

BEG SA

crealp

Géologie & Environnement

BEG Fribourg
Z.I.: Le Vivier 22
CH 1690 Villaz-Saint-Pierre

+41 26 653 26 15
beg@beg-geol.ch
www.beg-geol.ch

Centre de recherche sur l'environnement alpin

Rue de l'Industrie 45
CH 1950 Sion

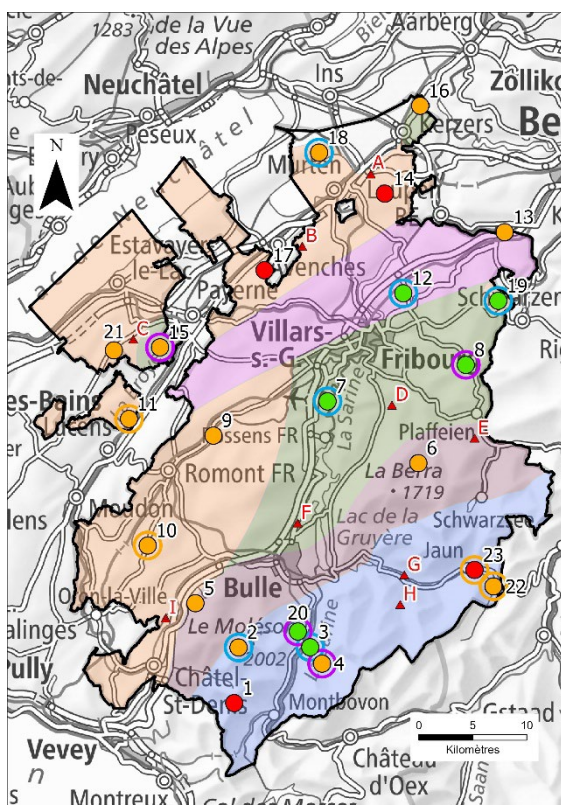
+41 27 607 11 80
www.crealp.ch

Maître de l'ouvrage Service de l'environnement du canton de Fribourg SE

Lieu Canton de Fribourg

Projet Etude hydrogéologique pour le suivi et gestion des eaux
souterraines intégrant les effets du changement climatique

Objet PHASE 1 : Synthèse des données existantes, état des lieux et
définition des lots



N° mandat
Auteur
Date

9021
Marie Arnoux et Marion Cochand
20.10.2025
Version 2

Géologie appliquée – Géotechnique – Hydrogéologie
Géothermie – Environnement – Dangers naturels

Table des matières

1	Introduction.....	1
1.1	Projet	1
1.2	Mandat	1
2	Contexte du projet	2
2.1	Géologie et hydrogéologie	2
2.2	Climat.....	2
2.2.1	Températures	2
2.2.2	Précipitations.....	4
2.2.3	Conséquences directes sur la neige et l'évapotranspiration	6
3	Démarche	9
3.1	Définition des lots.....	9
3.2	Sélection des captages.....	9
3.3	Contexte climatique.....	13
3.3.1	Conséquences sur l'hydrologie	13
3.3.2	Conséquences pour l'hydrogéologie	18
3.4	Critère de classification des captages.....	22
4	Synthèse	23
4.1	Pour les aquifères	23
4.1.1	Lots Plaine alluviale, Plateau molassique et Plateau morainique : régime pluvial	23
4.1.2	Régions Préalpes karstiques et fissurées : régimes nivo-pluvial et nival	24
4.2	Pour les captages sélectionnés.....	26
4.2.1	Classification pour l'estimation des impacts quantitatifs sur les captages dans le contexte de changement climatique.....	26
4.2.2	Classification qualitative.....	26
5	Analyse de déficit et programme de suivi.....	29
5.1	Programme de suivi.....	29
5.1.1	Sélection des captages	29
5.1.2	Paramètres suivis	32
5.1.3	Évaluation des coûts d'équipement.....	32
6	Conclusion	34

Figures

Figure 1: Organisation du mandat - phase 1 [1].....	1
Figure 2: Principaux aquifères du canton de Fribourg [16]. Les aquifères identifiés en bleu sont publics ($Q > 200$ l/min) et en vert les non-publics ($50 < Q < 200$ l/min).	3
Figure 3 : Modifications des températures moyennes annuelles à l'horizon 2085 par rapport à la période de référence 1981–2010, pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. Les valeurs indiquées sont les médianes des simulations des modèles climatiques analysées (figures extraites de l'atlas web CH2018 [3] [7]).	4
Figure 4: Modifications des précipitations moyennes annuelles à l'horizon 2085 par rapport à la période de référence 1981–2010, pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. Les valeurs indiquées sont les médianes des	

simulations des modèles climatiques analysées (figures extraites de l'atlas web CH2018 [3] [7]). Les points bleus représentent les exutoires de bassins versants.....	5
Figure 5 : Modifications des précipitations moyennes saisonnières à l'horizon 2085 (moyennes 2070-2099), par rapport à la période de référence 1981–2010, pour le scénario RCP 4.5. Les valeurs indiquées sont les médianes des simulations des modèles climatiques analysées (figures extraites de l'atlas web CH2018 [3] [7]). Les points bleus représentent les exutoires de bassins versants.	5
Figure 6: Modifications des précipitations moyennes saisonnières à l'horizon 2085 (moyennes 2070-2099), par rapport à la période de référence 1981–2010, pour le scénario RCP 8.5. Les valeurs indiquées sont les médianes des simulations des modèles climatiques analysées (figures extraites de l'atlas web CH2018 [3] [7]). Les points bleus représentent les exutoires de bassins versants.	6
Figure 7 : Equivalent en eau de la neige moyenne pour le mois de mars pour la période de référence 1981-2010 [3] [8]. Les points bleus représentent les exutoires de bassins versants.	7
Figure 8 : Changement relatif de l'équivalent en eau de la neige moyenne de septembre à mai pour la période à l'horizon 2085 moyenné sur les classes d'altitude individuelles. À gauche : Scénario RCP 4.5 ; À droite : Scénario RCP 8.5. Les lignes verticales indiquent les signaux de changement des chaînes de modèles EURO-CORDEX sous-jacentes individuelles ; l'ombrage indique l'ensemble de la gamme de l'ensemble [8]. .	7
Figure 9: Evaporation moyenne annuelle pour la période 1973-1992 [3][9]. Les points bleus représentent les exutoires de bassins versants.	8
Figure 10: Données à la base de l'analyse SIG. A) Régions issu du rapport Ecosfera [2], B) Carte géologique [5], C) Carte des masses d'eau [5] D) modèle d'altitude Swissalti 3D [5].	10
Figure 11: Lots d'étude et captages retenus pour la phase 1 de l'étude	11
Figure 12. Bassins versants modélisés dans – ou en partie dans – le canton de Fribourg pour les projections climatiques RCP 4.5 et 8.5. Simulations réalisées par Ecosfera (bassins représentés en vert) [2] et Hydro-CH2018 (bassins représentés en bleu et violet)[4][6]; les bassins 6 et 8 ont été modélisés dans les deux études.....	15
Figure 13. Projections d'évolution des débits saisonniers dans le canton de fribourg avec le scénario RCP 8.5 (moyennes mensuelles sur 30 ans); simulations Ecosfera [2] et HydroCH2018 [4][6] (les bassins 6 et 8 ont été modélisés dans les deux études). Les régimes hydrologiques sont de type pluvial (bassins 1 à 6), nivo- pluvial (bassins 7 et 8) et nival (bassin 9). Les marges transparentes représentent les intervalles de confiance définis dans [6].....	16
Figure 14. Exemples d'évolution de recharge pour un régime pluvial et un régime nival selon un scénario RCP 8.5 [5].	19
Figure 15. Illustration schématique de la façon dont les conditions estivales plus sèches et hivernales plus humides se propagent dans les différents systèmes hydrologiques [10].	20
Figure 16: Adéquation des captages pour la suite de l'étude et proposition de sélection.....	31

Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des captages retenus en cours d'étude phase 1. Les captages prioritaires sont numérotés de 1 à 21. Les captages secondaires (non retenus pour la suite de l'étude) sont numérotés de A à I.	12
Tableau 2: Classification des captages pour l'estimation des impacts quantitatifs. Les sources sont surlignées en bleu et les puits en rose.	27
Tableau 3: Classification des captages en fonction des impacts qualitatifs. Les sources sont surlignées en bleu et les puits en rose.....	28
Tableau 4: Tableau récapitulatif des captages retenus pour la suite du suivi. Les sources sont surlignées en bleu et les puits en orange. Texte en bleu : captages de la sélection prioritaire (1), en violet la sélection secondaire (2) et en orange la sélection complémentaire du SEn suite au rapport provisoire (3).	30

Annexes

Annexe 1 Fiches de captage

Annexe 2 Annexes aux fiches de captage

Annexe 3 Résultats et interprétations des slug test

Références

Documents et plans consultés

- [1] Canton de Fribourg, Service de l'Environnement SEEn, 18.07.2023, cahier des charges Plan climat cantonal – mesures W1.3 et W1.5 – Phase 1
- [2] Ecosfera gmbh, janvier 2023. Veränderungen der klimatischen und hydrologischen Bedingungen im Kanton Freiburg und in dessen Regionen und Einzugsgebieten. Technischer Bericht.
- [3] CH2018 (2018), CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp. ISBN: 978-3-9525031-4-0
<https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-climatiques-suisse/ch2018-webatlas.html>
- [4] Regula Mülchi, Ole Rössler, Jan Schwanbeck, Rolf Weingartner, Olivia Martius, 2021. "Débits moyens des bassins versants de taille moyenne". In Hydro-CH2018: Scénarios jusqu'en 2100. Atlas hydrologique de la Suisse.
- [5] Arnoux M and Hunkeler D. 2021. Événement "Eaux suisses et changements climatiques"
<https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-hydrologiques-hydro-ch2018/evenement.html>
- [6] Massimiliano Zappa, Florian Lustenberger, Rolf Weingartner, Alain Bühlmann, Regula Mülchi, 2021. "Débits moyens des grands bassins versants". In Hydro-CH2018: Scénarios jusqu'en 2100. Atlas hydrologique de la Suisse.
- [7] Andreas Fischer, Sven Kotlarski, Alain Bühlmann, 2021. "Scénarios des températures jusqu'en 2100". In Hydro-CH2018: Scénarios jusqu'en 2100. Atlas hydrologique de la Suisse.
- [8] Tobias Jonas, 2016 "Equivalent en eau de la neige 1981–2010". In Plateforme de données et d'analyse. Atlas hydrologique de la Suisse.
- [9] Lucas Menzel, Herbert Lang, Martin Rohmann, 1999. "Evaporation annuelle moyenne 1973–1992". In Plateforme de données et d'analyse. Atlas hydrologique de la Suisse.
- [10] Hunkeler, D., Malard, A., Arnoux, M., Jeannin, P., and Brunner, P., 2021. Effect of Climate Change on Groundwater Quantity and Quality in Switzerland. Hydro-CH2018 Project. Comissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN), Bern, Switzerland. 80 pp.
- [11] FOEN (ed.) 2021: Effects of climate change on Swiss water bodies. Hydrology, water ecology and water management. Federal Office for the Environment FOEN, Bern. Environmental Studies No. 2101: 125 p.
- [12] Brunner M., Björnsen Gurung A., Zappa M., Zekollari H., Farinotti D., Stähli M. 2019c: Present and Future Water Scarcity in Switzerland: Potential for Alleviation through Reservoirs and Lakes. Science of The Total Environment, 666: 1033–1047. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.169.
- [13] Van Loon, A.F., 2015. Hydrological drought explained. WIREs Water 2, 359–392.
<https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
- [14] Florence Habets, Charlotte Thierion, Pascal Viennot, Nadia Amraoui, Yvan Caballero, Olivier Douez, Serge Lallier, Marc Saltel, Philippe Stollsteiner, 2012 Hydrologie souterraine, Rapport de synthèse du projet Explore 2070, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.
- [15] Florence Habets Nadia Amraoui, Yvan Caballero, Dominique Thiéry, Jean-Pierre Vergnes, Thierry Morel, Patrick Le Moigne, Delphine Leroux, Nicolas Roux, Quentin Courtois, Jean-Raynald de Dreuzy, Philippe Ackerer, François Besson, Pierre Etchevers, Fabienne Regimbeau, Béatrice Vincendon, Nicolas Gallois, Pascal Viennot, 2018 Evolution de la ressource en eau souterraine passée, présente et future estimée par Aquifer, Rapport d'étape, Agence Française de la biodiversité.

Divers

- [16] Guichet cartographique cantonal (map.geo.fr.ch).

[17] Portail cartographique de la Confédération (*map.geo.admin.ch*), Office Fédéral de Topographie SWISSTOPO.

Législation, normes et directives

[18] Canton de Fribourg, Service de l'Environnement SEn, mai 2021, Plan climat cantonal. Stratégie et plan de mesures 2021-2026.

[19] Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) du 24 janvier 1991 (Etat le 1er janvier 2022), RS 814.20.

[20] Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) du 28 octobre 1998 (Etat le 1er janvier 2021), RS 814.201.

Informations administratives

N° étude : 9021

Projet : Etude hydrogéologique pour le suivi et gestion des eaux souterraines intégrant les effets du changement climatique

Adjudication : 23 octobre 2023

Donneur d'ordre : Julie Boillat SEn

Maître de l'ouvrage : Service de l'environnement du canton de Fribourg SEn

Parcelle/lieu/commune : Canton de Fribourg

Coordonnées : 2'577'025 / 1'184'598

Objet du rapport : PHASE 1 : Synthèse des données existantes, état des lieux et définition des lots

Auteurs/collaborateurs : Marie Arnoux, Marion Cochand ; Grégory Grosjean ; Anthony Salamin

Contrôle : Michaël Digout

Date du rapport : 20.10.2025

Version : Version 2

Distribution : SEn

CONDITIONS ET RESTRICTIONS SUR L'USAGE DU PRÉSENT RAPPORT

Les conclusions de ce rapport sont basées sur l'état actuel des connaissances et ont été obtenues conformément aux règles reconnues de la profession.

BEG suppose que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat;
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle;
- sans avoir été réexaminés, les présents résultats ne seront pas utilisés dans un but autre que celui convenu ou pour un autre objet, ni transposés à un contexte différent.

Dans la mesure où ces conditions ne sont pas remplies, BEG décline toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats de la présente étude, BEG décline toute responsabilité pour les dommages qui pourraient en résulter.

1 INTRODUCTION

1.1 PROJET

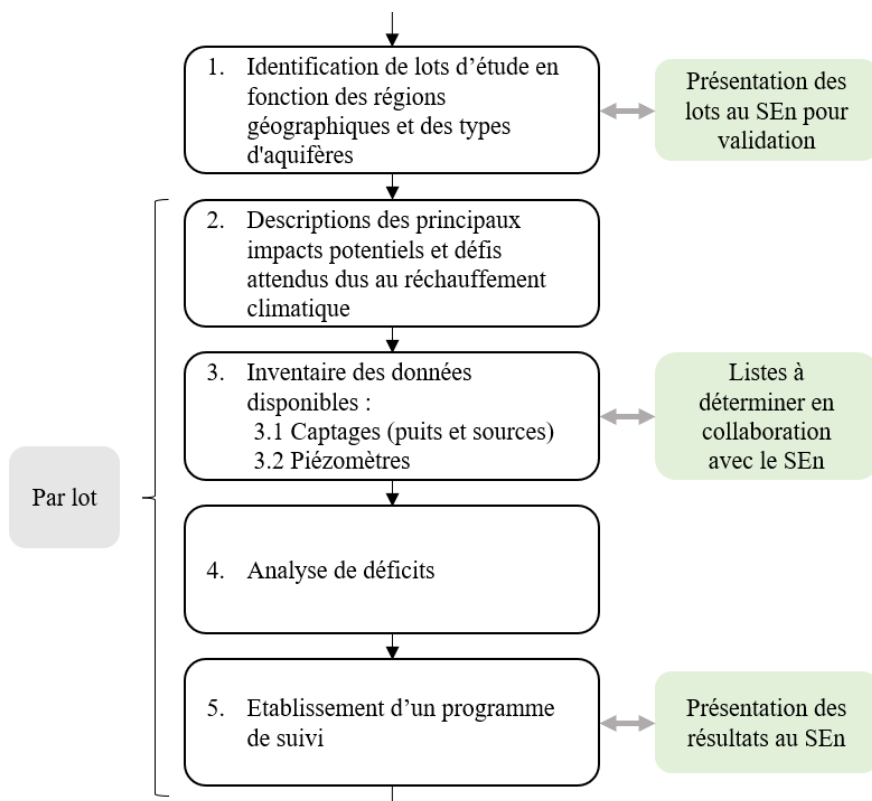
Le canton de Fribourg a adopté en juin 2021 un plan climat cantonal qui propose 115 mesures destinées à atténuer et permettre l'adaptation au changement climatique [18]. Les mesures *W 1.3 Suivi et gestion des eaux souterraines intégrant les effets des changements climatiques* et *W 1.5 Surveillance des paramètres climatiques des eaux souterraines* ont pour objectif d'évaluer les implications des scénarios Hydro-CH2018 pour les eaux souterraines du canton [1]. Dans ce cadre, le canton a mis en place une étude hydrogéologique pour le suivi et la gestion des eaux souterraines intégrant les effets du changement climatique.

1.2 MANDAT

BEG SA – Géologie & Environnement (BEG) et le Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP) ont été mandatés par le Service de l'Environnement du canton de Fribourg (SEn) pour la première phase d'étude en lien avec les mesures W 1.3 et W 1.5 citées ci-dessus. Cette phase a pour but la synthèse des données existantes, l'état des lieux et la définition de la démarche générale de l'étude. Cette première phase a été réalisée entre octobre 2023 et juin 2024.

La démarche poursuivie dans le cadre de la Phase 1 suit l'organigramme proposé par le SEn dans le cahier des charges de l'étude (Figure 1). Elle a permis d'aboutir à la définition de 5 lots d'études regroupant 21 captages au total. La démarche poursuivie au cours de la phase 1 ainsi que la synthèse des résultats obtenus sont détaillés dans le présent rapport. Les données relatives aux captages sélectionnés sont présentées sous forme de fiche à l'Annexe 1. Un aperçu des données brutes par captages est présenté en Annexe 2.

Figure 1: Organisation du mandat - phase 1 [1]



2 CONTEXTE DU PROJET

2.1 GÉOLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE

Le canton de Fribourg s'étend des Préalpes au sud jusqu'au plateau molassique au nord (bordé par le lac de Neuchâtel).

Les Préalpes sont constituées d'un empilement des nappes de charriage qui ont été coupées de leurs racines penniques. Ces déformations ont engendré des plis et des failles dans ces formations. Les types de roches rencontrées sont des calcaires, calcaires marneux, des marnes, des grès ou des flyschs. Les principaux aquifères se trouvent dans les parties gréseuses des flyschs et dans les calcaires fissurés ou karstiques. Ces derniers forment des synclinaux qui sont le siège d'importants réservoirs.

Devant les Préalpes se trouve **le plateau molassique**. Son épaisseur diminue en direction du Jura. Il s'agit de dépôts marins ou continentaux. Dans la partie nord du canton, on trouve la molasse d'eau douce inférieure (USM) qui est formée de roche variée, tel que des grès ou des poudingues mais aussi des grès fins, marneux et parfois calcaires. Dans la partie sud, la molasse marine supérieure (OMM) est quant à elle essentiellement gréseuse. Le plateau molassique peut être subdivisé en deux zones hydrogéologiques, à savoir (1) les aquifères profonds qui correspondent à des écoulements régionaux et (2) les aquifères superficiels, situés dans la partie supérieure de la molasse, en général altérée et au contact avec la couverture meuble.

Cette couverture meuble est le résultat d'érosion et de dépôts successifs survenus avant et pendant les deux dernières glaciations (Riss et Würm). L'épaisseur de ces formations peut atteindre plus de 100 m par endroit. Ces sédiments remplissent parfois d'anciennes vallées creusées dans la molasse. A leur contact se trouvent généralement des moraines de fonds surmontées par des séries glacio-lacustres.

Dans ces zones de **dépôts glaciaires** de fortes épaisseurs se trouvent d'importants aquifères dont le siège est généralement d'anciennes vallées ou des dépressions creusées par les glaciers.

Les vallées actuelles ont été creusées par les cours d'eau ayant traversé toutes les unités géologiques citées précédemment. Elles forment des **plaines alluviales** qui sont le siège d'aquifères parfois important.

La Figure 2 recense les aquifères principaux du canton de Fribourg. Ils sont différenciés entre les aquifères publics dont le débit exploitable est estimé à plus de 200 l/min et les aquifères non-publics dont le débit exploitable se situe entre 50 et 200 l/min.

2.2 CLIMAT

Les projections du climat futur sont basées sur trois scénarios d'émissions de gaz à effet de serre : RCP 2.6 (avec protection du climat), RCP 4.5 (avec protection modérée du climat) et RCP 8.5 (sans protection du climat). Dans cette 1ère phase d'étude, les analyses se concentrent sur les scénarios RCP 4.5 et 8.5 qui présentent le plus de différences avec la situation présente. Le scénario RCP 2.6 ne sera donc pas discuté dans la suite de ce rapport. Les comparaisons présentées ci-après sont effectuées par rapports aux moyennes 1981-2010 utilisées comme référence. Les données proviennent des rapports CH2018 [10] et hydroCH2018 ainsi que de la plateforme web associée [3].

2.2.1 Températures

Dans le canton de Fribourg, selon le scénario RCP 4.5, les températures moyennes annuelles augmenteront de 2 à 3°C à l'horizon 2085 (Figure 3). Les étés seront plus chauds et les hivers plus doux. Avec le scénario RCP 8.5, l'augmentation sera plus prononcée, les températures moyennes annuelles augmenteront de 3.5 à 5°C à l'horizon 2085 sur le canton (Figure 3). Les étés deviendront beaucoup plus chauds, avec des vagues de chaleur plus fréquentes et intenses, et les hivers seront beaucoup plus doux.

Figure 2: Principaux aquifères du canton de Fribourg [16]. Les aquifères identifiés en bleu sont publics ($Q > 200$ l/min) et en vert les non-publics ($50 < Q < 200$ l/min).

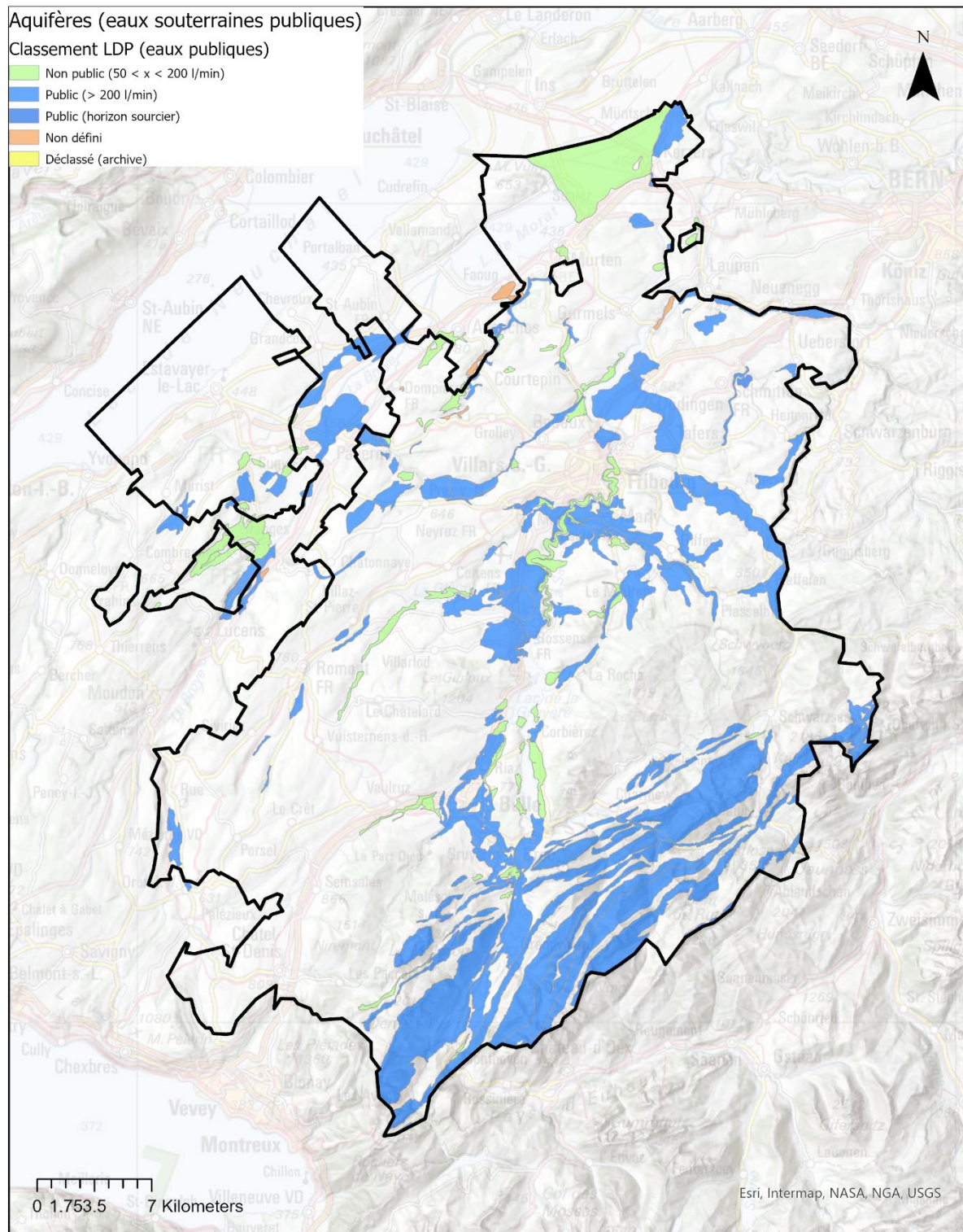
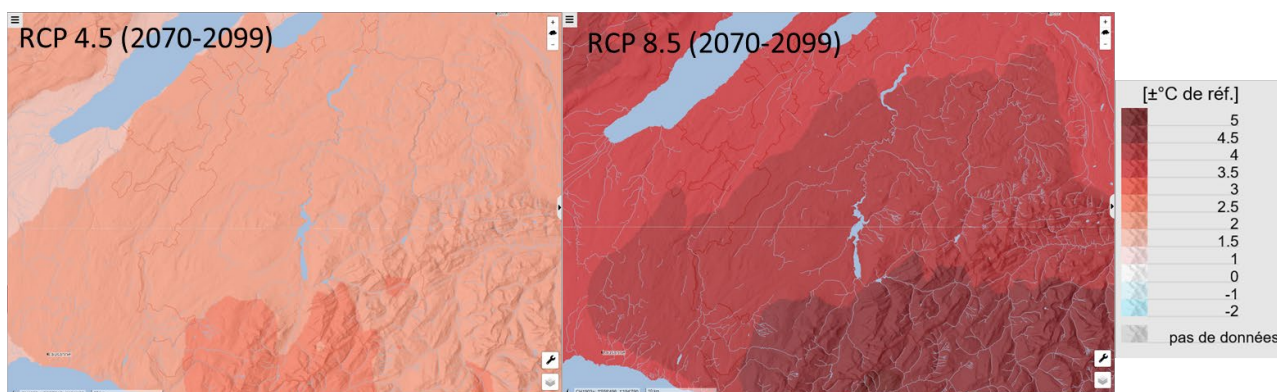


Figure 3 : Modifications des températures moyennes annuelles à l'horizon 2085 par rapport à la période de référence 1981–2010, pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. Les valeurs indiquées sont les médianes des simulations des modèles climatiques analysées (figures extraites de l'atlas web CH2018 [3] [7]).



2.2.2 Précipitations

Actuellement, les précipitations moyennes sur le canton sont comprises entre 900 et 2500 mm/an (moyennes 1981-2010) [3]. Les précipitations moyennes annuelles devraient rester relativement stables selon les deux scénarios RCP 4.5 et 8.5 (entre +5 et -5% en médiane pour les différents modèles de simulation comme illustré à la Figure 4) mais par contre la saisonnalité devrait changer (Figure 5 et Figure 6). De plus, pour les deux scénarios, les épisodes de précipitations extrêmes deviendront plus fréquents et plus intenses, avec des tendances plus marquées selon le scénario RCP 8.5.

Avec le scénario RCP 4.5, les hivers deviendront plus humides avec une augmentation des précipitations, tandis que les étés seront légèrement plus secs. Les scénarios prévoient, en médiane pour les différents modèles de simulation, une augmentation des précipitations hivernales de +10 à +20% et, en été, une baisse de -5 à -20% à l'horizon 2085 par rapport à la référence (Figure 5).

Avec le scénario RCP 8.5, les précipitations augmenteront en hiver, avec une transition plus marquée de la neige à la pluie à toutes les altitudes. Les précipitations diminueront fortement l'été, augmentant les risques de sécheresse. Les scénarios prévoient, en médiane pour les différents modèles de simulation, une augmentation des précipitations hivernales de +10 à +35% à l'horizon 2085 et, en été, une baisse de -20 à -35% à l'horizon 2085 par rapport à la référence (Figure 6).

Figure 4: Modifications des précipitations moyennes annuelles à l'horizon 2085 par rapport à la période de référence 1981–2010, pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. Les valeurs indiquées sont les médianes des simulations des modèles climatiques analysées (figures extraites de l'atlas web CH2018 [3] [7]). Les points bleus représentent les exutoires de bassins versants.

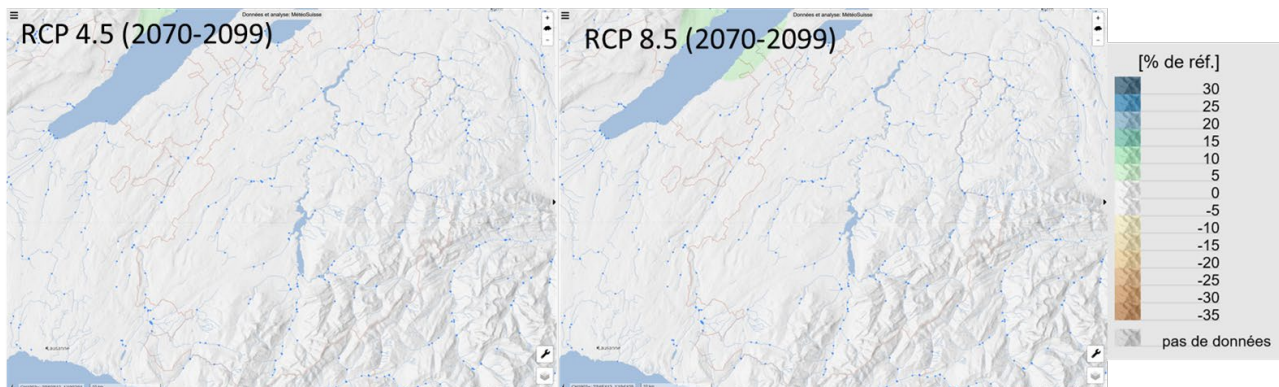


Figure 5 : Modifications des précipitations moyennes saisonnières à l'horizon 2085 (moyennes 2070-2099), par rapport à la période de référence 1981–2010, pour le scénario RCP 4.5. Les valeurs indiquées sont les médianes des simulations des modèles climatiques analysées (figures extraites de l'atlas web CH2018 [3] [7]). Les points bleus représentent les exutoires de bassins versants.

