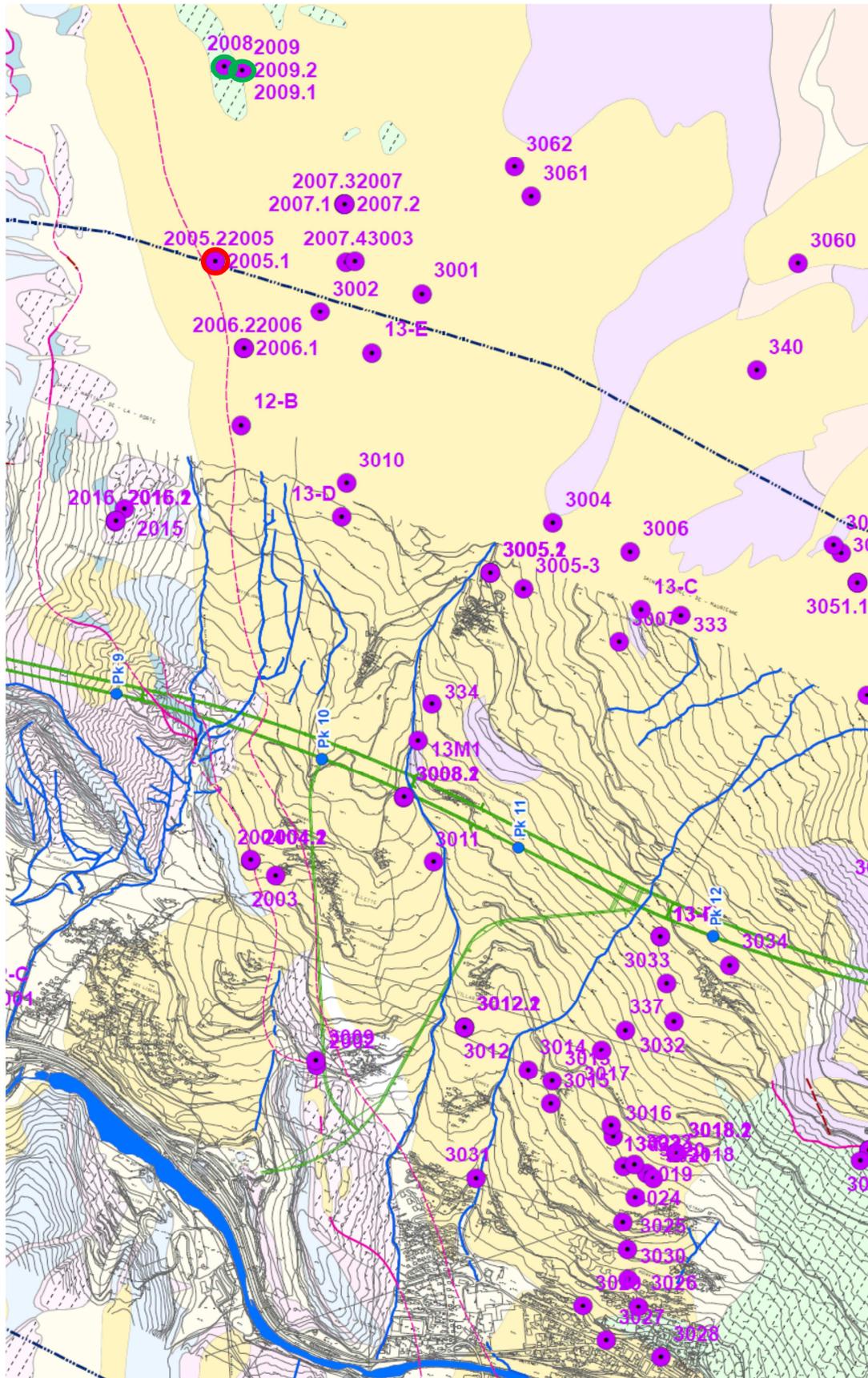


Figure 96 – Localisation des sources sensibles 2005, 1, 2005,2 (en violet/ rouge), et de remplacement 2008, 2009, 1 et 2009,2(en violet/vert)

6.2 Commune de Saint-Michel-de-Maurienne

6.2.1 Bilan des points sensibles

Au total, 3 sources sensibles ont été identifiées sur cette commune, toutes des captages AEP.

Numéro du point	Type Source	DHI	Usages
3015	CC	3	AEP
3005,1	CC	2	AEP
3005,2	CC	2	AEP

Tableau 38 – Points sensibles sur la commune de Saint-Michel-de-Maurienne. CC=captage

6.2.2 Alimentation en eau potable de la commune

En 2005, les besoins en eau potable de la commune de Saint-Michel-de-Maurienne ont été estimés à 858 m³/j. En 2020, ces besoins devraient être de 904 m³/j.

Pour assurer ses besoins, la commune de Saint-Michel-de-Maurienne exploite actuellement 14 captages AEP : 11 captages en rive droite de l'Arc, et 3 captages en rive gauche (cf. Schémas du réseau d'eau potable ci-dessous). En période d'étiage, la commune dispose actuellement d'une ressource de 1193 m³/j sur une durée de 20 heures, dont environ 210 m³/j proviennent des captages situés en rive gauche. Sur l'ensemble de la commune, le bilan besoins-ressources était donc excédentaire de 335 m³/j en 2005, et devrait l'être de 289 m³/j en 2020.

Vis-à-vis du risque de tarissement des sources, les captages de la Grange Bertrand (point n. 3015) et de Beaune (points n. 3005,1 et 3005,2) sont considérés comme des points sensibles.

Le captage AEP de Praz Garin (point 3004) a été perturbé par les travaux d'excavation de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte, avec une réduction du débit moyen d'environ 90 l/min, laissant un débit moyen résiduel d'environ 20-25 l/min. Le régime hydrologique de la source semble être rééquilibré. Par conséquent, on suppose que l'impact dû aux travaux d'excavation de la descenderie n'ira pas au-delà de cette diminution du débit. En tenant compte de la sensibilité de la source, il faudra mettre en place un plan spécifique de suivi, avec une fréquence modulée en fonction de l'avancement de l'excavation, au cours des prochaines phases de réalisation de la galerie de reconnaissance entre le pied de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte et celle de La Praz, et donc du tunnel de base.

Numéro du point	Type de point	Nom	Classe DHI	Usages	Nombre mesures débit	Min débit (l/min)	Max débit (l/min)	Moy débit (l/min)	Classe débit	Nombre mesures conduc	Min conduc (mS/cm)	Max conduc (mS/cm)	Moy conduc (µS/cm)	Classe conduc
316	CC	Captage amont de Fontaine Froide	1	AEP	144	58.0	369.6	126.6	2	137.0	6.5	400.0	233.1	1
317	CC	Captage aval de Fontaine Froide	1	AEP	144	61.1	652.0	179.1	3	137.0	6.5	390.0	234.1	1
3004	CC	Captage de Pré Garin	PI	AEP	175	8.0	600.0	83.0	2	164.0	6.6	303.0	264.3	1
3011	CC	Captage de Villard Bernon	1	AEP	161	16.0	150.0	38.1	2	154.0	7.5	337.0	214.0	1

Rapport sur les points d'eau et leurs risque d'impact (France) - Relazione sui punti acqua e loro rischio di impatto (Francia)

Numéro du point	Type de point	Nom	Classe DHI	Usages	Nombre mesures débit	Min débit (l/min)	Max débit (l/min)	Moy débit (l/min)	Classe débit	Nombre mesures conduc	Min conduc (mS/cm)	Max conduc (mS/cm)	Moy conduc (µS/cm)	Classe conduc
3016	CC	Captage de la galerie de Pré Mollard	1	AEP	171	92.5	888.0	211.7	3	163.0	8.4	381.0	266.5	1
3017	CP	Captage Milla	1	AEP	167	46.0	408.0	142.6	2	159.0	8.3	261.0	225.4	1
3022	CC	Source aménagée de l'Etraz ouest gauche	1	AEP	158	0.0	480.0	96.7	2	152.0	7.7	278.0	206.6	1
3023	CC	Source aménagée de l'Etraz ouest droite	1	AEP	139	100.0	1200.0	350.8	3	153.0	8.6	305.0	238.8	1
3043	CC	Captage du Thyl dessus	1	AEP	163	4.8	408.0	46.1	2	156.0	7.3	491.0	319.6	1
3005,1	CC	Captage de Beaune: arr. de gauche	2	AEP	161	15.0	255.0	69.6	2	152.0	7.1	399.0	353.0	2
3005,2	CC	Captage de Beaune: arr. de droite	2	AEP	157	0.0	85.0	26.3	2	112.0	7.0	498.0	380.7	2
3012,1	CC	Captage des Teppes: arr. de gauche	1	AEP	154	0.0	168.0	46.4	2	141.0	7.7	409.0	261.0	1
3012,2	CC	Captage des Teppes: arr. de droite	2	AEP	158	0.0	36.0	13.6	1	148.0	7.7	448.0	257.7	1
3018,1	CC	Captage des Fortunes/ arr.<G.	1	AEP	160	3.8	600.0	60.4	2	153.0	8.4	530.0	370.8	2
3044,1	CC	Captage du Terrail: arr. de gauche	2	AEP	145	27.9	600.0	73.5	2	140.0	6.6	270.0	217.4	1
3044,2	CC	Captage du Terrail: arr. de droite	2	AEP	135	0.0	2.0	0.0	1	3.0	0.0	229.0	147.0	1
3005	CC	Captage de Beaune	2	AEP	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1
3014	CC	Captage des Lies	2	AEP	50	0.0	156.5	41.2	2	47.0	124.0	241.0	220.6	1
3015	CC	Captage de la Grange Bertrand	3	AEP	47	0.0	300.0	62.1	2	44.0	149.0	259.0	242.3	1
3018	CC	Captage des Fortunes	1	AEP	1	1.5	1.5	1.5	1	1.0	311.0	311.0	311.0	1
3019	CC	Source aménagée de l'Etraz	1	AEP	77	15.4	133.0	56.6	2	78.0	202.0	2333.0	256.2	1
3020	CC	Source aménagée de l'Etraz amont milieu	1	AEP	81	15.0	150.0	32.1	2	80.0	160.0	600.0	302.1	1
3021	CC	Source aménagée de l'Etraz amont gauche	1	AEP	79	9.5	54.5	29.4	2	79.0	150.0	303.0	268.2	1
3044	CC	Captage du Terrail	2	AEP	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1
3018,2	CC	Captage des Fortunes/ arr.>D.(+seuil)	1	AEP	76	0.0	9.5	1.9	1	58.0	0.0	363.0	313.7	1

Tableau 39 –Captages AEP de la commune de Saint-Michel-de-Maurienne : En gras et fond grisé sont indiqués les points sensibles.

D'après les données ci-dessus, on constate que le seul captage concerné par un risque fort de tarissement est celui de la Grange Bertrand (point n. 3015), qui fournit un débit moyen de 74,5 m³/j sur une durée de 20 heures, et peut se tarir en période d'étiage. L'apport de cette source est donc inférieur au surplus estimé de 289 m³/j.

En ce qui concerne la situation administrative des ressources exploitées par la commune, 4 captages sur 14 possèdent depuis 1989 une DUP (Demande d'Utilité Publique) : les captages des Fortunes (point 3018) en rive droite de l'Arc, du Chapelu, de la Fontaine Froide et de la Saussaz en rive gauche. Ces deux dernières ont subi une diminution de débit très probablement sans relation avec le creusement de la descenderie. En effet, il faut savoir que pour le captage amont de Fontaine Froide (point n. 316), les données de janvier 2000 à décembre 2002 ne sont pas disponibles, période précédant le début des travaux de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte, par conséquent, il est impossible de savoir avec certitude si l'impact sur cette source est dû à l'excavation ou à d'autres facteurs. Enfin, le point d'eau 318 (Captage de la Saussaz) n'est plus en état de fonctionner depuis 24 septembre 2010 pour des motifs étrangers à l'excavation des ouvrages liés à la NTL.

Trois captages possèdent un périmètre de protection : ceux de l'Etraz Amont et Aval (points 3019 à 3023) et celui des Fortunes (point 3018).

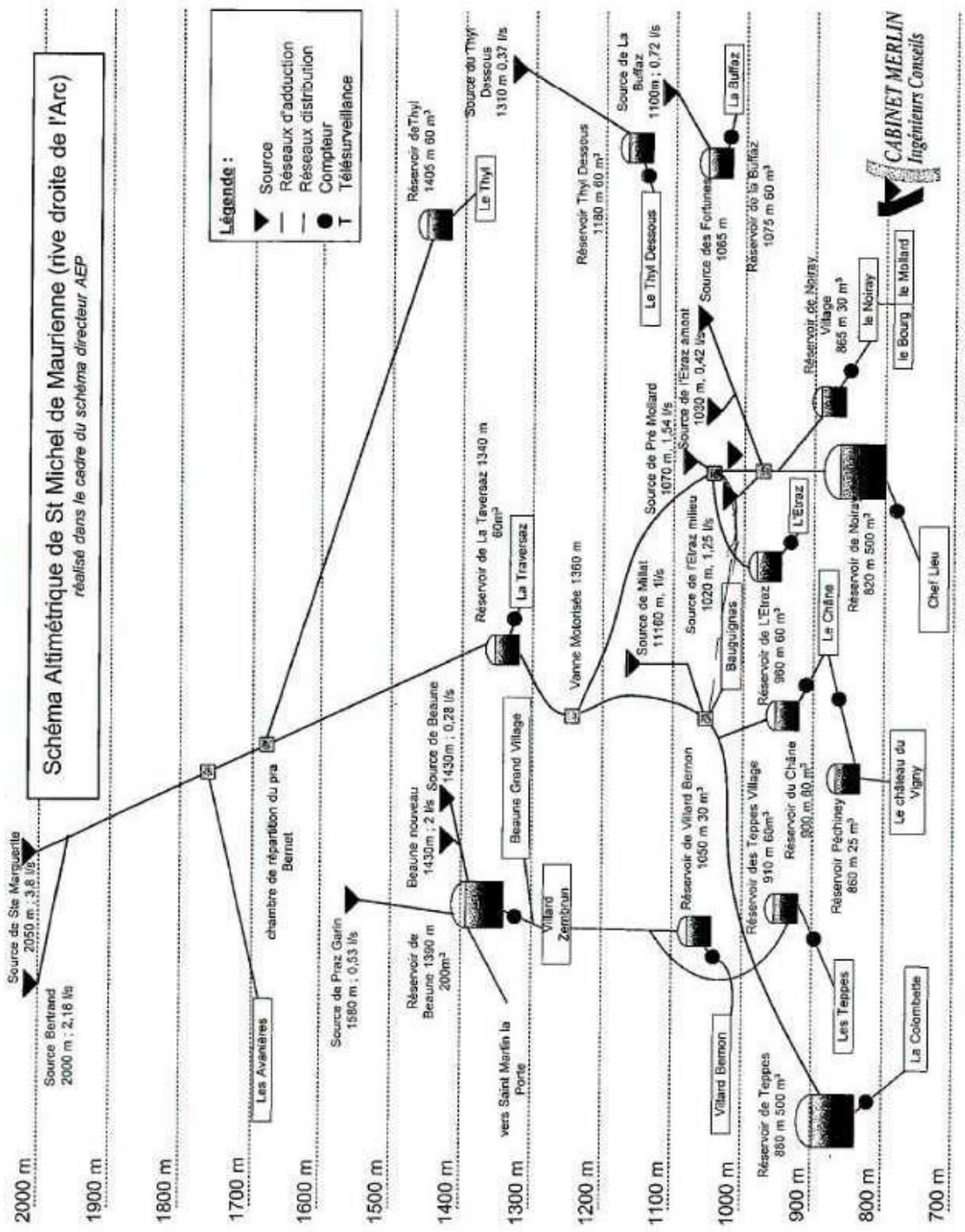


Figure 97 – Réseau AEP de la commune de Saint-Michel-de-Maurienne (rive droite). D’après APR_B2_TS2-0051-B

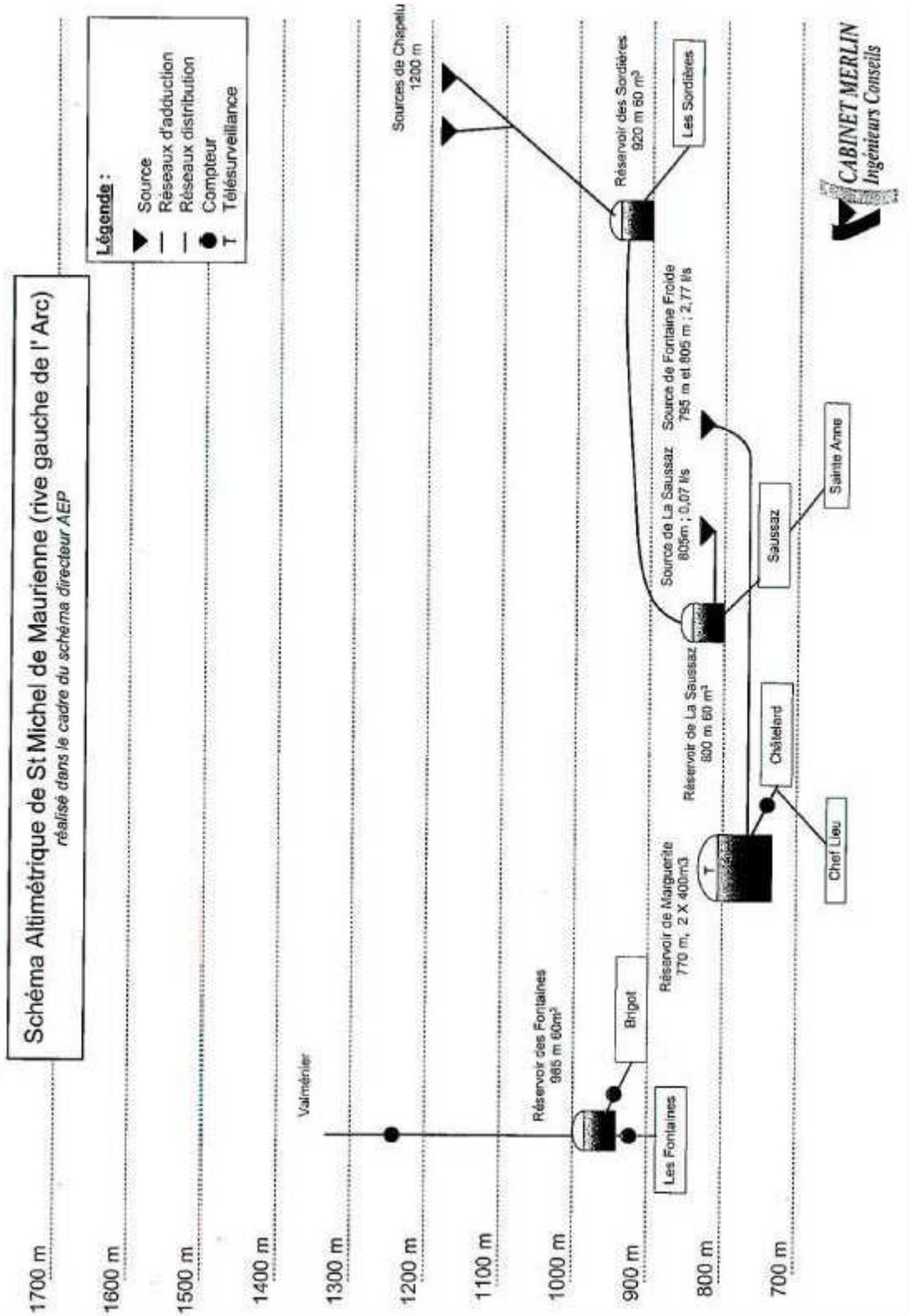


Figure 98 – Réseau AEP de la commune de Saint-Michel-de-Maurienne (rive gauche). D’après APR_B2_TS2-0051-B

6.2.3 Identification des ressources de remplacement

Sur 108 points d'eau recensés sur cette commune, 89 points présentent un risque très faible ou nul de tarissement.

En ce qui concerne l'alimentation en eau potable, 4 réseaux de distribution indépendants sont concernés par des risques de perturbation :

- Réseau du Chef Lieu avec les captages Millat (point 3017), Etraz (points 3019 à 3023), Pré Mollard (point 3016) et Fortunes (point 3018). Le déficit maximal en eau pourrait être de 4,7 l/s en étiage ;
- Réseau de Beaune avec les captages de Beaune (point 3005) et de Praz Garin (point 3004). Le déficit en eau maximal pourrait être de 1,0 l/s en étiage ;
- Réseau de Thyl Dessous avec le captage du Thyl (point 3043). Ce captage fournit un débit très faible de 0,08 l/s, et peut se tarir en période d'étiage ;
- Réseau de la Buffaz avec le captage du même nom (point 3039). Ce captage fournit un débit très faible, et peut se tarir en période d'étiage.

Au niveau des ressources de remplacement envisageables parmi les sources d'altitude, les secteurs à prospecter se situent au-dessus de 1500 m, domaine qui ne devrait pas être influencé par les travaux. Elles doivent également se situer à une altitude supérieure aux sources à risque afin de pouvoir envisager un raccordement gravitaire. Il s'agit notamment des sources situées vers 2200 m d'altitude au pied du col de Vallée Etroite et du Mont Bréquin.

Réseau du Chef Lieu

Ce réseau est en partie alimenté par les captages non menacés de Sainte-Marguerite (point 3052) et Bertrand (points 328 et 329) situés en tête du réseau dans le secteur du plateau de Prazignan, à des altitudes de l'ordre de 2000 m, et fournissant un débit moyen d'une dizaine de litres par seconde.

Des ressources de remplacement doivent donc être recherchées dans ce secteur favorable du plateau de Prazignan qui a déjà été identifié par la commune pour conforter sa ressource en eau potable. Plusieurs expertises hydrogéologiques aux conclusions favorables ont déjà été réalisées et ont permis d'identifier 5 sources situées à des altitudes comprises entre 2060 et 2300 m : les sources de Sainte Marguerite, des Bertrand, de Prazignan, de la Casse et de la Grolle. Le débit cumulé de ces sources en période d'étiage est d'environ 15 l/s.