Précipitations moyennes - RCP 4.5 (2070-2099)

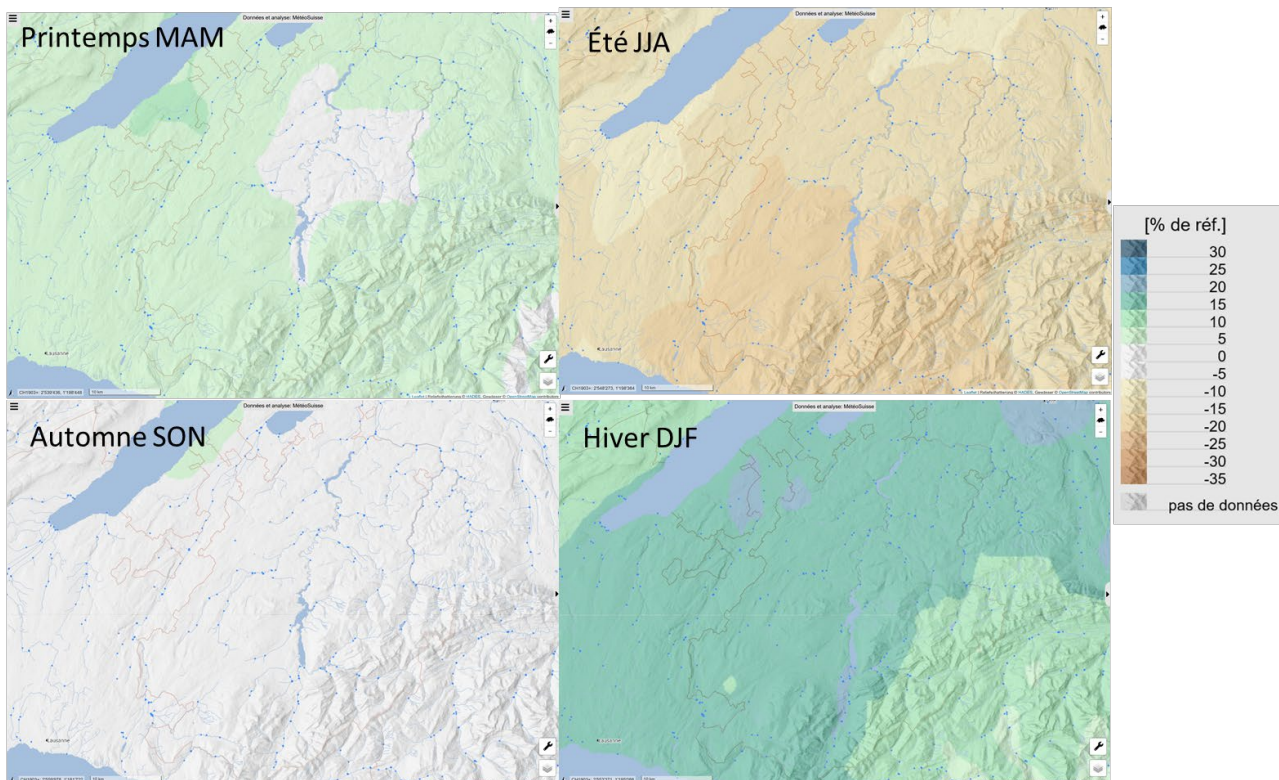
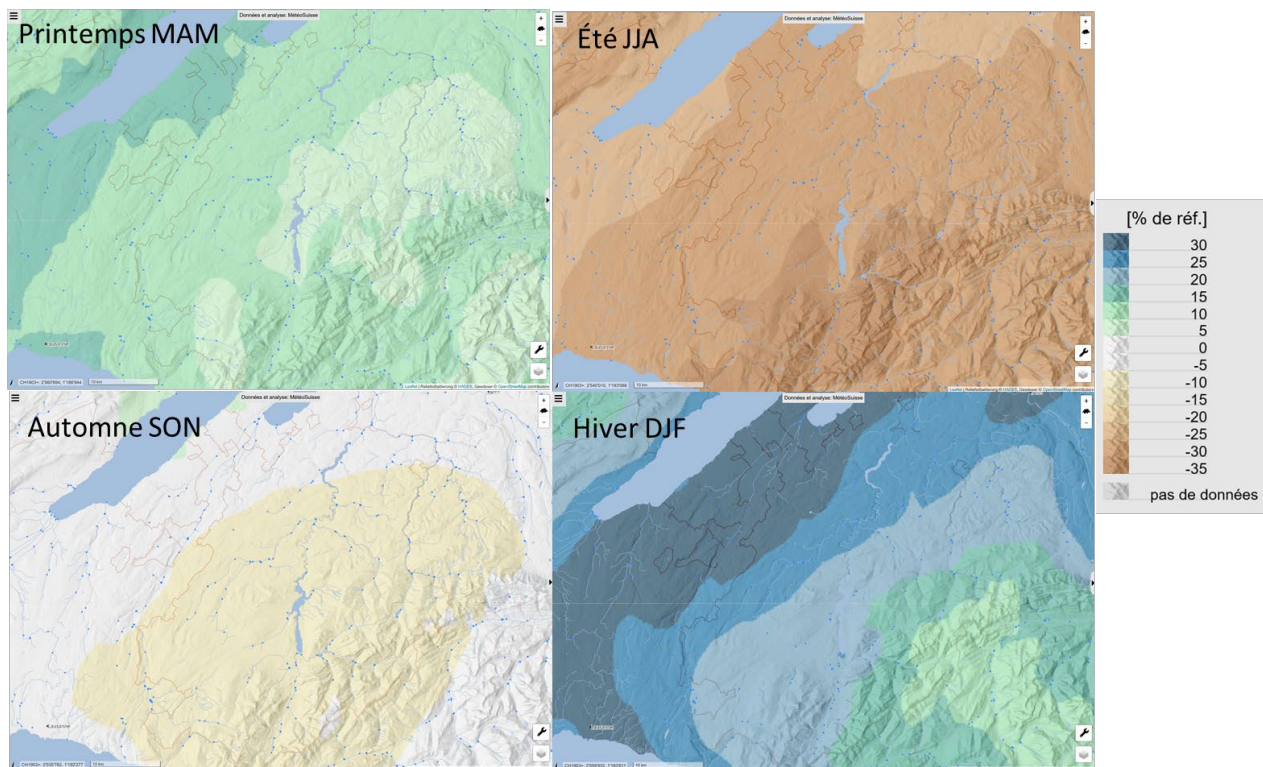


Figure 6: Modifications des précipitations moyennes saisonnières à l'horizon 2085 (moyennes 2070-2099), par rapport à la période de référence 1981–2010, pour le scénario RCP 8.5. Les valeurs indiquées sont les médianes des simulations des modèles climatiques analysées (figures extraites de l'atlas web CH2018 [3] [7]). Les points bleus représentent les exutoires de bassins versants.

Précipitations moyennes - RCP 8.5 (2070-2099)



2.2.3 Conséquences directes sur la neige et l'évapotranspiration

Neige

Actuellement, la partie sud-ouest du canton est enneigée l'hiver. La limite d'enneigement qui persiste en général se trouve autour de 1000-1200 m d'altitude (Figure 7). En hiver, sans atténuation du changement climatique (RCP 8.5), d'ici le milieu du siècle, l'isotherme du zéro degré moyen pourrait s'élever jusqu'à presque 1500 mètres au-dessus du niveau de la mer, contre 850 mètres aujourd'hui [3], ce qui réduit encore la proportion de neige dans les précipitations totales. L'ajout de nouvelle neige au manteau neigeux permanent commencera plus tard dans l'année et sera limité à des altitudes plus élevées. Moins de précipitations seront stockées dans le manteau neigeux. La présence et la persistance de la neige en fonction de l'altitude vont diminuer avec l'augmentation des températures hivernales (Figure 8).

La fonte des neiges commencera plus tôt au printemps. Les scénarios hydrologiques indiquent une diminution de la quantité annuelle moyenne d'eau stockée dans le manteau neigeux d'ici la fin du siècle de 78 % sans atténuation du changement climatique. Ces changements dans le manteau neigeux auront des effets significatifs sur les débits saisonniers des cours d'eau et des sources ainsi que sur les niveaux des eaux souterraines [10][11].

Figure 7 : Equivalent en eau de la neige moyenne pour le mois de mars pour la période de référence 1981-2010 [3] [8]. Les points bleus représentent les exutoires de bassins versants.

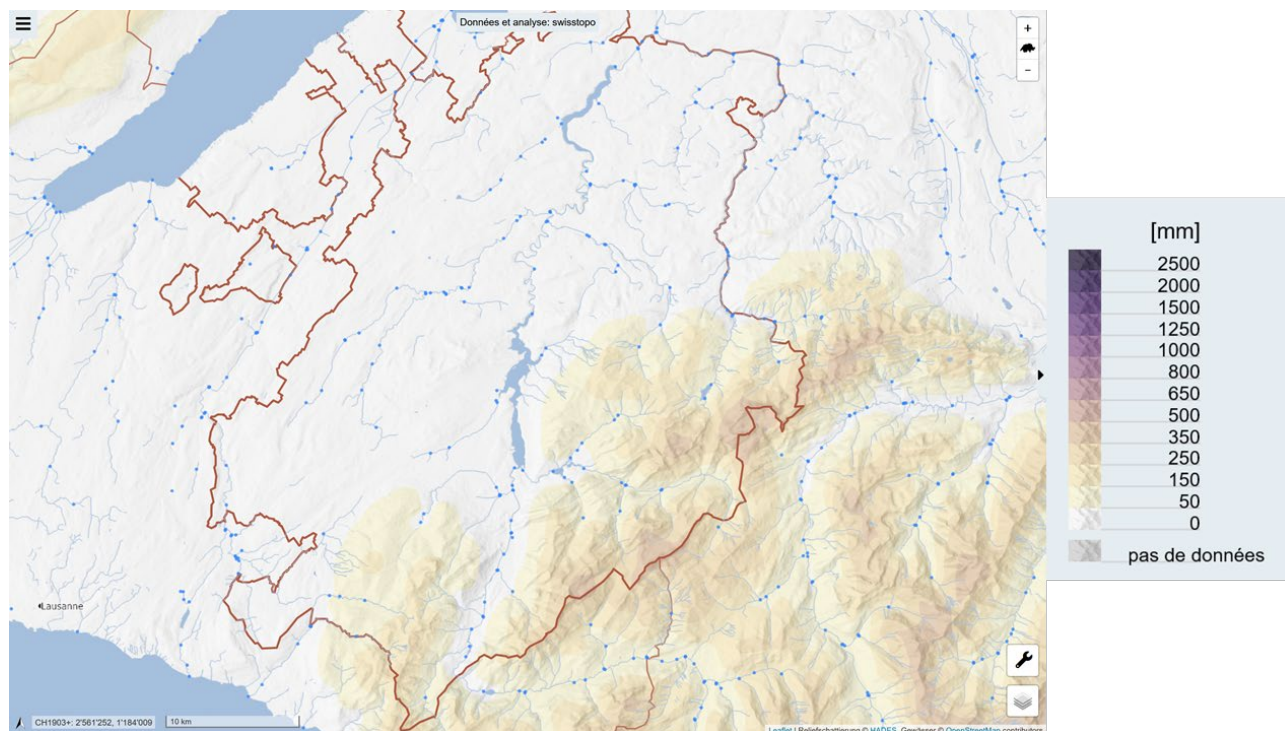
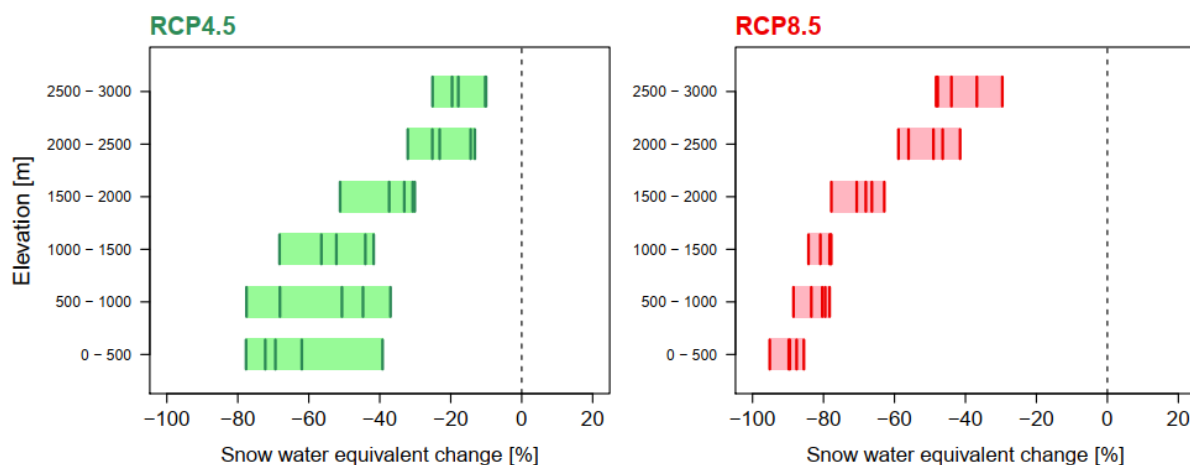


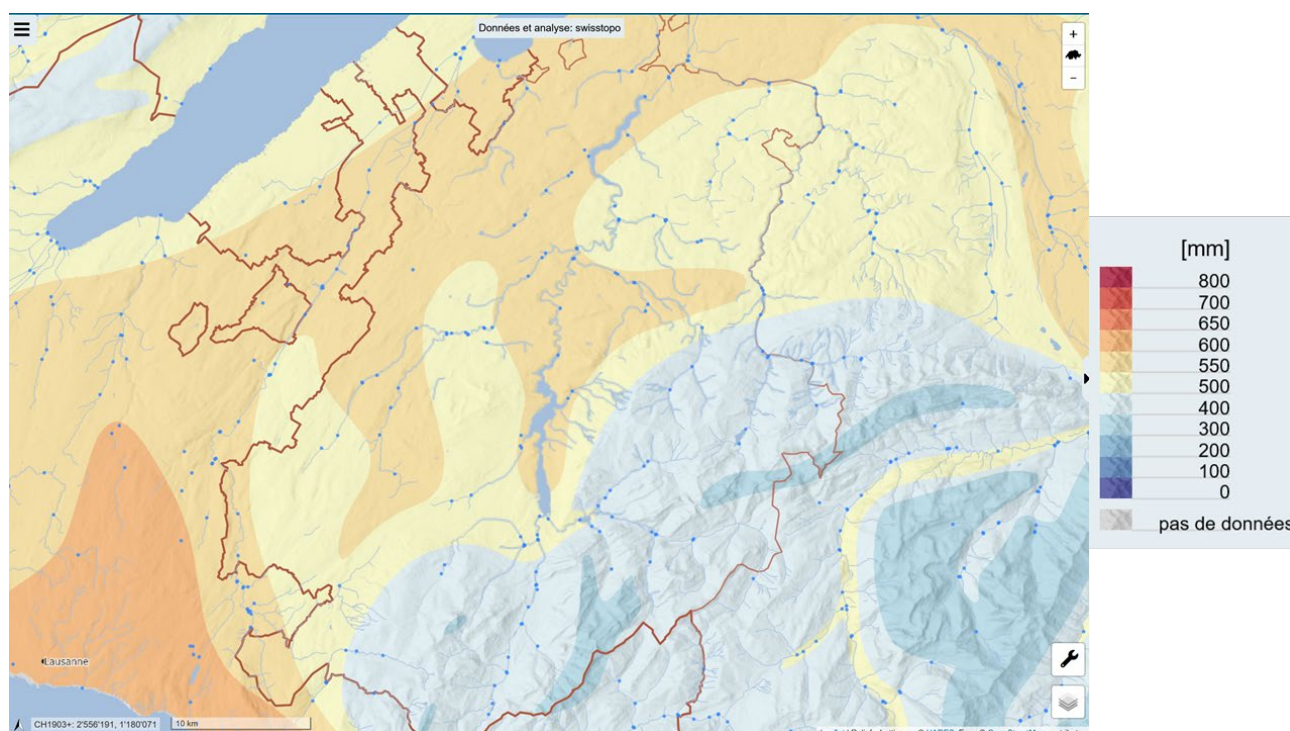
Figure 8 : Changement relatif de l'équivalent en eau de la neige moyenne de septembre à mai pour la période à l'horizon 2085 moyenné sur les classes d'altitude individuelles. À gauche : Scénario RCP 4.5 ; À droite : Scénario RCP 8.5. Les lignes verticales indiquent les signaux de changement des chaînes de modèles EURO-CORDEX sous-jacentes individuelles ; l'ombrage indique l'ensemble de la gamme de l'ensemble [8].



Evapotranspiration

Actuellement, l'évaporation sur le canton se situe entre 300 et 600 mm par an (Figure 9). Avec la hausse des températures, l'évaporation et l'évapotranspiration potentielle augmentent, c'est-à-dire l'évaporation et l'évapotranspiration maximales possibles avec une disponibilité illimitée d'eau. La manière dont l'évaporation et l'évapotranspiration à un endroit spécifique évoluent avec l'augmentation des températures dépend de la disponibilité locale en eau. Les scénarios hydrologiques prévoient une augmentation de l'évaporation et évapotranspiration moyennes d'ici la fin du siècle de 10 % sans atténuation du changement climatique [12]. Les changements futurs dans l'utilisation des sols ne sont pas encore couverts par les scénarios climatiques actuels. Les sols seront donc plus secs en été ce qui peut potentiellement réduire la recharge des eaux souterraines [3][15].

Figure 9: Evaporation moyenne annuelle pour la période 1973-1992 [3][9]. Les points bleus représentent les exutoires de bassins versants.



3 DÉMARCHE

3.1 DÉFINITION DES LOTS

Afin de définir les mesures W1.3 et W1.5, le canton a été découpé en différents lots. Dans un premier temps, ces lots d'étude ont été défini selon les régions géographiques définies dans le rapport Ecosfera 2023 qui sont principalement définies en fonction de l'altitude et de l'occupation des terres [2]. Ces régions ont ensuite été affinées en tenant compte du contexte géologique [17] et des types d'aquifères cartographiés sur la base de la géologie 1 :500'000 [17]. Cette analyse a été réalisée par un projet SIG combinant ces différentes informations. Le contexte géologique a permis de différencier les régions du plateau composées principalement de moraine ou de molasse ainsi que les Préalpes karstiques (calcaires) et fissurées. La distinction entre les grands types d'aquifères a permis de différencier les zones contenant plutôt des aquifères situés en roches fissurées de la molasse et celles contenant plutôt des dépôts meubles (alluvions et moraine). Les différentes sources de données utilisées sont présentées à la Figure 10. Suite à cette analyse, cinq lots d'étude ont été définis à l'échelle du canton (Figure 11) :

- Lot 1 : Préalpes karstiques
- Lot 2 : Préalpes fissurées
- Lot 3 : Plateau morainique
- Lot 4 : Plaine alluviale
- Lot 5 : Plateau molassique

3.2 SÉLECTION DES CAPTAGES

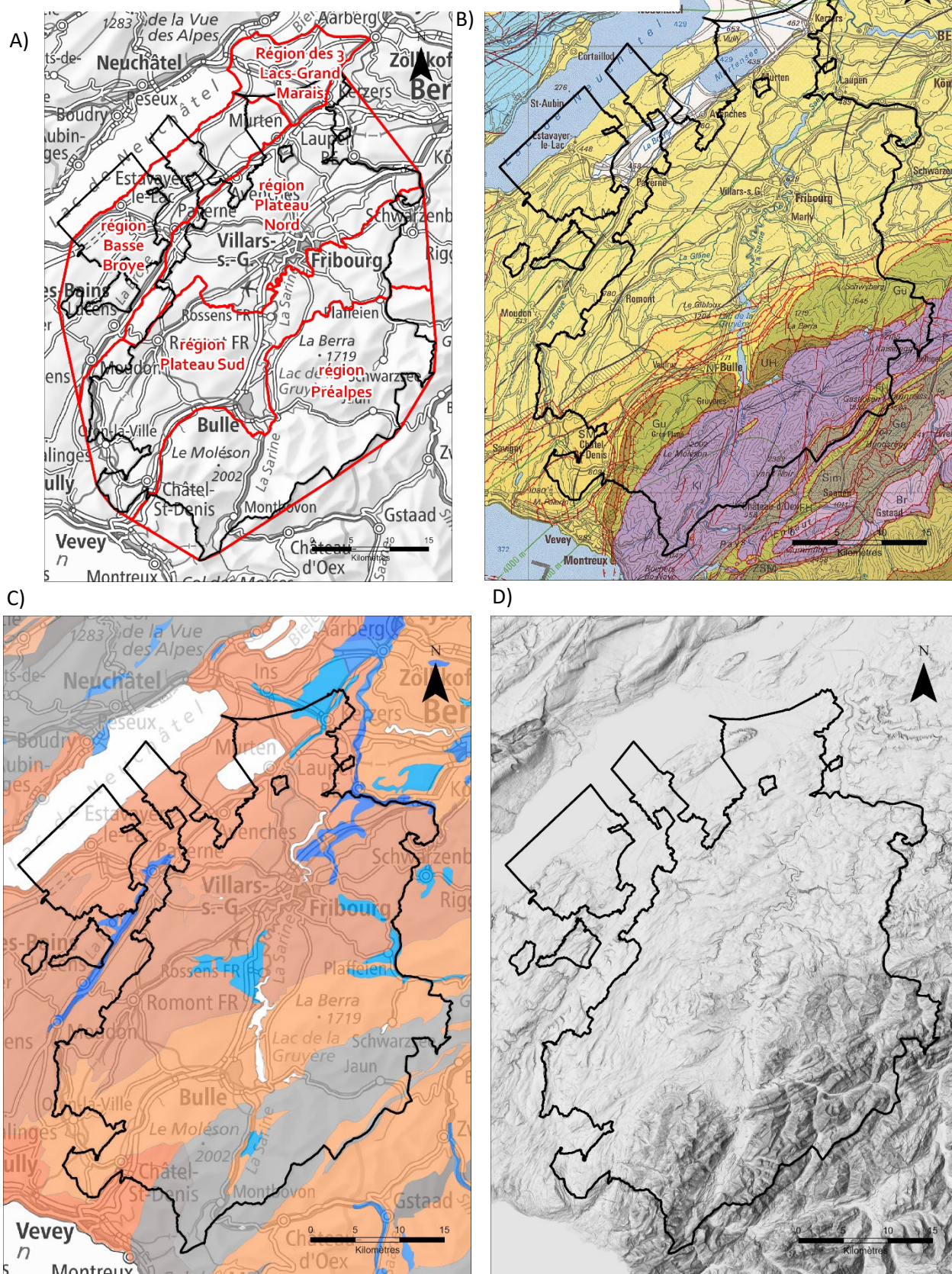
Les captages situés dans ces lots ont ensuite été sélectionnés pour couvrir une vaste palette de contextes géologiques, hydrogéologiques et de classes d'altitudes afin d'obtenir un échantillon le plus représentatif possible des différents contextes du canton. La région du Grand Marais (Grosses Moos) n'a pas été considéré dans l'étude car elle fait actuellement l'objet d'une étude PACES sur mandat du SEn. Cette sélection a été opérée sur la base des données disponibles, sans prise de connaissance détaillée de l'environnement de chaque captage et des rapports associés.

L'importance du captage en termes de débit a été considérée de façon secondaire car il nous paraissait plus important de couvrir des contextes climatiques et géologiques variés plutôt que d'orienter l'étude uniquement sur les captages stratégiques du canton. Ces derniers se concentrent principalement dans des aquifères poreux (plaine alluviale et moraine) de plaine et karstiques des Préalpes.

Au terme de cette sélection, 30 captages ont été retenus pour la suite de l'étude. Ils ont été répartis entre les captages prioritaires pour l'étude (21) et les captages secondaires (9) pouvant permettre le remplacement d'un captage prioritaire (Figure 11). Dans un second temps, deux captages karstiques supplémentaires ont également été retenus par le canton. Le Tableau 1 présente l'altitude et les débits moyens des captages retenus dans chaque lot [16].

Les lots d'étude et la sélection des captages ont ensuite été présentés au SEn lors d'une séance de validation (08.02.2024), conformément au cahier des charges. Suite à cette séance, la liste a été révisée et 21 captages ont été retenus pour la suite de l'étude. La sélection comporte 10 puits et 11 sources (ou ensemble de sources), répartis sur l'ensemble du canton entre 475 m et 1610 m d'altitude, dans des contextes hydrogéologiques variés et avec différentes occupations du territoire (régions urbanisées, habitats dispersés pâturages, zones de prairies et forêt). Suite à la présentation de la première version du rapport de la phase 1 (octobre 2024), deux captages karstiques supplémentaires ont été intégré au lot 1.

Figure 10: Données à la base de l'analyse SIG. A) Régions issu du rapport Ecosfera [2], B) Carte géologique [5], C) Carte des masses d'eau [5] D) modèle d'altitude Swissalti 3D [5].



Captages sélectionnés

Type de captage

- Puits
- Source

Captages non sélectionnés

Lots

- Plaine alluviale
- Plateau molassique
- Plateau morainique
- Préalpes fissurées
- Préalpes karstiques

The map displays the Villars-s/G region with various geological lots and water capture points. The lots are color-coded: Plaine alluviale (light pink), Plateau molassique (orange), Plateau morainique (green), Préalpes fissurées (purple), and Préalpes karstiques (blue). Water capture points are marked with green squares (Puits) and green circles (Source). Red triangles indicate non-selected capture points. The map includes a scale bar (0 to 10 Kilomètres) and a north arrow. Key locations labeled include Villars-s/G, Fribourg, Romont FR, Moudon, Bulle, and Montbovon. The map also shows the Lac de la Gruyère and the La Sarine river.

Tableau 1 : Caractéristiques des captages étudiés lors de la phase 1. Les captages prioritaires sont numérotés de 1 à 23. Les captages secondaires (non retenus pour la suite de l'étude) sont numérotés de A à I.

Numéro	Nom	Type de captage	Altitude (m)	Débit [l/min]
Lot 1 - Préalpes karstiques				
1	En Lys	Puits	1610	60
2	Villard-Bony Supérieur	Sources	1415	1666
3	Fin de la Porta P1	Puits	723	3500
4	Les Marais 1	Sources	1060	2100 - 2800
H	Breillenaz	Sources	970	1000 - 1157
G	Pont du Roc	Puits	882	7780
20	Frassettes	Sources	950	1500-2000
22	Sandli	Sources	1086	1830-7615
23	Kappelboden	Sources	1020	40-500
Lot 2 - Préalpes fissurées				
5	La Châtelaine	Sources	950	70
6	Käserli	Sources	1105	600
E	Zanglisboden	Sources	1027	500
Lot 3 - Plateau morainique				
F	Fin de Plan	Puits	720	600 - 750
7	Tuffière 5	Sources	617	1125 - 9846
D	Moulin à Bentz	Puits	736	5000
8	Hoffmatt Puits 1	Puits	760	3000
15	Danaïdes	Puits	480	210
16	Hänisried	Puits	498	600 - 750
Lot 4 - Plaine alluviale				
I	Les Narcisses	Puits artésien	815	440 - 550
9	En Cudré	Puits	680	n.m.
11	Les Ouches	Puits	475	80 - 100
12	Horia	Puits	595	1440 - 1800
B	Le Moulin	Puits	470	320
13	Flamatt	Puits	535	2500
Lot 5 - Plateau molassique				
14	Galmacher	Sources	530	55 - 410
C	Michaud n°3	Sources	550	210
17	La Carnroche 3	Sources	500	130
18	Vau de Praz chambre 14	Sources	544	40
A	Franzosen-Holz / Tuschmatt 1	Sources	510	250
10	Les Mettraux 2	Puits	825	150 - 450
19	Hangbüel	Sources	748	94-774
21	Closels	Sources	645	250-280

La suite de l'étude a consisté en l'inventaire des données disponibles pour chacun des captages. Les sources de données investiguées sont les suivantes :

- Rapport de délimitation des zones de protection ; Exploitants des captages
- Rapport PACES (Projets d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines) ; SEn
- Rapport de délimitation des aires d'alimentation (Zu) ; SEn
- Base de données ESOUTQual (suivi de la qualité des eaux souterraines du canton de 2004-2023) ; SEn
- Base de données projet de réduction de nitrate (suivi des débits / niveaux et concentrations en nitrates de captages concernés) ; SEn
- Réseau NAQUA QUANT (Observation nationale de l'état actuel et l'évolution de la quantité des eaux souterraines) ; OFEV
- Base de données NAQUA SPEZ et TREND (Observation nationale de l'état actuel et l'évolution de la qualité des eaux souterraines) ; OFEV

Une fois le premier inventaire de données disponibles réalisé, un contact a été pris avec l'exploitant de chaque captage pour organiser une visite de site et faire le point sur les données de surveillance du captage à disposition.

Les piézomètres disponibles à proximité des puits ont été répertoriés sur plan puis repérés sur le terrain. Des slug tests ont ensuite été réalisés pour vérifier l'état des piézomètres retenus pour l'étude et leur connexion avec l'aquifère. Les caractéristiques des piézomètres sont présentées dans les fiches de captage correspondant. Les résultats des slug tests et leurs interprétations sont présentés dans l'Annexe 3.

Sur la base des visites de terrain, certains choix de captages ont été modifiés pour correspondre aux possibilités de monitoring déjà installées. Par exemple, la source de Käserli est mélangée avec deux autres sources avant d'arriver à la station UV équipée d'un débitmètre. Il est important de noter ici que ces mesures de débit sur plusieurs sources ajoutent de la complexité à l'utilisation des données, notamment concernant le risque de fausser l'interprétation des débits mesurés si l'une des sources est sortie temporairement du réseau et que cette information n'est pas disponible avec le jeu de données ou encore si les sources ont des comportements hydrogéologiques différents.

L'ensemble des données disponibles et des caractéristiques par captage a ensuite été compilé dans une fiche. Ces fiches sont disponibles en Annexe 1 de ce rapport.

3.3 CONTEXTE CLIMATIQUE

Dans un premier temps, nous avons défini les régimes hydrologiques du canton et leurs évolutions attendues dans le contexte du changement climatique en se basant sur les études existantes. Dans un second temps, nous extrapolons les impacts attendus de ces régimes sur les eaux souterraines en se basant sur la littérature existante. Cette analyse permettra ensuite de synthétiser les tendances attendues sur les aquifères principaux et les captages sélectionnés.

3.3.1 Conséquences sur l'hydrologie

Les études Ecosfera [2] et hydro-CH2018 [3] permettent d'obtenir des simulations de l'évolution des débits des cours d'eau selon différents scénarios climatiques. Sur - ou en partie sur - le canton de Fribourg, neuf bassins versants, de régimes hydrologiques représentatifs du canton, ont été modélisés (Figure 12 et Figure 13).

Les trois régimes principaux rencontrés sur le canton sont : nival (régime dominé par la fonte de la neige), pluvial (peu d'influence de la neige, dominé par la pluie) et nivo-pluvial (intermédiaire, influencé par la fonte de la neige et la pluie). La classe de régime hydrologique dépend en grande partie de l'influence de la neige et donc de l'altitude des bassins. Avec le changement climatique, le débit moyen annuel diminue et la saisonnalité est influencée par l'évolution des précipitations, la réduction de la quantité de neige et

l'augmentation de l'évapotranspiration. En moyenne, sur le canton, les tendances saisonnières à prévoir sont décrites ci-dessous.

Pour le régime pluvial (bassins 1 à 6) :

Ce régime est dominé par les précipitations sous forme de pluies et est peu influencé par la neige.

RCP 4.5 : augmentation des débits hivernaux en raison de la hausse des précipitations hivernales et réduction modérée des débits estivaux, car les précipitations diminuent légèrement et l'évapotranspiration augmente. Les débits étant parfois déjà assez bas en périodes estivales, d'avantage de sécheresses pourront se produire. Peu de changement pour les débits automnaux et printaniers.

RCP 8.5 : augmentation significative des débits hivernaux en raison d'une hausse plus marquée des précipitations hivernales. Réduction substantielle des débits estivaux, avec des baisses pouvant atteindre entre 35 et 60% en moyenne en août sur les bassins modélisés (Figure 13) en raison de la diminution des précipitations estivales et de l'augmentation de l'évapotranspiration, les débits étant parfois déjà assez bas en périodes estivales, encore d'avantage de sécheresses pourront se produire. Peu de changement pour les débits automnaux et printaniers.

Pour le régime nivo-pluvial (bassins 7 et 8) :

Ce régime est caractérisé par une combinaison de précipitations sous forme de neige en hiver et de pluie le reste de l'année.

RCP 4.5 : augmentation des débits hivernaux en raison de la hausse des précipitations hivernales et de l'augmentation de la proportion de précipitations sous forme de pluie plutôt que de neige. Réduction modérée des débits estivaux car les précipitations diminuent légèrement et l'évapotranspiration augmente. Au printemps, fonte des neiges plus précoce, provoquant un pic de débit printanier plus précoce et ainsi une diminution du débit en fin de printemps. Légère diminution des débits en automne.

RCP 8.5 : augmentation significative des débits hivernaux en raison d'une hausse plus marquée des précipitations hivernales et de l'augmentation significative des précipitations sous forme de pluie. Réduction substantielle des débits estivaux, avec des baisses comprises entre 50 et 60% en moyenne en août sur les bassins modélisés (Figure 13) en raison de la diminution des précipitations estivales et de l'augmentation de l'évapotranspiration. Au printemps, fonte des neiges encore plus précoce, provoquant un pic de débit printanier plus précoce et une diminution plus importante du débit en fin de printemps. Réductions plus prononcées des débits en automne.

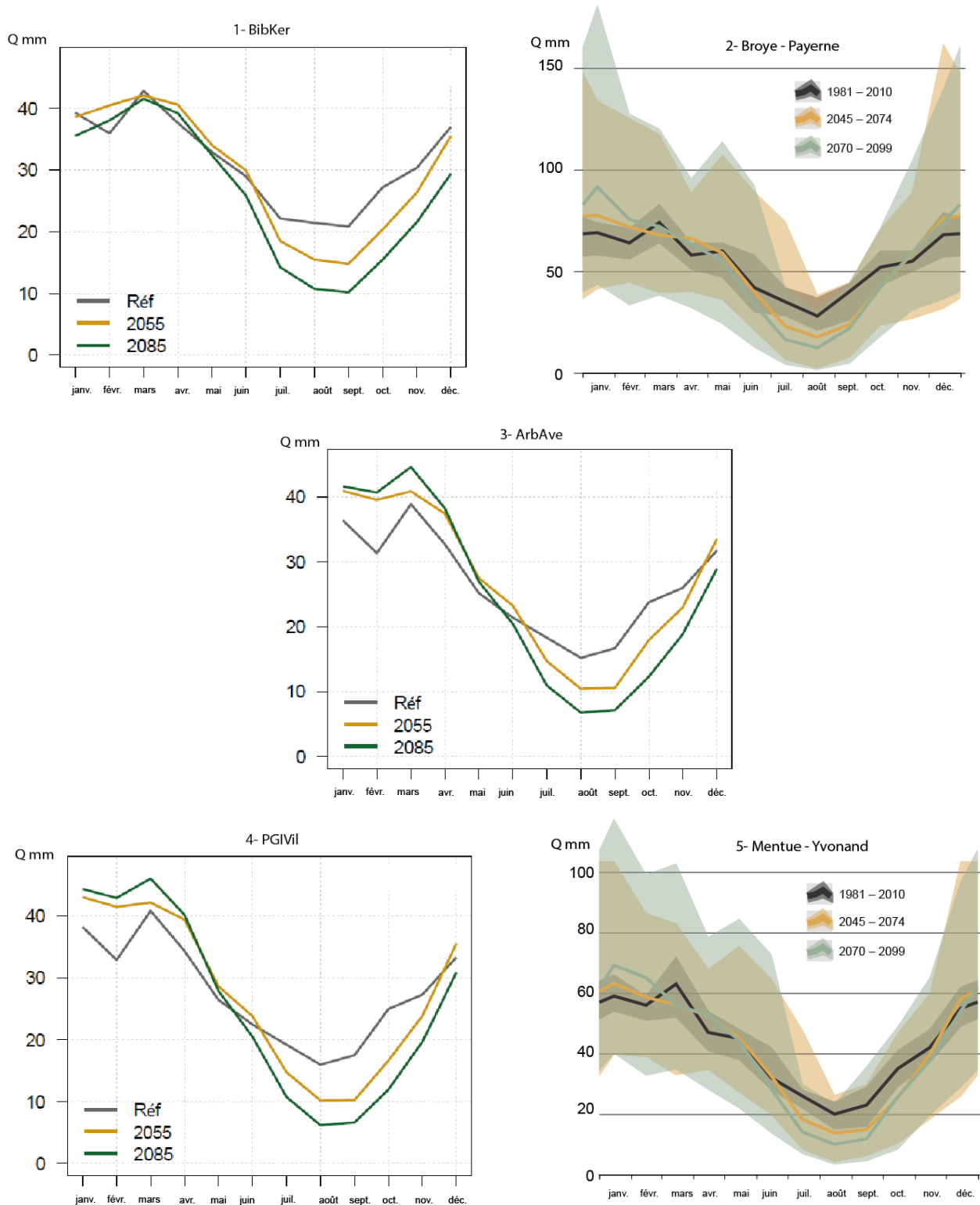
Pour le régime nival (bassin 9) :

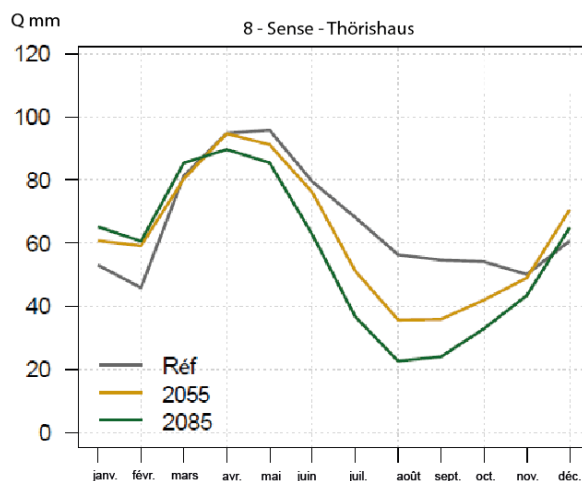
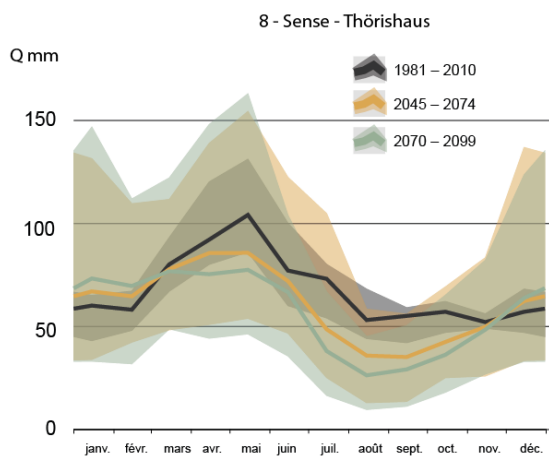
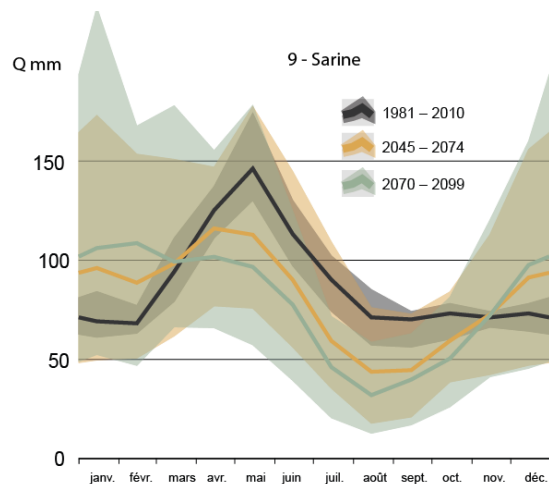
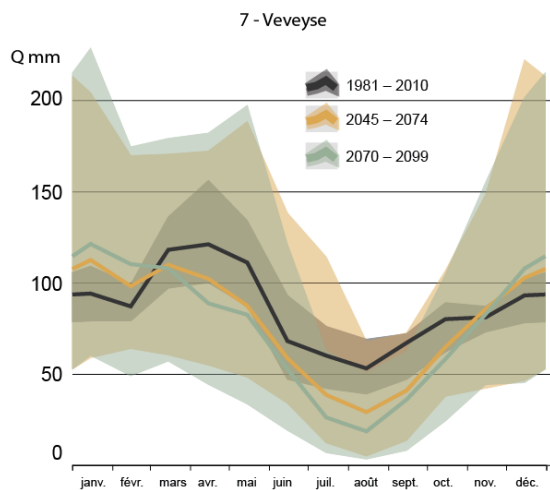
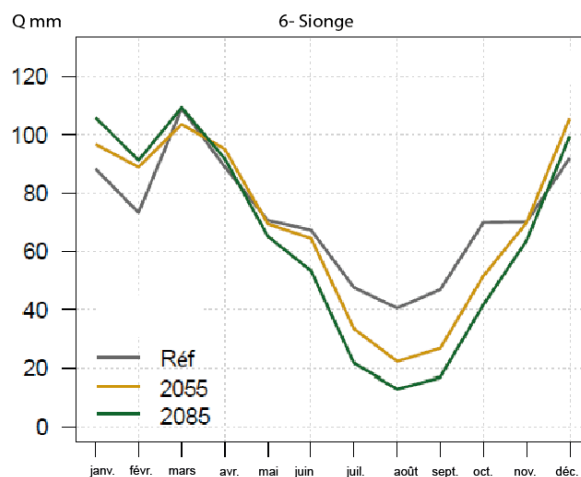
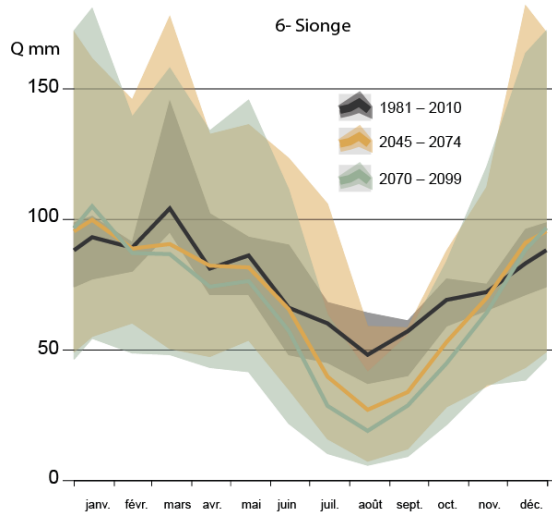
Ce régime est dominé par les précipitations sous forme de neige en hiver et par la fonte des neiges au printemps et en début d'été.

RCP 4.5 : augmentation des débits hivernaux en raison de la hausse des précipitations hivernales et de l'augmentation de la proportion de précipitations sous forme de pluie plutôt que de neige. Réduction des débits estivaux car la fonte est plus précoce, les précipitations diminuent légèrement et l'évapotranspiration augmente. Au printemps et début d'été, la fonte des neiges plus précoce provoque un pic de débit printanier plus précoce. Légère diminution des débits en automne.

RCP 8.5 : augmentation significative des débits hivernaux en raison d'une hausse plus marquée des précipitations hivernales et de l'augmentation significative des précipitations sous forme de pluie. Réduction substantielle des débits estivaux, avec des baisses pouvant atteindre 60% en moyenne en août sur le bassin modélisé (Figure 13) en raison de la fonte de neige plus précoce, de la diminution des précipitations estivales et de l'augmentation de l'évapotranspiration. Au printemps, fonte des neiges encore plus précoce, provoquant un pic de débit printanier plus précoce. Réductions plus prononcées des débits en automne.

Figure 13. Projections d'évolution des débits saisonniers dans le canton de fribourg avec le scénario RCP 8.5 (moyennes mensuelles sur 30 ans); simulations Ecosfera [2] et HydroCH2018 [4][6] (les bassins 6 et 8 ont été modélisés dans les deux études). Les régimes hydrologiques sont de type pluvial (bassins 1 à 6), nivo-pluvial (bassins 7 et 8) et nival (bassin 9). Les marges transparentes représentent les intervalles de confiance définis dans [6].





3.3.2 Conséquences pour l'hydrogéologie

De manière générale, les eaux souterraines réagissent plus lentement et de manière plus inertielle que les cours d'eau aux changements climatiques. Les aquifères seront donc, en proportion relative, moins impactés que les cours mais potentiellement de manière plus durable.

Les données d'entrée des systèmes (précipitations et température) étant les mêmes, on s'attend à ce que les tendances à long terme suivent en général une tendance similaire au sein d'un même régime hydrologique. Cependant, la complexité des systèmes d'eau souterraine et le manque d'information rendent difficile l'évaluation de l'évolution des niveaux et débits des eaux souterraines. On s'attend à ce que les changements prévus de la température et des précipitations influencent les niveaux d'eau et les débits souterrains futurs. Cependant, l'ampleur et même la direction moyenne annuelle du changement ne sont pas claires. L'analyse décrite ci-après est basée principalement sur les rapports HydroCH2018 (et les publications des études associées) [3][4][6][7][8][9] et BRGM 2018 [15] ainsi que sur la revue de littérature sur les impacts du changement climatique sur les eaux souterraines [10].

Evolution de la recharge

La recharge des eaux souterraines dépend d'un ensemble complexe de critères comme, entre autres, les propriétés du sol, les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères, la quantité d'eau disponible (précipitations, fonte des neiges, eaux de surface), l'occupation des sols etc. La saisonnalité de la recharge et son évolution dans le contexte de changement climatique dépend du régime hydrogéologique et donc de l'altitude à laquelle elle a lieu.

En régime pluvial : la recharge se produit principalement par l'infiltration directe des précipitations et l'infiltration de l'eau des rivières. La recharge devient plus concentrée en hiver et au printemps, tandis qu'elle diminue significativement en été et en automne. Cela entraînera une saisonnalité accrue avec, en été, une diminution de la recharge surtout dans les sols très perméables et, en automne, une recharge qui commence plus tard à cause d'un déficit hydrique estival plus important et d'une évapotranspiration plus élevée. En hiver et au printemps, les précipitations plus abondantes n'entraînent une augmentation de la recharge que pour des sols suffisamment perméables et une quantité de précipitations élevée.

En régime pluvio-nival : la recharge provient à la fois des précipitations et de la fonte des neiges. Avec le changement climatique, la distribution saisonnière se déplace. La recharge en hiver devient plus importante en raison d'une période de couverture neigeuse plus courte et davantage d'événements de fonte. Par contre la recharge diminue en été et au début de l'automne en raison de l'augmentation de l'évapotranspiration et du déficit hydrique des sols.

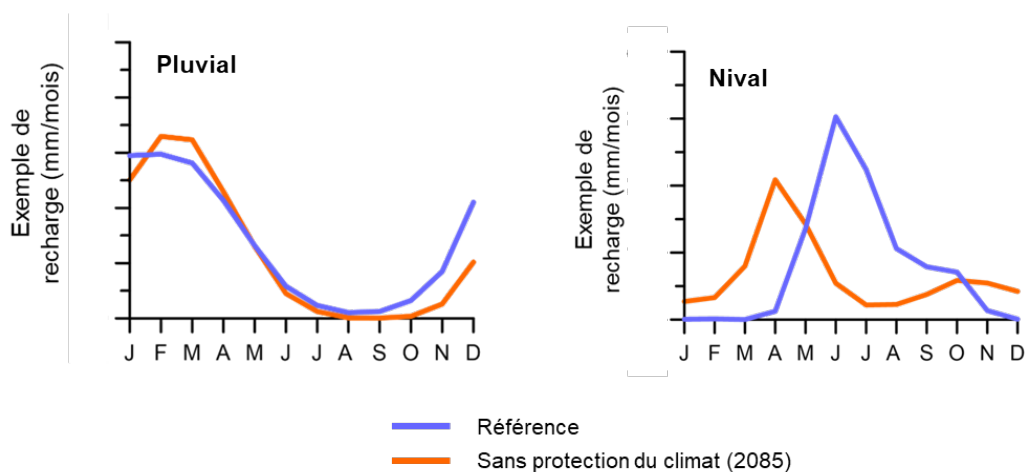
En régime nival : la recharge se fait principalement par la fonte des neiges, avec une période prolongée sans recharge pendant l'hiver. Avec le changement climatique, la période hivernale sans recharge devient plus courte et la fonte des neiges se termine plus tôt dans l'année entraînant un pic de recharge plus tôt. La part de recharge par les précipitations augmente l'hiver. L'été et l'automne la recharge diminue en raison d'une évapotranspiration plus élevée.

La recharge des eaux souterraines par infiltration de l'eau des rivières tend elle à devenir plus irrégulière à l'échelle saisonnière en régime pluvial. Pour les altitudes plus élevées qui ont actuellement une période d'étiage l'hiver, la recharge des eaux souterraines par infiltration de l'eau des rivières deviendra plus régulière.

Ainsi, à l'avenir, les régimes pluvial et pluvio-nival auront une plus grande saisonnalité dans la recharge avec des périodes de recharge plus courtes mais plus intenses en hiver, tandis que le régime nival présentera une distribution qui tend à s'homogénéiser avec davantage de recharge en hiver et moins en été en raison de la réduction de la neige, comme illustré en Figure 14. Un assèchement des sols du fait d'une augmentation de

l'évapotranspiration, contrôlée par l'augmentation de température pourrait conduire à une diminution plus importante de la recharge l'été. L'évolution de la recharge moyenne annuelle, et l'évolution piézométrique qui s'en suit, dépendra de si la baisse attendue l'été est compensée par l'augmentation de la recharge l'hiver.

Figure 14. Exemples d'évolution de recharge pour un régime pluvial et un régime nival selon un scénario RCP 8.5 [5].



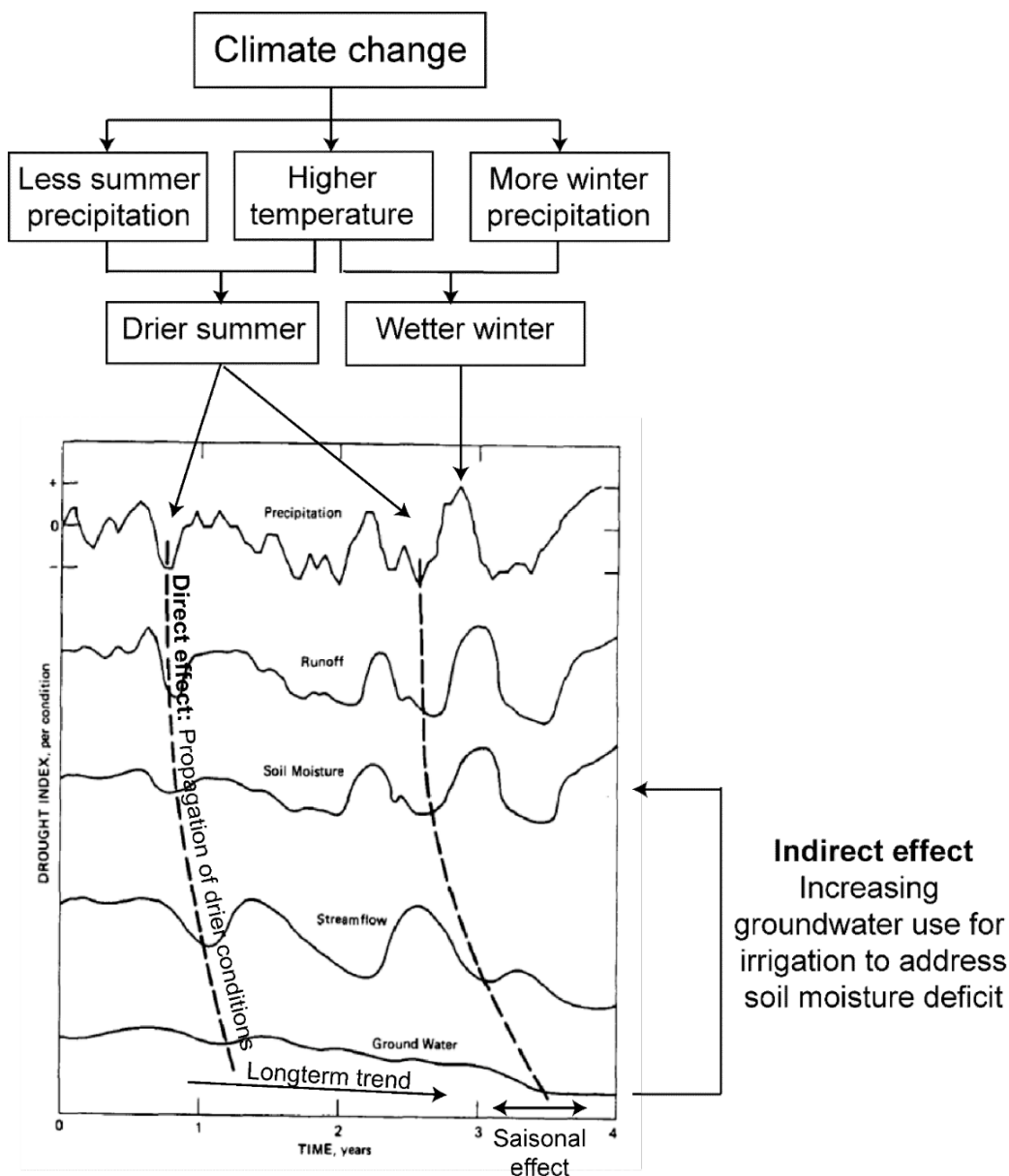
Réponse des aquifères aux changements de recharge

Les réponses des aquifères sont complexes et chaque aquifère aura sa propre réactivité qui contrôle sa réponse aux changements et qui dépend de ses caractéristiques hydrogéologiques, de ses connexions hydrologiques et de sa taille. Par conséquent, pour identifier la réponse des aquifères aux changements, il est nécessaire d'avoir des données spécifiques liées aux fonctionnements hydrogéologiques des aquifères.

De manière générale, un aquifère plus réactif sera plus sensible à une sécheresse ponctuelle mais pourra retrouver plus vite son état d'équilibre. Un aquifère peu réactif sera, quant à lui, moins sensible à une sécheresse ponctuelle mais à la recharge moyenne annuelle ou pluriannuelle, il réagira ainsi plus tardivement de manière moins prononcée à une sécheresse mais il sera aussi moins résilient et mettra plus de temps à retrouver un état d'équilibre qu'un aquifère réactif.

Lors de l'évaluation des implications du changement climatique sur les eaux souterraines, il est important de ne pas seulement considérer dans quelle mesure les niveaux d'eau peuvent être maintenus (fiabilité), mais aussi la rapidité avec laquelle ils se rétablissent après des baisses significatives (résilience). Les aquifères réagiront avec un certain délai et intensité aux changements de recharge annoncés selon l'altitude et en fonction de leur réactivité. On peut classer les aquifères selon les 3 types principaux : les aquifères poreux, les aquifères fissurés, les aquifères karstiques et trois types de fonctionnements hydrogéologiques : libre et captifs ou semi-captifs.

Figure 15. Illustration schématique de la façon dont les conditions estivales plus sèches et hivernales plus humides se propagent dans les différents systèmes hydrologiques [10].



Les aquifères libres

- **poreux** ont en général une forte capacité de stockage et bonne conductivité hydraulique. Cette capacité de stockage élevée peut aider à modérer les fluctuations des niveaux d'eau en période de sécheresse. Ils sont parfois aussi rechargés par les eaux de surface, notamment dans le cas d'aquifères alluviaux. Ils ont une réactivité variable pouvant aller de faible à élevée.
- **fissurés** ont une conductivité hydraulique qui dépend de l'extension et de l'interconnexion des fissures et une capacité de stockage souvent plus limitée. Ils ont une réactivité variable pouvant aller de faible à élevée.
- **karstiques** réagissent très rapidement aux précipitations, avec des fluctuations rapides du niveau d'eau. Ces aquifères sont aussi très vulnérables à la pollution en raison de la rapidité d'infiltration et de la faible filtration naturelle. Ils ont en général une réactivité élevée.

Les aquifères semi-confinés ou confinés ont une recharge généralement lente et indirecte. On s'attend à peu de fluctuations rapides et ainsi une réactivité plutôt modérée. Les eaux de ces nappes se renouvellent lentement : les eaux de pluie peuvent mettre plusieurs mois à plusieurs milliers d'années pour atteindre les nappes captives. Le niveau piézométrique de ces nappes est souvent stable mais peut se retrouver fortement influencé par les prélèvements.

De plus, la baisse du niveau piézométrique n'est pas homogène au sein des aquifères. En effet, l'eau contenue dans les nappes s'écoule. Lorsque les nappes sont libres, cette eau rejoint souvent les points bas où se situent les rivières et sources, qui sont donc marqués par une faible évolution du niveau piézométrique. A l'inverse, les zones situées plus en amont subissent une fluctuation de niveau piézométrique plus marquée. Lorsque les nappes sont captives, c'est-à-dire lorsqu'elles sont séparées de la surface par au moins une couche quasi-imperméable, l'évolution du niveau piézométrique dépend principalement des caractéristiques de l'aquifère.

Par ailleurs, certains aquifères vont pouvoir compenser en partie la diminution de la recharge due aux précipitations. Notamment les aquifères alluviaux dont une partie importante de la recharge peut provenir des rivières. Dans ces conditions, les pertes en rivières pourraient compenser en partie la baisse de la recharge par les pluies. Les débits des sources suivent les fluctuations de niveaux d'eaux des aquifères.

Evolution de la qualité

L'évolution de la qualité des eaux souterraines sous l'effet du changement climatique présente plusieurs aspects clés décrits ci-dessous. Cependant, l'éventail des changements possibles est large et chaque cas doit être étudié individuellement sur la base des données de terrain. Le changement climatique peut influencer la qualité des eaux souterraines en modifiant la composition de l'eau de recharge et/ou en altérant les ratios de mélange des eaux de différentes compositions (par exemple, en raison de la modification de la quantité d'eau de rivière infiltrée) ainsi qu'en modifiant les équilibres chimiques (température, conditions redox, etc.).

Changement de la température des eaux souterraines

Dans les zones dominées par la recharge directe, l'augmentation de la température de l'air devrait se propager aux eaux souterraines. Toutefois, si l'infiltration de l'eau des rivières est un mécanisme de recharge dominant, la température des eaux souterraines pourrait diminuer en raison d'une fraction plus élevée de recharge pendant l'hiver. Aussi, d'autres facteurs influencent les températures des eaux souterraines, notamment la dissipation de chaleur des infrastructures souterraines et l'utilisation de l'énergie géothermique.

Lessivage des nitrates

Après des périodes sèches et chaudes, ou des périodes de précipitations abondantes, il y a un risque accru de lessivage des nitrates. Pendant les périodes sèches, l'absorption des nutriments par les plantes est moindre, et des températures élevées peuvent augmenter la minéralisation de la matière organique si suffisamment d'humidité est disponible.

Utilisation accrue des herbicides et des pesticides

Des effets indirects du changement climatique peuvent inclure la modification de l'utilisation des terres avec plus de cultures et un passage des cultures estivales aux cultures hivernales. Cela entraîne une utilisation accrue des herbicides ou une augmentation de l'utilisation des pesticides, notamment à l'automne, lorsque les risques de lessivage sont plus élevés.

Influence de l'irrigation

Une irrigation accrue peut modifier la composition de l'eau de recharge de manière positive (amélioration de l'absorption des nutriments pendant les périodes sèches) ou négative (augmentation du lessivage des polluants). Une irrigation contrôlée est essentielle pour limiter les effets négatifs.

Ces divers facteurs montrent que la qualité des eaux souterraines peut être significativement influencée par le changement climatique avec des impacts potentiellement variés selon les régions et les conditions spécifiques des aquifères et qui sont surtout liés aux évolutions anthropiques associées (effets indirects).

3.4 CRITÈRE DE CLASSIFICATION DES CAPTAGES

Lors de la compilation des données par captage, plusieurs critères ont été standardisés afin de faciliter l'analyse des impacts du changement climatique. Ces critères sont les suivants :

Réactivité du captage

La réactivité du captage aux précipitations, à la fonte des neiges et aux sécheresses a été évaluée sur la base des données de niveau d'eau (puits) et débit (sources) disponibles dans les rapports et les bases de données. Elle est présentée sur les fiches de sources au point saisonnalité des variations de niveau. La saisonnalité des variations de débit/ niveau d'eau du captage a été évaluée comme étant peu réactif, intermédiaire ou réactif. Il faut noter que cette analyse est souvent basée sur peu de données et nécessiterait d'être affinée sur la base des analyses de chroniques de données.

La réactivité de la conductivité électrique aurait donné une indication utile pour la vulnérabilité des captages mais nous avons finalement renoncé à l'évaluer car les jeux de données à disposition étaient souvent trop peu significatifs.

Impacts anthropiques

L'évaluation de l'impact anthropique sur les captages s'est basée sur deux critères :

1. Occupation du territoire dans les zones S et le bassin hydrogéologique à proximité des captages ;
2. Impact des activités humaines sur la qualité des eaux souterraines au captage, sur la base des résultats d'analyse à disposition (Annexe 1).