Actuellement, seules les sources Sainte Marguerite et Bertrand étant captées, le débit total des trois sources non captées en période d'étiage est environ de 8,4 l/s. Ce débit s'avère être suffisant pour compenser les éventuelles diminutions de débit des captages AEP à risque qui alimentent le réseau du Chef Lieu.

Réseau de Beaune

Les captages du réseau de Beaune pourraient être remplacés par les ressources de quatre secteurs favorables.

Le premier secteur correspond à celui du plateau de Prazignan décrit ci-dessus. Les ressources de ce secteur pourraient être utilisées en raccordant le réseau de Beaune à celui du chef lieu au niveau du hameau Les Avanières. Le débit total en période d'étiage des trois sources non captées de 8,4 l/s pourrait remplacer totalement les débits des captages à risque du réseau du Chef Lieu et de Beaune qui s'élèvent à 4,8 l/s.

Le second secteur est celui du talweg du ruisseau de la Grollaz avec :

- la source du Plan de la Pérousaz (point 3007) située à une altitude de 1600 m NGF avec des débits d'étiage et moyen de 0,3 et 1,6 l/s. Bien que cette source soit moins menacée que les captages du réseau de Beaune, elle présente néanmoins une probabilité de tarissement de très faible à nulle ;
- la source des Assiers (point 3006) située à une altitude de 1680 m NGF avec un débit moyen mesuré de 0,15 l/s. Néanmoins, cette source pourrait se tarir en période d'étiage ;
- la source de Pechet (point 340) située à une altitude de l'ordre de 2000 m et pour laquelle aucune mesure de débit n'est disponible.

Le débit total de ces sources en période d'étiage serait au moins de 0,45 l/s, ce qui ne permettrait pas de remplacer totalement les captages du réseau de Beaune. Il est à noter qu'en cas de raccordement des réseaux d'eau entre Beaune (1400 m) et Les Avanières (1650 m), les sources du Plan de la Pérousaz et des Assiers pourraient être connectées sur ce raccordement.

Le troisième secteur est celui de La Buffaz (entre Beaune et la Planchette), à proximité de Champieu où la source de la Buffaz (point 3001) située à une altitude de 1715 m fournit des débits minimum et moyen mesurés de 2,5 et 4,8 l/s. Bien que cette source soit moins menacée que les captages du réseau de Beaune, elle présente néanmoins un risque de tarissement nul à faible. Un raccordement en direction du réservoir de Beaune (1400 m) sur le réseau de distribution de Saint-Martin-la-Porte, qui achemine les eaux des captages de la Bachellerie et de Champieu, serait nécessaire depuis un point situé vers 1450 m en amont du hameau Le Mollard.

Le quatrième secteur se situe sur le territoire de la commune de Saint-Martin-la-Porte. Il s'agit du secteur de la Bachellerie avec :

- les sources privées du hameau Les Rateaux (points 2008 et 2009) situées à une altitude de 1780 m avec un débit cumulé minimum et moyen de 6,2 et 7,4 l/s ;
- les sources non captées de Bonrieu (points 326 et 327) situées à une altitude de l'ordre de 2200 m avec un débit cumulé minimum et moyen de 2,9 et 4,6 l/s.

Le débit total de ces sources en période d'étiage serait a priori de 9,1 l/s, ce qui permettrait de remplacer totalement les captages à risque du réseau de Beaune. Un raccordement en direction du réservoir de Beaune (1400 m) à partir du réseau de distribution de Saint-Martin-la-Porte serait nécessaire. Il s'agirait du même raccordement nécessaire pour utiliser les ressources du secteur de La Buffaz.

Au final, les captages à risque du réseau de Beaune (1,0 l/s en étiage) pourraient être totalement remplacés par la source du Plan de la Pérousaz (point 3007 avec 0,3 l/s en étiage) et la source de la Buffaz (point 3001 avec 2,5 l/s en étiage). Ceci nécessiterait la mise en œuvre de deux raccordements en direction du réservoir du hameau de Beaune, le premier depuis le hameau des Avanières avec possibilité de connexion avec le réseau du Chef Lieu, et le second depuis le réseau de Saint-Martin-la-Porte en amont du hameau Le Mollard. Il est à noter que ces sources, bien qu'étant moins menacées que les captages du réseau de Beaune, présentent un risque de tarissement faible à modéré. La connexion au réseau du Chef Lieu par le hameau des Avanières permettrait, avec le captage des trois sources non encore exploitées du plateau de Prazigan, de compléter, ou si nécessaire de remplacer totalement, les débits des captages à risque de Beaune.

Réseaux de Thyl Dessous et de la Buffaz

Ces deux réseaux indépendants sont chacun alimenté par une source de très faible débit qui peut se tarir en période d'étiage.

Les captages de ces deux réseaux pourraient être remplacés par les ressources du secteur de la Fromentière, avec les sources de Charvette n°1 et 2 (points 3045 et 3046) et celle de Rosset (point 3047). Le débit minimum et moyen cumulé de ces sources, situées à une altitude de 1770 et 1860 m, est de 0,6 et 3,0 l/s. Toutefois, il est à noter que ces sources non captées sont localisées bien au-delà du Hameau du Thyl (Dessus), dont le réservoir est connecté au réseau d'eau du Chef Lieu. De ce fait, et compte tenu des très faibles débits des captages menacés, il serait préférable de connecter les réservoirs des hameaux du Thyl Dessous et de la Buffaz au réseau d'eau du Chef Lieu depuis le hameau du Thyl, comme cela a déjà été envisagé par la commune.

Nappe alluviale de l'Arc

Pour l'ensemble de la commune, une autre ressource de remplacement envisageable serait celle de la plaine alluviale de l'Arc. Toutefois, l'exploitation de cette ressource nécessiterait, pour alimenter les hameaux situés sur le versant Nord la mise en place de moyens permettant de remonter jusqu'aux réservoirs communaux les eaux captées dans le fond de la vallée.

La plaine alluviale de l'Arc, au niveau de Saint-Michel-de-Maurienne, a fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques. Une synthèse des données a été établie en 1990 et a été complétée par un forage de reconnaissance en 1993. Les études ont surtout porté sur le secteur de l'usine Métaltemple, en rive droite de l'Arc. Ce secteur est situé dans l'ombilic de Saint-Michel-de-Maurienne, à l'amont du verrou du Pas du Roc. La reconnaissance par forage jusqu'à 47,5 m de profondeur n'a pas permis de toucher le substratum rocheux. Les données géologiques et géophysiques montrent un comblement classique d'un ombilic glaciaire par des matériaux d'origine d'abord lacustre (supposée), puis fluvio-torrentielle apportés par l'Arc et les torrents latéraux. Les matériaux du remplissage sont donc très divers avec des lentilles plus ou moins épaisses et étendues, à dominante de galets, graviers et sables ou d'argile.

Une nappe d'accompagnement de l'Arc est présente dans les formations graveleuses. Son alimentation semble provenir à la fois du versant et de la rivière. Le niveau piézométrique se situe entre -1 et -3 m.

Dans le secteur de Métaltemple, un puits industriel de 12,80 m de profondeur a été pompé aux environs de 525 m³/h, avec un rabattement du niveau piézométrique de 5,5 m. Il apparaît que la transmissivité des alluvions dans ce secteur est forte, de l'ordre de $2.6 \cdot 10^{-2}$ m²/s, avec une perméabilité probable des alluvions de l'ordre de 10^{-3} m/s. Malgré le contexte environnemental (urbanisation et sites industriels) et géologique (absence partielle de couches argileuse protectrices) peu favorable, les analyses chimiques effectuées ont révélé qu'il s'agissait d'une eau de type bicarbonaté et sulfaté calcique ne présentant pas d'indice de pollution majeure.

Ainsi, il apparaît que sur le territoire de la commune de Saint-Michel-de-Maurienne des ressources importantes pourraient être mobilisées dans la plaine de l'Arc. Il s'agit essentiellement d'eau à utilisation industrielle. L'exploitation de ces ressources pour l'eau potable nécessiterait de vérifier si des périmètres de protection efficaces peuvent être mis en place, et de mettre en œuvre des moyens importants pour remonter les eaux prélevées jusqu'aux réservoirs communaux.

6.3 Commune d'Orelle

6.3.1 Bilan des points sensibles

Trois points sensibles ont été identifiés sur cette commune, il s'agit des captages AEP des Acacias (point n. 76), de la Cochonnière Aval (point n. 86) et de Bonvillard (point n. 65,1) qui ont un DHI de 2.

6.3.2 Alimentation en eau potable de la commune

En 2005, les besoins en eau potable de la commune d'Orelle ont été estimés à 264 m³/j. En 2020, ces besoins devraient être de 365 m³/j. Pour assurer ses besoins, la commune d'Orelle exploite actuellement 8 captages AEP : 4 captages sur le secteur d'Orelle, et 4 captages sur le secteur d'Orellette (cf. Schéma réseau d'eau potable joint ci-dessous).

En période d'étiage, la commune dispose actuellement d'une ressource de 527 m³/j sur une durée de 20 heures, répartie de la manière suivante :

- Secteur Est d'Orelle : 374 m³/j;
- Secteur Ouest d'Orelle : 72 m³/j ;
- Secteur d'Orellette : 81 m³/j.

Sur l'ensemble de la commune, le bilan besoins-ressources était donc excédentaire de 263 m³/j en 2005, et de 132 m³/j en 2010. Les captages AEP exploités par la commune sont les suivants.

Numéro du point	Type de point	Nom	Classe DHI	Usages	Nombre mesures débit	Min débit (l/min)	Max débit (l/min)	Moy débit (l/min)	Classe débit	Nombre mesures conduc	Min conduc (mS/cm)	Max conduc (mS/cm)	Moy conduc (µS/cm)	Classe conduc
75	CC	Captage du Pont de la Balme aval	2	AEP	139	100.0	1200.0	317.0	3	136.0	63.0	340.0	174.8	1
76	CC	Captage du Pont de la Balme amont	2	AEP	137	13.0	1200.0	391.4	3	136.0	49.0	214.0	142.2	1
77	CC	Captage des Acacias	2	AEP	148	1.2	150.0	39.9	2	139.0	344.0	598.0	495.1	2
86	CC	Captage de la Cochonnière Aval	2	AEP	129	60.0	1200.0	251.2	3	120.0	221.0	690.0	370.5	2
65,1	CC	Captage de Bonvillard	2	AEP	138	55.0	600.0	152.9	2	129.0	232.0	475.0	385.3	2
65,2	CC	Captage de Bonvillard	2	AEP	56	0.0	300.0	12.0	1	18.0	217.0	366.0	257.5	1
65	CC	Captage de Bonvillard	2	AEP	0	100.0	600.0	350.0	3	0.0	0.0	0.0	0.0	1
80	CC	Captage de Sainte Barbe aval	1	AEP	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1
81	CC	Captage de Sainte Barbe amont	1	AEP	58	3.0	86.0	19.7	2	57.0	420.0	582.0	529.1	2

Tableau 40 –Captages AEP de la commune d'Orelle. Les points sensibles sont indiqués en gras et fond gris foncé.

Vis-à-vis du risque de tarissement des sources, on constate d'après les données collectées que la totalité des ressources situées dans le secteur d'Orelle est concernée par un risque de

tarissement inférieur ou égal à faible. Ceci représente, pour les seules ressources à risque faible, en période d'étiage, environ 395 m³/j sur une durée de 20 heures.

En 2010, si l'ensemble de ces ressources s'était tari, le bilan besoins-ressources de la commune aurait été alors déficitaire de 132 m³/j.

On note que la quasi-totalité des ressources exploitées dans le secteur d'Orellette (réseau de distribution indépendant) présente un risque de tarissement nul à faible.

En ce qui concerne la situation administrative des ressources exploitées par la commune, aucun captage ne possède à ce jour de DUP (Demande d'Utilité Publique), ni de périmètre de protection.

6.3.3 Identification des ressources de remplacement

Sur 102 points d'eau recensés sur cette commune, 84 présentent un risque très faible ou nul de tarissement.

En ce qui concerne l'alimentation en eau potable, 2 réseaux de distribution indépendants sont concernés par d'éventuels risques de perturbation :

- Réseau Est d'Orelle avec les captages Pont la Balme (points 75 et 76), Les Crozes (points 65), et Puits Bonvillard (sans numéro). Le déficit maximal en eau pourrait être de 5,2 l/s en étiage ;
- Réseau Ouest d'Orelle avec le captage de la Cochonnière (point 86). Le déficit maximal en eau pourrait être de 1 l/s en étiage.

Les captages de ce réseau pourraient être remplacés, en partie ou en totalité, par les ressources situées dans le secteur de l'Arcelin. Toutefois, compte tenu des altitudes élevées, la seule ressource à peu près accessible est celle de la source du Plan Py (point 108) située à une altitude de 2265 m. Deux mesures de débits ont été effectuées sur cette source, indiquant des valeurs de 5,9 et 20,9 l/s.

Réseau Ouest d'Orelle

Les captages de ce réseau pourraient être remplacés, en partie ou en totalité, par les ressources du secteur Le Bois Noir où sont localisées quelques sources pour lesquelles on dispose de peu d'informations (absence de mesures de débit). Il s'agirait des sources de Prénadina (points 312 et 313), du Bois Noir (point 90) et de Rochemcombe (point 96).

A l'échelle de la commune, un autre secteur, situé en rive gauche de la vallée de l'Arc, pourrait permettre de remplacer en totalité les captages à risque des réseaux Est et Ouest d'Orelle. Il s'agit des sources du Creux de l'Ours (points 116, 117 et 118) qui ont fait l'objet d'un rapport hydrogéologique aux conclusions favorables pour leur utilisation comme eau potable. Elles sont situées entre 1300 m et 1430 m d'altitude, avec une valeur de débit d'étiage cumulé compris entre 6 et 10 l/s. L'exploitation de ces sources nécessiterait la mise en œuvre d'une canalisation qui devrait traverser la vallée de l'Arc pour rejoindre les réservoirs communaux.

Enfin, il est à noter que la vallée de l'Arc au niveau du territoire de la commune d'Orelle est trop étroite pour envisager une exploitation des ressources alluviales, a priori faibles, en fond de vallée.

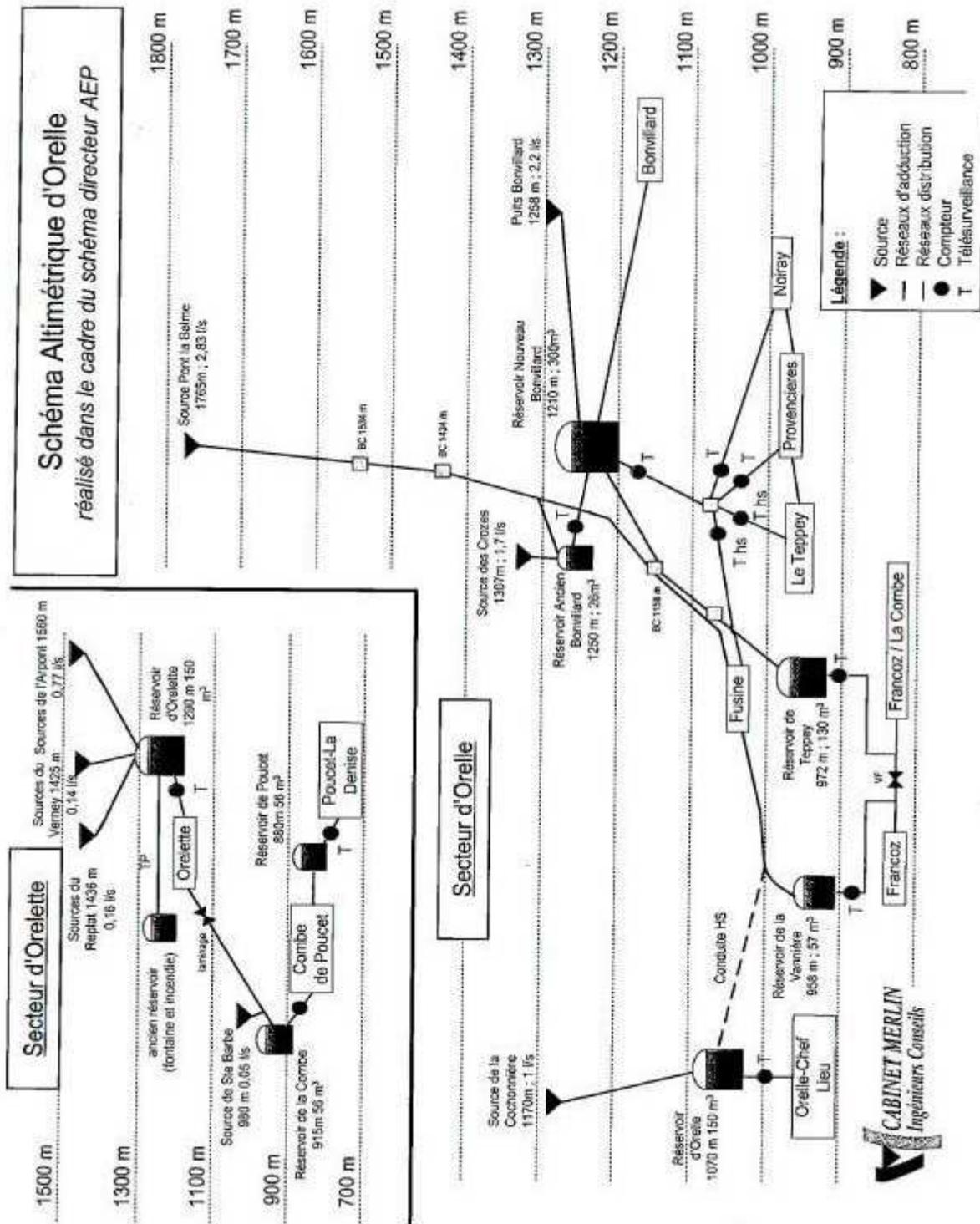


Figure 99 – Réseau AEP de la commune d'Oreille. D'après APR_B2_TS2-0051-B

6.4 Commune de Saint-André

6.4.1 Bilan des points sensibles

Au total, 3 points sensibles ont été identifiés sur cette commune, 2 captages AEP et 1 source non captée.

Numéro du point	Type Source	DHI	Usages
26	CC	2	AEP
27	CC	2	AEP
39	SNC	3	Aucune

Tableau 41 – Points sensibles sur la commune de Saint-André

6.4.2 Alimentation en eau potable de la commune

Les besoins actuels en eau potable de la commune de Saint-André n'ont pas été évalués, la consommation en eau potable n'est pas contrôlée et seule la ressource exploitée est connue. Sur l'ensemble de la commune, le bilan besoins-ressources ne peut donc pas être déterminé.

Pour assurer ses besoins, la commune de Saint-André exploite actuellement 8 captages AEP, répartis sur 6 réseaux de distribution indépendants : 2 captages sur le secteur du Col, et 4 captages sur le secteur du Villard et de La Praz (cf. Schéma réseau d'eau potable joint ci-dessous). Les captages AEP exploités par la commune sont les suivants.

Rapport sur les points d'eau et leurs risque d'impact (France) - Relazione sui punti acqua e loro rischio di impatto (Francia)

Numéro du point	Type de point	Nom	Classe DHI	Usages	Nombre mesures débit	Min débit (l/min)	Max débit (l/min)	Moy débit (l/min)	Classe débit	Nombre mesures conduc	Min conduc (mS/cm)	Max conduc (mS/cm)	Moy conduc (µS/cm)	Classe conduc
26	CC	Captage du Pré de la Cure	2	AEP	165	60.0	800.0	533.6	3	158.0	8.0	487.0	329.8	2
27	CC	Captage de Montruard ou source du Penet	2	AEP	164	16.0	480.0	84.0	2	159.0	7.8	483.0	384.9	2
28	CC	Captage du Villard ou du Champ de la Côte	1	AEP	173	132.0	800.0	378.7	3	163.0	7.3	480.0	310.0	1
29	CC	Captage des Champs ou captage du Chatel	1	AEP	160	100.0	800.0	354.3	3	160.0	7.1	327.0	151.3	1
30	CC	Captage de Fontaine Bénite (1630 m)	1	AEP	166	0.0	300.0	68.7	2	156.0	6.2	252.0	208.6	1
59	CC	Captage du Reclotet	1	AEP	136	600.0	1200.0	972.8	3	132.0	7.7	395.0	166.6	1
32	CC	Captage sur la Drière	1	AEP	69	0.0	1200.0	371.3	3	63.0	121.0	221.0	165.3	1
38	CC	Captage du Planay	2	AEP	48	0.0	60.0	7.1	1	18.0	86.0	1117.0	725.3	3

Tableau 42 –Captages AEP de la commune de Saint André. Les points sensibles sont indiqués en gras et fond gris foncé

En période d'été, la commune disposerait donc actuellement d'une ressource de 1092 m³/j, sur une durée de 20 heures, répartie de la manière suivante sur les différents réseaux indépendants de distribution :

- Réseau des Champs (point 29) : 120 m³/j ;
- Réseau de La Praz (point 59) : 720 m³/j ;
- Réseau du Villard (point 28) : 158 m³/j ;
- Réseau de Montruard (point 27) : 19 m³/j ;
- Réseau Chef Lieu (points 26, 30 et 32) : 72 m³/j ;
- Réseau du Planay (point 38) : 3 m³/j.