L'impact anthropique a été classé entre faible, moyen ou fort. Si les deux critères ont été estimés comme peu significatifs, l'impact anthropique a été défini comme faible. Si l'un des deux critères a été défini comme significatif, l'impact a été défini comme moyen. Enfin, si les deux critères ont été définis comme significatifs, l'impact a été défini comme fort. Ainsi, par exemple, si un captage présente des valeurs de pesticides parfois au-dessus du seuil de potabilité mais que le bassin versant n'a pas identifié comme présentant une augmentation de pression anthropique probable, il sera identifié comme ayant un impact moyen.

Adéquation pour la suite du suivi

L'adéquation du captage pour la suite du suivi a été évaluée sur la base des critères suivants :

- Données disponibles : Débit, niveau d'eau, température, conductivité électrique, suivi ponctuel ou en continu ;
- Durée du suivi ;
- Présence de piézomètre à proximité des puits ;
- Possibilité d'écrtage des pics de crue ou mise en décharge d'une source (sur un groupe).

En fonction de son équipement, chaque captage a été noté selon les critères suivants :

- **Non-adapté 0** – absence de suivi en continu, modification à prévoir pour suivre le captage, perte de débit au captage ;
- **Peu adapté 1** – peu de paramètres suivis en continu (en général seulement débit et turbidité), historique de données court, mise en décharge régulière de source ou perte de débit au captage.
- **Moyennement adapté 2** – peu de paramètres suivis en continu (en général seulement débit et turbidité), pas de suivi en continu de la température, historique de données plus long, présence d'un ou plusieurs piézomètres, risque de mise en décharge d'une source ;
- **Adapté 3** – Débit, niveau et température de l'eau suivis en continu, présence de piézomètres ;
- **Très bien adapté 4** – Débit, conductivité et température suivis en continu avec un bon historique.

Pour faciliter la lecture de la carte, les classes 1 et 2 ont été regroupées sous "adéquation moyenne" (pastille orange) et les classes 3 et 4 sous "bonne adéquation" (pastille verte). La classe 0 est représentée par une pastille rouge.

4 SYNTHÈSE

Les lots ont été regroupés pour analyser les effets des changements climatiques pour les tendances générales sur les eaux souterraines. En effet, les tendances climatiques sont similaires entre les différentes régions du plateau et celles des Préalpes.

Le découpage par lot pourra être utilisé quand une analyse plus fine, basée sur les données et les modèles, sera faite. Pour la suite de l'analyse nous avons donc regroupé les lots en régime pluvial à dominance d'aquifères poreux (lots 3, 4 et 5) et les lots en régime nivo-pluvial et nival à dominance d'aquifères karstiques/fissurés (lots 1 et 2).

4.1 POUR LES AQUIFÈRES

4.1.1 Lots Plaine alluviale, Plateau molassique et Plateau morainique : régime pluvial

Dans les lots Plaine alluviale, Plateau molassique et Plateau morainique, les aquifères recensés sur le portail cantonal (Figure 2) sont généralement de type poreux (*graviers alluviaux limoneux/sableux en fond de vallée, graviers peu limoneux hors des fonds de vallée, molasse sous faible couverture quaternaire ou graviers alluviaux propres en fond de vallée*) et de tailles variables. Ces aquifères sont en régime pluvial et, en moyenne, de réactivité modérée. Ils sont principalement alimentés par l'infiltration directe des précipitations et, dans certains cas, par l'infiltration des eaux de rivières. Les impacts attendus du changement climatique sur ces aquifères sont décrits ci-dessous.

Changements de la recharge

En raison la diminution des précipitations en période estivale et d'une évapotranspiration accrue, les périodes estivales verront une diminution significative de la recharge des aquifères. Les précipitations hivernales devraient augmenter, ce qui compenserait en partie la baisse de recharge estivale. Les aquifères poreux pourraient donc recevoir une recharge plus importante en hiver, mais cette recharge sera plus irrégulière et concentrée sur des périodes plus courtes. L'évolution de la recharge moyenne annuelle dépendra de la compensation des pertes par les gains. L'augmentation de l'évaporation et l'assèchement des

sols sans une hausse des précipitations moyennes annuelles pourrait entraîner une baisse de recharge moyenne annuelle.

Effets sur les niveaux d'eau souterraine et les débits

Les périodes avec peu ou pas de recharge deviendront plus longues et plus fréquentes, ce qui pourrait affecter les niveaux d'eau souterraine de manière significative. On s'attend à une augmentation des niveaux en hiver et une baisse importante en été avec davantage de sécheresses. Les aquifères poreux avec une grande capacité de stockage pourront atténuer et retarder les effets des périodes de faible recharge si elles sont passagères. Les grands aquifères avec une faible conductivité hydraulique, un coefficient de stockage élevé et/ou une zone non saturée étendue montre une réponse fortement amortie aux changements saisonniers de recharge. Cependant, ils se rétablissent plus lentement après des périodes extrêmes. Des exemples de tels systèmes sont les aquifères de grès dans la molasse ou les dépôts alluviaux étendus avec une zone non saturée étendue. À l'inverse, les aquifères petits, superficiels et/ou très perméables réagissent rapidement aux conditions sèches mais se rétablissent également rapidement.

Risques associés

Des périodes de recharge intense en hiver peuvent augmenter rapidement les niveaux des nappes phréatiques et ainsi augmenter le risque d'inondation. En été, les déficits de recharge peuvent réduire les niveaux d'eau souterraine, impactant ainsi la disponibilité de l'eau pour l'irrigation et les autres usages, il y aura une augmentation des sécheresses et des risques de pénurie.

Impacts indirects de l'utilisation accrue de l'eau

Face à des conditions plus sèches en été, l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation et les autres besoins devrait augmenter, ce qui exercerait une pression supplémentaire sur les ressources aquifères. Les aquifères poreux sont plus inertiels que les eaux de surface, mais cela dépend aussi de la gestion durable des prélèvements.

Les aquifères poreux en régime pluvial dans le canton seront, à long terme, probablement soumis à des changements significatifs liés au changement climatique sans mesure de protection, avec des implications importantes pour la gestion des ressources en eau. Les périodes de sécheresses estivales allongées et une recharge hivernale accrue mais plus irrégulière nécessiteront des stratégies de gestion adaptées pour garantir la disponibilité et indirectement la qualité des ressources en eau souterraine.

4.1.2 Régions Préalpes karstiques et fissurées : régimes nivo-pluvial et nival

Dans les régions Préalpes karstiques et fissurées, les aquifères recensés sur le portail cantonal sont principalement de type fissuré/karstique (*fissuré/karstique – indéterminé*) mais aussi parfois de type poreux (*graviers alluviaux limoneux/sableux en fond de vallée ou éboulis et cônes de déjection*) et de tailles variables (Figure 2). Ces aquifères ont un régime nivo-pluvial ou nival.

Régime nivo-pluvial

La recharge en hiver devient plus importante en raison d'une période de couverture neigeuse plus courte et davantage d'événements de fonte. Par contre la recharge diminue en été et au début de l'automne en raison de l'augmentation de l'évapotranspiration et du déficit hydrique des sols.

Pour les aquifères réactifs, comme les aquifères karstiques, le stockage saisonnier augmentera en hiver mais diminuera en été. Les périodes d'étiage en fin d'été seront plus longues qu'actuellement et que les périodes de basses hivernales actuelles. Le risque de sécheresse en fin d'été/automne sera important. Les risques d'inondation pourraient également augmenter en hiver (surtout à la fin) en raison de la conjonction de la fonte rapide et des événements pluvieux sur des aquifères entièrement saturés.

Régime nival

La période hivernale sans recharge devient plus courte et la fonte des neiges se termine plus tôt dans l'année entraînant un pic de recharge plus tôt. La part de recharge par les précipitations augmente l'hiver. L'été et l'automne la recharge diminue en raison d'une évapotranspiration plus élevée.

Ainsi pour les aquifère réactifs, comme les aquifères karstiques, le stockage saisonnier augmentera en hiver mais diminuera en été. Les périodes de basses eaux se déplaceront progressivement de l'hiver à l'été/automne. Des sécheresses, selon les pompages associés, pourraient apparaître à l'automne. Dans la plupart des cas, les périodes d'étiage estivales resteront plus courtes que les périodes d'étiage hivernales actuelles. Les risques d'inondation pourraient être renforcés au printemps par la conjonction de la fonte des neiges avec des événements de pluie intense sur des aquifères entièrement saturés.

Pour les aquifères moins réactifs, les effets saisonniers, en régime pluvio-nival et nival, seront tamponnés et l'évolution quantitative des niveaux et des débits à long terme dépendra de l'évolution moyenne annuelle et pluriannuelle de la recharge qui pourrait diminuer si l'évapotranspiration augmente, que les précipitations restent stables et que les sols s'assèchent.

Même si on s'attend à des sécheresses moins importantes que pour les régimes pluviaux, face à des conditions plus sèches en été, l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation et les autres besoins devrait également augmenter, ce qui exercera une pression supplémentaire sur les ressources aquifères.

4.2 POUR LES CAPTAGES SÉLECTIONNÉS

Même si des tendances existent pour les types d'aquifères, telles que décrites ci-dessus, chaque aquifère possède son propre fonctionnement. De plus, les niveaux et débits varient au sein d'un même aquifère et les captages peuvent combiner l'eau provenant de plusieurs types d'aquifères. Ainsi, identifier l'évolution des ressources en eaux souterraines face au changement climatique est complexe et nécessite de se baser sur les données de niveaux d'eau des puits ou de sources et de les modéliser selon les projections climatiques. Ceci n'étant pas l'objectif dans cette phase 1 de projet, les captages (sources et puits) ont été classifiés selon leurs évolutions possibles :

- D'un point de vue **quantitatif**, en considérant (1) leur régime hydrologique qui permet d'identifier les tendances saisonnières d'évolution quantitatives telles que décrites en 4.2.1, et (2) leur réactivité quantitative si elle est mentionnée dans les rapports de zone S ou sinon selon les types aquifères desquels ils proviennent ;
- D'un point de vue **qualitatif**, en considérant (1) les analyses de qualité connues et recensées dans les fiches et (2) l'occupation des terres et leur possible évolution au niveau du captage et de la zone de recharge.

4.2.1 Classification pour l'estimation des impacts quantitatifs sur les captages dans le contexte de changement climatique

Cette classification permet de faire une première estimation des évolutions probables des captages en fonction de leurs caractéristiques. Ces évolutions sont décrites directement dans les fiches des captages (Annexe 1). Un indice de fiabilité a été défini en fonction des données à disposition qui permettent de classer les captages, cette classification sera à confirmer et améliorer avec davantage de données sur les captages pour la suite de l'étude sur les captages sélectionnés.

4.2.2 Classification qualitative

Nous n'avons aujourd'hui que trop peu d'information pour déterminer l'évolution qualitative des captages dans le contexte du changement climatique. Nous avons donc classifié les captages en fonction de leur impact anthropique actuel et d'un indice d'occupation des sols : pour un indice de 0 ou 1, la pression qualitative sur les ressources ne devrait pas augmenter significativement (alpages, pâturages, forêts) alors que les captages avec un indice de 2 ou 3 (villes, villages, agriculture) pourraient voir la pression augmenter, notamment au niveau de l'agriculture et du développement urbain. Il faudrait également prendre en compte la réactivité des aquifères aux apports de surface (infiltration rapide des eaux de ruissellement) pour déterminer leur sensibilité aux pollutions de surface. On peut toutefois noter que les captages semi captifs ou captifs sont en théorie mieux protégés face aux pollutions de surface (captages 1, 8, 9 et 10).

Tableau 2: Classification des captages pour l'estimation des impacts quantitatifs. Les sources sont surlignées en bleu et les puits en rose.

Régime d'alimentation	Type aquifère	classification réactivité débit/niveau	Numéro captage	Nom captage	Connection eau de surface	Altitude (m)	Indice de fiabilité (0 peu fiable, 1 moyennement fiable)
Nival	Fissuré	artésien / semi captif	1	En Lys	non	1606	0
		peu réactif	4	Les Marais 1	non	1065	1
		intermédiaire	6	Müllera, Käserli, Schmutzena	non	1105	1
	Mixte poreux/fissuré	réactif	2	Villard-Bony Supérieur VB05 et VB03	non	1420	0
	Karstique	réactif	22	Sandli	non	1086	1
	Karstique	réactif	23	Kappelboden	non	1020	0
Nivo-pluvial	Poreux alluvial	artésien / semi captif	10	Les Mettraux 2	probable	754	1
		intermédiaire	13	Flamatt	probable	826	1
		réactif	3	Fin de la Porta P1	probable	535	0
	Poreux glaciaire	artésien / semi captif	8	Hoffmatt Puits 1	oui	723	1
	Fissuré	intermédiaire	19	Hangbüel	non	748	1
		réactif	5	La Châtelaine et Pouta-Pierres	non	950	0
			20	Frassettes	non	950	0
Pluvial	Poreux alluvial	peu réactif	12	Horia	probable	595	1
		réactif	11	Les Ouches	oui (décharge)	498	0
	Poreux glaciaire	peu réactif	16	Hänisried	non	617	1
		intermédiaire	7	Tuffière 5	oui	475	1
			15	Danaïdes	non	480	0
	Fissuré	artésien / semi captif	9	En Cudré	non	674	0
		peu réactif	21	Closels	non	645	1
	Mixte poreux/fissuré	peu réactif	14	Galmacher D	oui (décharge)	530	0
		intermédiaire	17	La Carnoche 3	non	500	0
		réactif	18	Vau de Praz chambre 14	non	544	1

Tableau 3: Classification des captages en fonction des impacts qualitatifs. Les sources sont surlignées en bleu et les puits en rose.

Numéro de captage	Nom captage	Indice d'occupation du sol	Occupation du sol	Impact anthropique
1	En Lys	1	Alpages	faible
2	Villard-Bony Supérieur VB05 et VB03	1	Pâturage, route d'alpage, forêts	faible
4	Les Marais 1	1	Pâturage, route d'alpage, forêts	faible
5	La Châtelaine et Pouta-Pierres	1	Pâturage, route d'alpage, forêts	faible
6	Müllera, Käserli, Schmutzena	1	Pâturage, forêt et rocher affleurant	faible
20	Frassettes	1	Alpages, route d'alpages et forêts	faible
22	Sandli	1	Pâturage, route d'alpage, forêts	faible
23	Kappelboden	1	Pâturage, route d'alpage, forêts	faible
14	Galmacher D	0	Forêts et rocher affleurant	moyen
18	Vau de Praz	1	Pâturage et forêt	moyen
3	Fin de la Porta P1	2	Agriculture et habitat dispersé	moyen
8	Hoffmatt Puits 1 et 2	2	Agriculture et habitat dispersé	moyen
9	En Cudré	2	Agriculture et village	moyen
10	Les Mettraux 2	2	Agriculture (pâturage, prairie, accessoirement culture), route cantonale, forêt	moyen
11	Les Ouches	2	Agriculture	moyen
12	Horia	2	Agriculture et habitat dispersé	moyen
16	Hänisried	2	Forêts et agriculture	moyen
17	La Carnoche 3	2	Forêts et agriculture	moyen
19	Hangbüel	2	Agriculture et habitat dispersé	moyen
21	Closels	2	Bâtiments, chemin agricole, agriculture	moyen
15	Danaïdes	2	Forêts et agriculture	fort
7	Tuffière ouest	3	Forêts, Terres cultivées, villages, routes, autoroute, sites pollués, gravières	fort
13	Flamatt	3	Forêt et ville	fort

5 ANALYSE DE DÉFICIT ET PROGRAMME DE SUIVI

L'analyse de déficit des données hydrogéologiques à disposition a été réalisée individuellement pour chaque captage. Elle se base sur les visites réalisées sur site, sur l'historique des données disponibles (notamment pour les paramètres suivis en continu), sur l'équipement en piézomètres à proximité des puits et sur l'écrtage des pics de crue des sources par perte via des trop-pleins.

Le programme de suivi est basé sur l'analyse des déficits observés aux captages. L'analyse de déficit est présentée dans les fiches de captages (Annexe 1).

5.1 PROGRAMME DE SUIVI

5.1.1 Sélection des captages

La sélection des captages à inclure dans la phase 2 de l'étude s'est basée sur les critères suivants :

- L'adéquation des captages sur la base des critères de classification présenté à la section 3.4 et repris dans les fiches de captage ;
- La représentativité des différents régimes d'alimentation et des différents types d'aquifères selon le Tableau 2 ;
- La représentativité des différentes classes d'impact anthropique selon le Tableau 3
- La répartition spatiale au travers du canton.

Cette sélection est répartie en deux classes de choix, les choix prioritaires (6 captages) et les choix secondaires (5 captages dont un hors étude phase 1).

Suite à l'analyse des contextes géologiques locaux des captages étudiés dans le cadre de la phase 1, il apparaît qu'aucun captage retenu n'est purement karstique. Les captages supposés karstiques au démarrage de l'étude (Frassettes, Les Marais et Villard-Bony Supérieur) sont finalement dans des contextes mixtes plutôt fissurés. Pour combler ce manque, il est proposé d'inclure un captage purement karstique à la phase 2 de l'étude. Les captages de Sandeli et Kappelboden seront évalués lors de la phase 2 et intégrés, en fonction de la pertinence, au programme de suivi.

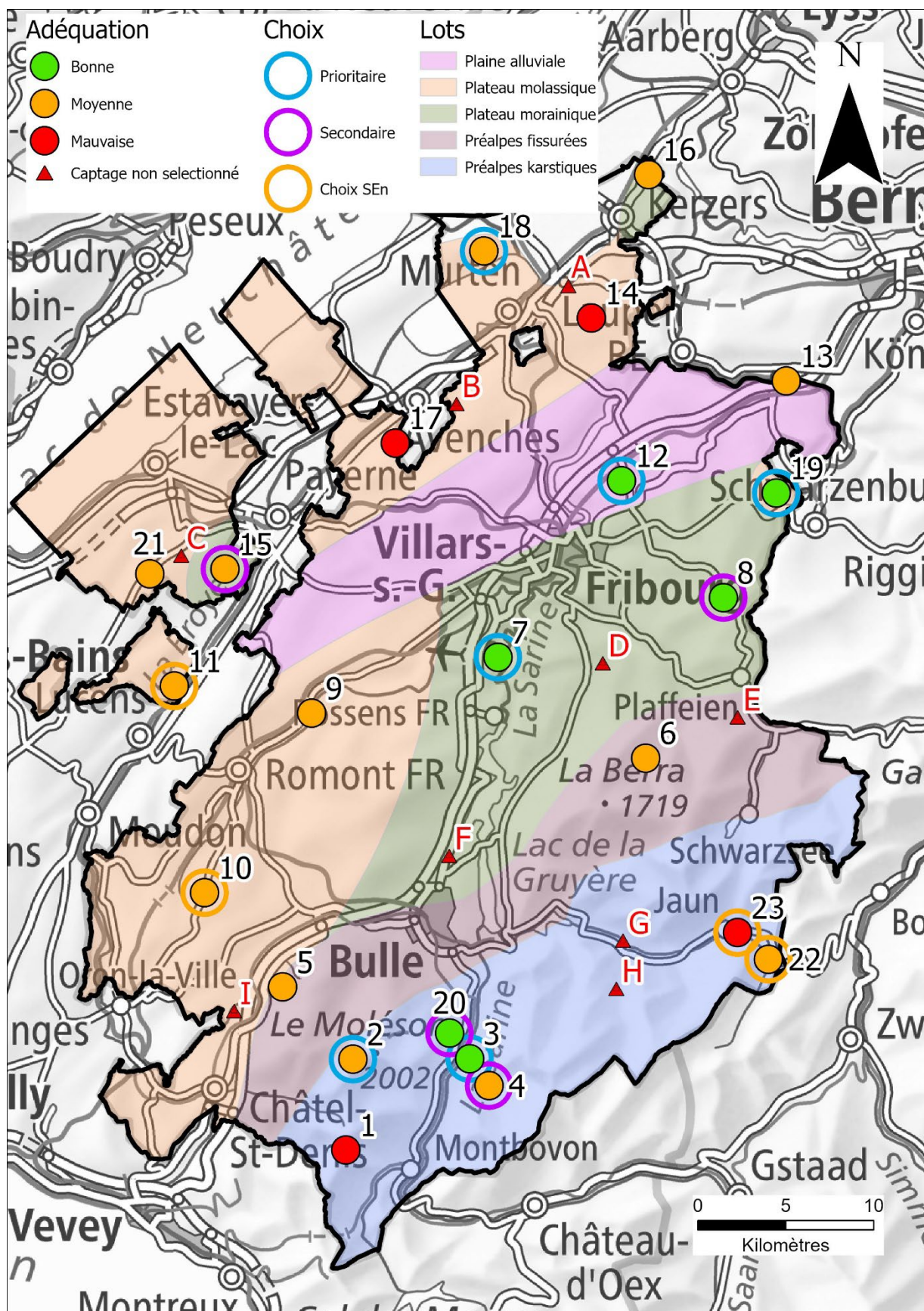
La Figure 16 présente la répartition spatiale des captages retenus et le Tableau 4 leurs caractéristiques concernant l'adéquation pour le suivi futur, la représentativité des différents régimes d'alimentation, types d'aquifères et classes d'impacts anthropiques.

Tableau 4: Tableau récapitulatif des captages retenus pour la suite du suivi. Les sources sont surlignées en bleu et les puits en orange. Texte en bleu : captages de la sélection prioritaire (1), en violet la sélection secondaire (2) et en orange la sélection complémentaire du SEn suite au rapport provisoire (3).

Numéro et nom captage	Altitude (m)	Données à disposition *	Durée de suivi	Phase 2- suivi piézométrique	Ecrêtage	Evaluation quantitative	impact anthropique	Sélection / Remarque
Lot 1 - Préalpes karstiques								
2 - Villard-Bony Supérieur	1415	Q / NTU	12 ans	non	possible	Nival, Fissuré/poreux, réactif	faible	1
3 - Fin de la Porta P1	723	Q / N / T	16 ans	oui	-	Nivo-pluvial, poreux alluvial, réactif	moyen	1
22- Sandli	1085	Q/T/K	5 ans (1990-1995)	non	-	Nival, karstique, réactif	faible	3
23- Kappelboden	1020	-	-	non	-	Nival, karstique, réactif	faible	3
20 - Frassettes	950	Q/T/NTU	6 ans	non	possible	Pluvio-nival, fissuré, réactif	faible	2/ NAQUA SPEZ
Lot 2 - Préalpes fissurées								
Lot 3 - Plateau morainique								
7 - Tuffière Ouest	617	Q / NTU / T / pH / K	7 ans	oui	non	Pluvial, poreux, intermédiaire	fort	1
8 - Hoffmatt Puits 1 et 2	760	Q / NTU / pH / K	7 ans	non	-	Nivo-pluvial, poreux, artésien/ semi-captif	moyen	2
15 - Danaïdes	480	N / T / K mensuel	22 ans	oui	-	Pluvial, poreux glaciaire, intermédiaire	fort	2/ Mesure mensuelle
Lot 4 - Plaine alluviale								
12 - Horia	595	Q / NTU / T / pH / K	24 ans	oui	-	Pluvial, poreux alluvial, peu réactif	moyen	1/ NAQUA TREND
11 – Les Ouches	475	Q/N	4 ans	oui	-	Pluvial, poreux alluvial, réactif	moyen	3
Lot 5 - Plateau molassique								
18 - Vau de Praz	544	Q / NTU	?	non	possible	pluvial, mixte poreux et fissuré, réactif	moyen	1
19 - Hangbüel	748	Q / K20 / T NTU	21 ans	non	non	Nivo-pluvial, fissuré, intermédiaire	moyen	1/NAQUA QUANT
10- Les Mettraux	825	Q/N	11 ans	oui	-	Nivo-pluvial, poreux alluvial, artésien semi-captif	moyen	3

* Mesures en continu Q = débit, N = niveau, T = température, NTU = turbidité, K = conductivité électrique

Figure 16: Adéquation des captages pour la suite de l'étude et proposition de sélection.



5.1.2 Paramètres suivis

Des mesures en continu sont nécessaires pour la suite de l'étude, notamment pour disposer de suffisamment de données pour la phase de modélisation. A cette fin, nous recommandons d'équiper les captages retenus de sondes automatiques avec une fréquence de mesure horaire. Les paramètres à inclure dans la surveillance sont les suivants :

- Débit : sources et puits ;
- Niveau d'eau : puits et piézomètres ;
- Température : sources, puits et piézomètres ;
- Conductivité électrique : sources, puits et piézomètres.

Le suivi de la qualité des eaux souterraines pourra être adapté pour chaque captage en fonction des éléments problématiques déjà identifiés. La plupart des captages sont déjà suivi sur une base annuelle ou biannuelle. Si ce n'est pas le cas, la recommandation minimale est un suivi annuel en basses eaux des ions majeurs et pesticides courants en plus d'éventuels polluants problématiques identifiés pour le captage.

5.1.3 Évaluation des coûts d'équipement

Concernant la mise en place d'un suivi complet des captages, il s'agit d'une exigence de concession. Les distributeurs seront contactés par le SEn pour adapter le suivi des captages retenus pour la phase 2 selon les recommandations des fiches de source.

Les frais pour honoraire et matériel nécessaire à l'équipement des 6 piézomètres retenus pour la phase 2 sont détaillés dans les tableaux ci-dessous :

Honoraires

Déploiement et maintenance réseau hydrogéologique cantonal		
Gestion des équipements de mesures	1 300	
Installation du réseau (6 piézomètres)	2 000	
Maintenance du réseau (6 piézomètres)	4 700	
Rapport d'installation et de maintenance	3 000	
Total HT [CHF]		11 000.00

Matériel

Pour l'équipement, suites aux discussions avec le SEn, deux variantes de sondes de mesure sont proposées ci-dessous soit à l'achat ou à la location du matériel.

Matériel pour équipement du réseau hydrogéologique cantonal		Total HT [CHF]
Equipements de mesure	Variante OTT Hydrometrie Sondes CTD avec télétransmission type : OTT eco1000	
	location de 6 sondes* / an (avec location sur 48 mois, incl. la maintenance du matériel)	6 254
	achat de 6 sondes* (non incl. la maintenance du matériel)	19 500
	Variante Keller Sondes CTD avec télétransmission type : Keller series 36XW-CTD et modem ARC1-Tube	
	location de 6 sondes* / an (avec location sur 48 mois, incl. la maintenance du matériel)	5 184
	achat de 6 sondes* (non incl. la maintenance du matériel)	16 164
Matériel d'installation	Bouchons de protection x6	1 000
	Avant-tubes, petit matériel, etc.	1 000
*cartes SIM pour télétransmission non incluses		

6 CONCLUSION

La phase 1 de l'étude hydrogéologique pour le suivi et la gestion des eaux souterraines intégrant les effets du changement climatique mandatée par le canton de Fribourg dans le cadre de son plan climat a pour but de synthétiser les données existantes et d'identifier les impacts potentiels du changement climatique sur les eaux souterraines.

Cette étude a consisté en la définition de lots d'études basées sur les régions géographiques, la géologie et les différents types aquifères du canton. Sur la base de ces lots, 23 captages ont été sélectionnés pour couvrir une vaste palette de contextes géologiques, hydrogéologiques et de classes d'altitudes afin d'obtenir un échantillon le plus représentatif possible à l'échelle cantonale.

Les effets du changement climatique pour les eaux souterraines du canton ont été évalués sur la base de la littérature existante. Les conséquences attendues sur l'hydrologie ont été synthétisées selon les projections climatiques et les régimes hydrologiques. Les impacts attendus ont ensuite été extrapolés pour les eaux souterraines en se basant sur l'évolution probable de la recharge et la réponse des aquifères aux changements attendus en fonction de leurs caractéristiques hydrogéologiques. Cette analyse a permis ensuite de synthétiser les tendances attendues sur les aquifères principaux et les captages sélectionnés.

Les fiches de captages présentées à l'Annexe 1 compilent les données à disposition et incluent une première analyse des tendances attendues dans le contexte du changement climatique.

Le choix définitif a été complété par les propositions de SEn sur la base de la version provisoire de ce rapport. La Figure 16 présente la proposition de captages à inclure pour la suite de l'étude. La surveillance des captages comprendra le suivi des débits et niveau d'eau, la température et la conductivité.

CREALP

Marie Arnoux

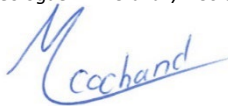
Hydrogéologue PhD UQAM/UPsud
Responsable de filière Géoressources



BEG SA, Géologie & Environnement

Marion Cochand

Hydrogéologue PhD Ulaval /MSc UNINE
(CHYN)



Michael Digout

Ing.-géol. dipl. UNIGE/directeur



Avec la collaboration de :

BEG SA, Géologie & Environnement

- Grégory Grosjean, Responsable de succursale Ingénieur-géologue UNINE/EPFL
- Anthony Salamin, Hydrogéologue MSc UNINE (CHYN)

CREALP

- Pascal Ornstein, Responsable de filière expert en hydrogéo-informatique

ANNEXE 1 - FICHES DE CAPTAGES

1. En Lys
2. Villard-Bony Supérieur (VB3 et VB5)
3. Fin de la Porta P1
4. Les Marais 1
5. La Châtelaine et Pouta Pierre
6. Käserli, Müllera, Schmutzena
7. La Tuffière Ouest
8. Hofmatt Puits 1 et 2
9. En Cudré
10. Les Mettraux 2
11. Les Ouches
12. Horia
13. Flamatt ancien Puits
14. Galmacher
15. Danaïdes
16. Hänisried
17. La Carnoche 3
18. Vau de Praz
19. Hangbüel
20. Aux Frassettes
21. Les Closels
22. Sandli
23. Kappelboden

Numéro	Nom source/captage	Type de captage	Altitude (m)	Débit source (l/min)	Note
Lot 1 - Préalpes karstiques					
1	En Lys	Puits	1610	60	0
2	Villard-Bony Supérieur	Sources	1415	1666	2
3	Fin de la Porta P1	Puits	723	3500	3
4	Les Marais 1	Sources	1060	2100 - 2800	2
H	Breillenaz	Sources	970	1000 - 1157	
G	Pont du Roc	Puits	882	7780	
22	Sandli	Sources	1085	1800-7600	2
23	Kappelboden	Sources	1020	40-500	0
20	Frassettes	Sources	950	1500-2000	3
Lot 2 - Préalpes fissurées					
5	La Châtelaine	Sources	950	70	1
6	Käserli	Sources	1105	600	2
E	Zanglisboden	Sources	1027	500	
Lot 3 - Plateau morainique					
F	Fin de Plan	Puits	720	600 - 750	
7	Tuffière 5	Sources	617	1125 - 9846	4
D	Moulin à Benz	Puits	736	5000	
8	Hoffmatt Puits 1	Puits	760	3000	3
15	Danaïdes	Puits	480	210	2
16	Hänisried	Puits	498	600 - 750	2
Lot 4 - Plaine alluviale					
I	Les Narcisses	Puits artésien	815	440 - 550	
9	En Cudré	Puits	680	n.m.	2
11	Les Ouches	Puits	475	80 - 100	1
12	Horia	Puits	595	1440 - 1800	4
B	Le Moulin	Puits	470	320	
13	Flamatt	Puits	535	2500	2
Lot 5 - Plateau molassique					
14	Galmacher	Sources	530	55 - 410	0
C	Michaud n°3	Sources	550	210	
17	La Carnoche 3	Sources	500	130	0
18	Vau de Praz chambre 14	Sources	544	40	2
A	Franzosen-Holz / Tuschmatt 1	Sources	510	250	
10	Les Mettraux 2	Puits	825	150 - 450	2
19	Hangbüel	Sources	748	94-774	4
21	Closels	Sources	645	250-280	2

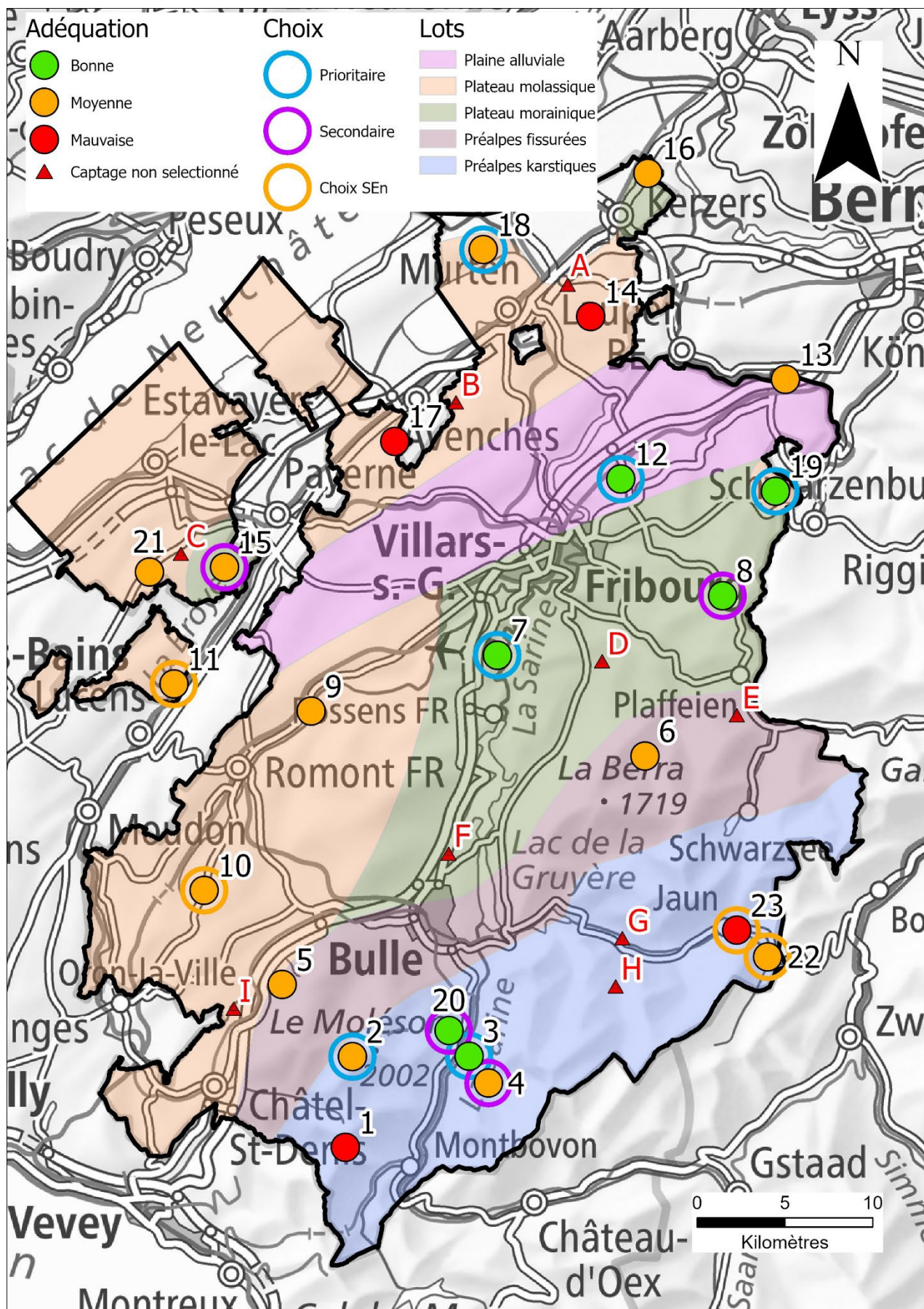
0 - Pas adapté

1 - Peu adapté

2 - Moyennement adapté

3 - Adapté

4 - Très bien adapté



Captage	01 – En Lys	Commune	Haut Intyamon	Catégorie du captage	Intérêt public
Coordonnées	2'565'825 / 1'149'772	Altitude [m.s.m.]	1606	Lot 1 - Préalpes karstiques	

Contexte général

Géographie	Ces captages, qui consistent en deux forages de 7 et 8.5 m (F1 et F2), se situent à 1606 msm. dans une cuvette, au lieu-dit « En Lys ». La Dent de Lys culmine non loin au NE, à 2014 msm. [1]
Géologie	« La région étudiée se situe dans la nappe des Préalpes Médiannes plastiques. La succession stratigraphique observable dans la zone d'étude comporte des roches d'âge jurassique (Dogger et Malm). Ce sont essentiellement des calcaires détritiques argileux et siliceux pour le Dogger et des calcaires noduleux et massifs pour le Malm. [1] Ces roches forment, au niveau tectonique, le flanc nord-est d'un anticlinal d'axe SSO-NNE bien marqué. [1] À l'Ouest et au nord de la Gouille de Lys, des éboulis recouvrent les bas de pentes. Ceux-ci se prolongent en partie dans le marais où des dépôts plus fins se forment (limons, tourbes et sables). À l'aval de l'alpage d'En Lys se situe un affleurement de moraine locale. [1]
Régime actuel	Le niveau est artésien dans les forages. Peu d'informations sont disponibles sur les débits. Le rapport d'ABA GEOL mentionne des débits variants entre 150 et 220 l/min. Il est surtout plus élevé lors de la fonte de neige. [1] D'après le fontainier, il n'y a pas plus de 30 l/min. Cela peut s'expliquer par une altération de l'ouvrage. Beaucoup d'eau sort sur les côtés du captage, surtout depuis son abandon en 2023. [2]
Hydrogéologie	Le bassin versant est petit (22.3 ha) et se limite au versant de la cuvette dans laquelle se trouve les puits. Au sommet de la cuvette, l'eau peut s'infiltrer directement à travers la roche affleurante. Plus bas, l'infiltration se fait à travers un sol peu développé et des cônes d'éboulis. L'écoulement souterrain a lieu à travers un aquifère fissuré et faiblement karstique dans lequel la circulation est relativement rapide. [1] Une gouille se trouve à proximité, mais une alimentation à partir de celle-ci est peu probable, étant donné que le niveau artésien des forages est supérieur au niveau de la gouille. C'est plutôt les sources de Lys qui viennent alimenter cette gouille qui s'infiltré et alimente une autre source plus en aval. [1]

Données du captage

Type d'aquifère	Fissuré	Régime hydrogéologique	Nival
Type de captage	Puits artésiens	Profondeur du puits [m]	7 et 8.5 [1]
Débit [l/min] moyen / min / max	-/0/30-35 [2]	Profondeur des crépines début/fin [m]	4/7 et 5.5/8.5 [1]
Température [°C] moyenne / min / max	8/4/13 [2]	Saisonnalité des variations de débit	Artésien / semi captif
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	298/246/346 [2]	pH moyen / min / max	-
Utilisation du sol	Alpage	Région Ecosfera	Préalpes
Impact anthropique	Faible		
Remarque	Le captage ne donne du débit que lorsque le niveau est artésien dans les forages. [1] Deux autres forages avaient été réalisés. Un a été rebouché et pour l'autre, ce n'est pas très clair s'il a été rebouché ou juste condamné. Un petit drain captant les mêmes venues d'eaux artésiennes vient alimenter la chambre de captage. [1] Le captage a été abandonnée par la commune en 2023 car la qualité des eaux captées n'était pas conforme pour l'alimentation en eau potable. [2]		

Climat

Légère augmentation du niveau d'eau en hiver et diminution en été. Les hautes eaux printanières devraient être moins importantes et plus précoces mais le caractère artésien du captage devrait le rendre moins sensible aux évolutions prévues.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Pas mesuré	-			Compteur mécanique en aval du chalet de Lys. Sans enregistrement ni relevé manuel.
Température	Numérique	Données ponctuelles	Entre 2 et 4 fois par ans	2017	
Conductivité	Numérique	Données ponctuelles	Entre 2 et 4 fois par ans	2017	
Turbidité	Numérique	Données ponctuelles	Entre 2 et 4 fois par ans	2017	
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles	Entre 2 et 4 fois par ans	2017	Nitrite, nitrate, ammonium, dureté, calcium, magnésium, germes, E.Coli, Enterocoques

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Aucun suivi continu, à cause de la difficulté d'accès.
Paramètres manquant au suivi en continu	Tout (Débit, conductivité, température, turbidité)
Présence de piézomètre	Non
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	-
Modification à prévoir pour suivi en continu	Remplacement du débitmètre mécanique par un autre capable d'enregistrer les débits. Absence d'alimentation électrique sur place
Historique de données	2017 à 2023 : mesures ponctuelles de la qualité de l'eau (Température, couleur, conductivité, turbidité, nitrite, nitrate, ammonium, dureté, Ca, Mg, Germes, E.Coli, Entero)
Adéquation du captage pour la suite du projet	 0 - Pas adapté

Programme de suivi

Captage non retenu pour la suite de l'étude.

Illustrations

Plan de situation avec emplacement des photos.

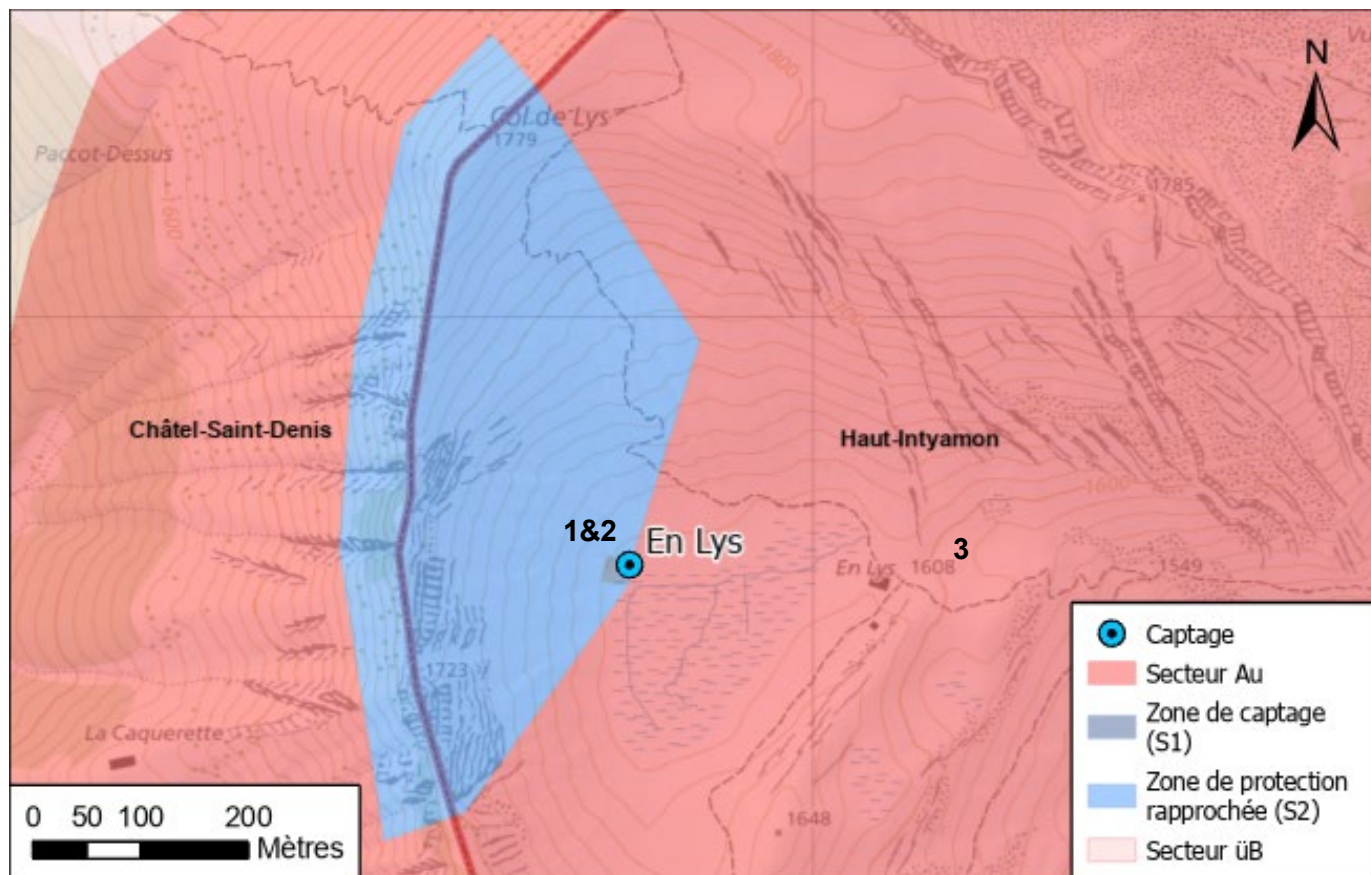


Photo 1 – Chambre du captage "En Lys".



Photo 2 – Intérieur de la chambre de captage.



Photo 3 – Chambre avec compteur de débit.



Bibliographie

- [1] ABA GEOL SA, Mars 2004, COMMUNE DU HAUT-INTYAMON ET DE CHATEL-ST-DENIS, Délimitation des zones de protection S des captages « En lys » propriété du Syndicat à buts multiples des Prés d'Albeuve, rapport hydrogéologique. FR 1198.
- [2] Données transmises par la commune en mai 2024

Captage	02 – Villard-Bony Supérieur (VB05 et VB03)	Commune	Châtel-St-Denis	Catégorie du captage	Important
Coordonnées	2°56'240 / 1°15'4920	Altitude [m.s.m.]	1420	Lot 1 - Préalpes karstiques	

Contexte général

Géographie	Le captage en galerie VB05 a été creusé dans le flanc nord-ouest du massif de Teysachaux, dans le vallon où s'écoule la Trême. Le Moléson culmine non loin à 1947 m. Cette zone se trouve dans la partie NO des Préalpes Fribourgeoises. Le captage VB03 correspond à un drain superficiel au-dessus de la galerie, dans des sédiments quaternaires (éboulis). [1][3]
Géologie	Le massif de Teysachaux fait partie d'un pli frontal de la nappe des Préalpes médianes plastiques et a la particularité d'être taillé dans un léger synclinal perché, essentiellement composé de roches carbonatées. [1] La partie supérieure de la stratigraphie se compose de roches fracturées et karstifiables (>1550m). Cette formation constitue un aquifère karstique. La partie inférieure comporte des niveaux plus siliceux et uniquement fracturés (pas ou peu de karst). [1] Sur la roche repose une moraine limono-argileuse dont on retrouve des lambeaux jusqu'au sommet de Tremetta. Cette moraine et les éboulis peuvent contenir des aquifères souvent en relation avec ceux de la roche sous-jacente. [1] La galerie VB05 traverse 25 mètres de terrain meuble (éboulis, tronçon bétonné avec passage pour laisser l'eau rentrer dans la galerie), puis se sépare en deux branches de 10 mètres creusés dans la roche (Formation du Staldengraben, roche détritique). [1]
Régime actuel	Hautes eaux surtout au printemps, en lien avec la période de fonte nivale. Pointes de hautes eaux possibles en d'autres saisons en cas de fortes précipitations. [3]
Hydrogéologie	Pour la VB05, 70% du débit provient du tronçon de galerie drainant en terrain meuble et 30% proviennent du tronçon dans la roche. [1] Cette composante dans le terrain meuble provient peut-être indirectement depuis la roche sous-jacente plus en amont. C'est même difficilement possible autrement, puisque le captage est surplombé par des falaises en amont, bien visible sur la carte. La qualité des eaux est irréprochable du point de vue chimique. Du point de vue bactériologique, l'eau est en général conforme, sauf en été, où des germes ont pu être détectés (pâturage). Des analyses isotopiques sur le tritium amènent à la conclusion que les eaux des sources de la région sont jeunes avec une forte composante de précipitations récentes. [1]

Données du captage

Type d'aquifère	Fissuré-karstique et poreux.	Régime hydrogéologique	Nival
Type de captage	Source	Type de captation	Galerie+drain **
Débit [l/min] moyen / min / max	1041/253/2356 [3]*	Saisonnalité des variations de débit	Réactif
Température [°C] moyenne / min / max	-5.1/5.5 [3]	pH moyen	7.6 [2]
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	240/235/250 [1]	Région Ecosfera	Préalpes
Utilisation du sol	Pâturage, route d'alpage, forêt	Impact anthropique	Faible

Remarque

Les eaux de Villard Bony sont turbinées. [3]

Les captages seront rénovés dans environ 15 ans (situation en 2024). [3]

* Valeurs moyennes journalières

** Villard-Bony se compose de 8 chambres de captage et de réunion (VB01 à VB08). Villard-Bony supérieur comprend la VB03 (un drain), la VB04 (chambre de récupération de la VB05) et la VB05 qui donne accès à la galerie de captage. [3]

Climat

Augmentation significative du débit en hiver et diminution en été. Les hautes eaux printanières devraient être moins importantes et plus précoces. Les périodes de basses eaux devraient progressivement se décaler en été/automne, des sécheresses ponctuelles pourraient apparaître.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	Horaire	2012	Avant 2012, toutes les sources VB étaient mesurées ensembles. Débit total VB03&05 mesuré avant mise en décharge.
Température	Papier	Données ponctuelles	2 x par an	Avant 2012*	4x par an depuis 2023
Conductivité	Papier	Données ponctuelles	2 x par an	Avant 2012*	4x par an depuis 2023
pH	Papier	Données ponctuelles	2 x par an	Avant 2012*	4x par an depuis 2023
Turbidité	Numérique	Données en continu	Horaire	2012	Avant 2012, toutes les sources VB étaient mesurées ensembles.
Analyse qualité	Papier et numérique		2 x par an	Avant 2012*	4x par an depuis 2023. Paramètres : Couleur, nitrate, nitrite, ammonium, dureté total, calcium, magnésium. Germe aérobic mésophile. E.Coli, Entérocoque. Programme ESoutQual depuis 2023. (Numérique)

*selon communication personnelle du fontainier lors de la visite

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Depuis 2012
Paramètres manquant au suivi en continu	Température et conductivité
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Oui, la VB05 (galerie quaternaire/roche) et la VB03 (un drain au-dessus de la galerie, dans du quaternaire).
Écrêtage des débits maximum	En principe non. Dans la chambre de réunion de tous les captages VB, des débitmètres mesurent le débit d'entrée au réseau (soit le débit qui va être turbiné) et le débit total, y compris l'excédent qui ne peut pas être turbiné et qui part en décharge. Cela étant, les ouvrages de captation dispose également d'une mise en décharge qui peut être actionné manuellement en cas de besoin, ou qui évacue le trop plein si la capacité du captage est dépassée, pouvant induire un écrêtage. En principe, ces mises en décharge manuelles ne se font pas et les éventuelles trop plein "naturels" ne sont pas documenté.
Modification à prévoir pour suivi en continu	Installation d'une sonde conductivité et température.
Historique de données	Suivi continu depuis la rénovation de la chambre de rassemblement en 2012
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix prioritaire.

Installation d'une sonde de conductivité électrique et de température en complément du suivi déjà en place.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos. Villard-Bony supérieur regroupe les captages VB03 et VB05.

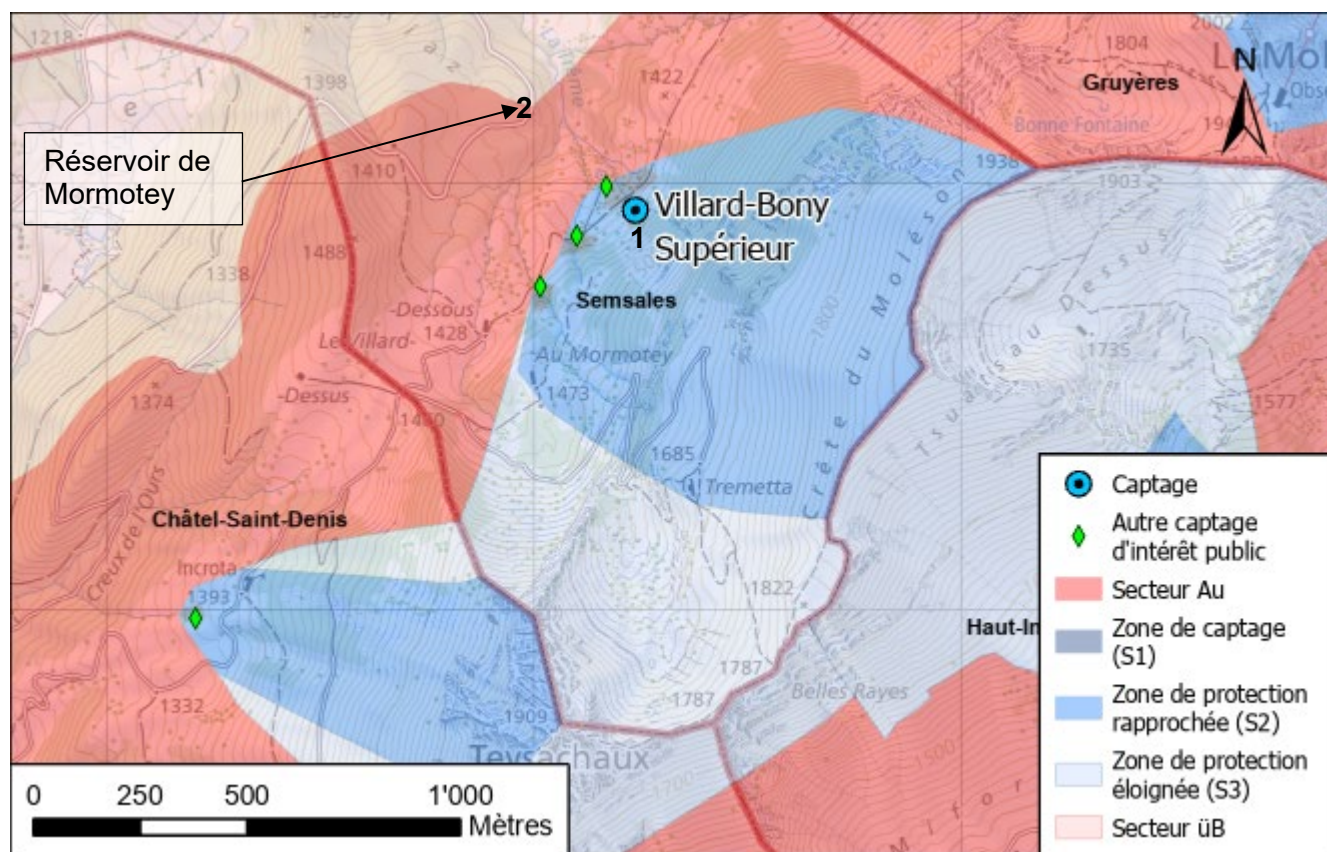
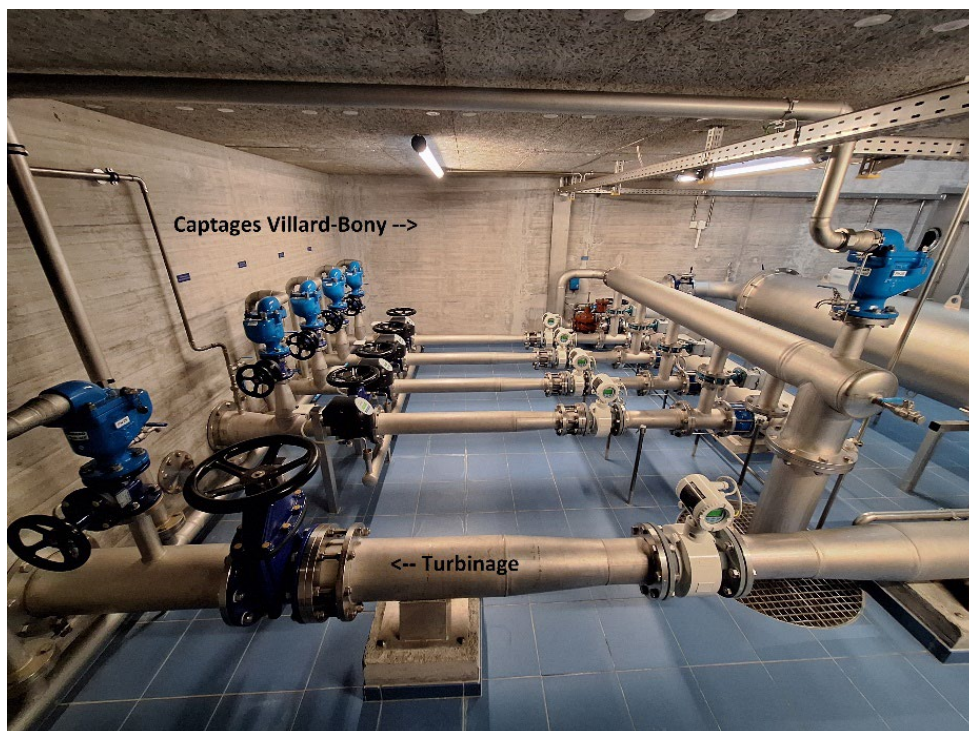


Photo 1 – Chambres de captage de Villard-Bony supérieur.



Photo 2 – Réservoir de Mormotey.



Bibliographie

- [1] ABA GEOL SA, Mai 1994, Zone de protection SI – SII – SIII des captages de Villard-Bony, Villard-Dessous et Incrotaz, rapport hydrogéologique. FR 423.
- [2] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.
- [3] Données transmises par la commune en mai 2024

Captage	03 – Fin de la Porta – P1	Commune	Grandvillard	Catégorie du captage	Stratégique
Coordonnées	2'572'873 / 1'154'966	Altitude [m.s.m.]	723	Lot 1 -	Préalpes karstiques

Contexte général

Géographie	Quatre puits se trouvent en rive droite de la Sarine en aval du village de Grandvillard, au lieu-dit "Fin de la Porta". [1]
Géologie	Les puits sont forés dans l'aquifère de la terrasse supérieure de Grandvillard (dépôts alluviaux de la Sarine et apports de vallée latérale). Deux grands chenaux graveleux (< 40m d'épaisseur) sont composés de graviers grossier, galets, petits blocs mélangés avec du sable grossier. L'aquifère s'amincit vers l'aval. [1]
Régime actuel	Hautes eaux en hiver / fin d'hiver en lien avec la période de fonte nivale plus en altitude. Pointes de hautes eaux possibles en d'autres saisons. La recharge de la nappe se fait par infiltration directe des précipitations et par apport indirect depuis d'autres aquifères des versants de la vallée. Variations annuelles plus importantes en amont (4m) qu'en aval (zone de décharge de la nappe). [1]
Hydrogéologie	Nappe phréatique libre. La direction d'écoulement est dans l'axe de la vallée. La nappe se situe entre 4.3 et 6.6 m sous le terrain naturel (état naturel pas influencé, été 1997 aux P1 à P4). Gradient d'environ 4.8‰ s'accroissant vers l'aval (6.6‰). [1] Les puits P1, P2, P3, et P4 font respectivement 48.4 m, 48.0 m, 38.0 m et 27.6 m de profondeur et sont situés dans le chenaux graveleux. Les groupes de puits P1 et P3 (ouest) et P2 et P4 (Est) montrent des comportements semblables. La réalimentation est plus favorable à l'ouest (Sarine) qu'à l'est (versant). La conductivité hydraulique est estimée à $2 \cdot 10^{-3}$ m/s sur la base des essais de pompage. Pas d'influence de la Sarine pour la recharge de l'aquifère à l'état non-influencé. Recharge par la Sarine en pompage à débit important et prolongé. [1] Eaux de type calcique. Très peu d'incidence du climat, du débit de pompage et des saisons sur la chimie des eaux. 7 mg/l NO₃, 3 mg/l Cl. [1]

Données du captage

Type d'aquifère	Poreux alluvial	Régime hydrogéologique	Nivo-pluvial
Type de captage	Puits	Profondeur du puits [m]	48.4 [1]
Profondeur des crépines début/fin [m]	7.52/11.21** 16.13/18.21** 26.42/41.18**	Débit de pompage moyen/max [l/min]	3500/4500 [7]
Niveau d'eau moyen au repos [m.s.m.]/[m]	716.5 / 5.95* [7]	Débit de Concession [l/min]	12'000 sur les 4 puits
Rabatement moyen [m]	0.4-0.5 [7]	Saisonnalité des variations de niveau	Réactif
Température [°C] moyenne / min / max	8.6/8.4/8.8	pH moyen	7.4 [7]
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	426 / 422 / 430	Région Ecosfera	Préalpes
Piezomètre existant	Oui	Impact anthropique	Moyen

Utilisation du sol	Terres cultivées, village et exploitation de graviers	
Remarque	Grande stabilité des paramètres dans le temps, y compris lors des essais de pompage à fort débit (30'000 l/min sur 4 puits pendant 77 jours). [7] *Depuis le terrain naturel. Le sommet du puits est dans une chambre, à 719.8 m.s.m., ce qui donne un niveau dans le puits de 3.3 m. [1] ** Depuis le sommet actuel du puits. Calculé avec le log en Annexe 2.3.B. [1]	

Climat

Augmentation significative des niveaux en hiver et diminution en été. Les périodes d'étiage en fin d'été seront plus longues et le risque de sécheresse en fin d'été/automne sera plus important. Le potentiel lien avec les eaux de surface pourrait permettre de tamponner en partie les fluctuations attendues.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	Horaire	Depuis 2008	
Niveau d'eau	Numérique	Données en continu	Horaire	Depuis 2008	
Température	Numérique	Données en continu	Horaire	Depuis 2008	
Conductivité	Numérique	Données ponctuelles	2 x par an	Depuis une dizaine d'année	Données issues des analyses de potabilité
pH	Numérique	Données ponctuelles	2 x par an	Depuis une dizaine d'année	Données issues des analyses de potabilité
Turbidité	Numérique	Données en continu	2 x par an	Depuis 2008	Données issues des analyses de potabilité
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles	1 x par mois analyse bactériologie 2 x par an analyse de potabilité selon OPBD	Depuis une dizaine d'année	+ Programme ESoutQual depuis 2005

Piézomètres

Piézomètre	Coordonnées X/Y [m]	Ø [mm]	Profondeur [m]	Profondeur des crépines début/fin [m]	Etat	Propriétaire	Remarques
Pz2	2'573'116.70/ 1'155'912.70	2"			Bon	GESA	Opérationnel, régulièrement suivi.
Pz4	2'572'735.00/ 1'154'792.00	2"	30	22/28	Très bon	Commune de Grandvillard	Piézomètre site pollué avec cadenas

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit et température
Paramètres manquant au suivi en continu	Conductivité
Présence de piézomètre	Oui, beaucoup de piézomètres existent dans la plaine pour le suivi de la nappe alluviale, pour des surveillances OSites et pour le suivi des sites d'exploitation de matériaux.
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Installation d'une sonde de mesure de la conductivité en continu dans un puits
Historique de données	Dès 2008 (Débit, niveau d'eau, température, turbidité), plus de 10 ans pour les autres paramètres en mesure ponctuelle
Adéquation du captage pour la suite du projet	 3 - Adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix prioritaire.