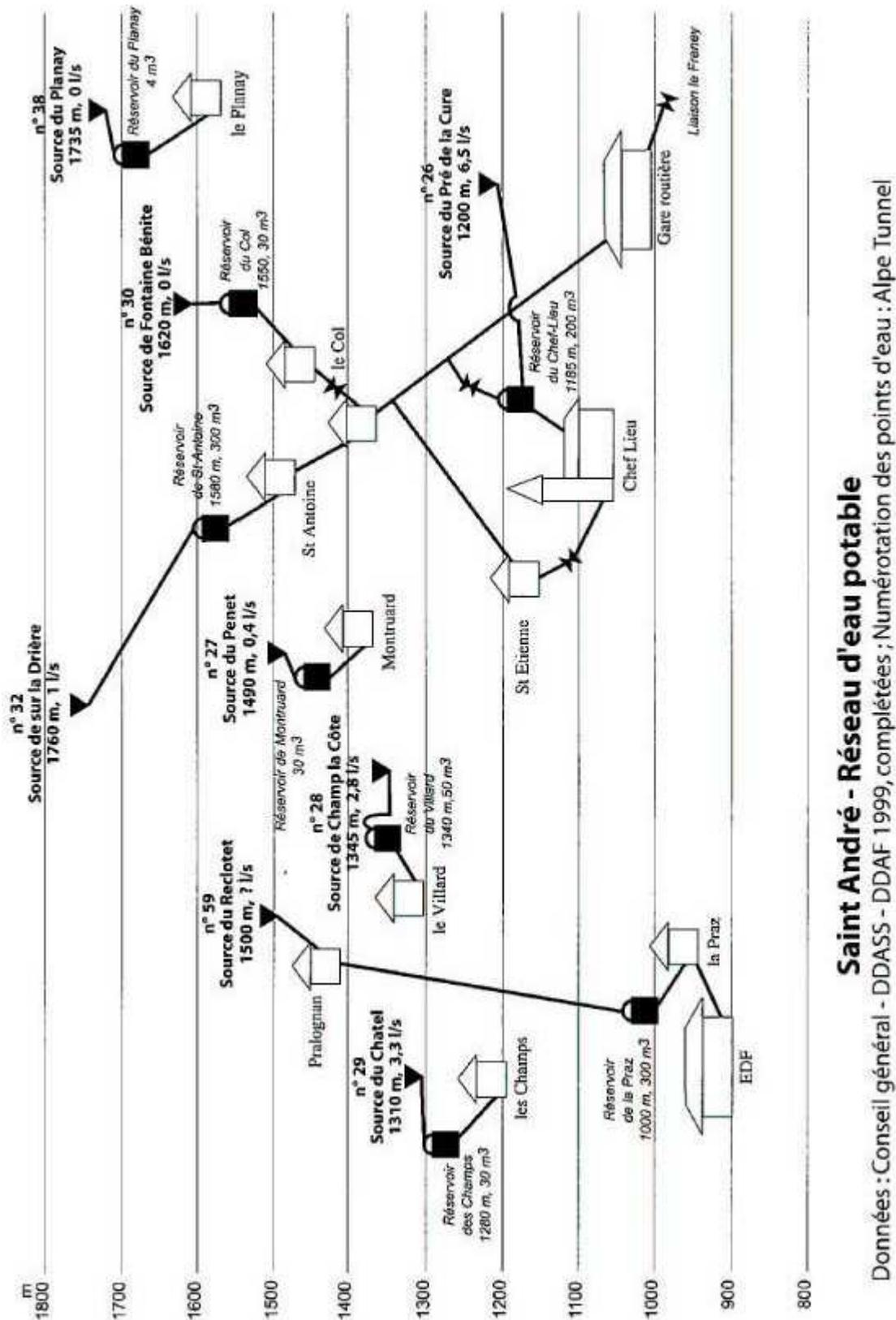


Figure 100 – Réseau AEP de la commune de Saint-André. D’après APR_B2_TS2-0051-B

Vis-à-vis du risque de tarissement des sources, on constate, d’après les données collectées, que la quasi-totalité des ressources de la commune de Saint-André est concernée par une probabilité de risque de tarissement :

- la probabilité est de très faible à nulle (DHI = 1) pour les réseaux de La Praz, des Champs, du Chef Lieu (points 30 et 32) et du Villard ;
- la probabilité est faible (DHI = 2) pour les réseaux de Montruard, du Planay et du Chef Lieu (point n. 26).

Si l'ensemble des ressources à risque faible se tarissait, ceci représenterait en période d'étiage un déficit d'environ 91 m³/j sur une durée de 20 heures. Il est à noter que les risques de perturbation de l'alimentation en eau potable sont particulièrement sensibles sur cette commune du fait que les ressources exploitées, dont certaines sont extrêmement faibles, alimentent 6 réseaux de distribution indépendants (pas d'interconnexion existante).

6.4.3 Identification des ressources de remplacement

Sur 48 points d'eau recensés sur cette commune, 41 présentent un risque très faible ou nul de tarissement. En ce qui concerne l'alimentation en eau potable, 3 réseaux de distribution indépendants de la commune sont concernés par d'éventuels risques de perturbation faible.

Réseau des Champs

Le captage du Chatel (point 29 - 1,7 l/s), sur ce réseau, pourrait être remplacé, en partie ou en totalité, par les sources du hameau Les Rieux (points 53, 54 et 60) situées à une altitude de 1500 m et pour lesquelles on ne dispose pas de mesures de débit. En outre, le débit du captage du Chatel, dont le risque est nul à faible, est très largement supérieur aux besoins du hameau des Champs qu'il dessert. Une diminution partielle du débit de ce captage pourrait ne pas engendrer de difficulté d'alimentation.

Réseau de La Praz

Le captage du Reolet (point 59 - 10 l/s), sur ce réseau, pourrait être remplacé, en partie ou en totalité, par les sources de l'Arpont (points 57 et 58) situées à une altitude de 2100 m, avec un débit cumulé mesuré compris entre 0 et 166 l/s. En outre, on pourrait également envisager de dériver le trop-plein des captages des réseaux des Champs et du Villard en direction du réservoir de La Praz.

Réseau du Villard

Le captage du Champ de la côte (point 28 - 2,2 l/s), sur ce réseau, pourrait être remplacé, en partie ou en totalité, par la source de Sommière Nord (point 50) située à une altitude de 1830 m, avec des débits minimum et moyen mesurés de 0,02 et 6,9 l/s.

Réseau de Montruard et du Chef Lieu

Le captage du Penet (point 27 - 0,3 l/s), sur le réseau de Montruard, et le captage du Pré de la Cure (point 26 - 1 l/s), sur le réseau du Chef Lieu, pourraient être remplacés, en partie ou en totalité, par la source du Bois Saint-André (point 35) et les sources du Plan de l'Ours (points 31, 33 et 34) situées à une altitude de 1800 m. Le point n. 35 a des débits minimum et moyen mesurés de 1,0 et 2,8 l/s. On ne dispose pas de mesures de débit pour les autres points.

Réseau du Planay

Ce réseau indépendant est alimenté par la source du même nom (point 38) de très faible débit. Cette source située à une altitude de 1735 m pourrait être remplacée par la dérivation d'une

partie du débit des sources situées à une altitude de 1850 m en amont du chalet du Plan de L'Ours (points 36 et 37).

6.5 Commune de Modane

6.5.1 Bilan des points sensibles

Deux points sensibles ont été identifiés sur cette commune, il s'agit de captages AEP.

Numéro du point	Type Source	DHI	Usages
1	CC	2	AEP
3	CC	2	AEP

Tableau 43 – Points sensibles sur la commune de Modane

6.5.2 Identification des ressources de remplacement

Sur 32 points d'eau recensés sur cette commune, 27 présentent un risque très faible ou nul de tarissement. La quasi-totalité de ces points est située en rive gauche de la vallée de l'Arc. De ce fait, les captages de Loutraz, du Claret et de Combacille, avec des débits minimum et moyen cumulés de 3,9 et 30,1 l/s, ne pourront être remplacés que par un pompage dans la plaine alluviale de l'Arc, très urbanisée et industrialisée, ou par un développement des ressources AEP situées en rive gauche de l'Arc. Une autre ressource envisageable, sous réserve qu'elle puisse être pérenne et de bonne qualité, serait celle des eaux d'exhaure de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane.

6.6 Commune de Villarodin Le Bourget

6.6.1 Bilan des points sensibles

Au total, 5 points sensibles ont été identifiés sur cette commune, 4 captages AEP et 1 captage privé.

Parmi ces 5 points, les 4 points 18-B, 4001, 4015 et 4016 sont taris depuis décembre 2002 à la suite des travaux de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane (VBM).

Numéro du point	Type Source	DHI	Usages
18-B	CC	point impacté par la descenderie de VBM	AEP
4001	CC	point impacté par la descenderie de VBM	AEP
4015	CC	point impacté par la descenderie de VBM	AEP
4016	CC	point impacté par la descenderie de VBM	AEP

Numéro du point	Type Source	DHI	Usages
4011	CP	1	Domestique

Tableau44 – Points sensibles sur la commune de Villarodin Le Bourget

6.6.2 Identification des ressources de remplacement

Sur 51 points d'eau recensés sur cette commune, 37 présentent un risque très faible ou nul de tarissement. La quasi-totalité de ces points est située en rive gauche de la vallée de l'Arc. De ce fait, les ressources de remplacement doivent être recherchées en rive gauche de l'Arc ou en fond de vallée.

Sources en rive gauche de l'Arc

Certaines sources non captées en rive gauche de l'Arc, dans le secteur de la Norma, pourraient servir de ressources de remplacement. Dans ce secteur, plusieurs émergences intéressantes ont été repérées lors de l'inventaire effectué en 1991. Il s'agit notamment d'une source (n. 15 de l'inventaire de 1991, avec un débit de 1 l/s en juillet 1991) située près du captage des Avenières (point 277 de l'inventaire LTF), de trois sources (n. 16, 17, 18 de l'inventaire de 1991, avec un débit cumulé d'environ 2 l/s en juillet 1991) près du captage de la Fontaine aux Oiseaux (point n. 275 de l'inventaire LTF), et d'un groupe de sources (n. 27 à 35 de l'inventaire de 1991, avec un débit cumulé d'environ 37 l/s en juillet 1991) situé à l'aval du captage des Eves (point n. 272 de l'inventaire LTF).

Nappe alluviale de l'Arc

Une autre solution consisterait à exploiter la nappe alluviale de l'Arc par pompage dans la plaine sur le territoire de la commune de Villarodin Le Bourget. Cette solution a déjà été examinée dans le cadre du rapport ARCADIS – SEA CONSULTING – BAPTENDIER de février 2003. Le site potentiel d'implantation du forage se situerait près du débouché de la descenderie, sur un site où le dépôt de matériaux issus du creusement est prévu. Un pompage d'essai avec analyse serait nécessaire pour mieux définir les caractéristiques de la nappe et la qualité des eaux dans ce secteur.

6.7 Commune d'Avrieux

6.7.1 Bilan des points sensibles

Au total, trois points sensibles ont été identifiés sur cette commune, 1 captage AEP et 2 captages privés.

Numéro du point	Type Source	DHI	Usages
6001	CC	2	AEP
6005	CP	3	Domestique
6006	CP	2	Domestique

Tableau 45 – Points sensibles sur la commune d'Avrieux

6.7.2 Alimentation en eau potable de la commune

Les besoins actuels en eau potable de la commune d'Avrieux ont été estimés à 130 m³/j. Pour assurer ses besoins, la commune d'Avrieux exploite actuellement 4 captages AEP : 1 captage en rive droite de l'Arc et 3 captages en rive gauche. Les captages AEP exploités par la commune sont les suivants.

Numéro du point	Type de point	Nom	Classe DHI	Usages	Nombre mesures débit	Min débit (l/min)	Max débit (l/min)	Moy débit (l/min)	Classe débit	Nombre mesures conduc	Min conduc (mS/cm)	Max conduc (mS/cm)	Moy conduc (µS/cm)	Classe conduc
6001	CC	Captage du réservoir communal	2	AEP	179	87.0	887.0	343.4	3	168.0	132.0	670.0	442.8	2
247	CC	Captage de Bonnerette	1	AEP	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1
250	CC	Captage du Solliet d'en haut	1	AEP	1	75.0	75.0	75.0	2	1.0	198.0	198.0	198.0	1
251	CC	Captage du Solliet d'en bas	1	AEP	1	100.0	100.0	100.0	2	1.0	176.0	176.0	176.0	1

Tableau 46 –Captages AEP de la commune d'Avrieux. Les points sensibles sont indiqués en gras et fond grisé.

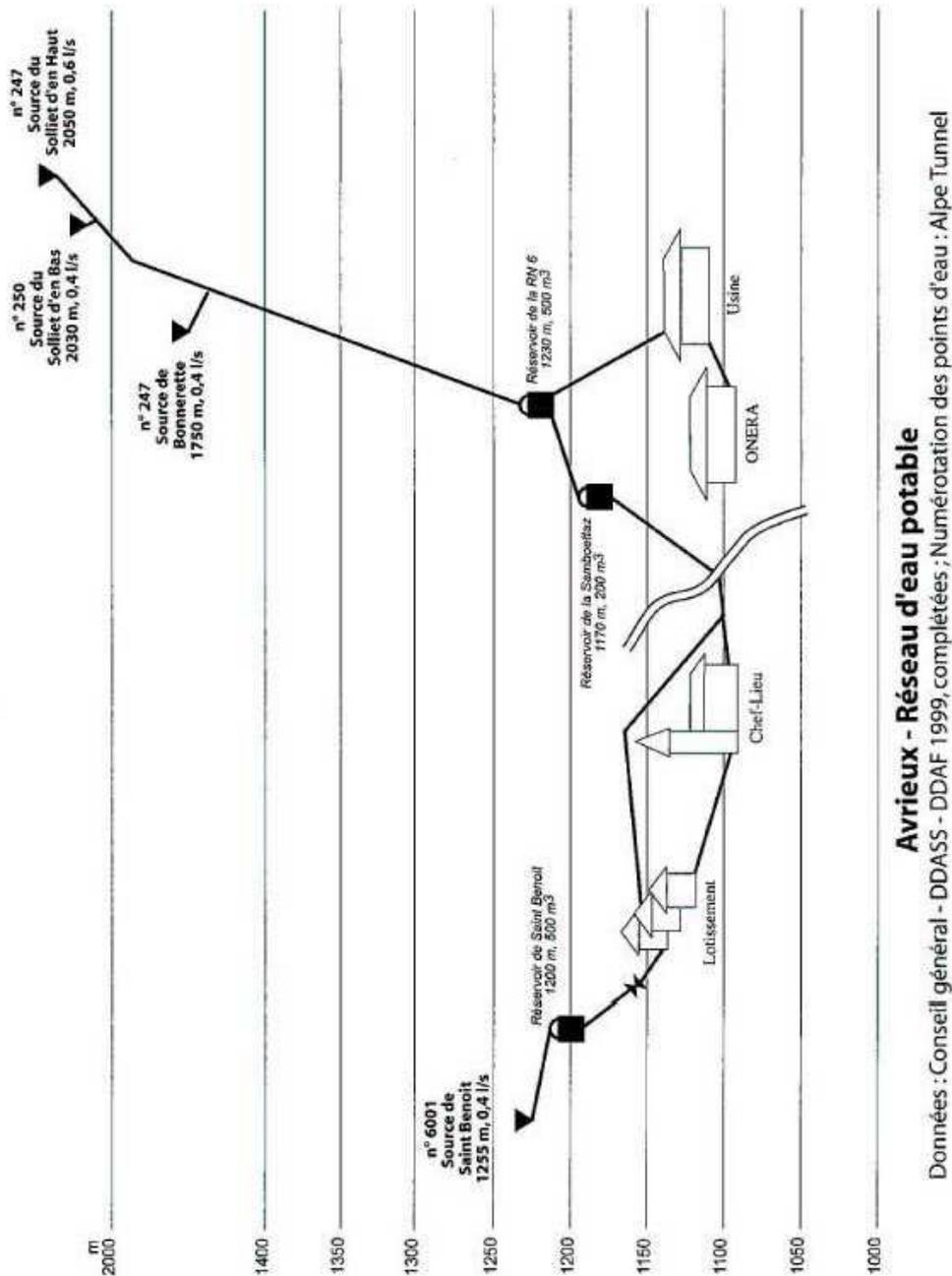


Figure 101 – Réseau AEP de la commune d'Avrieux. D'après APR_B2_TS2-0051-B

En période d'été, la commune disposerait donc actuellement d'une ressource de 314 m³/j sur une durée de 20 heures, correspondant à peu près à ses besoins.

Vis-à-vis du risque de tarissement des sources, on constate que seule la ressource située en rive droite de l'Arc est concernée par un risque de tarissement, qui est toutefois faible à modéré. Cette ressource correspond au captage de Saint-Benoît et représente environ 33 % des ressources de la commune en période d'été, soit 104 m³/j sur une durée de 20 heures.

6.7.3 Identification des ressources de remplacement

Sur 29 points d'eau recensés sur cette commune, 25 présentent un risque très faible ou nul de tarissement.

Compte tenu de la très grande vulnérabilité de la ressource de Saint-Benoît (point 6011), qui est alimentée en partie par le ruisseau du même nom, et de la difficulté à mettre en place les périmètres de protection réglementaires qui concerneraient aussi le territoire de la commune voisine d'Aussois, ce captage n'est théoriquement plus exploité par la commune. Toutefois, lors de l'étiage hivernal, la baisse des débits des ressources situées en rive gauche de l'Arc oblige la commune à exploiter cette ressource de la mi-février à la mi-mars. En période estivale, cette ressource sert à l'irrigation.

Pour pallier au déficit hivernal, un projet d'adduction à partir des ressources de la commune voisine d'Aussois a été examiné et a priori suspendu pour des problèmes d'acquisition foncière. Il serait nécessaire que ce projet aboutisse, car il s'agirait de la meilleure solution technique pour compenser le déficit hivernal.

Il est à noter que les trois captages privés (point 6005, 6006 et 6007) utilisés pour l'irrigation pourraient, compte tenu des faibles débits (0,15 l/s), être alimentés depuis une prise d'eau directement dans le ruisseau du Saint-Benoît.

6.8 Commune de Bramans

6.8.1 Bilan des points sensibles

Un point sensible a été identifié sur cette commune, la source domestique n. 208.

Numéro du point	Type Source	DHI	Usages
208	CP	2	Domestique

Tableau 47 – Points sensibles sur la commune de Bramans

6.8.2 Identification des ressources de remplacement

Aucune ressource de remplacement n'a été identifié sur cette commune.

7. Solutions de remplacement

Les solutions de remplacement proposées sont de trois types :

- Solutions d'urgence ;
- Solutions transitoires ;
- Solutions permanentes.

Les solutions d'urgence et transitoires constituent des solutions temporaires qui nécessiteront des mises en œuvre rapides, et a priori moins coûteuses que les solutions permanentes.

Les solutions proposées ci-dessous peuvent concerner un point d'eau, un groupe de points d'eau ou un secteur géographique. La plupart de ces solutions ont déjà été examinées dans le cadre de l'étude des mesures compensatoires effectuée par le groupement SEA-ARCADIS-SILENE-BAPTENDIER pour les descenderies.

7.1 Solutions d'urgence

Les solutions d'urgence consisteront à effectuer des prélèvements au droit :

- des ruisseaux et canaux ;
- des sources existantes non aménagées ;
- des barrages ou des conduites EDF accessibles.

En ce qui concerne l'alimentation en eau potable, les prises d'eau seront placées à proximité des réseaux de distribution d'eau, en amont de chaque bassin versant des réseaux. Cette disposition permettra de pallier à la déficience de n'importe quelle source située en aval des réseaux. En outre, au droit de chaque prise d'eau la mise en place d'unités de traitement mobiles (UTM) sera nécessaire.

7.1.1 Commune de Saint-Michel-de-Maurienne

Pour le Réseau de Beaune, une unité pourrait être placée près du réservoir de Beaune, en amont du hameau, avec prélèvement dans le ruisseau de La Grollaz.

Pour le réseau du Chef Lieu, une unité pourrait être placée vers le hameau de La Traversaz, en amont du hameau, avec prélèvement dans le ruisseau du Vigny.

Enfin, pour les réseaux de Thyl Dessous et de La Buffaz, une unité pourrait être placée vers les réservoirs communaux, en amont des hameaux, avec prélèvement dans le ruisseau du Pré Bérard. Dans ce cas, une unité de traitement de l'eau est indispensable pour l'alimentation de la Buffaz car le ruisseau de Pré Bérard traverse le village du Thyl Dessous.

7.1.2 Commune d'Orelle

Pour le réseau Est d'Orelle, une unité pourrait être placée à proximité des captages du Pont de la Balme, en amont du hameau de Bonvillard, avec prélèvement dans le ruisseau de Bonrieu.

Pour le réseau Ouest d'Orelle, aucun ruisseau pérenne n'est situé à proximité. L'alimentation du réservoir d'Orelle (1070 m) ne pourrait être réalisée qu'en remontant les eaux depuis le réservoir de la Vannière (958 m) appartenant au réseau Est d'Orelle.

7.1.3 Commune de Saint-André

Pour le réseau des Champs, une unité pourrait être placée en amont du hameau de Pralognan, avec prélèvement dans le torrent Les Rieux.

Pour le réseau de La Praz, une unité pourrait être placée en amont du hameau des Champs, avec prélèvement dans le ruisseau Rieu Bénit ou Les Moulins.

Pour le réseau de Montruard, une unité pourrait être placée en amont du hameau, avec prélèvement dans le ruisseau alimenté par les sources de Sommière et Varnatel.

Enfin, pour les réseaux du Chef Lieu et du Planay, une unité pourrait être placée en amont des réseaux, avec prélèvement dans le Bief Nua (dérivation du ruisseau Saint-Bernard).

7.1.4 Commune de Modane

Une unité pourrait être placée en amont de Loutraz, avec prélèvement dans le ruisseau Le Povaret.

7.1.5 Commune d'Avrieux

Une unité pourrait être placée en amont du captage de Saint-Benoît, avec prélèvement dans le ruisseau du même nom.