Installation d'une sonde de conductivité électrique dans un puits en complément du suivi déjà en place.

Equiper un piézomètre en aval, par exemple pz2

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

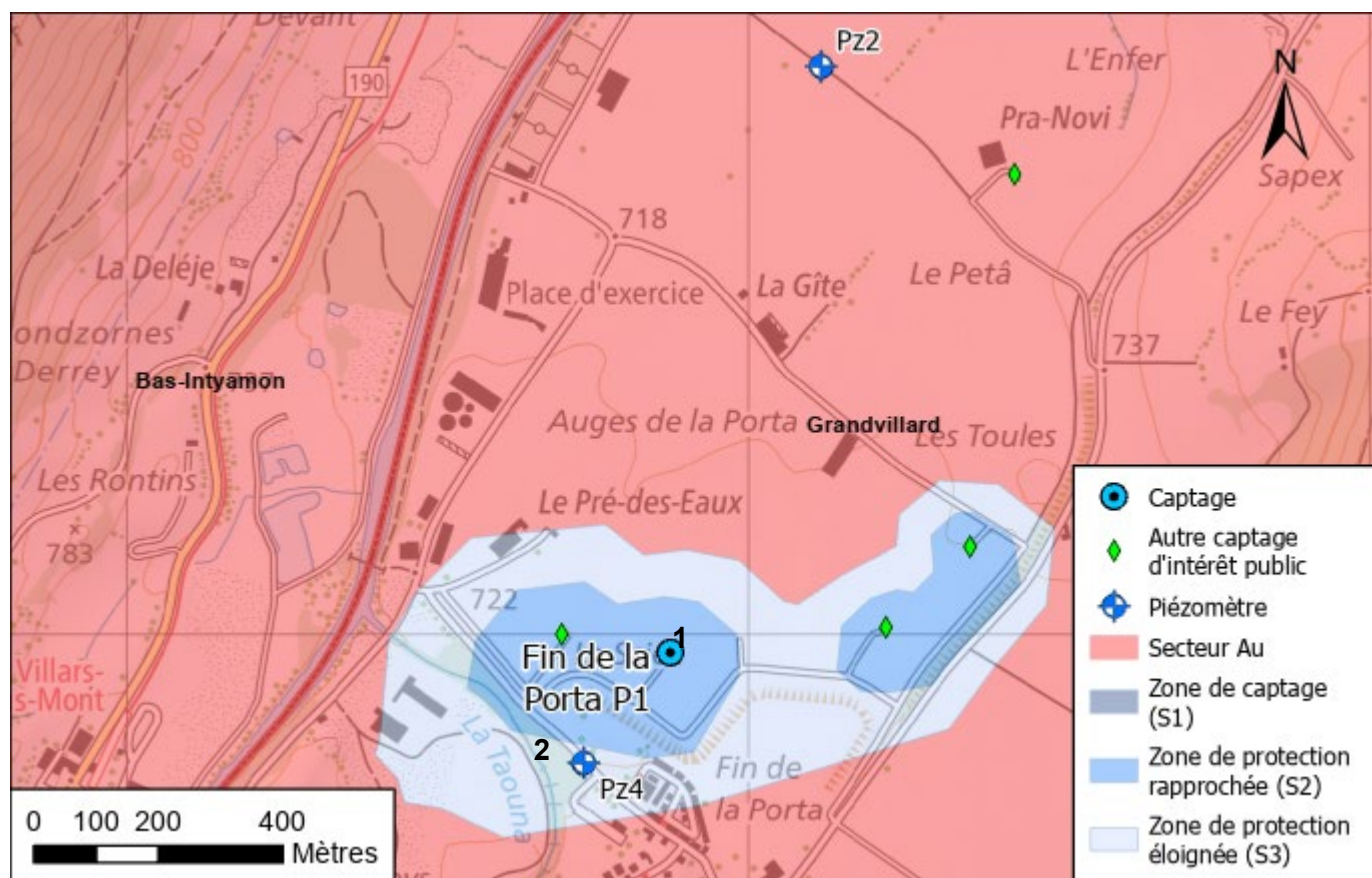


Photo 1 – Puits P1.

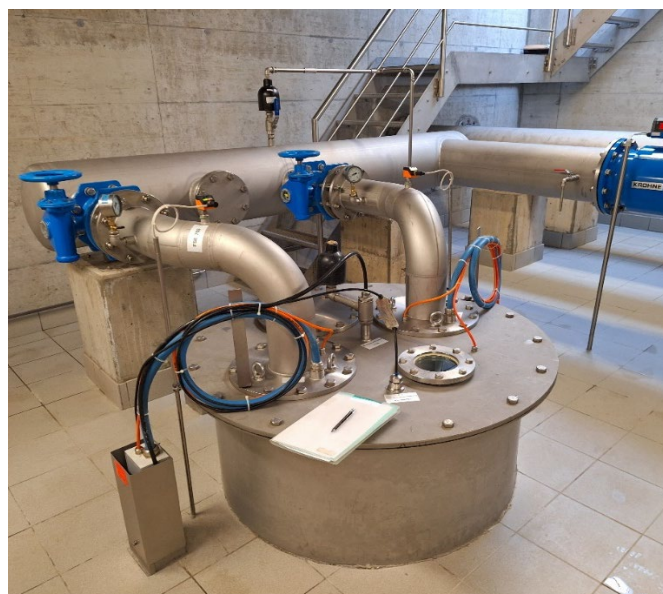
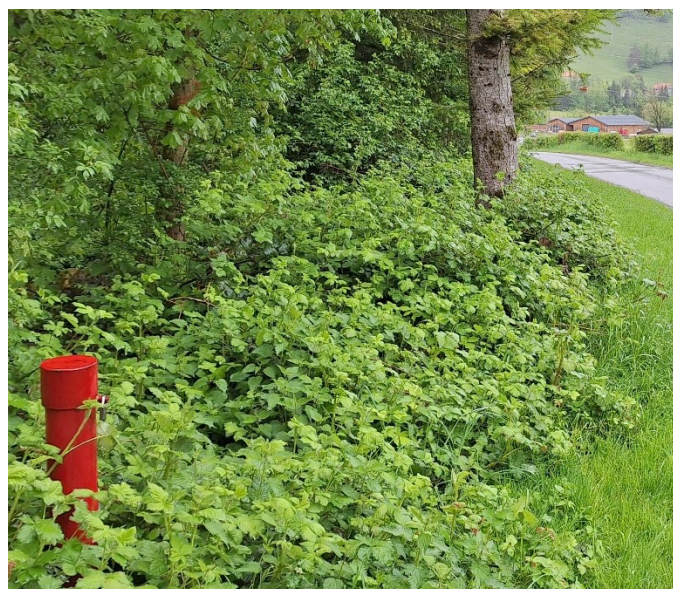


Photo 2 – Pz4.



Bibliographie

- [1] HYDRAP/ J.Bertrand, octobre 1999, Fin de la Porta – Grandvillard, Construction de quatre puits d'eau potable, Conditions d'exploitation et de protection.
- [2] HydroSol Sàrl (2022). EauSud SA. Surveillance de la nappe d'eau souterraine. Secteur Grandvillard – Estavannens. Rapport annuel de surveillance – Année 2021. N° de projet : 22HS02. Date : 24 janvier 2022. Version 1.
- [3] HydroSol Sàrl (2021). EauSud SA. Surveillance de la nappe d'eau souterraine. Secteur Grandvillard – Estavannens. Rapport annuel de surveillance – Année 2020. N° de projet : 21HS02. Date : 28 janvier 2021. Version 1.
- [4] HydroSol Sàrl (2020). EauSud SA. Surveillance de la nappe d'eau souterraine. Secteur Grandvillard – Estavannens. Rapport annuel de surveillance – Année 2019. N° de projet : 20HS02. Date : 30 mars 2020. Version 3.
- [5] HydroSol Sàrl (2019). EauSud SA. Surveillance de la nappe d'eau souterraine. Secteur Grandvillard – Estavannens. Rapport annuel de surveillance – Année 2018. N° de projet : 19HS02. Date : 1er février 2019. Version 1.
- [6] HydroSol Sàrl (2018). EauSud SA. Surveillance de la nappe d'eau souterraine. Secteur Grandvillard – Estavannens. Rapport annuel de surveillance – Année 2017. N° de projet : 18HS02. Date : 1er mars 2018. Version 1.
- [7] Données transmises par EauSud SA/GESA en mai 2024

Captage 04 – Les Marais

Commune Grandvillard

Catégorie du captage Stratégique

Coordonnées 2'573'969 / 1'153'468

Altitude [m.s.m.] 1065

Lot 1 - Préalpes karstiques

Contexte général

Géographie	Le captage de la source des Marais se trouve en rive gauche du Rio des Marais, au sud-est du lieu-dit "Cheseaux". [1]
Géologie	Le bassin d'alimentation se trouve dans le flanc est-sud-est du Synclinal de la Gruyère. Le soubassement rocheux est composé par des calcaire marneux de la formation du Staldengraben et est recouverte par de la moraine de retrait du dernier maximum glaciaire (LGM). [1]
Régime actuel	Cyclicité saisonnière du débit (hautes eaux au printemps) et deux périodes de basses eaux en hiver et en été. Régime peu dépendant des précipitations. [1]
Hydrogéologie	L'eau circule dans les grès schisteux de l'unité C de la formation du Staldengraben. La surface du bassin versant est estimée entre 1.7 et 1.95 km². [1] Circulations lentes et profondes empruntant des fissures faiblement ouvertes. Il en résulte une eau de très bonne qualité. [1] Grande stabilité des paramètres dans le temps. Très peu d'incidence du climat et des saisons sur la chimie des eaux. [1]

Données du captage

Type d'aquifère	Fissuré	Régime hydrogéologique	Nival
Type de captage	Source	Type de captation	Drains
Débit [l/min] moyen / min / max	3000/1800/3300 [3]	Saisonnalité des variations de débit	Peu réactif
Température [°C] moyenne / min / max	-/6/6.5 [3]	pH moyen / min / max	7.5 [2]
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	370/367/385 [3]	Région Ecosfera	Préalpes
Utilisation du sol	Pâturage, forêt et route d'alpage	Impact anthropique	Faible
Remarque	L'eau captée est dirigée directement vers un réservoir de mise en charge. [3] Une petite source est captée par drain une vingtaine de mètres en amont, mais n'est pas utilisée. [3]		

Climat

Légère augmentation du débit en hiver et diminution en été. Les hautes eaux printanières devraient être moins importantes et plus précoces mais l'évolution du débit à long terme va surtout dépendre de l'évolution pluriannuelle de la recharge.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	Horaire	2006	Débit total (réseau + décharge). Une année de mesure disponible en direct, puis archivé (disponible).
Température	Papier	Données ponctuelles	4 x par an	Avant 2006	
Conductivité	Papier	Données ponctuelles	4 x par an	Avant 2006	
pH	Papier	Données ponctuelles	4 x par an	Avant 2006	
Turbidité	Numérique	Données en continu	Horaire	2006	Une année de mesure disponible en direct, puis archivé (disponible).
Analyse qualité	Papier	Données ponctuelles	4 x par an	Avant 2006	Auto-contrôle : Couleur, Conductivité, Turbidité, NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , Dureté, Ca, Mg, Germe, E Coli, Entero. ESoutQual depuis 2023.

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit et turbidité
Paramètres manquant au suivi en continu	Température et conductivité
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Non, car la décharge du réservoir « Grandvillard » est aussi suivie.
Modification à prévoir pour suivi en continu	Installation d'une sonde de mesure de la température et la conductivité
Historique de données	Dès 2006 pour les mesures en continu et avant 2006 pour les données ponctuelles
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté

Programme de suivi

Captage non-retenu pour la suite de l'étude

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

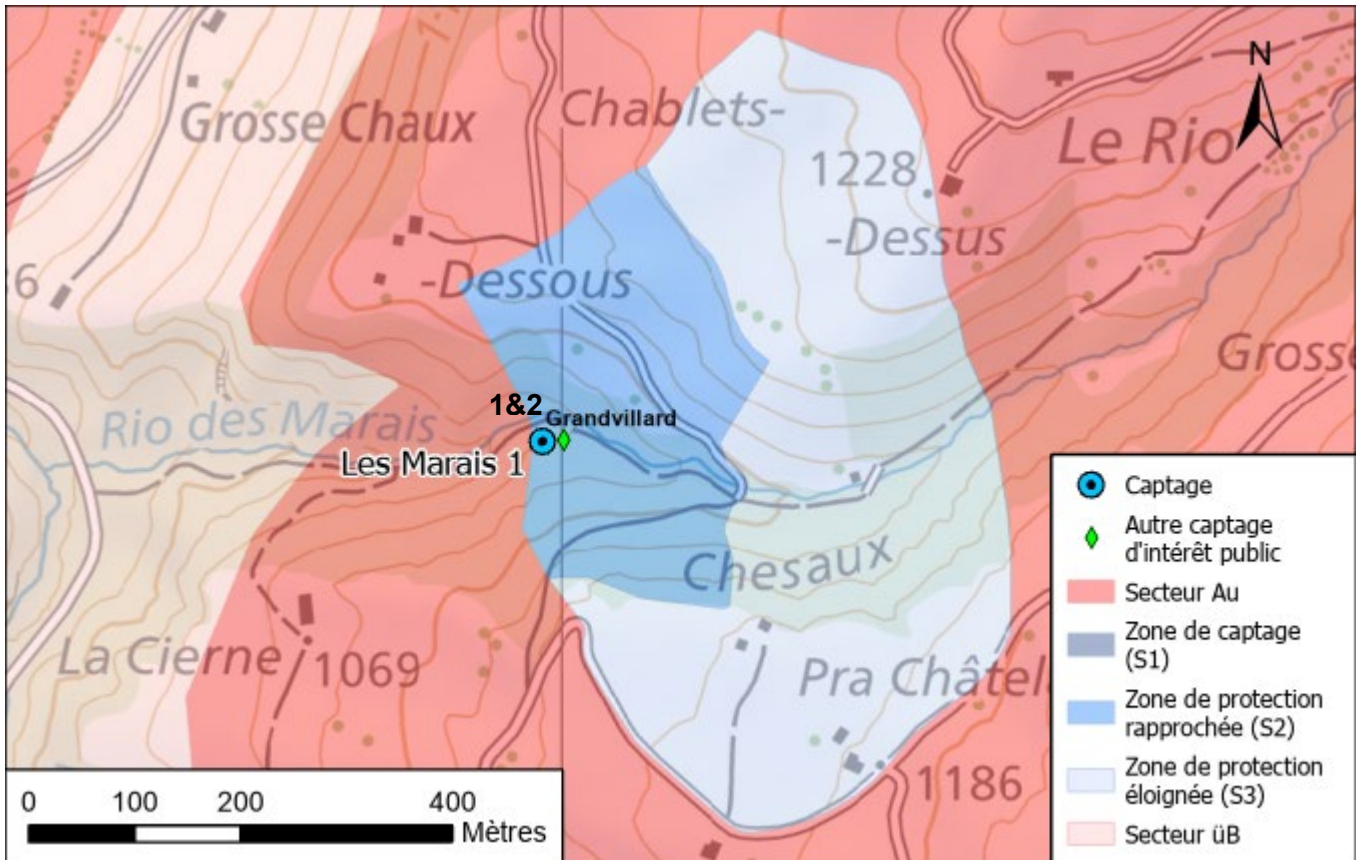


Photo 1 – Chambre de captage réceptionnant les eaux de 3 drains.



Photo 2 – Réservoir de mise en charge, juste en aval de la source.



Bibliographie

- [1] RWB hydrap Sàrl. Octobre 2005. Commune de Grandvillard, Source des Marais. Etude hydrogéologique en vue de la délimitation des zones de protection (Plans et règlement). Rapport technique.
- [2] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.
- [3] Données transmises par la commune en mai 2024

Captage	05 – La Châtelaïne et Pouta-Pierres	Commune	Semsaies	Catégorie du captage	Intérêt public
Coordonnées	2'562'238 / 1'159'038	Altitude [m.s.m.]	950	Lot 2 - Préalpes fissurées	

Contexte général

Géographie	La chambre du captage de la Châtelaïne se situe à environ 2 km au NE de Semsaies, au lieu-dit « Les Côtes », à proximité de la route menant aux Alpettes. Cette chambre récupère dans un bassin séparé les eaux provenant des captages de Pouta-Pierres (au total 2 chambres de captage) qui se trouvent à proximité. La région se trouve à la limite NO des Préalpes Fribourgeoises. [1]
Géologie	Le secteur se trouve dans les Préalpes Externes (Ultrahelvétique) qui chevauchent au NO la Molasse subalpine et sont chevauchées au SE par la nappe du Gurnigel. Deux formations principales se trouvent dans le secteur des captages : Calcaires et marnes tachetées et calcaires biodétritiques (urgonien) ; Flyschs du Gurnigel formés de séries de turbidités fortement plissées et écaillées. [1]
Régime actuel	Le captage de la Châtelaïne présente une variation saisonnière du débit prononcée avec parfois un tarissement en période d'étiage hivernal ou estival. [2] Le débit en provenance des drains des captages de Pouta Pierres est plus stable (24 à 36 l/min). Cette stabilité peut s'expliquer par une zone d'alimentation plus grande ou moins perméable. [2] La température et la conductivité électrique ne montrent pas de variation saisonnière significative et sont similaires pour l'ensemble des captages. [1]
Hydrogéologie	La chambre du captage de la Châtelaïne récupère les eaux d'un drain à proximité (captage de la Châtelaïne) et les eaux en provenance des captages par drain de Pouta Pierres. L'infrastructure de la châtelaïne (chambre et drain) a été rénovée en 2013. L'infrastructure de Pouta Pierres date de 1960. [1][2] Les captages se situent dans les dépôts de moraine rhodanienne au sein desquels se sont développés des glissements, tassements et éboulements qui constituent le réservoir principal alimentant les sources. Les Flyschs à turbidites silicieuses de la nappe du Gurnigel contribuent également à leur l'alimentation. [1] La qualité des eaux est satisfaisante sur le plan chimique mais insatisfaisante sur le plan microbiologique (impact agricole et alpages). Pics de turbidité à Pouta Pierres lors de fortes précipitations. [2] La vitesse d'écoulement, déterminé sur la base d'un essai de traçage dans le secteur de Pouta Pierres, est de 16.5m /j. [1]

Données du captage

Type d'aquifère	Fissuré	Régime hydrogéologique	Nivo-pluvial
Type de captage	Sources	Type de captation	Drains
Débit [l/min] moyen / min / max	65.3 / 3.5 / 150 [2]	Saisonnalité des variations de débit	Réactif
Température [°C] moyenne / min / max	7.3 / 6.4 / 8.2 [2]	pH moyen / min / max	-
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	376 / 364 / 391 [2]	Région Ecosfera	Préalpes
Utilisation du sol	Pâturage, route d'alpage et forêt	Impact anthropique	Faible

Remarque

Le débit maximum est atteint au début du printemps. Il y a également des pics importants en automne (épisode de pluie intense). Bassin d'alimentation de 12.5 Ha pour les deux sources – Gamme d'altitude de 950 à 1200 m. [2]

Le captage de Pouta-Pierres présente d'importants problèmes de turbidité. Il est mis en décharge lors d'épisodes pluvieux. [2]

Climat

Augmentation significative des débits en hiver et diminution en été. Les périodes d'étiage en fin d'été seront plus longues et le risque de sécheresse en fin d'été/automne sera plus important.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	Minute	2004	Débit cumulé La châtelaine et Pouta Pierre. Pouta Pierre est régulièrement mis en décharge manuellement (dès qu'il y a des précipitations, documenté). Le débit de la décharge n'est pas mesuré.
Température	Papier	Données ponctuelles	3-4 x par an	2010	Mesure prise au réservoir
Conductivité	Papier	Données ponctuelles	3-4 x par an	2010	Mesure prise au réservoir
pH	Pas de mesure				
Turbidité	Numérique	Données en continu	Minute	2004	Mesure en continu au réservoir.
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles	3-4x par an	2010	Couleur, conductivité, turbidité, nitrite, nitrate, ammonium, dureté totale. Germes aérobies mésophiles, E.coli, Entérocoque. Naqua Spez depuis 2005

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit et turbidité
Paramètres manquant au suivi en continu	Température et conductivité
Mesures réalisées sur un groupe de sources	La mesure du débit comprend les captages de la Châtelaine et de Pouta-Pierres. Cette mesure est réalisée au réservoir communal de Pra-Roud.
Écrêtage des débits maximum	Non. En revanche, dès qu'il pleut, la source de Pouta Pierres est mise préventivement en décharge dans la chambre de rassemblement, à cause de la turbidité.
Modification à prévoir pour suivi en continu	Idéalement, il faudrait mesurer séparément la Châtelaine proprement dite de Pouta Pierre, comme cette dernière est régulièrement mise en décharge. Mais la chambre de rassemblement ne dispose que de peu de place pour installer un tel dispositif.
Historique de données	Dès 2004 pour les mesures en continu de turbidité et débit. Dès 2010 pour les autres mesures ponctuelles.
Adéquation du captage pour la suite du projet	 1 - Peu adapté

Programme de suivi

Captage non-retenu pour la suite de l'étude

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

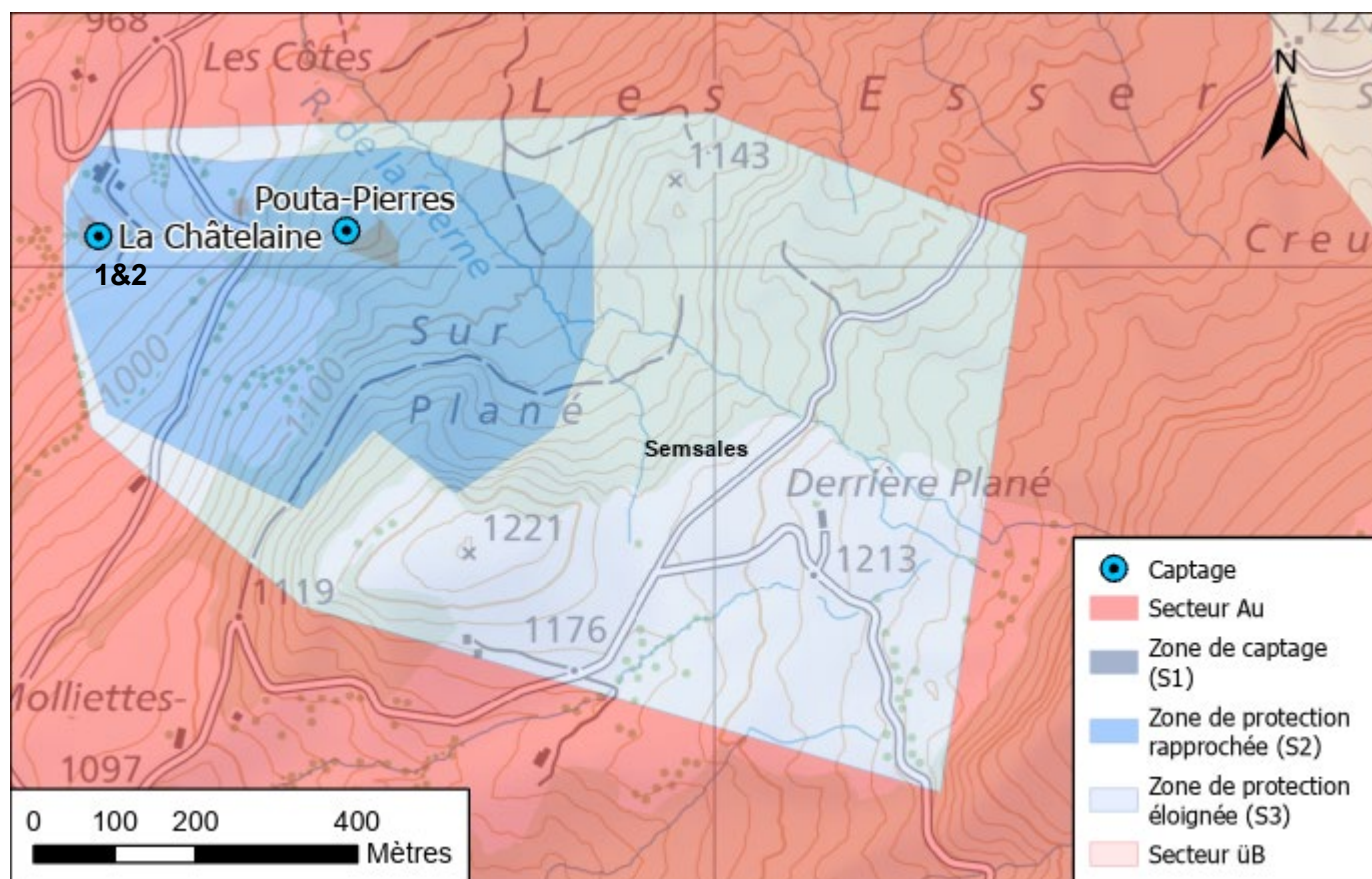


Photo 1 – Chambre de réunion Chatelaine - Pouta Pierre



Photo 2 – Chambre de réunion Châtelaine et Pouta-Pierres (ici en décharge).



Bibliographie

- [1] AGC Géologie SA, Mars 2006, Sources des Pouta-Pierres et de la Châtelaine, État des captages et délimitation des zones S de protection des eaux souterraines, rapport hydrogéologique. AGC FR 2050.
- [2] Données transmises par la commune en mai 2024

Captage	06 – Müllera (M), Käserli (K) Schmutzena (S)	Commune	Passelb	Catégorie du captage	Important
Coordonnées	M: 2'581'948 / 1'171'068 K: 2'582'900 / 1'172'050 S: 2'583'030 / 1'172'675	Altitude [m.s.m.]	M: 1'277 K: 1'105 S: 1'163	Lot 2 - Préalpes fissurées	

Contexte général

Géographie	Trois sources (Müllera, Käserli et Schmutzena) sont captées par la commune de Plasselb, en rive gauche de la vallée du Plasselbschlund. Les captages sont situés à environ 3.5 km au nord-est du sommet de la Berra.
Géologie	Ce versant est constitué de grès et marnes appartenant au Flysch du Gurnigel. Les couches sont généralement orientées vers le sud/sud-est. La détente suivant le retrait glaciaire a formé une zone de fissuration de quelques mètres de profondeur. Le flysch est localement recouvert de dépôts quaternaires (morainique) [1].
Régime actuel	Les trois captages ont des réactions différenciées aux variations de conditions climatiques. Pour le captage de Käserli la différence entre le débit maximum et minimum est d'environ 25% et de 35% pour Schmutzena qui réagit par ailleurs fortement aux fortes précipitations. Le captage de Müllera présente d'importantes variations du débit et une forte sensibilité à la sécheresse. Le caractère fissuré de l'aquifère et les grandes vitesses d'écoulement rendent les sources sensibles aux conditions météorologiques [1]. Le captage de Käserli et de Schmutzena ont un débit moyen de respectivement 700 l/min et 100 l/min relativement stable sur l'année. Müllera a un débit maximal d'environ 500 l/min qui est très variable. La température et la conductivité électrique ne montrent pas de variations saisonnières significatives. Le débit maximal est rencontré au printemps (avril) avec parfois ces pics de débit en été après de fortes précipitations.
Hydrogéologie	La zone fissurée des grès du Flysch de Gurnigel permet la circulation d'eau souterraine. Des zones d'infiltration localement concentrée d'eau de surface dans les grès sont documentées dans cette région. Les couches marneuses peu perméables jouent un rôle d'aquiclude qui entraîne la formation de zones humides à la surface qui sont très largement présentes à proximité du captage [1]. La qualité des eaux est satisfaisante sur le plan chimique mais sporadiquement insatisfaisante sur le plan microbiologique. Les épisodes de pollution bactériologique sont associés à des valeurs de turbidité élevée. Les activités agricoles sur les alpages situés en amont sont probablement à l'origine de ces pollutions [1] et [2].