7.2 Solutions transitoires

Les solutions temporaires pourront être mises en œuvre à partir :

- de sources qui ne sont pas ou faiblement affectées par les travaux ;
- de la nappe alluviale de l'Arc ;
- des descenderies ;
- de connexion avec les réseaux de distribution des communes voisines.

7.2.1 Sources non affectées ou faiblement affectées par les travaux

La description des sources potentielles de remplacement identifiées sur chaque commune concernée par des risques de tarissement est présentée au chapitre 5.

7.2.2 Nappe alluviale de l'Arc

Dans certains secteurs, une autre ressource de remplacement envisageable consisterait à capter la nappe de la plaine alluviale de l'Arc. Suivant les capacités de la nappe, cette solution pourrait apporter une réponse à l'échelle d'une ou plusieurs communes.

Toutefois, l'exploitation de ces ressources nécessiterait :

- de vérifier si des périmètres de protection efficaces peuvent être mis en place (contexte environnemental et géologique généralement défavorable, avec des secteurs urbanisés et/ou industrialisés et absence partielle ou complète de couches argileuse protectrices) ;
- de mettre en œuvre des moyens importants pour remonter les eaux prélevées jusqu'aux réservoirs communaux (réseaux de distribution majoritairement gravitaires).

Une exploitation de la nappe alluviale de l'Arc est envisageable sur les territoires des communes de Saint-Michel-de-Maurienne, Modane et Villarodin-Le Bourget. Certains secteurs ont déjà fait l'objet d'études hydrogéologiques.

7.2.3 Connexion avec les réseaux AEP des communes voisines

Cette solution peut être envisagée pour les communes dont les ressources de remplacement disponibles sont insuffisantes ou trop éloignées du réseau de distribution existant. Bien entendu, la mise en œuvre d'une telle solution n'est envisageable que si les communes voisines disposent d'un excédent de ressources par rapport à leurs besoins, ou de ressources non exploitées pouvant être captées pour répondre aux demandes.

Connexion au réseau de Saint-Jean-de-Maurienne

Pour pallier à un éventuel déficit en eau sur la commune de Saint-Michel-de-Maurienne, une connexion avec le réseau de la commune de Saint-Jean-de-Maurienne pourrait être envisagée. Cette commune prend une partie de sa ressource en eau sur la commune de Montricher-Albane, à partir des points 366, 367, 368, 369, 370, 371, 373, 374 et 375 qui présentent un risque très faible ou ne présentent aucun risque de tarissement vis-à-vis du tunnel. Cette ressource représente un débit d'étiage de 10 l/s et un débit moyen de 40 l/s. En outre, la commune de Saint-Jean-de-Maurienne possède deux autres ressources au travers de son adhésion au syndicat de Moyenne Maurienne qui capte l'eau à la source des Roches sur Saint Collomban Les Villards.

Connexion au réseau d'Aussois

Pour pallier au déficit hivernal de la commune d'Avrieux, un projet d'adduction aux ressources de la commune voisine d'Aussois a été examiné, et a priori suspendu pour des problèmes d'acquisition foncière. Cette solution consisterait à fournir à la commune d'Avrieux un débit de 1,5 l/s pendant les périodes d'étiage à partir du réseau alimenté par les captages de la Fournache (11 l/s en étiage) et de Plan d'Aval (5,5 l/s en étiage). Elle permettrait de remplacer avantageusement le captage de Saint-Benoît (point 6001) pour lequel un risque de tarissement faible a été déterminé.

7.3 Solutions permanentes

Les solutions permanentes correspondront aux solutions transitoires décrites ci-dessus après aménagement pérenne. D'autres solutions permanentes peuvent être envisagées. Il s'agit de l'alimentation depuis les barrages EDF existants comme celui du Lac de Bissorte sur la commune d'Orelle, ou ceux du Plan d'Amont et Plan d'Aval sur la commune d'Aussois. Ces solutions, qui présentent l'avantage d'être sécuritaires et d'apporter une réponse globale à l'échelle d'une ou plusieurs communes, nécessitent toutefois une mise en œuvre plus longue avec des réseaux d'adduction très importants en montagne. Elles sont donc beaucoup plus onéreuses. En outre, elles posent le problème du coût d'entretien pour les communes, de la réhabilitation des conduites, et de la répartition des ressources entre les différents usagers.

8. Contraintes réglementaires et économiques

8.1 Contraintes réglementaires

La réalisation et la mise en exploitation d'un dispositif de captage nécessitent d'effectuer un certain nombre de démarches administratives réglementaires. Les prélèvements en eau sont soumis à **autorisation** ou **déclaration** (article R 214-6 et suivants et R 214-32 et suivants).

Les différents seuils sont explicités dans l'article R 214-1 du code de l'environnement, à savoir :

- Sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau (**déclaration**).
- Prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère, à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé, le volume total prélevé étant :
 - 1° Supérieur ou égal à 200 000 m³ / an (**autorisation**) ;
 - 2° Supérieur à 10 000 m³ / an mais inférieur à 200 000 m³ / an (**déclaration**).
- A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, y compris par dérivation, dans un cours d'eau, dans sa nappe d'accompagnement ou dans un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe :
 - 1° D'une capacité totale maximale supérieure ou égale à 1 000 m³ / heure ou à 5 % du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau (**autorisation**) ;
 - 2° D'une capacité totale maximale comprise entre 400 et 1 000 m³ / heure ou entre 2 et 5 % du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau (**déclaration**).
- A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, dans un cours d'eau, sa nappe d'accompagnement ou un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe, lorsque le débit du cours d'eau en période d'étiage résulte, pour plus de moitié, d'une ré-alimentation artificielle (**autorisation**).
- A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9, ouvrages, installations, travaux permettant un prélèvement total d'eau dans une zone où des mesures permanentes de répartition quantitative instituées, notamment au titre de l'article L. 211-2, ont prévu l'abaissement des seuils :
 - 1° Capacité supérieure ou égale à 8 m³ / h (**autorisation**) ;
 - 2° Dans les autres cas (**déclaration**).

L'exploitation d'eaux souterraines ou superficielles en vue de la consommation humaine est soumise à autorisation au titre des articles L1321 du Code de la Santé Publique, conformément aux dispositions des articles R 1321 de ce même code. Les limites références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine sont fixées de l'Arrêté du 11 janvier 2007, Annexe I, Partie II, Tableau B.

La directive 2006/118/CE adoptée par le Parlement Européen et le Conseil le 12 décembre 2006 vise à protéger les eaux souterraines de tout type de pollution ou de détérioration. Elle vient compléter la directive-cadre sur l'eau (DCE) 2000/60/CE du 23 octobre 2000 qui définit déjà un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique et fixe des objectifs ambitieux pour la préservation et la restauration de l'état des eaux souterraines.

8.2 Contraintes économiques

Par rapport à l'étude menée au cours de l'APR, un petit nombre de points d'eau sensibles a été reconnu. Par conséquent, un nombre limité de mesures compensatoires a été déterminé. Toutefois, par précaution, on suggère de maintenir le chiffrage économique évalué en phase APR, (voir APR_B2_TS2-0051-B) pour les mesures compensatoires. Ces coûts estimatifs se réfèrent à l'année 2007 et peuvent être résumés de la façon suivante :

MISE EN ŒUVRE D'UNITES DE TRAITEMENT MOBILES (UTM) – SOLUTIONS D'URGENCE

Durée	Capacité avec un temps de fonctionnement de 20h/jour	
	15 m ³ /h	25 m ³ /h
6 mois	59 K € H.T	72 K € H.T
12 mois	94 K € H.T	120 K € H.T

Tableau 48 – Unité de traitement mobile (UTM)

Ces coûts estimatifs comprennent :

- la mise en place de l'unité de traitement mobile (amenée et repli du matériel, et mise en service avec analyses de contrôle) ;
- la location de l'unité de traitement mobile ;
- le suivi (service d'astreinte 24h/24h, frais de dépannage électromécanique, examen du bon fonctionnement), le contrôle (analyse hebdomadaire de contrôle de type D1) et l'entretien (lavage des filtres, renouvellement et fourniture des réactifs) de l'unité de traitement mobile).

Ils ont été établis en considérant un temps moyen de fonctionnement de 20 heures/jour. Ces coûts n'intègrent pas :

- les travaux d'aménagement et de raccordement aux installations existantes, ainsi que la fourniture du matériel nécessaire à ces travaux. Le coût de ces travaux peut être évalué pour une distance de 100 m entre l'UTM et le point de raccordement à 22 K€ HT (aménagement de la plate-forme, réalisation des tranchées, et fourniture et pose des canalisations en polyéthylène depuis l'UTM jusqu'au point de raccordement sur une distance de 100 m) ;
- les frais d'énergie et demandes de branchements provisoires ;
- les démarches d'autorisation d'implantation d'une UTM.

Le délai pour les travaux d'aménagement et de raccordement aux installations existantes est globalement de 3 à 4 semaines. Toutefois, la plupart des sites envisagés ne nécessitant pas d'importants aménagements, ces derniers pourraient être réalisés dans un délai de 48 heures correspondant au délai de mise à disposition d'une UTM. Ainsi, le délai de mise en œuvre d'une UTM serait au minimum de 48 heures et au maximum de 3 à 4 semaines. Pendant ce délai d'attente pour la mise en œuvre de l'UTM, le ravitaillement en eau serait effectué par citerne.

CAPTAGE DE SOURCES DE REMPLACEMENT NON AFFECTEES - SOLUTION TRANSITOIRE

Descriptif poste	Unité	Quantité	Prix unitaire en € H.T	Total en € H.T
1- Travaux préparatoires et installation	F	1	5 000	5 000
2- Tranchées, déblais et remblais	ml	2 000	145	290 000
3- Canalisation polyéthylène	ml	2 000	25	40 000
4- Captage source	U	3	4 500	13 500
TOTAL				348 500

Tableau49 – Captage de sources de remplacement non affectées par les travaux situés à une altitude supérieure aux ressources menacées – Débit de 15 à 25 m³/h. La longueur des tranchées et canalisations est estimée sur la base d'hypothèses réalistes.

Le coût estimatif d'environ 350 K € H.T (prix 2007) comprend :

- la préparation du chantier ainsi que l'amenée et le repli du matériel et du personnel ;
- la réalisation de tranchées sur une distance de 2 000 m permettant de connecter les sources au réseau existant ;
- la fourniture et la pose de canalisations en polyéthylène sur une distance de 2 000 m ;
- la réalisation d'une chambre de captage pour 3 sources de remplacement non affectées par les travaux.

En particulier, ce coût ne comprend pas la réalisation, si nécessaire, de pistes d'accès. Le délai de réalisation des travaux décrit ci-dessus, hors aménagement de pistes d'accès, est de 12 à 18 semaines (3 à 5 mois).

CONNEXION AUX RESEAUX AEP D'AUTRES COMMUNES - SOLUTION TRANSITOIRE A PERMANENTE

Descriptif poste	Unité	Quantité	Prix unitaire en € H.T	Total en € H.T
1- Travaux préparatoires et installation	F	1	5 000	5 000
2- Tranchées, déblais et remblais	ml	4 000	145	580 000
3- Canalisation polyéthylène	ml	4 000	25	100 000
4- Pompe et bassin tampon	U	1	15 000	15 000
TOTAL				700 000

Tableau 50 – Connexion aux réseaux AEP des communes voisines – Débit de 15 à 25 m³/h. La longueur des tranchées et canalisations est estimée sur la base d'hypothèses réalistes.

Le coût estimatif d'environ 700 K € H.T (prix 2007) comprend :

Rapport sur les points d'eau et leurs risque d'impact (France) - Relazione sui punti acqua e loro rischio di impatto (Francia)

- la préparation du chantier ainsi que l'amenée et repli du matériel et du personnel ;
- la réalisation de tranchées sur une distance de 4 000 m permettant de connecter les deux réseaux AEP existants ;
- la fourniture et la pose de canalisations en polyéthylène sur une distance de 4 000 m ;
- la réalisation d'un poste de pompage permettant d'acheminer les eaux entre les deux points de raccordement sur les réseaux AEP.

Ces travaux sont similaires à ceux décrits pour le captage des sources non affectées par les travaux, le poste « captage source » est remplacé par le poste « pompes et réservoirs tampons ». En particulier, il est important de noter que ce coût n'intègre pas le fait que la majorité des adductions d'eau potable des communes examinées s'effectue de manière gravitaire compte tenu du contexte morphologique. Il est donc nécessaire d'ajouter à ce coût les moyens permettant de remonter les eaux aux hameaux localisés en altitude, sinon seuls les riverains situés en fond de vallée pourront être alimentés.

Les moyens nécessaires pour remonter les eaux depuis le fond des vallées aux hameaux situés en altitude comprennent la réalisation de canalisations et de postes de relevage.

Descriptif poste	Unité	Quantité	Prix unitaire en € H.T	Total en € H.T
1- Travaux préparatoires et installation	F	1	5 000	5 000
2- Tranchées, déblais et remblais	ml	3 000	145	435 000
3- Canalisation résistante à une pression de 20 à 25 bars	ml	3 000	40	120 000
4- Poste de relevage des eaux de 150 à 200 m d'altitude	U	3	50 000	150 000
TOTAL				710 000

Tableau 51 – Dispositif de relevage des eaux depuis le fond de la vallée pour un dénivelé de 450 à 600 m - Débit de 15 à 25 m³/h. La longueur des tranchées et canalisations est estimée sur la base d'hypothèses réalistes.

Le coût estimatif d'environ 710 K € H.T (prix 2007) comprend :

- la préparation du chantier ainsi que l'amenée et le repli du matériel et du personnel ;
- la réalisation de tranchées sur une distance de 3 000 m permettant de remonter les eaux au réservoir AEP avec un dénivelé total de 450 à 600 m ;
- la fourniture et la pose de canalisations résistantes à 20-25 bars sur une distance de 3 000 m ;
- la réalisation de trois postes de relevage permettant de remonter les eaux entre deux points distants de 1 000 m avec un dénivelé de 150 à 200 m.

Le délai de réalisation des travaux décrits ci-dessus (connexion et dispositif de relevage) est de 6 à 12 mois.

Il y a lieu de préciser que la solution, consistant à connecter les réseaux AEP de deux ou plusieurs communes, nécessite un consensus entre les différents acteurs concernés. Cette solution est d'autant plus délicate à mettre en œuvre que la plupart des acteurs concernés peuvent avoir des intérêts totalement différents.

PUITS DE POMPAGE DANS LA PLAINE DE L'ARC - SOLUTION TRANSITOIRE A PERMANENTE

Descriptif poste	Unité	Quantité	Prix unitaire en € H.T	Total en € H.T
1- Travaux préparatoires et installation	F	1	5 000	5 000
2- Tranchées, déblais et remblais	ml	2 000	145	290 000
3- Canalisation polyéthylène	ml	2 000	25	50 000
4- Puits de pompage et pompe	U	1	20 000	15 000
TOTAL				360 000

Tableau 52 – Puits de pompage dans la plaine de l'Arc – Débit de 15 à 25 m³/h. La longueur des tranchées et canalisations est estimée sur la base d'hypothèses réalistes.

Ces travaux sont similaires à ceux décrits pour le captage des sources non affectées par les travaux, le poste « captage source » est remplacé par le poste « puits de pompage et pompe »

Le coût estimatif d'environ 360 K € H.T (prix 2007) comprend :

- la préparation du chantier ainsi que l'amenée et le repli du matériel et du personnel ;
- la réalisation de tranchées sur une distance de 2 000 m permettant de connecter le puits au réseau existant ;
- la fourniture et la pose de canalisations en polyéthylène sur une distance de 2 000 m ;
- la réalisation d'un puits de pompage et la fourniture d'une pompe pour un débit compris entre 15 et 25 m³/h.

En particulier, il est important de noter que ce coût n'intègre pas la réalisation éventuelle d'un dispositif de relevage des eaux qui serait de l'ordre de 710 K € H.T pour les débits indiqués et pour un dénivelé de 450 à 600 m. Le délai pour la mise en œuvre d'un puits de pompage dans la plaine de l'Arc est de 6 mois. Si un dispositif de relevage doit être réalisé, le délai pourrait atteindre 12 mois.

SYNTHESE DES COUTS ET DELAIS DES DIFFERENTES SOLUTIONS ENVISAGEABLES

Type de solution	Coût	Délai
1- Unité de traitement mobile sur 12 mois	145 K € H.T	48 h à 1 mois
2- Captages de sources non affectées sans relevage des eaux	350 K € H.T	3 à 5 mois
3- Connexion aux réseaux AEP voisins sans relevage des eaux	700 K € H.T	6 mois
3bis- Connexion aux réseaux AEP voisins avec relevage des eaux	1 410 K € H.T	6 à 12 mois
4- Puits de pompage dans la plaine sans relevage des eaux	360 K € H.T	6 mois
4bis- Puits de pompage dans la plaine avec relevage des eaux	1 100 K € H.T	6 à 12 mois

Tableau 53 – Synthèse des coûts et délais des différentes solutions envisageables Débit de 15 à 25 m³/h

Au vu de ce tableau de synthèse, il apparaît que les solutions de pompage sont les plus onéreuses et les moins intéressantes sur le long terme.

Liste des rapports et références sur le coût des mesures compensatoires :

- « *Etudes des mesures compensatoires vis-à-vis des sources pouvant être perturbées – Descenderie de Saint-Martin-la-Porte – Missions 1 et 2* », Edition finale du 22 septembre 2004 – Fichier NT02_5 ;
- « *Etudes des mesures compensatoires vis-à-vis des sources pouvant être perturbées – Descenderie de Modane/Villarodin-Bourget – Missions 1 et 2* », Edition finale du 22 septembre 2004 – Fichier NT01_5 ;
- « *Etudes des mesures compensatoires vis-à-vis des sources pouvant être perturbées – Descenderie de La Praz – Missions 1 et 2* », Edition provisoire du 28 août 2005 – Fichier NT010_3 ;
- « *Mise en place d'unité de traitement mobile – Descenderie de Modane/Villarodin-Bourget – Dossier de présentation du projet* », Edition finale 22 septembre 2004 – Fichier NT04_5 ;
- Offre de prestations pour la mise en œuvre d'unité de traitement mobile – Courrier du 15 avril 2004 -Fichier L0519 ;
- Descriptif technique des unités de traitement mobile d'une capacité de 10 et 25 m³/h - Fichiers Umt10LyonFiche Module et Umt25FicheModule.

9. Conclusion

Ce rapport illustre la méthode de calcul et les résultats obtenus pour évaluer les probabilités d'interférences entre l'excavation du tunnel de base et les eaux souterraines et superficielles présentes dans le secteur d'étude. Contrairement à l'APR où les impacts avaient été évalués en fonction des ouvrages projetés (descenderies ou tunnel de base), la présente étude n'a porté que sur les impacts liés au tunnel de base, l'excavation des descenderies étant terminée.

Cette analyse a été effectuée sur un total de 683 points d'eau (656 relatifs aux eaux souterraines et 12 relatifs aux eaux superficielles) et 6 cours d'eau (avec la détermination de 15 points représentatifs des secteurs hydrogéologiquement homogènes).

EAUX SOUTERRAINES

L'étude a concerné l'ensemble des 656 points d'eau. Les résultats de cette étude sont présentés de façon schématique dans le Tableau 54 suivant.

Classe DHI	Valeurs DHI	RISQUE	N.	%
1	DHI < 0.17	TRES FAIBLE À NUL	563	86.0%
2	0.17 ≤ DHI < 0.25	FAIBLE	74	11.3%
3	DHI ≥ 0.25	FORT	8	1.2%
NC	NC	NC	1	-
PI		POINT IMPACTÉ PAR LES DESCENDERIES	10	1.5%
TOTAL			656	

Tableau 54 – Résumé des résultats de l'étude de interférence sur le points d'eau

L'analyse de la distribution des classes de probabilité montre que la majorité des points d'eau (563 correspondant à 86 %) présente une probabilité d'impact nulle ou très faible, tandis que 11.3% (74 points d'eau) ont une probabilité faible, et 8 points (1.2%) ont une probabilité forte. L'analyse a été réalisée en considérant le retour d'expérience du creusement des descenderies et des impacts observés. Ceci a permis de reconnaître les points d'eau qui ont subi un impact (10 au total) et de recalibrer la probabilité d'impact pour l'ensemble des points d'eau par rapport aux futurs travaux de réalisation du tunnel de base. Un point n'a pas été considéré (point 318).

EAUX SUPERFICIELLES

L'évaluation de la probabilité d'impact sur les cours d'eau et les eaux de surface a été réalisée en suivant une approche similaire à celle du DHI pour les eaux souterraines.

La probabilité d'impact est également fournie sous forme d'Index de Probabilité d'Impact. La probabilité d'impact a été évaluée pour les secteurs hydrogéologiquement homogènes, et au niveau des points faisant partie du réseau du suivi. Les résultats de cette étude sont présentés de façon schématique dans les tableaux suivants.

Classe DHI	Valeurs DHI	RISQUE	N.	%
1	DHI < 0.17	TRES FAIBLE À NUL	16	59%
2	0.17 ≤ DHI < 0.25	FAIBLE	5	19%
3	DHI ≥ 0.25	FORT	6	22%
TOTAL			27	

Tableau 55 – Résumé des résultats de l'étude de interférence sur les cours d'eau et les eaux de surface

L'analyse de la sensibilité des points d'eau au risque d'impact a été effectuée en suivant l'approche ANTEA appliquée au cours de la réalisation de l'étude APR.

Cette approche, qui consiste à compléter la méthode DHI en intégrant trois critères complémentaires (l'usage, le débit et la qualité de l'eau), pour l'ensemble des points d'eau identifiés comme présentant un risque faible à fort (classes DHI comprises entre 2 et 3), a fait l'objet d'une analyse complémentaire.

Sur un total de 82 points sélectionnés, 20 points d'eau à risques ont été identifiés comme sensibles, et des solutions de remplacement ont été recherchées parmi les ressources non impactées (DHI=1).

Une grande partie des ressources de remplacement proposées provient des études et analyses précédemment développées dans le cadre de l'étude des mesures compensatoires effectuée par le groupement SEA-ARCADIS-SILENE-BAPTENDIER pour les descenderies (2004) et dans l'étude APR (2006).

Dans cette phase d'étude du Projet de Référence, la vérification des conditions d'écoulement des sources a été réalisée en fonction du retour d'expérience du creusement des descenderies.

Dans ce cadre, il faut noter que, vu le contexte morphologique des secteurs examinés, la majorité des adductions d'eau s'effectue de manière gravitaire. De ce fait, les ressources menacées situées sur les versants devront être prioritairement remplacées par des ressources situées plus en amont sur le versant. En l'absence de dispositif permettant de remonter les eaux, seules les zones d'habitat localisées en fond de vallée pourront être alimentées par des ressources provenant du fond de la vallée.

10. Bibliographie

Publications scientifiques relatives à la méthode DHI

- AFTES (Association Française des Travaux En Souterrain), 1993. Text of recommendations for a description of rock masses useful for examining the stability of underground works. Tunnel et Ouvrages Souterrains n°117.
- ALBERTS, C. & GUSTAFSON, G., 1983. Underground construction in weak rocks – Water problems and sealing measures, Technical report, BeFo, No 106, Stockholm, Sweden.
- BOULDING, K., 1956. General Systems Theory - The Skeleton of Science. Management Science, 2(3), 197-208.
- BRUCE N.E., HELLGREN A., BAECKSTROEM S., 1980. Grouting of tunnels in order to avoid detrimental groundwater lowering. Int. Symp. on Subsurface Space (Rockstore '80), Ed. M. Bergman, Vol. 1, p. 303-310.
- DEMATTEIS A. KALAMARAS G., EUSEBIO A., 2001. A Systems Approach for Evaluating Springs Drawdown Due to Tunneling. AITES/ITA World Tunnel Congress 2001 (Milan, 9-12 June 2001), Accepted.
- FONTAN D. & STRINGA I., 2003. Valutazione e perimetrazione della pericolosità dei conoidi alluvionali. Federazione Italiana Scienze della Terra - Atti del Convegno FIST Geitalia 2003.
- FONTAN D. & STRINGA I., 2004. Valutazione della pericolosità geologica in conoide. Atti del X Convegno INTERPRAEVENT, Riva del Garda 24-28 maggio 2004, Italy. *Submitted.*
- GOODMAN R.E., MOYE D., SCHALKWYK A., JAVANDEL I., 1965. Groundwater inflows during tunnel driving. Geol Soc. America Publication - Engineering Geology, V. 2, p.39-56.
- HUDSON J.A., 1992. Rock Engineering Systems, theory and practice. Ellis Horwood, NY, 185 pp.
- MAZZOCCOLA D., 1994. Una nuova metodologia classificativa dell'ammasso roccioso per una classificazione preliminare dell'instabilità di versante a grande scala. Geologica Romana, 30, pp. 185-196.
- RUBERTI A., ISIDORI A. - Teoria dei Sistemi - Boringhieri
- TORRI R., DEMATTEIS A. DELLE PIANE L., 2007. Drawdown hazard of springs and wells in tunneling: predictive model and verification. Proc. XXXV IAH Congress, Groundwater and Ecosystems, Lisbon 17-21 Sept. 2007, 10 pp.
- TURRINI M.C., BERNARDINELLO D., VISINTAINER P., 1998. Esempi di metodi cartografico-numeric per la zonazione della pericolosità da frana ed applicazioni ad aree dolomitiche. Mem. Soc. Geol. It., 53, pp. 295-310.
- JIAO Y. & HUDSON, J.A., 1995. The Fully-Coupled Model for Rock Engineering Systems. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 32, No. 5, 491-512.

Annexe 1 - Méthode de calcul pour l'évaluation de l'index de probabilité de tarissement des points d'eau souterraine

Définition des variables du système

Le système aquifère – galerie est représenté de manière satisfaisante par 8 variables, qui sont en relation avec le phénomène d’abaissement du niveau de la nappe et de tarissement des sources (Figure 1); 4 d’entre eux sont définis comme des variables fondamentales du système qui définissent le potentiel de drainage de la galerie sur les sources (PI=Potential of Inflow) (cfr. Figure 1).

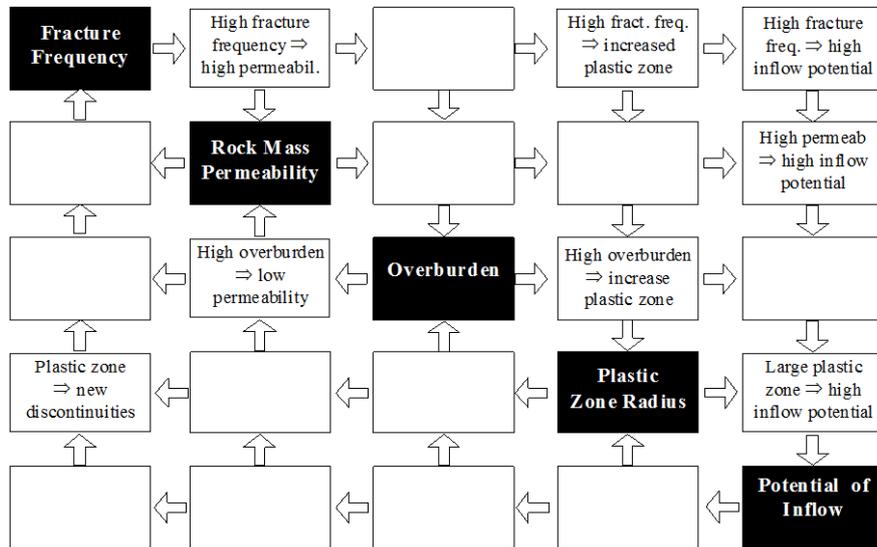


Figure 1 – Exemple conceptuel de la matrice du système aquifère - galerie

Pour réaliser le calcul de l’indice de probabilité de tarissement des points d’eau (DHI), on affecte une valeur numérique à chacune des variables décrites ci-dessous, et ceci pour chaque source. La valeur numérique résultante représente la condition hydrogéologique caractéristique pour ce point d’eau. L’attribution de la valeur numérique à la variable se fait toujours selon le critère suivant : une valeur basse correspond à une faible probabilité de tarissement, et une valeur haute correspond à une probabilité élevée de tarissement.

La définition des variables du système est décrite dans les paragraphes suivants. Elle est résumée dans le **Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.**

- Fréquence de fracturation (FF)

La présence de fractures majeures et mineures (cf. coupe géologique le long du tracé) recoupant la galerie conditionne directement la nature du drainage dans la galerie des eaux du massif. En effet, la fracturation est directement liée à la perméabilité et aux systèmes de flux hydriques. La fréquence de fracturation influence deux des variables décrites ci-dessous : la perméabilité du massif et l’ampleur de la zone plastique autour de la galerie (qui augmente avec la perméabilité).

- Perméabilité du massif (MK)

Cette variable correspond au degré de perméabilité qui a été défini pour les différents aquifères qui seront recoupés par la galerie (cf. Coupe hydrogéologique 1:25'000). Cette variable considère soit la perméabilité due à la composante homogène de la fracturation (conductivité des fractures qui normalement caractérisent l’aquifère), soit la perméabilité intrinsèque de la matrice rocheuse (système à double porosité), et elle décrit le degré de perméabilité du complexe.

- Epaisseur de la couverture rocheuse (OV)

L’épaisseur de la couverture rocheuse influence l’effet drainant de la galerie, soit autour de la cavité, dans la zone plastique, soit dans le massif où l’on observe une fermeture progressive des fractures avec la profondeur due à la variation des conditions locales de contrainte. La figure suivante schématise le modèle conceptuel de la variation du pouvoir drainant d’une galerie avec la profondeur.

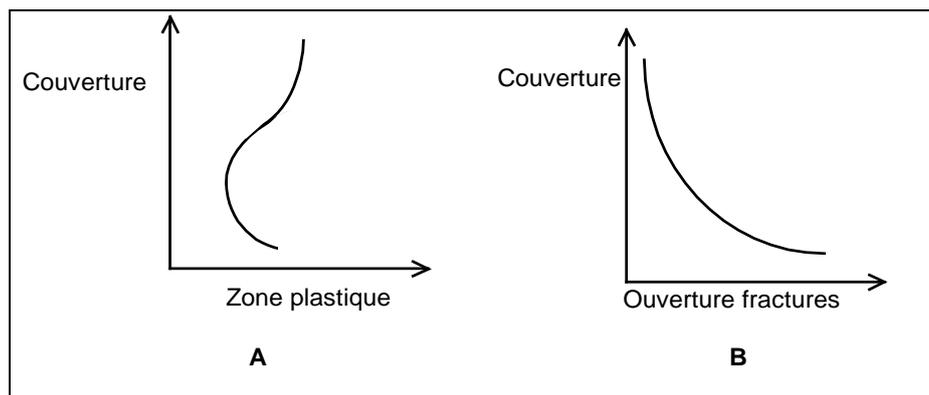


Figure 2 – Schématisation de l'influence de la couverture sur l'ampleur de la zone plastique qui se forme autour d'une cavité souterraine (A) et, à l'échelle du massif, sur l'ouverture moyenne des fractures (B)

o Ampleur de la zone plastique (PZ)

La zone plastique qui se forme autour de la cavité, à cause de la perturbation du champ local de contrainte, correspond à une bande plus au moins intensément fracturée, et donc à une perméabilité plus élevée, avec une extension comprise entre 0 et 2 à 3 fois le diamètre de la cavité. L'étendue de la zone plastique est fonction du diamètre de la galerie, de l'épaisseur de la couverture, des techniques utilisées pendant la phase de percement, et plus généralement, des caractéristiques géomécaniques du massif. La valeur numérique de la variable PZ a été affectée pour chacun des cas déterminés à partir de la caractérisation géomécanique des amas rocheux représentés dans les coupes du projet en utilisant la classification de Bieniawski.

Du point de vue hydrogéologique, la zone plastique peut être interprétée comme un volume de roche où le potentiel drainant de la cavité augmente. Ceci implique une croissance de l'effet drainant de la galerie. La variation de cet effet drainant en fonction de la modification des dimensions de la zone plastique peut être simulée, en première approximation, avec des approches analytiques décrites dans la littérature (une galerie drainant une nappe infiniment étendue dans un milieu homogène, GOODMAN et al., 1965, BRUCE et al., 1980, ALBERTS & GUSTAFSON, 1983). Si l'on considère par exemple une conductivité hydraulique de l'amas rocheux égale à 10^{-6} m/s, et une charge hydraulique au niveau du centre de la galerie égale à 100 m, la figure suivante nous montre comment le rayon de la galerie peut influencer de manière importante la quantité d'eau drainée. Si l'on admet que dans la zone plastique la perméabilité est d'un ou de plusieurs ordres de grandeur supérieurs à celle du massif, alors l'effet drainant de la zone plastique doit s'ajouter à celui de la cavité.

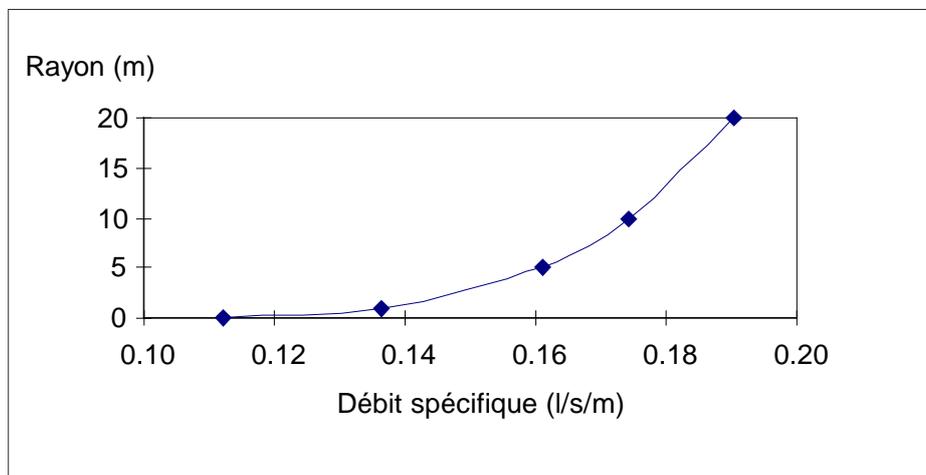


Figure 3 – Relation entre le rayon de la galerie et le débit drainé (application de la formule de GOODMAN et al.,

Dans notre cas, l'évaluation de cette variable a été faite en considérant seulement deux situations extrêmes : une zone plastique de dimensions normales, dont l'extension peut atteindre jusqu'à une fois le rayon de la cavité, ce qui est attendu dans des amas rocheux de bonne ou de moyenne qualité (classes II et III de Bieniawski, et en l'absence de failles), et une zone plastique très étendue dans des amas rocheux de basse qualité.

- Distance au tunnel (DT)

Cette variable a été évaluée en déterminant d'une part la distance minimale par rapport au tunnel sur un plan, et d'autre part la différence entre la cote de la source et celle de la galerie. La cote de la galerie a été calculée en prenant en compte l'inclinaison du tracé. Pour faire ce calcul, nous avons déterminé les points d'intersection entre le tracé représenté en plan et les lignes qui matérialisent la distance minimale (en plan) des sources par rapport au tracé du tunnel. Dans le cas de sources liées à des structures aquifères interceptant le tracé avec un angle différent de 90°, la projection de la source a été calculée selon la direction de la structure. Sur la base d'expériences acquises dans des contextes hydrogéologiques similaires, nous avons considéré un effet maximum pour des distances inférieures à 200 m, et un effet nul pour des distances supérieures à 5000 m (cfr. Tableau 1).

- Intersection avec horizons de perméabilité (failles principales et phénomène de dissolution – karst) (CP)

Cette variable prend en considération la présence de zones à haute continuité hydraulique entre la source et la galerie. En présence de zones de failles perméables (IF) ou de niveaux particulièrement conducteurs caractérisés par de la dissolution chimique (FD) qui recoupent le tracé de la galerie et auxquels une source déterminée est reliée, une continuité idéale entre les deux points se crée. Dans ces conditions la probabilité d'impact augmente de manière drastique.

En ce qui concerne le paramètre IF, dans le cas en examen on a émis l'hypothèse, avec une approche prudente, d'un lien point d'eau – galerie pour les sources situées à une distance inférieure/égale à 100 m d'une faille ou d'une zone de fracturation.

- Type de source (TS)

Nous avons reconnu trois types de sources : superficielles, profondes et mixtes. Les sources superficielles sont alimentées par des systèmes de flux locaux dans des terrains de couverture quaternaire ou dans la partie superficielle et fracturée du substratum rocheux. L'émergence se trouve souvent au droit de ruptures morphologiques du versant. Les sources profondes sont généralement alimentées par des systèmes de flux plus vastes qui se trouvent à l'intérieur du substratum rocheux. Leur émergence se trouve proche de la limite entre des secteurs à perméabilité différente qui correspond à des failles, des contacts tectoniques ou stratigraphiques. Les sources mixtes représentent les cas intermédiaires avec une alimentation à deux composantes, dont l'importance relative peut varier suivant les conditions climatiques. Les critères d'évaluation indirecte que nous avons utilisés sont :

- la nature géologique du réservoir;
- l'altitude de l'émergence;
- l'évolution dans le temps des valeurs (lorsqu'elles existent) de la Conductivité Electrique (C.E.), de la température et du débit. Une relative stabilité de la température et de la C.E., une valeur moyenne assez élevée de la C.E. par rapport à la géologie de l'aquifère et une amplitude modérée des débits indiquent une circulation longue et/ou profonde ("type" 2). Une plus grande amplitude des débits révèle souvent une contribution superficielle ("type" 1,5). La variation importante des trois critères (avec parfois un tarissement) caractérise les circulations superficielles ("type" 1) ;

Quand la typologie du point d'eau est incertaine, nous l'avons alors considérée comme mixte.

Contrairement aux autres variables qui lient toujours le point d'eau avec les conditions prévues au niveau du tunnel, le type de source (TS) est spécifique pour chaque source, indépendamment de la typologie de la galerie.

- o Effet topographique (EF)

Il s'agit d'une variable qui considère l'aspect morphologique du problème, en particulier la localisation de la source et de la galerie sur un même versant ou sur des versant différents (paramètre versant), et leur altitude respective (paramètre cote). Le schéma conceptuel ci-après présente les cas possibles, évalués numériquement dans le tableau de droite. La valeur affectée à la variable ET correspond à la moyenne des deux paramètres versant et cote. Comme nous l'avons fait pour toutes les autres variables, on attribue une valeur 0 pour la condition de probabilité minimale de tarissement, et une valeur 2 pour celle de probabilité la plus élevée.

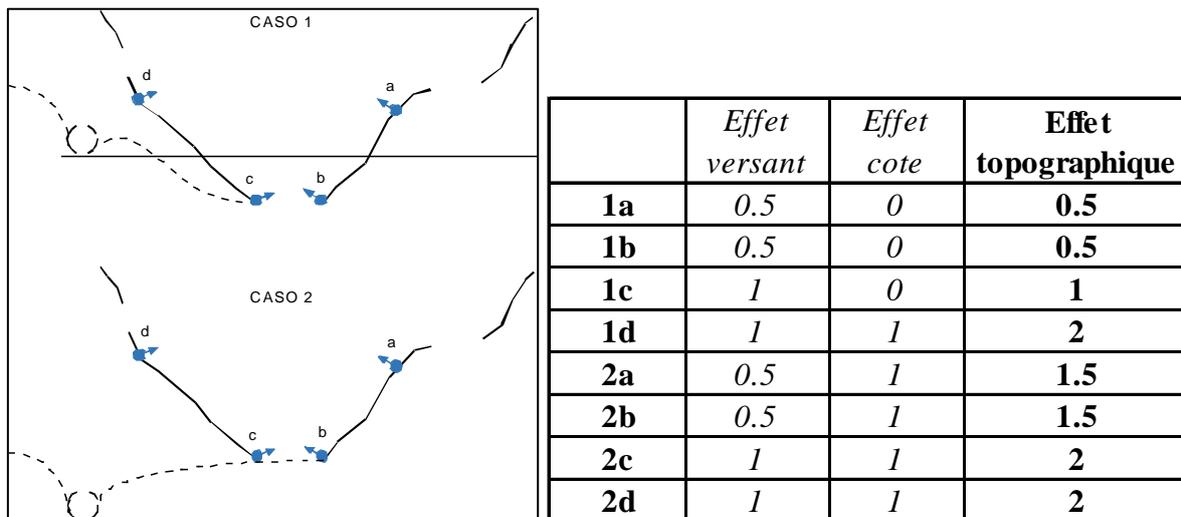


Figure 4 – Exemples conceptuels de l'effet topographique (ET). Tableau à droite : calcul des valeurs affectées à ET pour chaque possibilité

Code	Description	Valeur numérique
FF	Fréquence de fracturation	1 = failles principales et/ou zone de fracturation et dissolution avec développement de morphologie karstique; 0,75 = failles principales et/ou zone de fracturation et dissolution sans développement de morphologie karstique; 0,4 = failles principales et/ou zone de fracturation ou dissolution avec développement de morphologie karstique; 0,2 = dissolution sans développement de morphologie karstique; 0,1 = absence
MK	Perméabilité du massif	1,0 = perméabilité très élevée - élevée; 0,7 = perméabilité moyenne - élevée; 0,3 = perméabilité faible - moyenne; 0,1 = perméabilité faible - très faible
OV	Épaisseur de la couverture	0,9 = couverture < 50 m; 0,5 = 50 m < couverture < 100 m; 0,2 = 100 m < couverture < 500 m; 0,1 = couverture > 500 m
PZ	Extension de la zone plastique	1 = rayon zone plastique > rayons galerie; 0 = rayon zone plastique < rayons galerie
DT	Distance du tunnel	1,9 = dist. éval. < 200 m; 1,5 = 200 m < dist. éval. < 500 m; 1,2 = 500 m < dist. éval. < 1000 m; 1,1 = 1000 m < dist. éval. < 2000 m
CP	Intersection avec horizons de perméabilité (failles principales et phénomène de dissolution – karst)	1 = aucune intersection; 1,25 = intersection avec horizon en dissolution sans développement d'une morphologie karstique; 1,5 = intersection avec les failles principales; 2 = intersection avec structures typiquement karst
TS	Type de source	2 = source profonde (alimentée par le substratum rocheux); 1,5 = source mixte; 1 = source superficielle (liée au dépôts quaternaires)
ET	Effet topographique	cfr. Figure 5

Tableau 1 – Définition des valeurs attribuées aux variables

La valeur numérique des huit variables a été attribuée pour chaque cas selon les critères présentés dans le tableau ci-dessus.

Projection sur la galerie

Comme les variables FF, MK, OV, PZ se réfèrent aux conditions géomécaniques et hydrogéologiques attendues le long du tracé du tunnel, il a été nécessaire de projeter chaque point d'eau sur le tracé (cf. le schéma suivant). Cette opération nous a permis de déterminer la progressive de référence pour chaque point d'eau, et d'obtenir ainsi les valeurs des variables sur la base des conditions géomécaniques et hydrogéologiques prévues le long de l'axe de la galerie pour cette progressive.

Les valeurs ont été déterminées en considérant une bande de 500 m (250 m de chaque côté) autour de la projection de la source sur le tracé (cf. figure suivante).

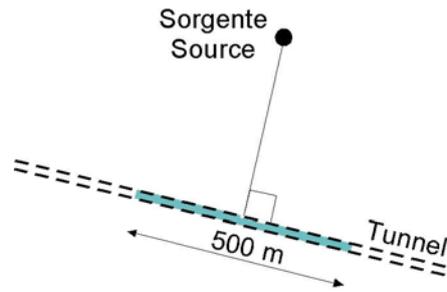


Figure 5 – Schéma de la relation géométrique entre la position du point d'eau et le tronçon de galerie concerné.