Données des captages

Type d'aquifère	Tous : Fissuré	Régime hydrogéologique	Tous : Nival
Type de captage	Tous : Source	Type de captation	Tous : Drains
Débit [l/min] moyen / min / max	K : 700 / ~630 / ~900 [1]	Saisonnalité des variations de débit	Tous : Intermédiaire
Température [°C] moyenne / min / max	K : 7.8 / 7 / 8 [1]	pH valeur ponctuelle	K : 7.5 [2]
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	K : 312 / 306 / 318 [1]	Région Ecosfera	Préalpes
Utilisation du sol	Tous : Pâturage, forêt et rocher affleurant	Impact anthropique	Tous : Faible
Remarque	Estimation des débits min-max sur la base du graphique (pas de données tabulées). Bassin d'alimentation estimé à 54 ha – gamme d'altitude 1100 à 1500 m		

Climat

Légère augmentation du débit en hiver et diminution en été. Les hautes eaux printanières devraient être moins importantes et plus précoces.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	-	2018	Mesure à la station UV sur le cumul des trois sources
Température	Papier	Données ponctuelles	6 x par an		4 autocontrôles et 2 contrôles par le canton par an
Conductivité	Papier	Données ponctuelles	6 x par an		4 autocontrôles et 2 contrôles par le canton par an
pH	Papier	Données ponctuelles	6 x par an		4 autocontrôles et 2 contrôles par le canton par an
Turbidité	Numérique	Données en continu		2018	Mesure à la station UV sur le cumul des trois sources
Analyse qualité	Numérique et papier	Données ponctuelles	6 x par an		4 autocontrôles et 2 contrôles par le canton par an ESoutQual depuis 2023 (Käserli)

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit et turbidité
Paramètres manquant au suivi en continu	Conductivité électrique et température
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Oui, sources Müllera, Käserli et Schmutzena À noter que le fait d'avoir un suivi sur 3 sources distinctes avec des comportements pas tout à fait pareil n'est pas idéal. De plus, si une des sources est sortie du réseau, cela entraîne des artéfacts dans la série de mesure du débit sommé des 3 sources.
Écrêtage des débits maximum	Des écrêtages sont possibles pour chacun des captages. Pas d'information disponible à ce sujet.
Modification à prévoir pour suivi en continu	Installation d'une sonde de mesure de la conductivité au niveau de la station UV
Historique de données	Dès 2018 pour les paramètres en continu
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté

Programme de suivi

Captage non-retenu pour la suite de l'étude

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

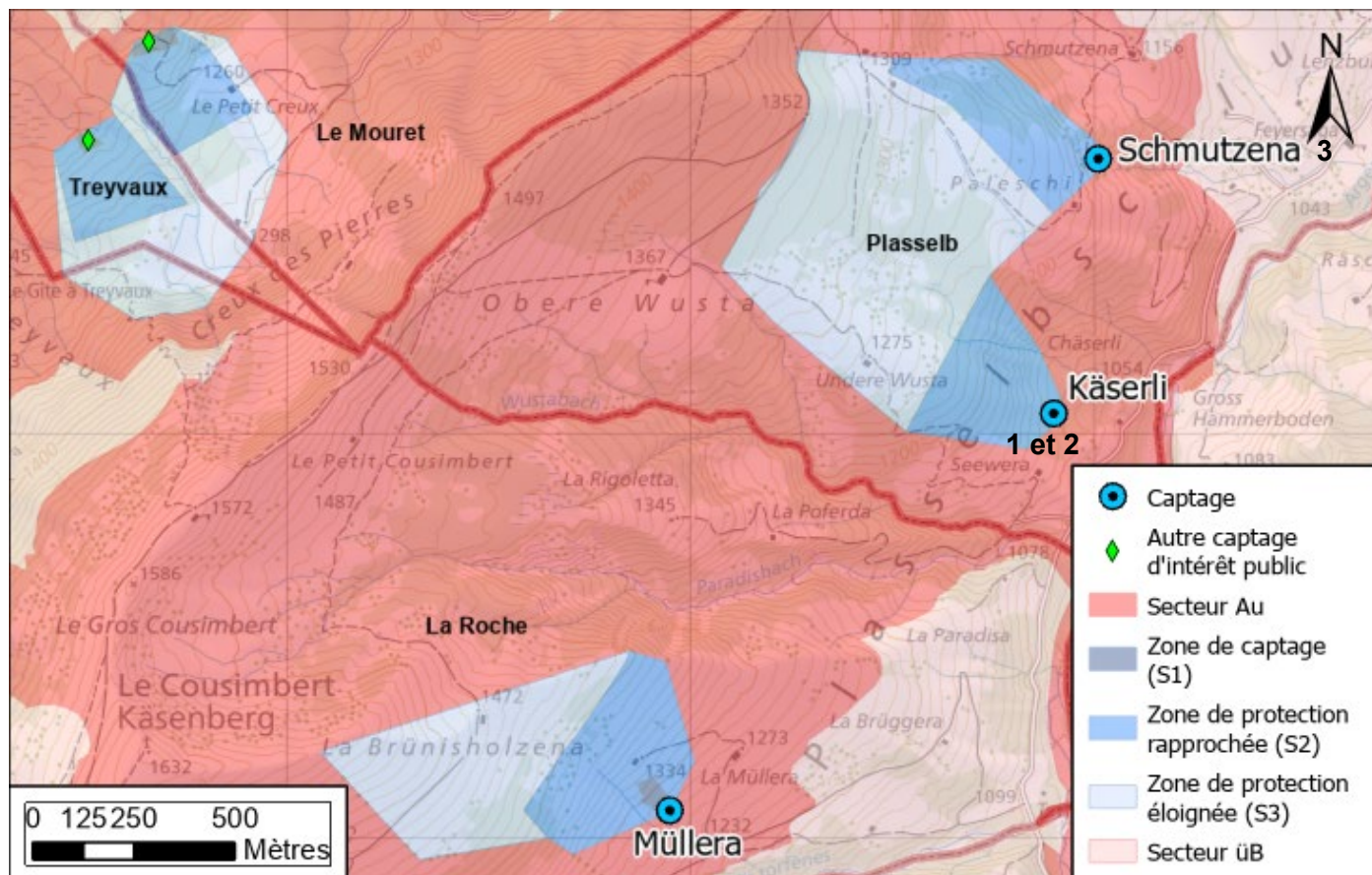


Photo 1: Chambre de captage Käserli



Photo 2 : Vue intérieur de la chambre de captage Käserli



Photo 3: Chambre de traitement UV à Feyersaga



Bibliographie

- [1] Géolina SA, mars 1999, Gemeinde Plasselb, Quelfassungen Käserli und Schmutzena, Hydrogeologischer Bericht zur Ausscheidung der Gewässerschutzzonen, 97-167.
- [2] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024 (Pour Käserli uniquement).

Captage 07 -La Tuffière

Commune Corpataux

Catégorie du captage Stratégique

Coordonnées 2'574'485 / 1'177'783

Altitude [m.s.m.] 617

Lot 3 - Plateau morainique

Contexte général

Géographie	L'aquifère de la Tuffière se situe au sud-ouest de Fribourg, entre la Glâne et la Sarine. Les captages de la Tuffière ouest se trouvent au sud du hameau du même nom, en bordure d'une petite zone forestière, non loin du pont sur la Sarine « la Tuffière ».
Géologie	Le substratum rocheux régional est composé de dépôt molassique gréseux (OMM -Burdigalien inférieur). Ces dépôts ont été érodés et par endroit comblés par une succession de dépôts quaternaires (du plus ancien au plus jeune) : Complexe rissien (sédiments fins, limons argileux et sableux) ; sédiments interglaciaires (dépôt fluviatiles et lacustres) ; Dépôts de progression fluviatile (graviers sableux, « graviers de la Tuffière ») ; moraine de fond rhodanienne, compacte (Würm) ; Formations post-glaciaires (alluvions fluviales, terrasses graveleuse et dépôts coluvionnaires) [1], [2], [4].
Régime actuel	Les 8 captages de la Tuffière réagissent à la mise en eau du lac de Gruyère avec un délai de 50 à 70 jours (transfert de pression). La contribution du lac au débit des sources est estimée à 46% sur la base de ratio isotopique et chimique. Le niveau du lac de la Gruyère influence donc qualitativement et quantitativement les sources de la Tuffière [2]. L'alimentation de l'aquifère par les précipitations se fait de manière « rapide » (infiltration dans des secteurs de graviers bien connectés à l'aquifère) et « retardée » (infiltration par roches encaissantes peu perméables) [2].
Hydrogéologie	Les graviers de la Tuffière sont un dépôt de graviers sableux de 30-40m d'épaisseur, localement jusqu'à 70m. La perméabilité de cette couche est estimée comme très bonne (10^{-3} à 10^{-4} m/s). Ces graviers sont compris entre deux couches aquicludes (sédiments fins du complexe rissien et interglaciaire à la base ; Moraine rhodanienne au sommet). L'aquifère de la Tuffière se compose de plusieurs sillons différents dont les directions d'écoulement varient d'ouest en est, sud -ouest/ nord-est ou sud/nord [1], [2], [4]. Plusieurs essais de traçage prouvent les relations entre la partie nord-est du village de Corpataux et les sources. À partir de ces essais, les vitesses d'écoulement sont estimées d'après le rapport CSD [1] entre < à 1m/h (circulation typique nappe alluviale) et jusqu'à 250 à 1000m/h à proximité de la zone d'appel des captages (circulation chenalisée). Trois zones d'exutoires naturels de l'aquifère de la Tuffière sont identifiés : Source de la ville de Fribourg (dont captage de la Tuffière ouest); Zone sourcière de Graboz ; Sources de la Baume. Ces sources se trouvent en bordure nord/nord-est de l'aquifère [1], [2].

Données du captage

Type d'aquifère	Poreux glaciaire	Régime hydrogéologique	Pluvial
Type de captage	Source	Type de captation	Drains
Débit [l/min] moyen / min / max	9400 / 6600 / 11640 [5]	Débit de concession [l/min]	12'000*
Température [°C] moyenne / min / max	11.7 / 10.6 / 14 [5]	Saisonnalité des variations de débit	Intermédiaire
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	545 / 507 / 577 [5]	pH moyen / min / max	7.3 / 7.2 / 8.1 [5]
Piézomètre existant	Oui	Région Ecosfera	Plateau Nord
Utilisation du sol	Forêts, Terres cultivées, villages, routes, autoroute, sites pollués, gravières	Impact anthropique	Fort
Remarque	Sites pollués au sein des zones S2 et S3, dont 1 site nécessitant un assainissement (N° EVA :2184-0103) en S2. Bassin d'alimentation de l'aquifère estimé à 11.2 km²- Gamme d'altitude de 620 à 800 m *Débit de concession de 12'000 l/min sur les captages de la Tuffière est et ouest		

Climat

Faible augmentation du débit en hiver et diminution relativement importante en été avec davantage de sécheresses pouvant être plus intenses et prolongées. Le lien avec les eaux de surface devrait permettre de tamponner en partie les fluctuations attendues mais la relation avec le lac de barrage (transfert de pression ?) devrait être d'avantage investiguer pour déterminer si les variations de niveaux seront plus impactées par le barrage ou par le changement climatique.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	Journalier	Au format excel depuis 2017	
Température	Numérique	Données en continu	Journalier	Au format excel depuis 2017	
Conductivité	Numérique	Données en continu	Journalier	Au format excel depuis 2017	
pH	Numérique	Données en continu	Journalier	Au format excel depuis 2017	Dérive liée à la calibration de la sonde
Turbidité	Numérique	Données en continu	Journalier	Au format excel depuis 2017	
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles	2 à 4 x par mois	Au format excel depuis 2019	Programme ESoutQual depuis 2004.

Piézomètres

Piézomètre	Coordonnées X/Y [m]	Ø [mm]	Profondeur [m]	Profondeur des crépines début/fin [m]	Etat	Propriétaire	Remarques
F2	2'574'352 1'177'663	50	13	10/12	Bon	SINEF	Piézomètre réalisé pour la surveillance SIPOL du site 2184-0101

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit, turbidité, température, conductivité électrique, cytométrie en flux (quantification bactériologique) , ORP et pH (dérive pour ORP et pH)
Paramètres manquant au suivi en continu	
Présence de piézomètre	Oui, plusieurs à proximité en lien avec les sites pollués présents dans le secteur La mise en place d'un piézomètre de suivi plus en amont dans l'aquifère serait judicieux. Le piézomètre F05 proposé dans le cadre de projet PACES pourrait fournir des informations intéressantes à distance des captages.
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Oui, sur 6 captages dans le secteur de la Tuffière Ouest
Écrêtage des débits maximum	non
Modification à prévoir pour suivi en continu	
Historique de données	Des données sont disponibles au format excel depuis 2017
Adéquation du captage pour la suite du projet	 4 - Très bien adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix prioritaire.

Equiper un piézomètre en amont en lien avec le site pollué 2184-0101

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

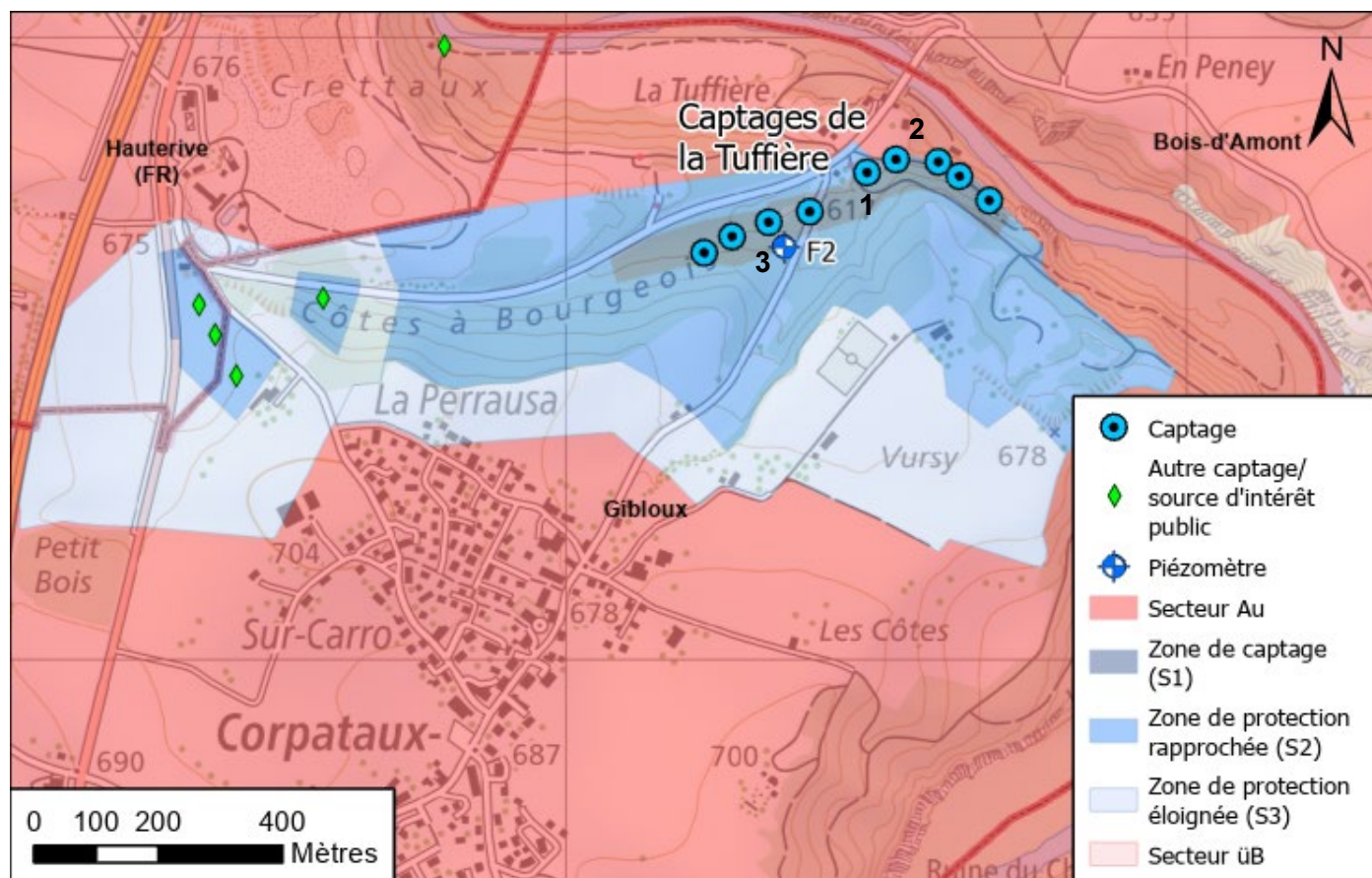


Photo 1 : Chambre de captage Tuffière 5 appartenant au groupe tuffière Ouest

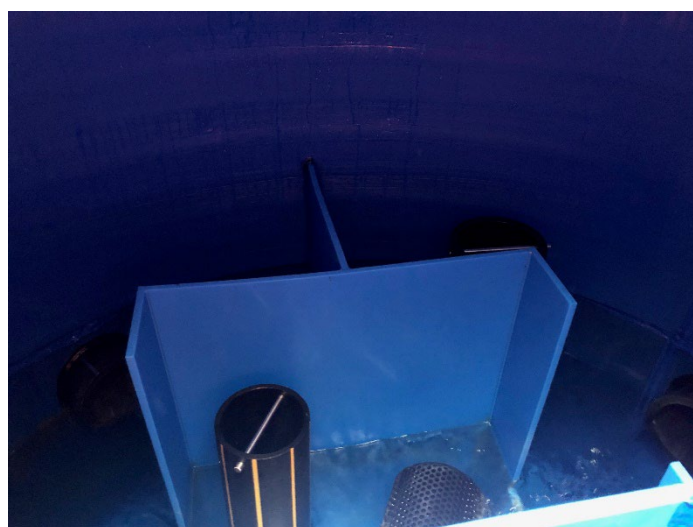


Photo 2 : Chambre de réunion des captages de la Tuffière

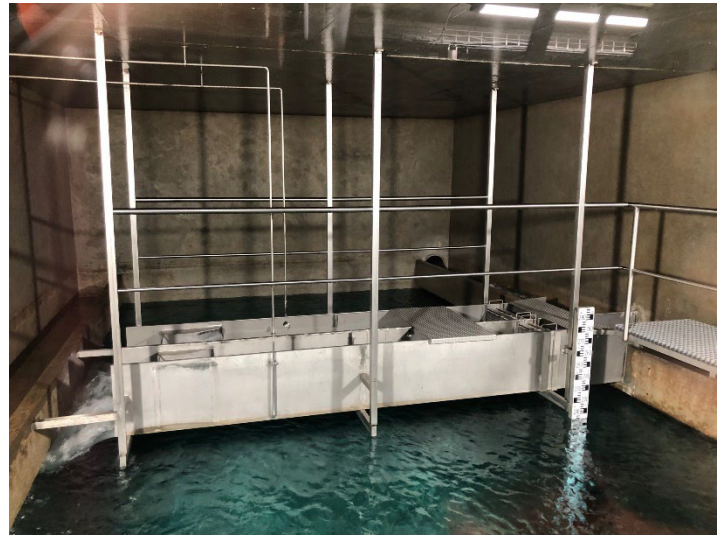


Photo 3: Piézomètre F2



Bibliographie

- [1] CSD SA, juillet 1989, Services industriels de la ville de Fribourg, Captage de la Tuffière, Commune de Corpataux. Rapport hydrogéologique pour l'établissement des zones de protection. FR 1466.
- [2] Joseph Thierrin, octobre 1990, Contribution à l'étude des eaux souterraines de la région de Fribourg (Suisse Occidentale). Thèse, Faculté des sciences de l'Université de Neuchâtel.
- [3] HydroSol Sàrl, Novembre 2016, Service de l'Environnement Sen. Secteur Posat, Grenilles, Favargny-le-Petit, Périmètre de protection des eaux souterraines. Etape 1 : Sélection des sites potentiels, Rapport hydrogéologique. 16HS35.
- [4] Prona et AquaGeo, Février 2020, Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines PACES Tuffière. Rapport relatif à la base de données PACES Tuffière. P19220
- [5] ESoutQual, Station 1336, Donnée du SEn, 5 mai 2024.

Captage	08 – Hofmatt Puits 1 et 2	Commune	St Ursen	Catégorie du captage	Stratégique
Coordonnées	P1: 2'587'315 / 1'181'170 P2: 2'587'305 / 1'181'083	Altitude [m.s.m.]	P1: 751 P2: 750	Lot 3 - Plateau morainique	

Contexte général

Géographie	Les captages de Hofmatt se trouvent dans la vallée du Gottéron à 400m à l'ouest du hameau de Hofmatt. Le puits 1 est situé à environ 70m en rive droite du cours d'eau en bordure d'un champ. Le puits 2 est situé à 20m en rive gauche, également dans un champ.
Géologie	La succession de dépôts quaternaires dans le secteur d'étude est largement influencée par les différents épisodes glaciaires : Glaciation du Riss et remaniement de dépôts morainiques par les torrents de fonte à la fin de la période glaciaire (dépôt de gravier Rissiens). Ces dépôts sont, dans le cadre des études du secteur, regroupés avec les dépôts de graviers de la période interglaciaire (graviers interglaciaire). Puis passage à une sédimentation plus fine (argile et limons glacio-lacustres interglaciaire). Suivi de la glaciation Würmienne et de dépôts grossiers lors de la fonte glaciaire (graviers de retrait Würmien). À l'époque Rissienne, le tracé de la paléo-Singine était probablement situé dans la vallée de Hofmatt [2].
Régime actuel	À déterminer
Hydrogéologie	Trois aquifères sont identifiés dans le secteur de Hofmatt : - l'aquifère profond (I), situés dans les graviers interglaciaires d'environ 30m d'épaisseur et très productif. et artésien. Les puits Hofmatt 1 et 2 exploitent cet aquifère (charge ~7.5m au-dessus du terrain naturel en 1941) ; - l'aquifère moyen (II), secondaire, peu épais dans le secteur et probablement discontinu. Mis en place lors de la progression des glaciers Würmiens ; - l'aquifère supérieur (III), composé des graviers de retrait würmien, en bordure de la vallée, et peu productif. L'aquifère profond serait en partie alimenté par les infiltrations de la Singine au niveau de Plafayon [1] ainsi que par le ruisseau « Graben » et certaines connexions entre les graviers de retrait würmien (III) et les graviers profonds (I). Des incertitudes demeurent concernant la contribution exacte des eaux de surface à la recharge des différents aquifères[1]. La couverture morainique et les argiles glacio-lacustre jouent un rôle protecteur pour l'aquifère profond. Celui-ci reste cependant vulnérable vis-à-vis des connexions avec l'aquifère supérieur et les eaux de surface [1]. Selon les données ESoutqual 2022-2023 [3], la teneur en nitrates est d'environ 9 mg/l et 14 mg/l de sulfates.

Données du captage

Type d'aquifère	Poreux alluvial	Régime hydrogéologique	Nivo-pluvial
Type de captage	Puits	Profondeur du puits [m]	35
Profondeur des crépines début/fin [m]	25/35	Débit de pompage moyen [l/min]	6100 à 7200 sur Hofmatt I et II.
Niveau d'eau au repos [m.s.m]/[m]	Artésien	Débit de concession [l/min]	6'900 sur les 4 puits
Rabattement moyen [m]	Artésien	Saisonnalité des variations de niveau	artésien / semi captif

Température [°C] valeur ponctuelle	10.4 [3]	pH [-] moy/min/max	7.53/7.13/8.35 [3]
Conductivité [µS/cm] moy/min/max	520/510/556 [3]	Région Ecosfera	Plateau Sud
Piézomètre existant	Oui	Impact anthropique	Moyen
Utilisation du sol	Agriculture, et habitat dispersé		
Remarque	Altitude moyenne bassin versant 850 m sur la base d'analyse isotopique [1]. Puits 1 et 2 siphonnés Piézomètre de suivi de la nappe à côté du puits 1.		

Climat

Légère augmentation des niveaux en hiver et diminution en été. Les périodes d'étiage en fin d'été seront plus longues. Mais l'évolution de la quantité d'eau va surtout dépendre de l'évolution pluriannuelle de la recharge. Le lien avec les eaux de surface devrait permettre de tamponner en partie les fluctuations attendues. Le caractère semi captif du captage devrait le rendre moins sensible aux évolutions prévues.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	Journalier	Au format Excel depuis 2017	Débitmètre sur Puits 1 et 2
Niveau d'eau	Numérique	Données en continu	Horaire	2022	Puits siphonnés, information de niveau à partir du piézomètre de suivi
Température	Papier	Données ponctuelles			
Conductivité	Numérique	Données en continu	Journalier	Au format Excel depuis 2017	Sur le mélange des 4 puits
pH	Numérique	Données en continu	Journalier	Au format Excel depuis 2017	Dérive liée à la calibration de la sonde - Sur le mélange des 4 puits
Turbidité	Numérique	Données en continu	Journalier	Au format Excel depuis 2017	Sur le mélange des 4 puits
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles	2 x par an	Au format Excel depuis 2017	Autocontrôle ESoutQual depuis 2022 (puits 1) et 2004 (mélange des 4 puits).

Piézomètres

Piézomètre	Coordonnées X/Y estimées [m]	Ø [mm]	Profondeur [m]	Profondeur des crépines début/fin [m]	Etat	Propriétaire	Remarques
Piézomètre	2'587'316 / 1'181'182					SINEF	Situé au coin nord du grillage du Puits 1 Données de niveau en continu depuis 2022.

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit, niveau aquifère pour puits 1 et 2 / Turbidité, conductivité électrique, pH et ORP (dérive pour ORP et pH)
Paramètres manquant au suivi en continu	Température
Présence de piézomètre	Oui, un à proximité du puits 1, équipé d'une sonde de suivi
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Oui deux puits dans le même aquifère
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Ajouter une sonde température
Historique de données	Données continue au format excel depuis 2017
Adéquation du captage pour la suite du projet	 3 - Adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix secondaire.

Installation d'une sonde de température.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

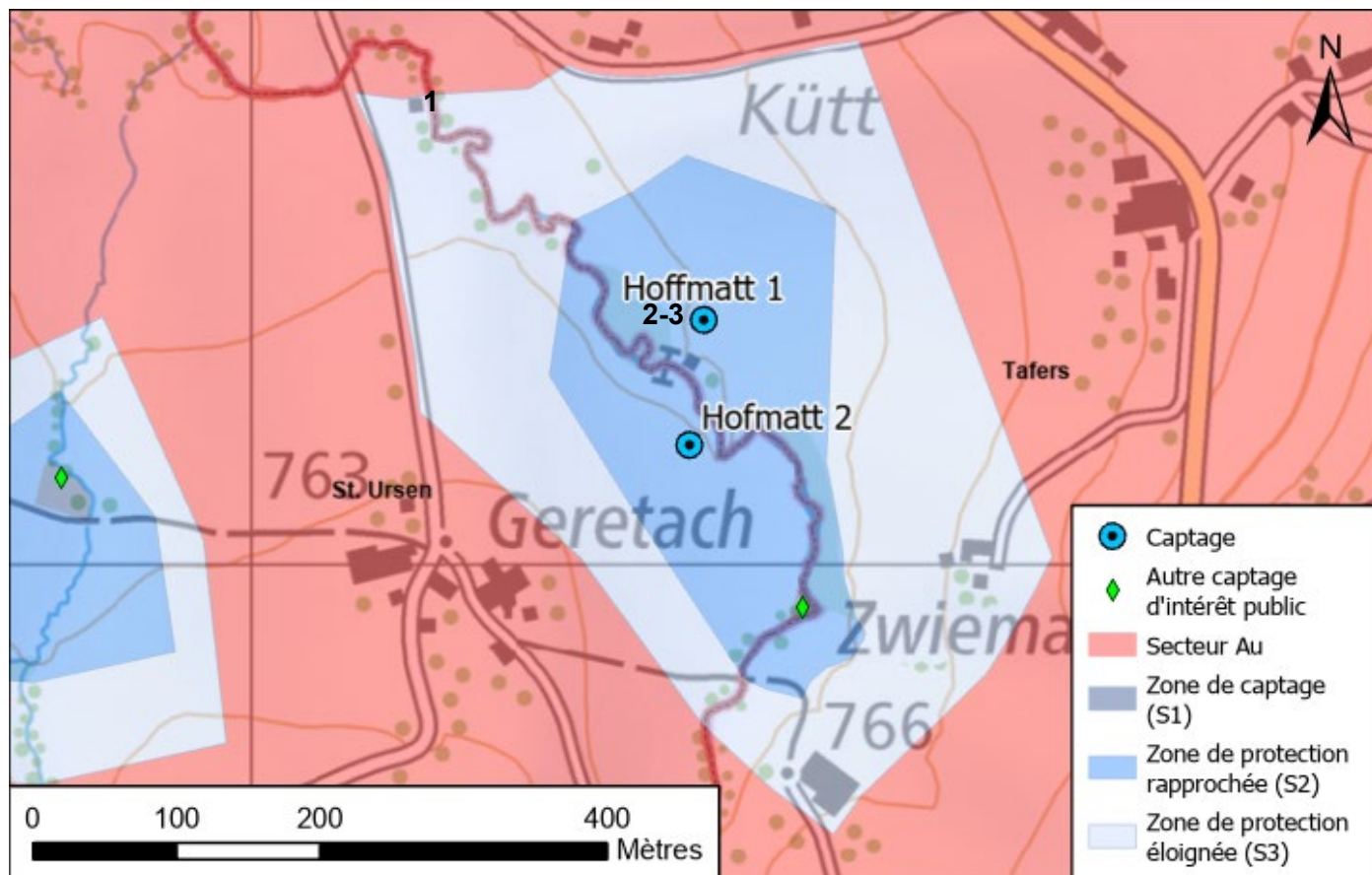


Photo 1 : Chambre de réunion des puits de Hofmatt



Photo 2 : Piézomètre de surveillance au puits 1



Photo 3: Puits Hofmatt 1



Bibliographie

- [1] CSD SA, Juillet 1992, Commune de St Ursen, Commune d'Alterswyl, Service industriels de la ville de Fribourg, Zones de protection des puits de la Hofmatte, Synthèse hydrogéologique. FR1601.
- [2] ABA-GEOL AG, Septembre 2022, PACES – Phase 1, Hoffmatte-Sodbach
- [3] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.

Captage	09 – En Cudré	Commune	Villaz	Catégorie du captage	Intérêt public
Coordonnées	2'563'896 / 1'174'600	Altitude [m.s.m.]	674	Lot 4 - Plaine alluviale	

Contexte général

Géographie	Le puits se trouve dans la plaine de la Glâne, au nord de la route menant de Villaz-St-Pierre à Chavannes-sous-Orsonnens.
Géologie	La molasse burdigalienne constitue le soubassement du vallon de la Glâne. Elle affleure vers la voie de chemin de fer. Son toit marque une dépression entre Villaz-St-Pierre et Fuyens. La couverture, d'une épaisseur comprise entre 7 et 11.5 m, est constituée de moraine (1.5 à 6 m) surmontée d'alluvions (env. 3 m), parfois de dépôts palustres (0.2 m) et d'un sol (0.6 à 2 m) [2].
Régime actuel	Pas d'information
Hydrogéologie	L'aquifère exploité est situé à l'interface moraine-molasse ou dans les alluvions interglaciaires. Au droit du puits, ces alluvions sont absentes. Les circulations sont essentiellement liées au système de fissuration de la molasse . L'aquifère est en charge et même légèrement artésien. La nappe s'écoule en direction du SE, perpendiculairement à la Glâne, avec une pente de 1.9% [2]. L'essai de pompage longue durée (205 l/min) a permis d'observer des légères fluctuations du niveau piézométrique en relation avec les conditions météorologiques [2]. La hauteur d'eau dans le puits (statique) est de 8.8 m en 1996. Les analyses pour le puits montrent des teneurs en nitrates < 25 mg (en 1996) [2]. Le caractère artésien de l'aquifère démontre la faible perméabilité de son toit et donc une bonne protection de la couche de couverture. Une seconde nappe a été mise en évidence dans les alluvions supérieures. La moraine sépare les deux nappes et elle est considérée ici comme imperméable [2].

Données du captage

Type d'aquifère	Fissuré	Régime hydrogéologique	Pluvial (supposé)
Type de captage	Puits	Profondeur du puits [m]	9.6 [2]
Profondeur des crépines début/fin [m]	4.5 / 8.5 [2]	Débit de pompage moyen [l/min]	100
Niveau d'eau au repos [m.s.m.] / [m]	672* / 8.8** [2]	Débit de concession [l/min]	200
Rabatement moyen [m]	Inconnu	Saisonnalité des variations de niveau	artésien / semi captif
Température [°C] moyenne / min / max	- / 10.3 / 10.6 [2]	pH moyen / min / max	7.2 [3]
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	- / 609 / 640 [2]	Région Ecosfera	Plateau Sud
Piézomètre existant	Oui	Impact anthropique	Moyen

Utilisation du sol	Culture herbagère et village	
Remarque	* Le terrain naturel est à 672.8. L'altitude 674 correspond au sommet du remblai recouvrant le captage. ** Depuis le fond du puits	

Climat

Légère augmentation des niveaux en hiver et diminution en été mais l'évolution de la quantité d'eau va surtout dépendre de l'évolution pluriannuelle de la recharge. Le niveau d'eau pourrait diminuer à long terme si la recharge moyenne annuelle diminue. Le caractère artésien du captage devrait le rendre moins sensible aux évolutions prévues.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu		2010	
Niveau d'eau	Numérique	Données en continu		2010	
Température	Papier	Données ponctuelles	2 à 4 x par an		Valeur des bordereaux d'analyses chimiques
Conductivité	Papier	Données ponctuelles	2 à 4 x par an		Valeur des bordereaux d'analyses chimiques
Analyse qualité	Papier	Données ponctuelles	2 à 4 x par an		ESoutQual (2022) [3]

Piézomètres

Piézomètre	Coordonnées X/Y [m]	Ø [mm]	Profondeur [m]	Profondeur des crépines début/fin [m]	Etat	Propriétaire	Remarques
F2	2'563'923 / 1'176'384	114	10	5.5 / 8.5	Inconnu	Exploitant	Tube boulonné, niveau artésien, cf photo 3.