L'ensemble des facteurs FF, MK, VO, PZ détermine le potentiel de drainage (PI) pour la section de tunnel examiné.

Probabilité de Tarissement (DHI)

L'indice de probabilité de tarissement (DHI) exprimé en pour cent est le produit du potentiel de drainage (PI) par les facteurs clé, normalisé par rapport à la valeur maximale :

$$DHI = PI * CP * TS * DT * ET * 100 / DHI_{max}$$

Le DHI_{max} que l'on obtient dans la situation théorique de plus grande probabilité de tarissement de la source (FF = 1; MK = 0,9; OV = 0,9; PZ = 1; DT = 1,9; CP = 2; ST = 2; ET = 2) est égal à 1461.

La prévision du tarissement des sources analysées pour chaque tracé a été exprimée en utilisant 3 degrés, représentés dans le tableau suivant (Torri et al., 2007):

Classe DHI	Valeurs DHI	RISQUE
1	$DHI < 0.17$	TRÉS FAIBLE À NUL
2	$0.17 \leq DHI < 0.25$	FAIBLE
3	$DHI \geq 0.25$	FORT

Tableau 2 – Degrés de probabilité de tarissement des sources en fonction du DHI

Annexe 2 - Méthode de calcul pour l'évaluation de l'indice de probabilité d'impact des eaux superficielles

Détermination du point d'évaluation de l'impact

Le DHI est conçu pour l'évaluation du risque d'impact sur des urgences ponctuelles (sources) d'aquifères souterrains. Pour appliquer la méthodologie sur le réseau hydrographique, chaque cours d'eau pris en examen a été subdivisé en tronçons homogènes sur la base des données géologiques et hydrogéologiques (lithologie, complexes hydrogéologiques, présence de failles, etc.). Pour chaque tronçon homogène a été identifié un unique point représentatif du tronçon sur lequel effectuer le calcul. Le choix du point ne suit pas une procédure univoque, mais est effectué pour chaque tronçon en évaluant soit les aspects géométriques (ex. cote réciproque point-galerie, distance point-galerie, etc.) soit les aspects géologiques (ex. présence de failles, plans de glissements, etc.). De manière générale, le point représentatif correspond au point de vallée ou, dans le cas de la présence de failles, au point médian du tronçon. La valeur calculée sur le point est ensuite appliquée à tout le tronçon.

Définition des variables du système

Les variables analysées reprennent celles déjà déterminées pour les sources, mais recalculées pour les cours d'eau. Egalement dans ce cas, à chaque point est assignée une valeur numérique de chaque variable décrite, valeur qui représente la condition hydrogéologique pour le tronçon du cours d'eau que le point identifie. L'attribution de la valeur numérique de la variable obéit toujours au critère suivant : valeur basse en conditions de probabilité faible d'impact et valeur haute en conditions de probabilité élevée d'impact.

La détermination des variables *Fréquence de fracturation* FF, *Perméabilité du massif* MK, *Épaisseur de la couverture* OV et *Largeur de la zone plastique* PZ ne diffère pas par rapport au calcul analogue effectué pour les sources. Le tableau plus bas présente les variables modifiées pour les cours d'eau.

- Distance du tunnel(DT)

Cette variable a été évaluée en projetant de manière orthogonale sur la galerie le point représentatif du tronçon du cours d'eau examiné et en déterminant donc la distance minimum en plan et la différence de cote entre le point représentatif et la galerie. Sur la base de l'expérience acquise en contextes hydrogéologiques analogues, on a assigné des valeurs différentes pour les classes de distance DT, en assumant que pour les distances inférieures à 200 m l'effet est maximal et pour les distances supérieures à 2000 m l'effet est nul.

- Intersection avec des canaux de perméabilité élevée (CP)

Cette variable prend en considération la présence de zones à haute continuité hydraulique entre le cours d'eau examiné et la galerie. En présence de zones de failles perméables (IF) ou de niveaux particulièrement conducteurs caractérisés par de la dissolution chimique (FD) qui recoupent le tracé de la galerie sur lesquels est fixé le cours d'eau, une continuité idéale entre les deux éléments se crée. Dans ces conditions la probabilité d'impact augmente de manière drastique. Dans le cas de cours d'eau connectés à des structures aquifères qui recoupent le tracé la projection du point a été effectuée le long de la direction de la structure et sans considérer la distance la plus courte (projection orthogonale au tracé).

En ce qui concerne le paramètre IF, dans le cas en examen, avec précaution, on a émis l'hypothèse d'un lien cours d'eau-galerie pour les cours d'eau sécants ou à une distance inférieure/égale à 100 m d'une faille ou zone de fracturation.

- Type d'alimentation (RT)

Trois types d'alimentation ont été distingués : superficielle (type 1), profonde (type 2), et mixte (type 3).

Dans le cas d'une alimentation superficielle le cours d'eau est alimenté par les terrains de couverture quaternaire ou toutefois par des dépôts superficiels.

L'alimentation profonde caractérise les cours d'eau alimentés par des systèmes d'écoulement plus étendus, développés à l'intérieur du substrat rocheux. Dans ces cas l'eau sort au niveau d'une limite de perméabilité représentée par des failles ou des contacts tectoniques ou stratigraphiques.

Les cours d'eau à alimentation mixte représentent un cas intermédiaire, présentant une alimentation soit superficielle, soit profonde, avec des pourcentages variables.

L'évaluation de la variable RT utilise des critères d'observation indirecte, qui sont principalement la nature géologique du tronçon dans lequel coule le cours d'eau et plus précisément de l'aquifère avec lequel le tronçon du cours d'eau se trouve en équilibre.

Quand le type de source ou d'alimentation n'est pas clair, le point est considéré à alimentation mixte.

A la différence des autres variables, qui mettent en relation le point d'eau avec la condition prévue le long de la galerie, le type d'alimentation (RT) est spécifique à chaque point d'eau examiné.

- Effet topographique (ET_réseau)

Il s'agit d'une variable qui prend en compte l'aspect morphologique du problème, en particulier la localisation du tronçon du cours d'eau examiné par rapport à la galerie. Cette variable est constituée par deux éléments : *l'effet cote* et *l'effet bassin*. Le premier prend en considération la différence de cote entre le cours d'eau et la galerie, alors que le deuxième considère leur localisation réciproque. L'effet cote est maximal (valeur 1) quand la distance verticale ouvrage-cours d'eau est supérieure à 0, minimal (valeur 0) quand l'ouvrage est topographiquement plus élevé que le cours d'eau. L'effet bassin est maximal (valeur 1) quand le bassin recoupe l'ouvrage, minimal (valeur 0) quand il n'y a pas d'intersection entre le bassin et l'ouvrage.

La valeur numérique des variables a été assignée dans chaque cas examiné selon les critères exposés dans le tableau suivant. Les valeurs utilisées sont les mêmes que celles qui sont appliquées aux sources.

Code	Description	Valeur numérique
FF	Fréquence de fracturation	1 = failles principales et/ou zones de fracturation et de dissolution avec développement de morphologies karstiques ; 0.75 = failles principales et/ou zones de fracturation et de dissolution sans développement de morphologies karstiques ; 0.4 = failles principales et/ou zones de fracturation ou de dissolution avec développement de morphologies karstiques ; 0.2 = dissolution sans développement de morphologies karstiques ; 0.1 = absence
MK	Perméabilité du Massif	0,9 = perméabilité haute ; 0.75 = perméabilité haute-moyenne ; 0.5 = perméabilité moyenne, 0.25 = perméabilité moyenne-basse ; 0.1 = perméabilité basse
OV	Epaisseur de la couverture	0,9 = couverture < 50 m ; 0,5 = 50 m < couverture < 100 m ; 0,2 = 100 m < couverture < 500 m ; 0,1 = couverture > 500 m
PZ	Extension de la zone plastique	1 = rayon zone plastique > diamètre galerie ; 0 = rayon zone plastique < diamètre galerie
DT	Distance du tunnel	1,9 = dist. axe < 200 m ; 1,5 = 200 m < dist. axe < 500 m ; 1,2 = 500 m < dist. axe < 1000 m ; 1,1 = 1000 m < dist. axe < 5000 m ; 0 = dist. axe > 2000 m
IF*	Intersection avec des failles majeures	1,5 = intersection avec des failles qui coupent la galerie ; 1 = aucune intersection
FD*	Phénomènes de dissolution	0,5 = phénomènes de dissolution avec développement de régime hydrodynamique de type karstique ; 0,25 = dissolution sans développement de morphologie karstique ; 0 = absence de phénomènes de dissolution

Code	Description	Valeur numérique
RT	Type d'alimentation	2 = profonde (alimentée par le substrat rocheux); 1,5 = mixte; 1 = superficielle (liée seulement aux dépôts quaternaires)
ET	Effet topographique réseau	2 = distance verticale > 0 et intersection bassin-ouvrage; 1 = distance verticale < 0 et intersection bassin-ouvrage ou distance verticale > 0 et pas d'intersection bassin-ouvrage; 0 = distance verticale < 0 et pas d'intersection bassin-ouvrage

Tableau 1 – Définition des valeurs attribuées aux variables. *IF et FD sont additionnées pour définir la variable PC (canaux de perméabilité) qui peut varier de 1 à 2. La valeur de PC sera utilisée pour l'évaluation du DHI

Assignation des valeurs aux variables relatives à la galerie

Comme les variables FF, MK, OV, PZ sont toutes relatives aux conditions géomécaniques et hydrogéologiques prévues le long du tracé de la galerie, il est nécessaire de projeter, en plan, chaque point représentatif du cours d'eau sur le tracé, comme déjà prévu par la méthode DHI pour les sources.

La projection en plan a permis de déterminer la progressive de référence du point d'eau et d'obtenir les valeurs des variables sur la base des conditions géomécaniques et hydrogéologiques prévues le long de l'axe de la galerie. Les valeurs ont été assignées en considérant une bande de 250 m autour de la projection du point sur l'axe, car on retient que, dans le cas spécifique, les interactions majeures peuvent se manifester dans cet intervalle.

L'ensemble des facteurs FF, MK, OV, PZ détermine le potentiel de drainage (PI) du tronçon de galerie examiné.

Définition du degré d'impact

L'indice de probabilité d'impact exprimé en pourcentage est le produit du potentiel de drainage (PI) par les facteurs clés, normalisé par rapport à sa valeur maximale :

$$DHI_{réseau} = PI * CP * ST, RT * DT * ET * 100 / DHI_{max}$$

Le DHI_{max}, qui s'obtient dans la condition théorique de plus haute probabilité d'impact du cours d'eau (FF = 1; MK = 0,9; OV = 0,9; PZ = 1; DT = 1,9; CP = 2; ST, RT = 2; ET = 2) est égal à 1461.

La prévision de la stérilité des tronçons des cours d'eau analysés a été exprimée à travers trois degrés, comme cela est reporté dans le tableau suivant.

Classe DHI	Valeurs DHI	RISQUE
1	DHI < 0.17	TRÈS FAIBLE À NUL
2	0.17 ≤ DHI < 0.25	FAIBLE
3	DHI ≥ 0.25	FORT

Tableau 2 – Degrés de probabilité de tarissement des cours d'eau en fonction du DHI. (Ref.: Torri, R et al., 2007)

Annexe 3 – Résultats de l'index de probabilité de tarissement des points d'eau souterraine

Annexe 4 – Comparaison des résultats de l'index de probabilité de tarissement des points d'eau souterraine APR-PR

#	Numéro du point	Nom	Classe DHI TOT APR 2006	Classe DHI TdB APR 2006	Classe DHI TdB PR 2013	Note
1	1	Forage de Loutraz	4	4	2	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de Modane - le circuit en roche ne s'approfondit pas jusqu'à la cote gallerie
2	2	Captage du Claret	3	3	2	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de Modane - le circuit en roche ne s'approfondit pas jusqu'à la cote gallerie
3	3	Captage de Comacille	3	3	2	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de Modane - le circuit en roche ne s'approfondit pas jusqu'à la cote gallerie
4	8	Captage de Jorio	2	2	1	la source se situe à une distance majeure de 5000m du tdb
5	28	Captage du Villard	3	1	1	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de La Praz (diminution du débit). Cependant le DHI par rapport au tdb reste égal à 1
6	39		3	1	1	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de Modane - liée à la Cicatrice Modane-Orgere DHItdb=3
7	316	Captage amont de Fontaine Froide	2	1	1	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de La Praz (diminution du débit). Le point 316 (captage amont de fontaine froide) se situe sur le versant opposé de la vallée de l'Arcpar rapport à la descenderie de SMLP. Depuis 2003, début excavation descenderie, le débit a baissé de 220 à 70 l/m
8	318	Captage de la Saussaz	1	1	NC	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de La Praz (diminution du débit). Le point 318 (captage de la saussaz) se situe sur le versant opposé de la vallée de l'Arcpar rapport à la descenderie de SMLP. Depuis 2003, début excavation descenderie, le débit a baissé de 35 à 15 l/m
9	322	Captation AEP Plan d'Aval Nord	2	1	PI	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de Modane (sèche).
10	2002	Source La Porte	4	3	3	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP - le circuit en roche ne s'approfondit pas jusqu'à la cote gallerie. Données de 2004 à 2013 manquantes
11	2015	Ruisseau 1 de la Forêt de Beaune	4	4	3	Selon l'analyse conduite, la source a une probabilité 3 ien que pas impacté par l'excavation descenderie SMLP
12	2016	Ruisseau 2 de la Forêt de Beaune	4	4	3	Selon l'analyse conduite, la source a une probabilité 3 ien que pas impacté par l'excavation descenderie SMLP
13	3004	Captage de Pré Garin	3	1	PI	source impactée par descenderie SMLP (baisse du débit). Pas de impact prévu pendant creusement tdb mais le suivi doit etre intensifié pendant l'excavation de la gallerie géognostique
14	3011	Captage de Villard Bernon	4	1	1	source pas impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. Le DHI reste égal à 1 par rapport au tdb
15	3016	Captage de la galerie de Pré Mollard	4	1	1	source pas impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. Le DHI reste égal à 1 par rapport au tdb
16	3017	Captage Milla	4	1	1	source pas impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. Le DHI reste égal à 1 par rapport au tdb
17	3022	Source aménagée de l'Etraz ouest gauche	3	1	1	source pas impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. Le DHI reste égal à 1 par rapport au tdb

18	3023	Source aménagée de l'Etraz ouest droite	3	1	1	source pas impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. Le DHI reste égal à 1 par rapport au tdb
19	3025	Source du lavoir bas de l'Etraz	3	1	1	source pas impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. Le DHI reste égal à 1 par rapport au tdb
20	3031	Source du Lavoir de Le Chêne	3	3	1	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP - le circuit en roche ne s'approfondit pas jusqu'à la cote gallerie. Données de 2004 à 2013 manquantes
21	3043	Captage du Thyl dessus	3	1	1	source pas impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. Le DHI reste égal à 1 par rapport au tdb
22	4002	Ruisseau de la Chaussina	3	1	1	source pas impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. Le DHI reste égal à 1 par rapport au tdb
23	4011	Source aménagée de Rimollard bas	4	1	1	source pas impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. Le DHI reste égal à 1 par rapport au tdb
24	4014	Source de la Fourrière	3	1	1	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de Modane (diminution du débit). Cependant le DHI par rapport au tdb reste égal à 1
25	6005	La Freney	4	3	3	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de Modane (diminution du débit). Cependant le DHI par rapport au tdb reste égal à 3
26	6006	Source Gros Saule	4	2	2	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de Modane. le DHI par rapport au tdb reste égal à 2
27	6007	Source de l'Envers	4	2	PI	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de Modane (sèche).
28	12-B	Clement Henri	3	2	2	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. le DHI par rapport au tdb reste égal à 2
29	2004,1		4	2	2	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP (diminution du débit).le DHI par rapport au tdb reste égal à 2
30	2005,1	Captage de Bordeaux - La Planchette arr G	2	1	2	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP (diminution du débit).le DHI par rapport au tdb augmente de 1 à 3
31	2005,2	Captage de Bordeaux - La Planchette arr D	2	1	2	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP (diminution du débit).le DHI par rapport au tdb augmente de 1 à 3
32	2006,1	Captage de Charbutan - RATEL E source	2	2	2	la source a été impactée (?) par l'excavation de la descenderie de SMLP (diminution du débit).le DHI par rapport au tdb reste égal à 2
33	277,1	Captage des Avenières	1	1	2	
34	277,2	Captage des Avenières	1	1	2	sources situées à distance majeures de 2000m et sur le versant gauche de l'Arc. Montrent un impact faible (baisse du débit) par rapport à l'excavation de la descenderie de Modane. Le DHI augmente de 1 à 2

35	277,3	Captage des Avenières	1	1	2	
36	2-B		3	2	2	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de Modane. le DHI par rapport au tdb reste égal à 2
37	3005,1	Captage de Beaune: arr. de gauche	3	2	2	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP (diminution du débit).le DHI par rapport au tdb égal à 3
38	3005,2	Captage de Beaune: arr. de droite	3	2	2	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP (diminution du débit).le DHI par rapport au tdb égal à 3
39	3012,1	Captage de Teppes: arr. de gauche	3	1	1	la source a été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP (diminution du débit).le DHI par rapport au tdb égal à 2
40	3012,2	Captage de Teppes: arr. de droite	3	1	2	source mixte impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP (diminution du débit).le DHI par rapport au tdb égal à 3
41	3018,1	Captage des Fortunes/ arr.<G	3	1	1	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. le DHI par rapport au tdb reste égal à 1
42	3041,1	Source am. lav. du Thyl (Dessus):2 griffons	3	1	1	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. le DHI par rapport au tdb reste égal à 1
43	3041,2	Source am. lav. du Thyl (Dessus):dév. bois	3	1	1	la source n'a pas été impactée par l'excavation de la descenderie de SMLP. le DHI par rapport au tdb reste égal à 1
44	6-A		NC	NC	-	pas possible établir si la source a été impactée. Données depuis 2003 manquantes. Le 90% du débit capté par EDF en amont du point de mesure
45	6-B		NC	NC	-	pas possible établir si la source a été impactée. Données depuis 2003 manquantes. Variation du débit liée au travaux d'entretien régulier de EDF le long du Povaret en amont du point de mesure
46	6-D		1	1	1	
47	6-D0		1	1	1	

Annexe 5 – Résultats de l'index de probabilité de tarissement des points d'eau superficielle

Ruisseau	Commune	Numéro du point	FACTEURS CLÉS DU SYSTÈME								VARIABLES FONDAMENTALES DU SYSTÈME								RÉSULTATS												
			Pk de référence (m)			Altitude point (m s.n.m.)	Altitude tunnel (m s.n.m.)	Distance verticale (m)	Distance horizontale (m)	Distance absolue (m)	Distance tunnel	Intersection avec failles majeures	Phénomènes de dissolution	Canaux de perméabilité	Type de alimentation	Effet topographique			Fréquence de la fracturation	Aquifère	Perméabilité du massif	Altitude topo	Altitude tunnel	Recouvrement	Épaisseur de recouvrement	Amplitude de la zone plastique	Potentiel de drainage	DHI pas normalisé	DHI	Classe DHI Tab de APR	Classe DHI Tab PVT
			Projection	- 250 m	+ 250 m											DT	IF	FD													
Le Claret	Saint Julien Montdenis	CLT-1	7157	6907	7407	1188	595	593	604	846	1.2	1.5	0.25	1.75	2	1	n.d.	2	0.75	0.3	952.9	595	357.9	0.2	1	0.61	510	0.35	#ND	3	
Le Claret	Saint Julien Montdenis	CLT-2	5974	5724	6224	626	585	41	1368	1368	1.1	1	0	1	1.5	1	n.d.	2	0.10	0.3	781.8	585	196.8	0.2	1	0.34	113	0.08	#ND	1	
St. Bernard (Saint Martin de La Porte)	Saint Martin de la Porte	12-C	6850	6600	7100	715	605	110	1450	1454	1.1	1.5	0	1.5	1.5	1	n.d.	2	0.80	0.2	1505.0	605	900.0	0.1	1	0.59	292	0.20	2	2	
St. Bernard (Saint Martin de La Porte)	Saint Martin de la Porte	2017	6750	6500	7000	690	605	85	1772	1774	1.1	1.5	0	1.5	1.5	1	n.d.	2	0.80	0.35	1605.0	605	1000.0	0.1	1	0.62	308	0.21	2	2	
St. Bernard (Saint Martin de La Porte)	Saint Martin de la Porte	SBP-1	9396	9146	9646	1074	608	466	0	466	1.5	1.5	0.5	2	2	1	n.d.	2	1.00	0.3	1074.2	608	466.2	0.2	1	0.71	852	0.58	#ND	3	
St. Bernard (Saint Martin de La Porte)	Saint Martin de la Porte	SBP-2	9174	8924	9424	675	606	69	1949	1951	1.1	1	0	1	1	1	n.d.	2	0.10	0.3	1480.8	606	874.8	0.1	1	0.32	71	0.05	#ND	1	
St. Bernard (Modane)	Modane	SBM-1	26165	25915	26415	1771	716	1055	697	1264	1.1	1.5	0.25	1.75	1	1	n.d.	2	0.75	0.3	1757.6	716	1041.6	0.1	1	0.59	227	0.16	#ND	1	
St. Bernard (Modane)	Modane	SBM-2	25954	25704	26204	1650	715	935	5	935	1.2	1.5	0.25	1.75	2	1	n.d.	2	0.75	0.7	1652.3	715	937.3	0.1	1	0.68	570	0.39	#ND	3	
St. Bernard (Modane)	Modane	SBM-3	26148	25898	26398	1200	716	484	1339	1424	1.1	1.5	0	1.5	1.5	1	n.d.	2	0.40	0.3	1753.4	716	1037.4	0.1	1	0.45	221	0.15	#ND	1	
St. Bernard (Modane)	Modane	SBM-4	27413	27163	27663	1116	725	391	1675	1720	1.1	1.5	0	1.5	1.5	1	n.d.	2	0.40	0.1	1809.7	725	1084.7	0.1	1	0.40	199	0.14	#ND	1	
Povaret	Villarodin Le Bourget	293	25650	25400	25900	1980	712	1268	1753	2164	1.1	1.5	0	1.5	1	1	n.d.	2	0.10	0.2	1807.0	712	1095.0	0.1	1	0.30	100	0.07	1	1	
Povaret	Modane	PVT-1	27519	27269	27769	1771	726	1045	39	1046	1.1	1.5	0.25	1.75	1	1	n.d.	2	0.75	0.1	1759.6	726	1033.6	0.1	1	0.55	210	0.14	#ND	1	
Povaret	Modane	PVT-2	27307	27057	27557	1282	725	557	1099	1232	1.1	1.5	0	1.5	1	1	n.d.	2	0.40	0.3	1842.0	725	1117.0	0.1	1	0.45	148	0.10	#ND	1	
St Benoît	Aussois	1-B	31250	31000	31500	1775	744	1031	2376	2590	1.1	1	0	1	1	1	n.d.	2	0.10	0.7	1317.0	744	573.0	0.1	1	0.41	91	0.06	1	1	
St Benoît	Avrieux	2-B	29650	29400	29900	1220	762	458	136	478	1.5	1	0	1	1	1	n.d.	2	1.00	0.2	1237.0	762	475.0	0.2	1	0.69	206	0.14	2	2	
St Benoît	Aussois	295	29440	29190	29690	2215	740	1475	4570	4802	1.1	1	0	1	1	1	n.d.	2	0.10	0.7	1741.0	740	1001.0	0.1	1	0.41	91	0.06	1	1	
St Benoît	Aussois	296	29275	29025	29525	2360	738	1622	6060	6273	0	1	0	1	1	1	n.d.	2	0.10	0.7	1787.0	738	1049.0	0.1	1	0.41	0	0.00	1	1	
St Benoît	Avrieux	6004	29600	29350	29850	1220	755	465	331	571	1.2	1	0	1	1	1	n.d.	2	1.00	0.2	1280.0	755	525.0	0.1	1	0.67	161	0.11	1	1	
St Benoît	Avrieux	SBT-1	32020	31770	32270	1220	745	475	190	512	1.2	1.5	0.25	1.75	1.5	1	n.d.	2	0.75	0.3	1174.6	745	429.6	0.2	1	0.61	383	0.26	#ND	3	
St Benoît	Avrieux	SBT-2	31984	31734	32234	1112	745	367	362	516	1.2	1.5	0.25	1.75	1.5	1	n.d.	2	0.75	0.3	1149.6	745	404.6	0.2	1	0.61	383	0.26	#ND	3	
Ambin	Bramans	279	35850	35600	36100	1540	750	790	1939	2094	1.1	1.5	0	1.5	1	1	n.d.	2	0.80	0.2	2387.5	750	1637.5	0.1	1	0.59	194	0.13	2	2	
Ambin	Bramans	280	36600	36350	36850	1573	750	823	1660	1853	1.1	1	0	1	1	1	n.d.	2	0.80	0.5	2375.0	750	1625.0	0.1	1	0.66	144	0.10	1	1	
Ambin	Bramans	281	40425	40175	40675	1860	700	1160	1376	1800	1.1	1	0	1	1	1	n.d.	2	0.10	0.2	2675.0	700	1975.0	0.1	1	0.30	66	0.05	1	1	
Ambin	Bramans	282	41550	41300	41800	1970	700	1270	109	1275	1.1	1	0	1	1	1	n.d.	2	0.10	0.2	2645.0	700	1945.0	0.1	1	0.30	66	0.05	1	1	
Ambin	Bramans	AMB-1	44104	43854	44354	1951	650	1301	14	1301	1.1	1	0	1	1	1	n.d.	2	0.10	0.3	1953.4	650	1303.4	0.1	1	0.32	71	0.05	#ND	1	
Ambin	Bramans	AMB-2	39394	39144	39644	1599	702	897	1572	1810	1.1	1.5	0.5	2	1.5	1	n.d.	2	1.00	0.3	2252.2	702	1550.2	0.1	1	0.69	457	0.31	#ND	3	
Ambin	Bramans	AMB-3	40914	40664	41164	1667	686	981	1083	1461	1.1	1.5	0	1.5	2	1	n.d.	2	0.40	0.1	1921.7	686	1235.7	0.1	1	0.40	266	0.18	#ND	2	
		MAX									1.9	1.5	0.5	2	2			1		0.9					0.9	1	0.96	1.461			

Annexe 6 – Analyse de sensibilité

Commune	Numéro du point	Type de point	Nom	Classe DHI TdB PR	Usages	Nombre mesures débit	Min débit (l/min)	Max débit (l/min)	Moy débit (l/min)	Classe débit	Nombre mesures conduc	Min conduc (µS/cm)	Max conduc (µS/cm)	Moy conduc (µS/cm)	Classe conduc	Point sensible
Aussois	322	CC	Captage AEP de Plan d'Aval Nord	PI	AEP	52	0.0	125.0	41.4	2	48.0	33.0	168.0	83.8	1	N
Aussois	5006	CP	Source du pont du Diable	2	Domestique	0	0.0	0.0	0.0	1	2.0	1940.0	2010.0	1975.0	3	N
Avrieux	6001	CC	Captage du réservoir communal	2	AEP	179	87.0	887.0	343.4	3	168.0	132.0	670.0	442.8	2	O
Avrieux	6005	CP	Source aménagée Le Freney	3	Domestique	168	6.0	33.0	18.9	2	157.0	434.0	962.0	651.9	3	O
Avrieux	6006	CP	Source aménagée du Gros Saule	2	Domestique	164	3.2	50.0	18.0	2	154.0	434.0	726.0	660.2	3	O
Avrieux	6007	CP	Source aménagée de l'Envers	PI	Domestique	160	0.0	43.0	3.0	1	46.0	552.0	930.0	662.3	3	N
Avrieux	254	CC	Captage de la galerie 1500 (La Rota)	2	Domestique	72	20.0	81.1	39.6	2	68.0	341.0	692.0	424.6	2	N
Bramans	208	CP	Captage du Planey Bas	2	Domestique	66	0.0	120.0	52.1	2	60.0	870.0	1101.0	1004.5	3	O
Bramans	212	CP	Captage du Suffet	2	Domestique	154	33.0	1200.0	145.3	2	146.0	215.0	540.0	383.0	2	N
Modane	1	CC	Forage de Loutraz	2	AEP	172	103.4	666.7	568.5	3	163.0	236.0	847.0	610.7	2	O
Modane	2	CC	Captage du Claret	2	AEP	172	133.0	1000.0	360.7	3	168.0	152.0	728.0	248.6	1	N
Modane	3	CC	Captage de Combacille	2	AEP	176	0.0	1200.0	878.5	3	163.0	235.0	758.0	602.4	2	O
Modane	40	CP	Captage privé des chalets de Polset	2	Domestique	29	0.0	40.0	5.3	1	20.0	276.0	298.0	285.9	1	N
Modane	41	CP	Source privée du chalet des Gentianes	2	Domestique	17	0.0	30.0	5.2	1	3.0	232.0	279.0	260.0	1	N
Orelle	61	CC	Captage du bassin lavoir du Teppey	2	Aucune	82	0.0	100.0	11.7	1	76.0	204.0	558.0	291.4	1	N
Orelle	64	SNC	Forage autoroute -93m	2	Aucune	142	67.0	150.0	113.1	2	136.0	290.0	513.0	404.7	2	N
Orelle	75	CC	Captage du Pont de la Balme aval	2	AEP	139	100.0	1200.0	317.0	3	136.0	63.0	340.0	174.8	1	N
Orelle	76	CC	Captage du Pont de la Balme amont	2	AEP	137	13.0	1200.0	391.4	3	136.0	49.0	214.0	142.2	1	N
Orelle	77	CC	Captage des Acacias	2	AEP	148	1.2	150.0	39.9	2	139.0	344.0	598.0	495.1	2	O
Orelle	78	CP	Source de la Personnière	2	Domestique	74	1.7	200.0	32.2	2	74.0	236.0	485.0	412.3	2	N
Orelle	79	SNC	Source Orelle nord	2	Aucune	46	16.7	100.0	47.7	2	43.0	498.0	657.0	620.7	2	N
Orelle	86	CC	Captage de la Cochonnière Aval	2	AEP	129	60.0	1200.0	251.2	3	120.0	221.0	690.0	370.5	2	O
Orelle	112	CP	Source du chalet du Verney	2	Domestique	161	30.0	800.0	114.1	2	152.0	206.0	390.0	329.5	2	N
Orelle	117	SNC	Source du Creux de l'Ours E	2	Aucune	85	0.0	75.0	12.0	1	69.0	5.9	304.0	232.8	1	N
Orelle	65,1	CC	Captage de Bonvillard	2	AEP	138	55.0	600.0	152.9	2	129.0	232.0	475.0	385.3	2	O
Orelle	65,2	CC	Captage de Bonvillard	2	AEP	56	0.0	300.0	12.0	1	18.0	217.0	366.0	257.5	1	N
Orelle	65	CC	Captage de Bonvillard	2	AEP	0	100.0	600.0	350.0	3	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Orelle	67	SNC	Source du Planet aval	2	Aucune	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Orelle	68	SNC	Source du Planet Amont	2	Aucune	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Orelle	73	SNC	Source des Arponnets aval	2	Aucune	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Orelle	84	CP	Captage Michel Cassaz	2	Domestique	81	6.0	46.0	12.0	1	77.0	470.0	623.0	561.2	2	N
Orelle	311	CP	Source aménagée de l'ancien café Teillot	2	Domestique	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Saint André	25	CP	Source de la Corbière	2	Domestique	164	10.0	75.0	31.1	2	162.0	8.9	500.0	398.2	2	N
Saint André	26	CC	Captage du Pré de la Cure	2	AEP	165	60.0	800.0	533.6	3	158.0	8.0	487.0	329.8	2	O
Saint André	27	CC	Captage de Montruard ou source du Penet	2	AEP	164	16.0	480.0	84.0	2	159.0	7.8	483.0	384.9	2	O
Saint André	39	SNC	Source nord du Planay	3	Aucune	63	240.0	1200.0	768.8	3	65.0	928.0	1786.0	1466.3	3	O
Saint André	42	CP	Captage des chalets SNCF de Polset	2	Domestique	30	0.0	135.0	43.3	2	26.0	83.0	175.0	96.1	1	N
Saint André	38	CC	Captage du Planay	2	AEP	48	0.0	60.0	7.1	1	18.0	86.0	1117.0	725.3	3	N
Saint André	52	CP	Source des Rieux sud	2	Domestique	23	0.0	0.5	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Saint Julien Montdenis	1011	CC	Captage Les Fayards	2	AEP	80	0.8	27.3	12.4	1	76.0	2001.0	2470.0	2373.5	3	N
Saint Martin de la Porte	2001	CP	Source aménagée des Magnins	2	Domestique	69	2.0	10.0	6.6	1	65.0	463.0	707.0	526.9	2	N
Saint Martin de la Porte	2002	CP	Source aménagée de la Porte	3	Domestique	97	4.1	16.0	7.9	1	94.0	382.0	808.0	562.4	2	N
Saint Martin de la Porte	2015	SNC	Ruisseau 1 de la Forêt de Beaune, alimenté par source	3	Aucune	95	408.0	3708.0	2434.9	3	161.0	6.5	2730.0	2154.2	3	O
Saint Martin de la Porte	12-B	CP	Source CLEMENT Henri	2	Domestique	40	0.0	26.0	3.6	1	37.0	0.0	331.0	226.6	1	N
Saint Martin de la Porte	2004,1	CC	Scé La Villette n° 2 (CHAUMAZ R.): source	2	Domestique	131	0.0	11.0	5.0	1	122.0	275.0	878.0	481.3	2	N
Saint Martin de la Porte	2005,1	CC	Captage de Bordeaux (La Planchette): arr. G.	2	AEP	158	0.0	164.0	35.0	2	149.0	179.0	395.0	335.8	2	O
Saint Martin de la Porte	2005,2	CC	Captage de Bordeaux (La Planchette): arr. D.	2	AEP	114	0.0	214.3	41.5	2	110.0	214.0	409.0	338.3	2	O
Saint Martin de la Porte	2006,1	CC	Captage de Charbutan (RATEL E.): source	2	AEP	76	3.6	14.3	8.7	1	74.0	183.0	368.0	299.6	1	N
Saint Martin de la Porte	2007,4	CC	Captage de Champieu / plymouth (bachellerie)	2	AEP	101	0.0	9120.0	204.0	3	95.0	77.0	176.0	145.2	1	N
Saint Martin de la Porte	2016,1	SNC	Ruisseau n° 2 forêt de Beaune / Ech. limni.	3	Aucune	164	15.0	23286.0	9107.8	3	160.0	1402.0	2460.0	2235.2	3	O
Saint Martin de la Porte	2016,2	SNC	Ruisseau n° 2 de la forêt de Beaune / PVC	3	Aucune	146	18.0	15300.0	772.6	3	162.0	1402.0	2480.0	2235.8	3	O
Saint Martin de la Porte	2003	CP	Source de la Vilette n° 1 ou source Ravier	2	Domestique	46	0.0	9.6	1.3	1	36.0	185.0	624.0	232.8	1	N
Saint Martin de la Porte	2004	CC	Captage de la Vilette n° 2 ou source Chaumaz	2	Domestique	15	5.4	7.0	6.7	1	14.0	315.0	425.0	336.6	2	N
Saint Martin de la Porte	2006	CC	Captage de Charbutan (Rate Etienne)	2	AEP	15	4.9	21.8	10.4	1	14.0	242.0	313.0	290.4	1	N
Saint Martin de la Porte	2016	SNC	Ruisseau 2 de la Forêt de Beaune, alimenté par source	3	Aucune	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Saint Martin de la Porte	2017	RU	Ruisseau du Saint Bernard	2	Aucune	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Saint Martin de la Porte	12-C	RU	Ruisseau de St-Bernard	2	Aucune	0	0.0	0.0	0.0	1	1.0	1190.0	1190.0	1190.0	3	N
Saint Martin de la Porte	2004,2	CC	Scé La Villette n° 2 (CHAUMAZ R.): trop-plein	2	Domestique	33	0.0	0.2	0.0	1	1.0	319.0	319.0	319.0	1	N
Saint Martin de la Porte	2006,2	CC	Captage de Charbutan (RATEL E.): trop-plein	2	AEP	33	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Saint Michel de Maurienne	318	CC	Captage de la Saussaz	NC	#N/D	120	3.8	55.0	19.6	2	116.0	7.4	830.0	488.8	2	#N/D
Saint Michel de Maurienne	3004	CC	Captage de Pré Garin	PI	AEP	175	8.0	600.0	83.0	2	164.0	6.6	303.0	264.3	1	N
Saint Michel de Maurienne	3005,1	CC	Captage de Beaune: arr. de gauche	2	AEP	161	15.0	255.0	69.6	2	152.0	7.1	399.0	353.0	2	O
Saint Michel de Maurienne	3005,2	CC	Captage de Beaune: arr. de droite	2	AEP	157	0.0	85.0	26.3	2	112.0	7.0	498.0	380.7	2	O
Saint Michel de Maurienne	3012,2	CC	Captage des Teppes: arr. de droite	2	AEP	158	0.0	36.0	13.6	1	148.0	7.7	448.0	257.7	1	N
Saint Michel de Maurienne	3044,1	CC	Captage du Terrail: arr. de gauche	2	AEP	145	27.9	600.0	73.5	2	140.0	6.6	270.0	217.4	1	N
Saint Michel de Maurienne	3044,2	CC	Captage du Terrail: arr. de droite	2	AEP	135	0.0	2.0	0.0	1	3.0	0.0	229.0	147.0	1	N
Saint Michel de Maurienne	334	SNC	Source Courtelaud	2	Aucune	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Saint Michel de Maurienne	3002	SNC	Source Plaisance	2	Aucune	34	0.0	80.0	12.5	1	33.0	110.0	335.0	215.7	1	N
Saint Michel de Maurienne	3005	CC	Captage de Beaune	2	AEP	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Saint Michel de Maurienne	3009	SNC	Source de l'Eglise	2	Aucune	46	0.0	21.7	2.2	1	40.0	213.0	422.0	291.7	1	N
Saint Michel de Maurienne	3013	CP	Captage Cassablière	2	Domestique	55	0.0	109.0	30.1	2	53.0	187.0	273.0	228.1	1	N
Saint Michel de Maurienne	3014	CC	Captage des Lies	2	AEP	50	0.0	156.5	41.2	2	47.0	124.0	241.0	220.6	1	N
Saint Michel de Maurienne	3015	CC	Captage de la Grange Bertrand	3	AEP	47	0.0	300.0	62.1	2	44.0	149.0	259.0	242.3	1	O
Saint Michel de Maurienne	3032	SNC	Source de la Grande Fontaine	2	Aucune	86	0.0	126.0	35.7	2	83.0	141.0	313.0	199.6	1	N
Saint Michel de Maurienne	3033	SNC	Source de la Fontaine du Borneil	2	Aucune	86	5.0	120.0	39.4	2	84.0	130.0	455.0	167.5	1	N
Saint Michel de Maurienne	3034	SNC	Source du Rivet	2	Aucune	69	4.8	480.0	109.5	2	68.0	227.0	373.0	279.2	1	N
Saint Michel de Maurienne	3037	CP	Source aménagée Rossero	2	Domestique	87	1.2	10.0	7.5	1	86.0	465.0	613.0	562.8	2	N
Saint Michel de Maurienne	3044	CC	Captage du Terrail	2	AEP	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Villargondran	341	CP	Source Gabriel Martinet	2	Domestique	0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	N
Villarodin Le Bourget	4004	CP	Source aménagée d'Échillon	2	Domestique	55	3.0	18.8	9.4	1	53.0	179.0	380.0	217.1	1	N

Commune	Numéro du point	Type de point	Nom	Classe DHI TdB PR	Usages	Nombre mesures débit	Min débit (l/min)	Max débit (l/min)	Moy débit (l/min)	Classe débit	Nombre mesures conduc	Min conduc (µS/cm)	Max conduc (µS/cm)	Moy conduc (µS/cm)	Classe conduc	Point sensible
Villarodin Le Bourget	4010	CC	Source aménagée de la Pariotte	2	Aucune	143	0.0	600.0	67.6	2	131.0	78.0	546.0	134.6	1	N
Villarodin Le Bourget	18-E	SNC	Source de Villarodin	2	Aucune	148	0.0	300.0	77.8	2	122.0	266.0	485.0	410.7	2	N
Villarodin Le Bourget	277.1	CC	Captage des Avenières: arr. de gauche	2	#N/D	146	60.0	1500.0	395.0	3	148.0	238.0	547.0	439.8	2	#N/D
Villarodin Le Bourget	277.2	CC	Captage des Avenières: arr. du milieu	2	#N/D	158	1.0	60.0	7.4	1	150.0	248.0	487.0	436.7	2	#N/D
Villarodin Le Bourget	277.3	CC	Captage des Avenières: arr. de droite	2	#N/D	158	2.0	240.0	59.4	2	150.0	224.0	511.0	411.0	2	#N/D
Villarodin Le Bourget	262	CP	Source aménagée de l'Orgère du bas	2	Domestique	7	0.0	5.0	2.8	1	8.0	169.0	201.0	177.1	1	N
Villarodin Le Bourget	4001	CC	Captage du Bourget	PI	AEP	101	0.0	66.0	22.3	2	73.0	207.0	272.0	222.7	1	N
Villarodin Le Bourget	4015	CC	Captage du Bourget 2	PI	AEP	100	0.0	85.7	48.7	2	72.0	190.0	242.0	222.2	1	N
Villarodin Le Bourget	4016	CC	Captage du Bourget 3	PI	AEP	94	0.0	31.6	13.3	1	65.0	193.0	440.0	223.2	1	N
Villarodin Le Bourget	18-B	CC	Collecteur fontaines publiques du Bourget	PI	AEP	49	0.0	2218.0	63.8	2	47.0	201.0	268.0	223.3	1	N
Villarodin Le Bourget	18-C,1	CP	Captage MARGUERON Fernand	PI	Domestique	62	0.0	5.5	3.3	1	59.0	207.0	327.0	235.7	1	N
Villarodin Le Bourget	18-C,2	CP	Captage MARGUERON Georges	PI	Domestique	65	0.0	5.9	3.1	1	60.0	209.0	327.0	236.2	1	N
Villarodin Le Bourget	18-D	CP	Captage BUISSON Rémi	PI	#N/D	84	0.0	30.0	10.1	1	57.0	192.0	435.0	226.6	1	#N/D

LEGENDE			
Classe débit =1	Qmoy < 1 m ³ /h	Classe conductivité =1	Cmoy < 325 µS/cm
Classe débit = 2	1 m ³ /h < Qmoy < 10 m ³ /h	Classe conductivité =2	325 µS/cm < Cmoy < 650 µS/cm
Classe débit =3	Qmoy > 10 m ³ /h	Classe conductivité =3	Cmoy > 650 µS/cm
#N/D	données non disponibles	#N/D	données non disponibles

Annexe 7 – Note hydrogéologique des sources du Ruisseau de la forêt de Beaune

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – TRATTA COMUNE ITALO-FRANCESE
PROJET DE REFERENCE FRANCE – PROGETTO DI RIFERIMENTO FRANCIA
CUP C11J05000030001

GEOLOGIE – GEOLOGIA
GENERALE – GENERALE
HYDROGEOLOGIE - IDROGEOLOGIA

Note hydrogéologique des sources du Ruisseau de la forêt de Beaune

Nota idrogeologica delle sorgenti del Rio della foresta di Beaune

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	11/06/2013	Première émission	R. TORRI	A. DEMATTEIS	R.TORRI

CODE DOC	P	R	-								
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero	

Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	PR	//	//						
------------------------------	-----------	----	----	--	--	--	--	--	--

ECHELLE / SCALA

SOMMAIRE / INDICE

1. CARACTERISATION DES SOURCES	3
2. MODELE HYDROGEOLOGIQUE A LA COTE DU TUNNEL DE BASE	5
3. EVALUATION DES DEBITS ATTEINTS EN GALERIE : SECTEUR DU FRONT HOILLER (PK 10+110 – 10+380).....	6
4. RISQUE D'IMPACT DES SOURCES DU RUISSEAU DE BEAUNE	7

1. Caractérisation des sources

Les ruisseaux de la forêt de Beaune sont alimentés par des sources qui font partie du réseau du suivi des eaux souterraines et de surface en cours de réalisation par LTF depuis novembre 1995.

Ils sont localisés sur la commune de St-Martin-la-Porte et à une distance d'environ 1 km par rapport à l'axe du tracé du tunnel de base en correspondance d'un tronçon avec couvertures topographiques d'environ 760 mètres.

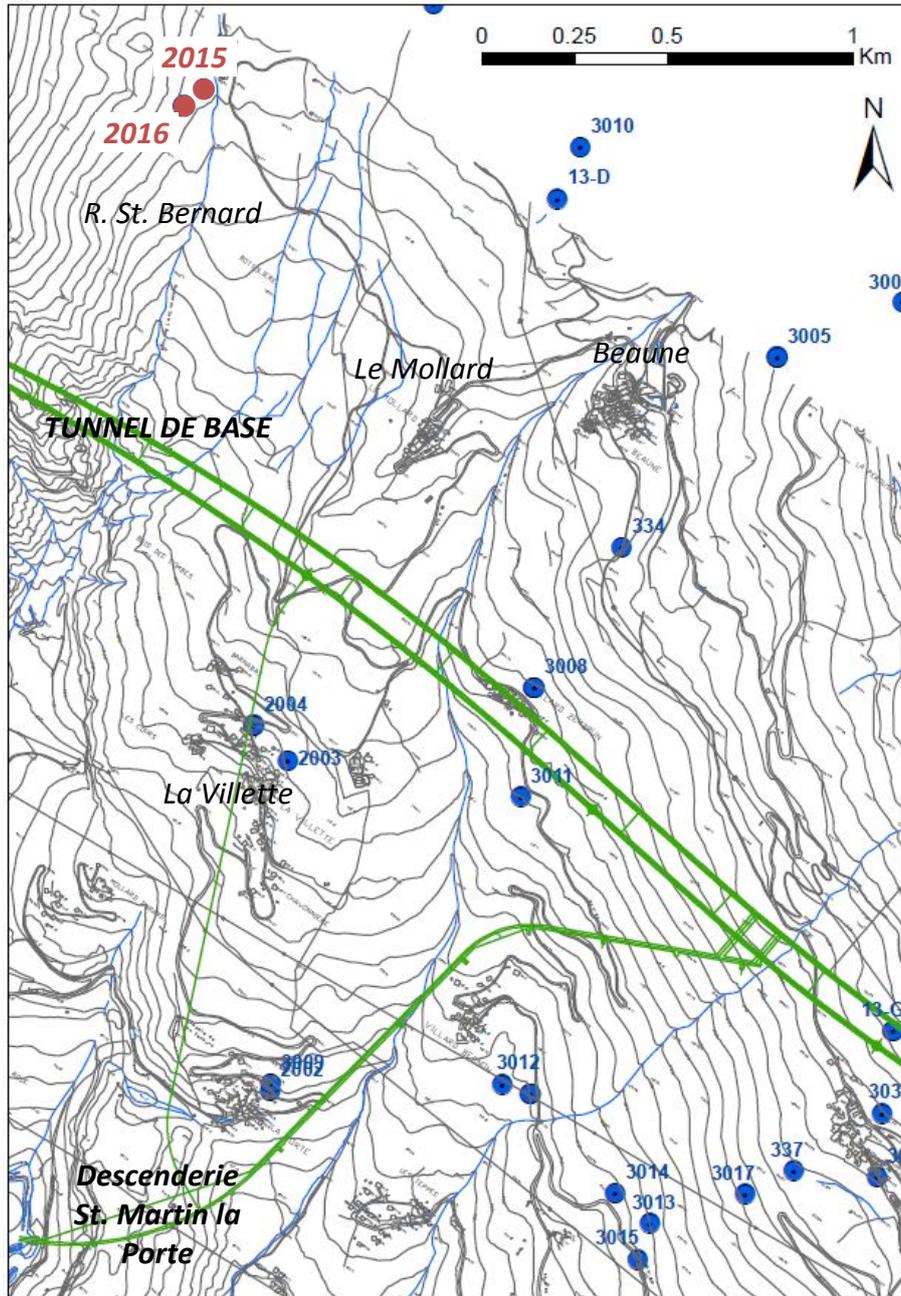


Figure 1 : Carte avec localisation des sources du ruisseau de la forêt de Beaune (n° 2015 et 2016) par rapport aux tracés du Tunnel de Base et de la descenderie de St. Martin la Porte

D'un point de vue géologique, elles se localisent dans le secteur du front du Houiller qui représente une zone de contact tectonique constituée par des évaporites (anhydrites et gypses) peu perméables, par des cargneules qui constituent les bandes perméables par dissolution

chimique, ainsi que par les calcaires de la zone Subbriançonnaise ; l'ensemble des couches représente un aquifère au sein duquel s'effectuent des circulations d'eau de type poreux ou karstique. Les anhydrites, a priori peu perméables de par leur comportement plastique, peuvent le long du contact tectonique comporter des secteurs à forte perméabilité de type karstique comme semble l'indiquer la présence des sources du ruisseau de la forêt de Beaune (points n° 2015 et 2016).

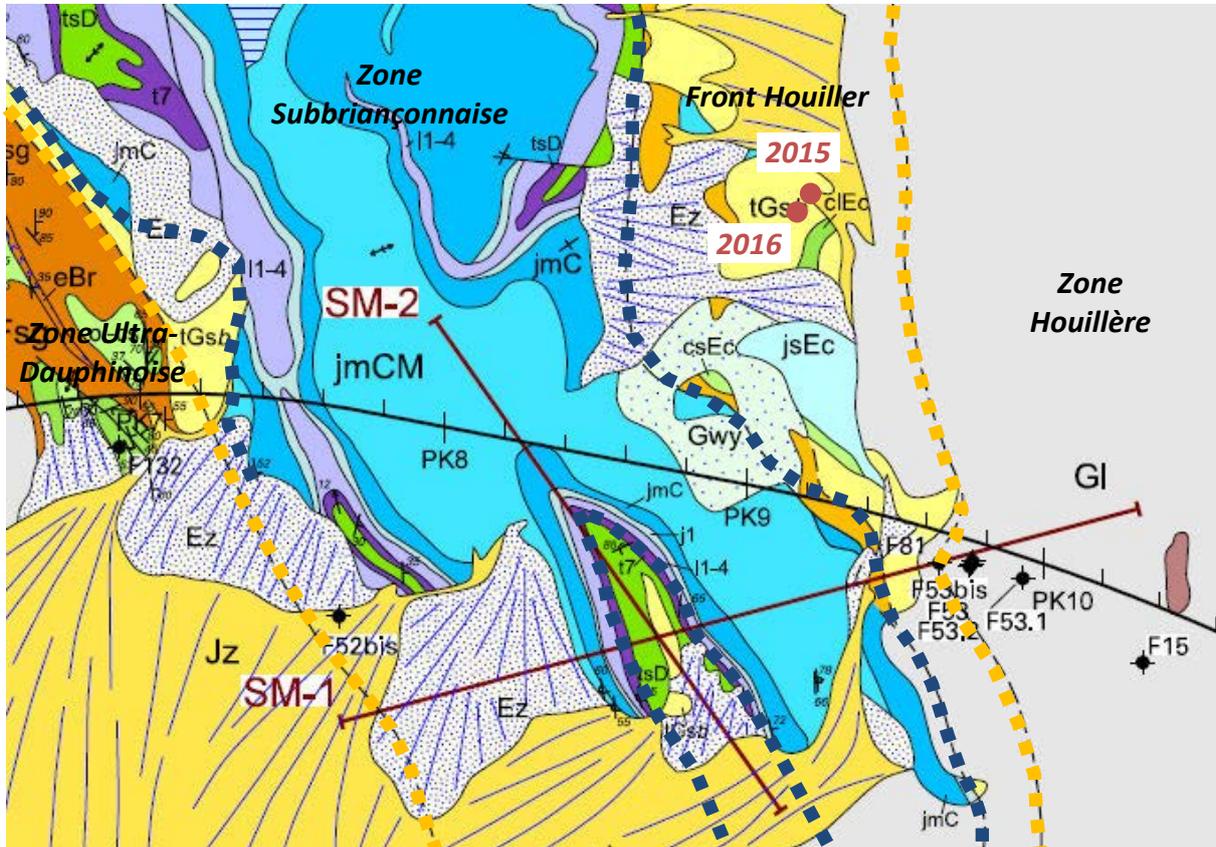


Figure 2 : Carte géologique du secteur du Front Houiller et localisation des sources n°2015 et 2016. Les lignes pointillées orange identifient les limites étanches représentées par les schistes de la Zone Houillère à l'est du Front Houiller et par les flysch de la Zone Ultra-dauphinoise à l'ouest de la Zone Subbriançonnaise (Front Pennique). La ligne pointillée bleue identifie la limite d'échanges hydrogéologiques entre le Front Houiller, le Front Pennique et les calcaires et dolomies de la Zone Subbriançonnaise.

Ces sources sont caractérisées par des débits moyens qui varient entre environ 2'400 l/min (soit 40 l/s) pour le point de mesure n°2015 et environ 9'100 l/min (soit 150 l/s) du point n°2016. Elles alimentent le ruisseau de Saint-Bernard et peuvent représenter de 50 % en période de hautes eaux à 95 % en période d'étiage du débit du ruisseau. Le débit total de ces sources mesuré est compris entre 2'200 et 20'200 l/min, soit entre environ 35 et 375 l/s.

Le débit total moyen est de l'ordre de 11'500 l/min, soit environ 190 l/s. Les débits les plus importants englobent certainement des apports d'eaux météoriques par ruissellement puisque ces débits correspondent en fait aux débits des ruisseaux alimentés par les sources et qu'une diminution de la conductivité est généralement observée.

Les valeurs de conductivité électrique relevées sur les sources sont de l'ordre de 2'500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et témoignent d'une circulation dans les roches évaporitiques : les eaux des sources sont donc de type sulfaté avec une teneur en strontium de 7'800 $\mu\text{g}/\text{l}$ caractérisant l'influence des évaporites.

2. Modèle hydrogéologique à la cote du tunnel de base

Le creusement du tunnel de base concernera le front Houiller sur environ 270 mètres entre les pk 10+110 et 10+380. Dans cette zone le contexte hydrogéologique est donc complexe. Directement à l'ouest du front du Houiller, on trouve deux couches potentiellement aquifères entre lesquelles il n'existe pas de structure géologique qui puisse constituer une limite hydrogéologique bien définie. Les couches aquifères suivantes peuvent être distinguées :

- couche aquifère se développant au sein des anhydrites peu perméable mais associé à un potentiel milieu karstique, appartenant au complexe hydrogéologique n°8 ;
- couche aquifère se développant au sein des cargneules et des calcaires associé à un milieu fissuré et karstique, appartenant au complexe hydrogéologique n°2.

Bien que les deux couches soient caractérisées par des systèmes de flux différents, des échanges hydrogéologiques réciproques sont possibles.

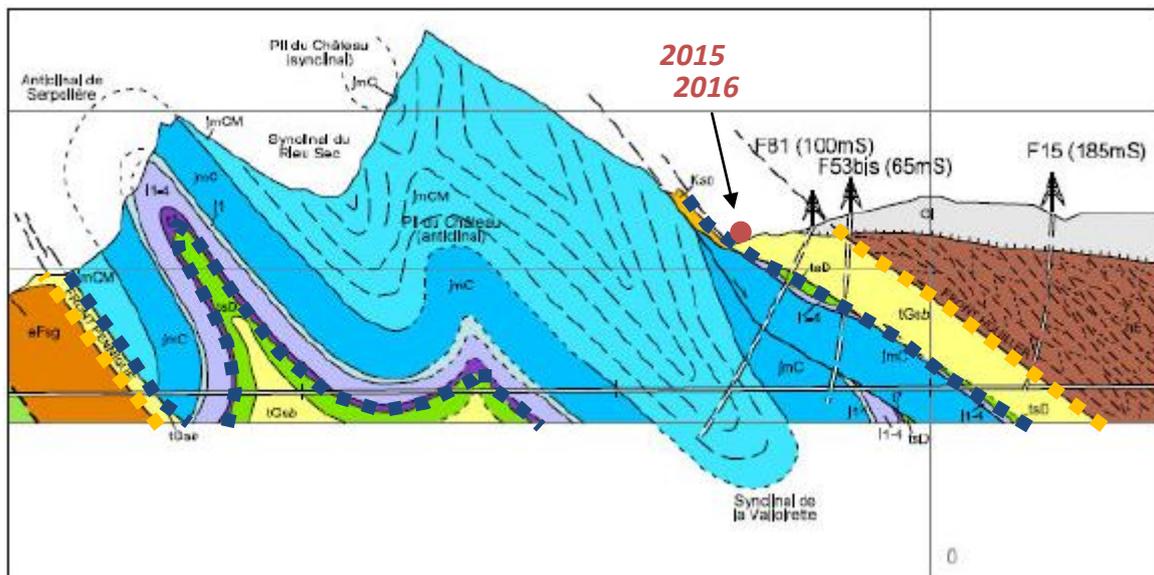


Figure 3 : Coupe géologique du secteur du Front Houiller et projection des sources n°2015 et 2016 sur l'axe du Tunnel de Base. Les lignes pointillées orange identifient les limites étanches représentées par les schistes de la Zone Houillère à l'est du Front Houiller et par les flysch de la Zone Ultra-dauphinoise à l'ouest de la Zone Subbriançonnaise. La ligne pointillée bleu identifie la limite d'échanges hydrogéologiques entre le Front Houiller, le Front Pennique et les calcaires et dolomies de la Zone Subbriançonnaise.

Vue le comportement potentiellement karstique, en absence de mesures directes, l'évaluation de la charge hydraulique à la cote du tunnel de base, a été réalisée à partir des observations et déductions de terrain en considérant que le niveau de base de l'aquifère karstique se situe à une cote comparable à celle des cours d'eau principaux qui traversent la rive droite de la vallée de l'Arc. En effet, dans ce secteur, la cote du tunnel de base est comparable avec celle de l'Arc. En admettant que l'aquifère karstique se trouve en équilibre avec le réseau des cours d'eau secondaires (Ruisseau Saint Bernard), la charge hydraulique sur le tunnel de base peut atteindre environ 400 mètres. Cette hauteur correspond aussi à la cote potentielle de recharge des aquifères qui peuvent se développer au sein du Front Pennique et du Front Subbriançonnais / Houiller.

La perméabilité des bancs d'anhydrites (tGsb) a été évaluée comme faible ; d'après les différents tests hydrauliques et mesures réalisées dans les forages au cours du projet, elle varie entre $2E-9$ et $2E-8$ m/s qui déterminent des débits spécifiques de $0.1 - 0.5$ l/s/100m.

Pour ce qui concerne les roches carbonatées potentiellement karstiques, une perméabilité de l'ordre de 1 à 5E-7m/s a été considérée sur la base des mesures de perméabilité en forage et notamment dans le forage F53bis).

3. Evaluation des débits atteints en galerie : Secteur du Front Houiller (pk 10+110 – 10+380)

Dans la zone examinée on trouve essentiellement une bande axiale constituée par les roches évaporitiques (Complexe Hydrogéologique n°8) bordé vers l'ouest par les roches carbonatés (calcaires et dolomies) de la zone Subbriançonnaise (Complexe Hydrogéologique n°2) ; vers l'est le contact tectonique est limité par les schistes de la Zone Houillère (Complexe Hydrogéologique 7b). ces derniers sont caractérisés par une perméabilité de faible à très faible et représentent donc une limite étanche avec les roches évaporitiques tandis qu'on ne peut pas exclure une connexion hydraulique avec l'aquifère constitué par les lithotypes de la Zone Subbriançonnaise potentiellement karstiques.

Le débit d'exhaure estimé pour deux tubes le long de ce tronçon de roches évaporitiques est compris entre environ 0,5 et 3 l/s sur 270 mètres de longueur totale. Ces débits demeurent très faibles du fait de la faible perméabilité du milieu déduite des essais réalisées dans les forages F53bis et F15. Ces 2 forages ont traversé les anhydrites à des profondeurs différentes (entre 150 et 250 m pour le F53bis ; entre 550 et 600 mètres pour le F15, ce qui est comparable à la profondeur du tunnel de base) en conditions de massif sain et en absence de dissolution chimique. Toutefois, l'incertitude liée à la possibilité d'intercepter un conduit karstique demeure.

En cas de rencontre d'un tel conduit karstique, le débit liés à des venues d'eau ponctuelles a pu être réévalué par rapport à l'APR grâce aux nouvelles données acquises avec le creusement des descenderies de Saint-Martin-La-Porte, La Praz et Villarodin-Bourget/Modane et aux travaux de recherche de du Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel (CHYN) dont les résultats sont synthétisés dans la thèse de doctorat de Giona Preisig sous la conduite du Professeur P. Perrochet. Ces travaux ont d'ailleurs permis d'expliquer les bien plus faibles débits résiduels relevés dans les descenderies par rapport à ceux qui avaient été estimés dans les phases d'études précédant les excavations (3 à 5 l/s en tête de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte pour 350 l/s de débit minimum estimé ; 30 à 40 l/s en tête de la descenderie de La Praz pour 180 l/s estimé ; 25 à 30 l/s en tête de Villarodin-Bourget/Modane pour 600 l/s estimé) en relation avec le phénomène de diminution de la perméabilité du massif suite à l'augmentation des pressions effectives en fonction de la réduction des pressions d'eau dues au drainage causé par le creusement des ouvrages souterraines.

En effet la descenderie de Saint-Martin-La-Porte n'a montré aucun conduit karstique dans le front du Houiller et la traversée des roches évaporitiques (dolomies et anhydrites du Trias) s'est faite en présence de venues d'eau très faibles avec un débit d'exhaure de 3 l/s soit un débit spécifique de 1 l/s/100m. Les observations tendent à confirmer que les phénomènes de dissolution marquant les formations évaporitiques en surface ne se propagent pas en profondeur. Cette condition a été observée que ce soit celle du front du Houiller dans la descenderie de Saint-Martin-La-Porte sous 200 à 300 m de couverture ou celle de la descenderie de Villarodin-Bourget sous 500 m de couverture environ.

Ainsi, la présence des venues d'eau ponctuelles estimées entre 50 et 75 l/s à l'APR au droit de conduits karstique semble être à écarter. Toutefois, en cas d'interception d'une conduite karstique son débit résiduel a été évalué en 25 l/s. En excluant des venues importantes liées à l'interceptions du réseau karstique, les venues en cours de creusement devraient être comprises entre 0,2 et 1 l/s/100m, soit entre 0,5 et 3 l/s sur l'ensemble de la traversée du front du Houiller.

4. Risque d'impact des sources du Ruisseau de Beaune

Les études précédentes (Etudes hydrogéologiques LTF 2002-2004 et APR 2006) ont attribué aux sources 2015 et 2016 une probabilité d'impact de modérée à forte (note DHI égale à 4), en particulier du fait du contexte hydrogéologique potentiellement karstique.

Toutefois, même si à ce stade le risque de traverser un conduit karstique ne peut être totalement écarté, ce risque reste limité : sous plus faible couverture et donc dans une situation plus propice à la présence de karsts, la descendrière de Saint-Martin-La-Porte n'en a traversé aucun et les spéléologues de la région n'ont encore jamais trouvé de karst descendant à la cote du tunnel de base.

L'analyse des venues d'eau en galerie effectuée au chapitre précédent montre que les débits attendus le long du tronçon des anhydrites du Front du Houiller sont de l'ordre de 0,5 à 3 l/s ; seulement dans le cas d'une venue ponctuelle en présence d'un réseau karstique développé à la cote du tunnel de base, il a été considéré à un débit de 25 l/s résiduel sur ce tronçon à mettre en regard avec les 190 l/s (650 m³/h) observés en moyenne sur les sources du de la forêt de Beaune (point 2015 et 2016), ces sources représentant entre 50 % et 95 % du débit du ruisseau de Saint-Bernard.

En outre l'évaluation du débit résiduels de 25 l/s est le résultat de l'influence du creusement sur l'ensemble des aquifères du front du Houiller et ne concerne donc pas uniquement les sources 2015 et 2016,. Il est donc envisageable que, selon les conditions suggérées par les données à disposition en cours de révision, l'impact hydrogéologique du creusement du tunnel de base sur les sources du Ruisseau de Beaune se traduirait par une réduction très faible du débit du ruisseau et non sa disparition.

Toutefois, à ce stade de révision des études nous ne pouvons exclure totalement la présence d'un réseau karstique développé au niveau du tunnel de base en équilibre avec les sources, ce qui suggère, non seulement par prudence mais aussi pour insister sur la nécessité de mettre en œuvre les mesures adéquates d'auscultation et de prévention du risque lors du creusement, de maintenir la probabilité d'impact de modérée à forte.

Toutefois, il y a lieu d'indiquer que l'arrivée, à l'aplomb de ces sources, d'un débit moyen de 190 l/s au niveau du tunnel de base n'est pas envisageable et imposerait des criticités de gestion pendant et après le creusement. Pour cette motivation, il est prévu de réaliser des forages à l'avancement (sous SAS) afin de vérifier la présence de karst et donc de traiter le massif rocheux avant du creusement en fonction de minimiser les débits en galeries et l'impact en surface.