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit et niveau d'eau.
Paramètres manquant au suivi en continu	Conductivité et température
Présence de piézomètre	Oui mais il n'a pas été inspecté (boulonné, artésianisme possible)
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Installation de sonde de mesures dans le puits.
Historique de données	Données disponibles auprès de l'exploitant sous forme papier. La date de la première mesure n'est pas connue.
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté

Programme de suivi

Captage non retenu pour la suite de l'étude

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

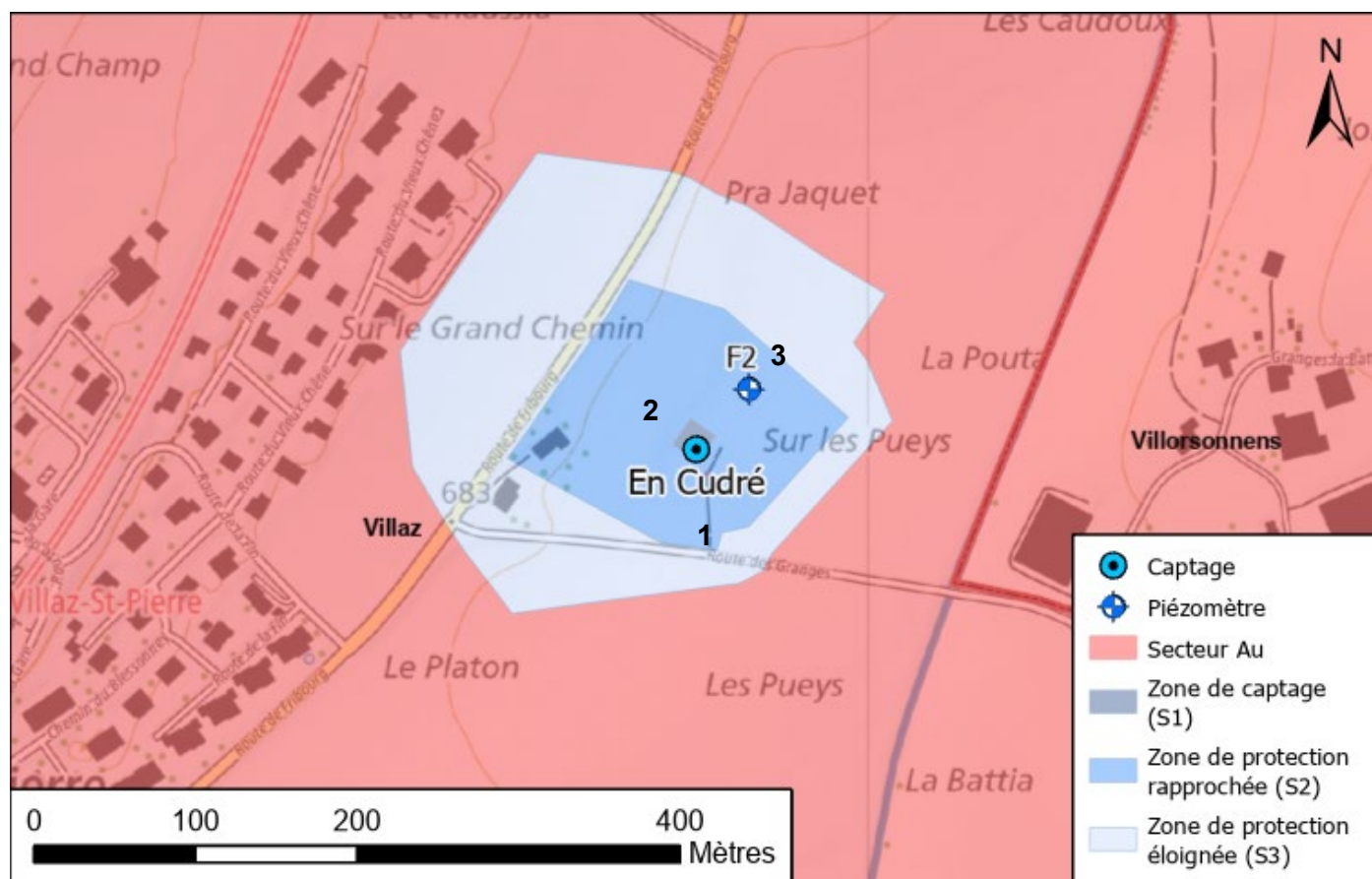


Photo 1 – Vue générale du captage.



Photo 2 – Vue du puits.



Photo 3 – Piézomètre F2 boulonné se trouvant sous un couvercle béton.



Bibliographie

- [1] CSD SA, 25-10-1985, Commune de Villaz-St-Pierre, Etude hydrogéologique En Cudré Phase 1, FR 1163.
- [2] Géolina SA, 15-07-1997, Commune de Villaz-St-Pierre, Puits « En Cudré », Construction du puits et dimensionnement des zones de protection, Rapport hydrogéologique, 96-115.
- [3] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.

Captage	10 – Les Mettraux 2	Commune	Siviriez	Catégorie du captage	Important
Coordonnées	2'557'800 / 1'164400	Altitude [m.s.m.]	826	Lot 5 - Plateau molassique	

Contexte général

Géographie	Les captages de Mettraux et de Bois de Six Ecus ont été réalisés dans la vallée située au sud du village de Chavannes-les-Forts, au lieu-dit « Les Mettraux ». Le fond de la vallée est recouvert de prés, et les flancs par de la forêt. L'altitude du bassin versant de cette vallée est d'environ 900 m.s.m. [1]
Géologie	La région est caractérisée par la présence d'un soubassement rocheux molassique. Ces formations molassiques consistent en des grès plus ou moins grossiers et fracturés, avec quelques bancs plus fins, voir silto-marneux. La molasse qui compose la partie supérieure de la vallée est grossière, mais plus finement stratifiée. Les couches pendent légèrement vers l'ouest et le nord ouest. [1] Une faible épaisseur de dépôts meubles d'origine glaciaire et récente recouvre le secteur. De la moraine (limons et sables graveleux, sables limoneux) est présente en faible épaisseur (4 à 5 m) sur les flancs. Elle est pratiquement absente de l'axe de la vallée. Celle-ci est essentiellement remplie sur toute sa largeur (30 à 50m) par des alluvions fluvio-glaciaires à dominance graveleuse, gravelo-sableuse, voire, parfois, sableuse ou limoneuse. L'épaisseur varie de 1.5 à 4-5 m. Quelques petits cônes de déjection existent sur la rive droite du bas de la vallée. [1]
Régime actuel	L'aquifère alluvial est alimenté à la fois directement par des précipitations, mais également par des écoulements plus profonds dans la molasse. Peu d'information sur la relation niveau-débit. L'infrastructure a pu maintenir un débit de 400 l/min pendant près de trois mois (avril à juin). [1]
Hydrogéologie	La couche d'alluvions fluviales présente dans le fond de la vallée est le siège d'une nappe phréatique de dimension réduite, mais de capacité intéressante. L'épaisseur de la couche aquifère est de 4 m environ. Le niveau statique se situe parfois en dessus du niveau supérieur des alluvions, ce qui rend la nappe semi-captive. [1] Les formations molassiques du fond de la vallée sont propices à des écoulements souterrains importants, grâce à un réseau serré de fractures ouvertes et à une stratification marquée qui alimentent l'aquifère alluvial. [1]

Données du captage

Type d'aquifère	Poreux alluvial	Régime hydrogéologique	Nivo-pluvial
Type de captage	Puits	Profondeur du puits [m]	6.5 [1]
Profondeur des crépines début/fin [m]	5.5*[1]	Saisonnalité des variations de niveau	artésien / semi captif
Niveau d'eau au repos [m.s.m]/[m]	821.91**/[1]	Débit de pompage moyen [l/min]	400
Rabattement moyen [m]	*	Débit de concession [l/min]	500
Température [°C]	9 [2]	pH moyen / min / max	7.4 [2]
Conductivité [µS/cm]	462 [2]	Région Ecosfera	Plateau Sud
Piezomètre existant	Oui	Impact anthropique	Moyen
Utilisation du sol	Agriculture (pâturage, prairie, accessoirement culture), route cantonale, forêt		
Remarque	<i>*Le captage des Mettraux 2 consiste en un grand puits avec trois forages horizontaux. [1]</i> <i>**Pas tout à fait un niveau au repos. Lors de l'arrêt de la pompe, la nappe remonte jusqu'à atteindre le système de drainage de l'ouvrage de captage Mettraux 2, à l'altitude de 821.91 m environ. Cette situation ne permet pas de définir un rabattement exact. [3]</i>		

Climat

Légère augmentation des niveaux en hiver et diminution en été. Les périodes d'étiage en fin d'été seront plus longues. Mais l'évolution de la quantité d'eau va surtout dépendre de l'évolution pluriannuelle de la recharge. Le potentiel lien avec les eaux de surface devrait permettre de tamponner en partie les fluctuations attendues. Le caractère semi captif du captage devrait le rendre moins sensible aux évolutions prévues.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	Minute	Depuis 2013	
Niveau d'eau	Numérique	Données en continu	Minute	Depuis 2013	Les données mesurées ne sont pas pertinentes en cas d'arrêt de la pompe car le captage est doté d'un drain périphérique inférieur au niveau de la nappe au repos.
Température	Numérique	Données ponctuelles	3 à 4 x an	Depuis 2012	mesure au réservoir
Conductivité	Numérique	Données ponctuelles	3 à 4 x an	Depuis 2012	
pH	Pas de mesure	-			
Turbidité	Numérique	Données ponctuelles	3 à 4 x an	Depuis 2012	
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles	3 à 4 x an	Depuis 2012	Paramètres analysés : Couleur, conductivité, turbidité, nitrite, nitrate, ammonium, dureté totale. Germes aérobies mésophiles, E.coli, Entérocoque. Programme ESoutQual depuis 2023.

Piézomètres

Piézomètre	Coordonnées X/Y [m]	Ø [mm] ou "	Profondeur [m]	Profondeur des crépines début/fin [m]	Etat	Propriétaire	Remarques
F10/02	2 557 867.00/ 1 164 539.00	50	7	2/6	?	Commune	Piézomètre sous terre au milieu d'un pré régulièrement fauché. -> piézo pour nappe alluviale ? En attente de pouvoir accéder (après faucheage.)
F19	2 557 970.00/ 1 164 928.00	7"	30.7		Très bon	Commune	Piézomètre pour prospection d'eau potable. Reflète en principe le niveau dans l'aquifère de la molasse.

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Niveau et débit
Paramètres manquant au suivi en continu	Température, conductivité, et turbidité
Présence de piézomètre	Oui
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Non. En revanche, si la pompe de Mettraux 2 s'arrête, le niveau remonte rapidement jusqu'à atteindre le système de drainage de l'ouvrage qui a pour but d'éviter de noyer la chambre de pompage. Il n'y a donc aucune mesure du niveau de la nappe au repos et le niveau naturel est donc, en quelque sorte, écrêté.
Modification à prévoir pour suivi en continu	Ajout de sondes pour le suivi en continu de la température, la conductivité et la turbidité.
Historique de données	
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix SEN.

Installation de sonde de niveau, température et conductivité électrique dans les deux piézomètres F10/02 et F19.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos

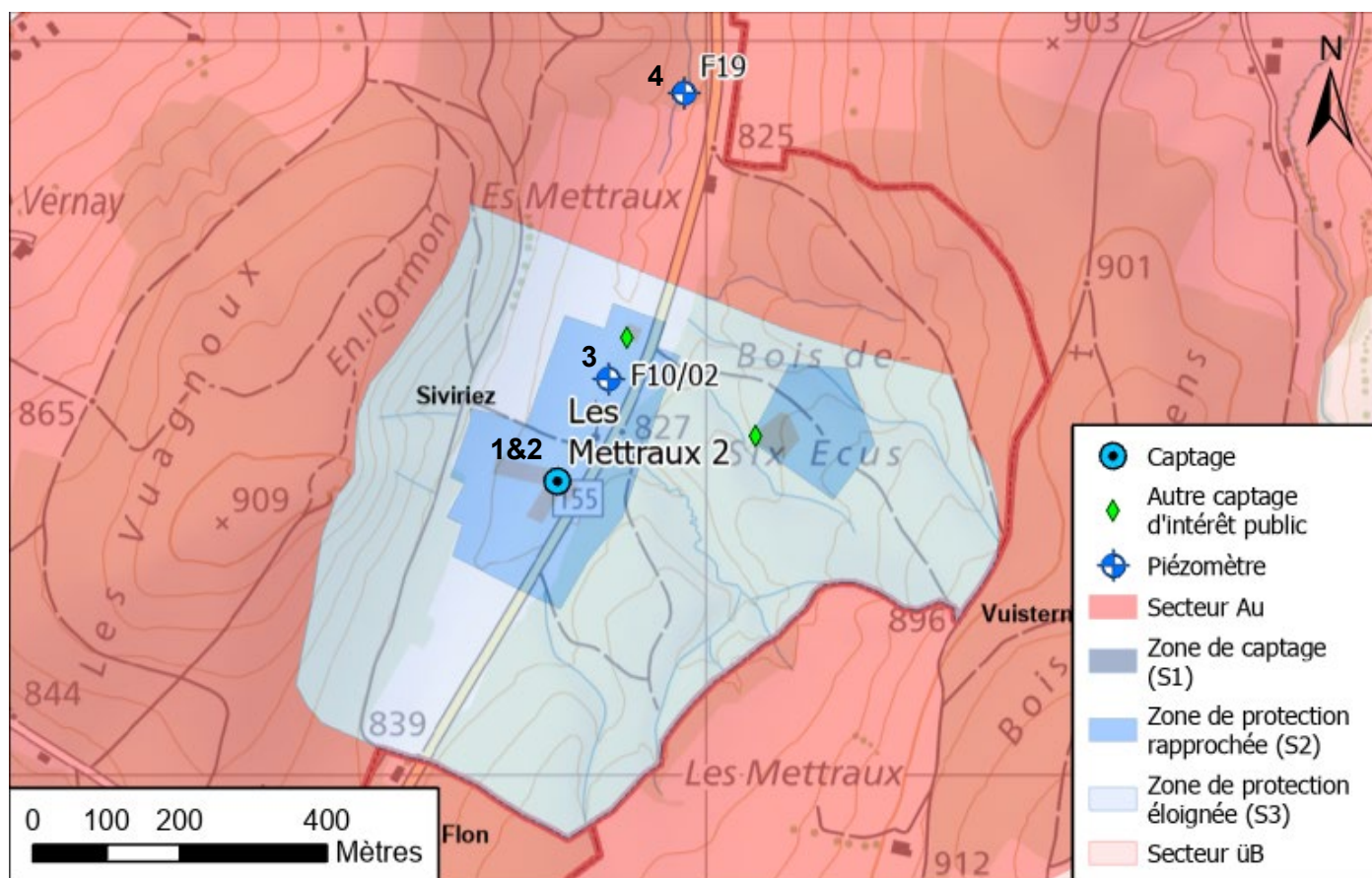


Photo 1 – Entrée de la chambre Mettraux 2.



Photo 2 – Chambre Mettraux 2.

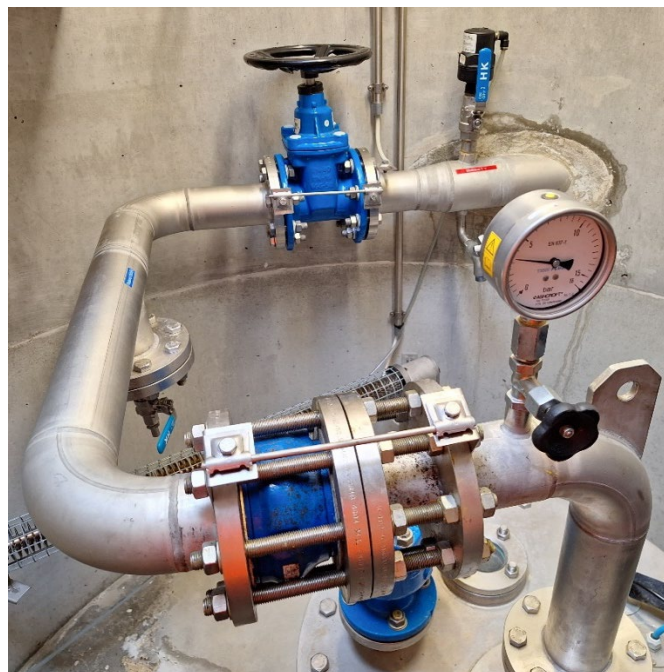


Photo 3 – Chambre Mettraux 1.



Photo 4 – Piézomètre F19.



Bibliographie

- [1] GEOTEST SA, 9 août 2012, Chavannes-les-Forts, captages Mettraux 1 et 2 et Bois de Six Ecus , Délimitation des zones de protection, rapport hydrogéologique. No 2509014.3.
- [2] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.
- [3] Données transmises par la commune en mai 2024.

Captage	11 – Les Ouches	Commune	Villeneuve	Catégorie du captage	Intérêt public
Coordonnées	2'556'068 / 1'176'146	Altitude [m.s.m.]	478	Lot 4 - Plaine alluviale	

Contexte général

Géographie	Le puits se trouve en amont de Villeneuve (FR). Il a été réalisé en 2013, au milieu de champs. Il se situe dans la plaine alluviale de la Broye, sur sa rive gauche.
Géologie	Le puits est foré dans l'aquifère de la plaine alluviale de la Broye. Il s'agit d'alluvions comprenant des sables et des graviers [1].
Régime actuel	Les précipitations soutenues sur plusieurs jours semblent avoir une incidence sur l'évolution des niveaux de la nappe. Une variation de 1.5 m du niveau d'eau est observée entre les hautes eaux et les basses eaux [1].
Hydrogéologie	La nappe s'écoule en direction du NE, avec une légère composante oblique par rapport à la Broye, qui draine pour finir ces eaux. Lors des essais de pompage à 500 l/min (2014), le niveau n'a pas pu être stabilisé (essai uniquement en hautes eaux) [1]. Des teneurs de nitrates assez élevées entre 28.4 et 18.7 mg/l et des concentrations en pesticides (métabolites) supérieures aux normes légales lors des campagnes ESoutQual de 2023 (respectivement mars et août) [2]. Les crépines du puits ABA3 se situent entre 2.2 m et 7m de profondeur [1].

Données du captage

Type d'aquifère	Poreux alluvial	Régime hydrogéologique	Pluvial
Type de captage	Puits	Profondeur du puits [m]	10
Profondeur des crépines début/fin [m]	1.8 / 7.8	Débit de pompage moyen [l/min]	200
Niveau d'eau moyen/min/max [m]	- / 2.2 / 3.7 [1]	Débit de concession [l/min]	220
Rabattement moyen [m]	0.4 [1]	Saisonnalité des variations de niveau	Réactif
Température [°C] moyenne / min / max	10.5 / 8 / 13 [1]	pH moyen / min / max	7.1 [2]
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	770 / 740 / 800 [1]	Région Ecosfera	Basse Broye
Piézomètre existant	Oui	Impact anthropique	Moyen
Utilisation du sol	Terres cultivées		
Remarque			

Climat

Augmentation des niveaux en hiver et diminution importante en été avec davantage de sécheresses pouvant être plus intenses et prolongées. La connexion avec les eaux de surface (potentiel imposé) devrait permettre de tamponner en partie les fluctuations attendues.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu		2020	
Niveau d'eau	Numérique	Données en continu		2020	
Température	Papier	Données ponctuelles			
Conductivité	Papier	Données ponctuelles			
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles			ESoutQual dès 2023

Piézomètres

Piézomètre	Coordonnées X/Y [m]	Ø [mm]	Profondeur [m]	Profondeur des crépines début/fin [m]	Etat	Propriétaire	Remarques
T32	2'556'130 / 1'176'062	50	6.2	0.2 / 6.2	Bon	SEn Lac et cours d'eau	Suivi réalisé par ABA Géol

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit et niveau d'eau
Paramètres manquant au suivi en continu	Conductivité et température
Présence de piézomètre	Oui
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Installation d'une sonde de mesure de la conductivité et de la température
Historique de données	Données en continu depuis 2020
Adéquation du captage pour la suite du projet	 1 - Peu adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix SEN.

Suivi du puits et du piézomètres T32 :

- Piézomètre T32 : Récolte des données issues de la campagne de mesure d'ABA Géol dans le cadre de la revitalisation de la Broye (mesure du niveau). A contrôler la compatibilité du système de suivi actuel pour l'inclure dans le réseau cantonal, dans le cas contraire, équiper le piézomètre pour mesure le niveau, la conductivité électrique et la température.
- Puits : Ajouter une sonde mesurant la conductivité électrique et la température dans le puits. A la charge du distributeur.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

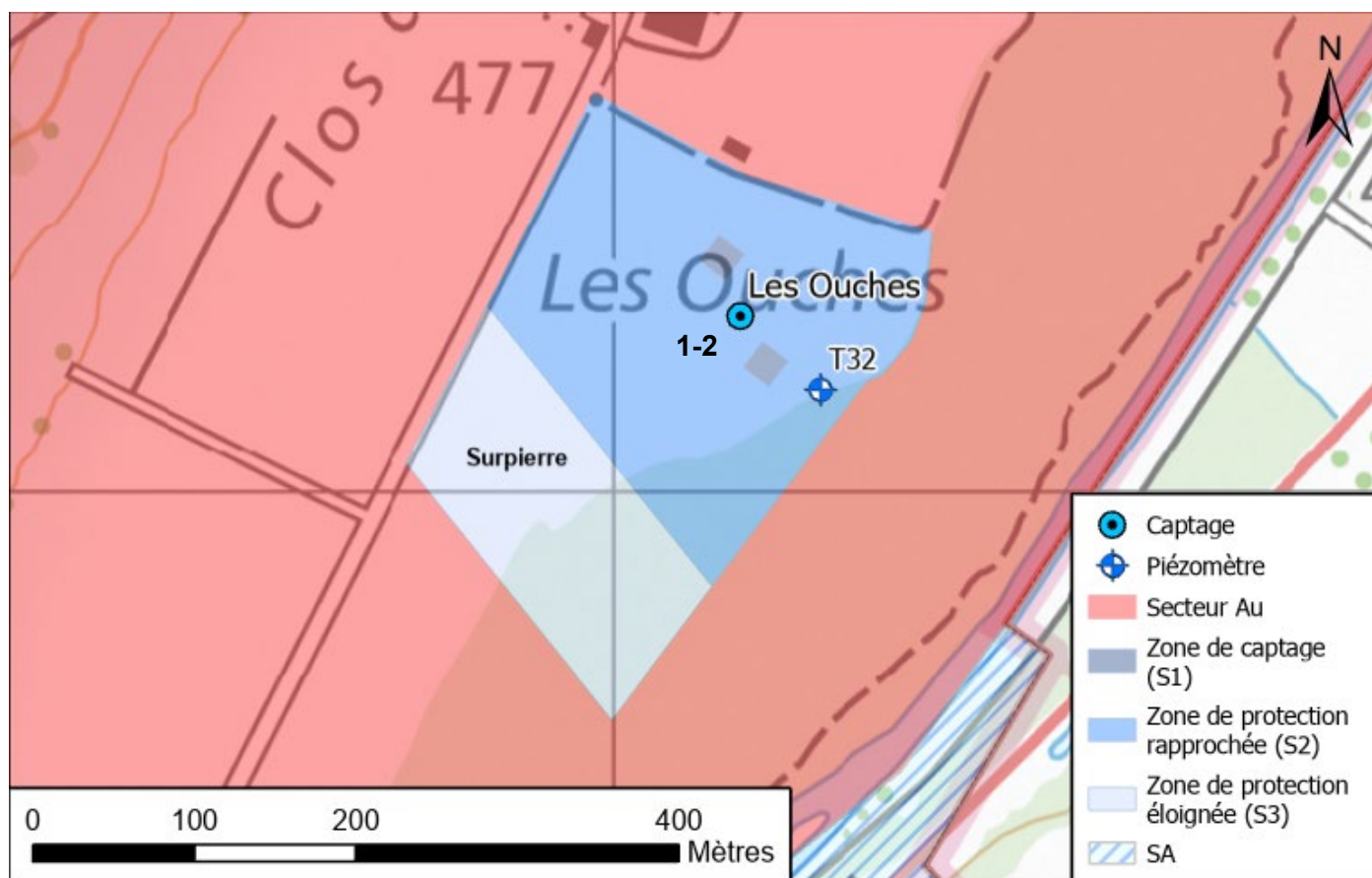


Photo 1 – Vue générale du captage.



Photo 2 – Vue du puits avec les deux pompes.



Bibliographie

- [1] ABA Geol SA, avril 2015, Commune de Villeneuve, Zones de protection des puits de captage de la plaine alluviale des Ouches, Rapport hydrogéologique, FR03975.
- [2] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.

Captage	12 – Horia	Commune	Düdingen	Catégorie du captage	Important
Coordonnées	2'581'520 / 1'187'820	Altitude [m.s.m.]	594	Lot 4 - Plaine alluviale	

Contexte général

Géographie	Le captage se trouve au sud-est de Düdingen, dans le vallon de Horia. Le Horiabach coule à 20 m du captage.
Géologie	Le puits se trouve dans des dépôts quaternaires surmontant une cuvette molassique. L'épaisseur des graviers aquifères varie de 12 à 16 m. Deux chenaux ont été reconnus par géophysique dans ce vallon. Le principal (nord) alimente le puits de Horia, tandis que le second contourne le captage [2].
Régime actuel	L'hydrogramme enregistré au puits ne présente pas de variations périodiques ou saisonnières (données de 2005 à 2018) [1]. Les variations observées sont dues au pompage. La nappe réagit avec un certain retard aux événements pluvieux et il y a un amortissement du signal des précipitations.
Hydrogéologie	La nappe phréatique exploitée se trouve dans les graviers du chenal principal (nord). Une épaisseur d'environ 7 m de graviers saturés est observée au puits pour une puissance totale de l'aquifère de 12 à 16m [2]. La couverture est peu épaisse voir absente (entre 0 et 2.35 m). L'effet protecteur de la couverture est donc fortement réduit. Lors des essais de pompage de 1998, un débit de 2'500 l/min a été appliqué sans atteindre la stabilisation. Un abaissement de la nappe au puits de 3.75 m a été observé. L'essai de pompage n'a pas affecté le rendement du puits [2]. L'interaction rivière / captage n'est pas clairement établies lors des différentes études des zones de protections. un essai de traçage, prévu prochainement, permettra d'éclaircir ce point Le puits central à un diamètre de 3 m et une profondeur de 13.75m à partir du bord supérieur du puits en sous-sol. A 1.8 m du fond partent 4 drains horizontaux de 20 cm de diamètre, pour une longueur de 20 à 25 m chacun. La teneur en nitrate est de 29.5 mg/l et la concentration en pesticide est supérieure aux normes légales lors de la campagne ESoutQual de mai 2023 (>0.1 µg/l) [4].

Données du captage

Type d'aquifère	Poreux alluvial	Régime hydrogéologique	Pluvial
Type de captage	Puits	Profondeur du puits [m]	13.75
Profondeur des crépines début/fin [m]	11.95 / 11.95	Débit de pompage moyen [l/min]	1800
Niveau d'eau au repos [m.s.m]/[m]	5	Débit de concession [l/min]	1800
Rabattement moyen [m]	Inconnu	Saisonnalité des variations de niveau	Peu réactif
Température [°C] moyenne / min / max	10.5 / 9.6 / 11.4 [3]	pH moyen / min / max	7.2 / 6.4 / 7.3 [3]
Conductivité [μS/cm] moyenne / min / max	709 / 630 / 731 [3]	Impact anthropique	Moyen
Piézomètre existant	Oui	Région Ecosfera	Plateau Nord
Utilisation du sol	Terres cultivées, habitat dispersé		
Remarque	Le piézomètre F1 se trouve dans le chenal sud. Seul le F2 se trouve dans le chenal du puits de Horia. Il n'a pas été retrouvé à ce jour		

Climat

Légère augmentation du niveau d'eau en hiver et diminution en été mais l'évolution de la quantité d'eau va surtout dépendre de l'évolution pluriannuelle de la recharge et pourrait diminuer à long terme si la recharge moyenne annuelle diminue. Le lien avec les eaux de surface, s'il est avéré (traçage prévu en automne 2024) pourrait permettre de tamponner en partie les fluctuations attendues.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu		2000	Naqua Trend depuis 2000 et ESoutQual 2023.
Niveau d'eau	Numérique	Données en continu		2000	Naqua Trend depuis 2000 et ESoutQual 2023.
Température	Numérique	Données en continu		2000	Naqua Trend depuis 2000 et ESoutQual 2023.
Conductivité	Numérique	Données en continu		2000	Naqua Trend depuis 2000 et ESoutQual 2023.
pH	Numérique	Données en continu		2000	Naqua Trend depuis 2000 et ESoutQual 2023.
Turbidité	Numérique	Données en continu		2000	Naqua Trend depuis 2000 et ESoutQual 2023.
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles		2000	Naqua Trend depuis 2000 et ESoutQual 2023.

Piézomètre	Coordonnées X/Y [m]	Ø [mm]	Profondeur [m]	Profondeur des crépines début/fin [m]	Etat	Propriétaire	Remarques
F1	2'581'572 / 1'187'621	50	32	22 / 32	Cisaillé en surface	Commune	Protection du piézomètre à réaliser

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Oui
Paramètres manquant au suivi en continu	Aucun
Présence de piézomètre	Le piézomètre F1 se trouve dans un sillon voisin au captage de Horia. Une campagne de forage de reconnaissance selon les recommandations du rapport Zu – étape 1 est prévu dans le sillon producteur du captage. Il serait intéressant de couplé ces investigation et d'instrument un piézomètre pour le projet.
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Aucune
Historique de données	Depuis 2000.
Adéquation du captage pour la suite du projet	 4 - Très bien adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix prioritaire.

Piézomètre F1 : Réparation du piézomètre et mise en place d'une protection permettant de résister aux passages des engins agricoles. Équipement avec une sonde à niveau, conductivité électrique et température.

Puits : Discussion avec l'OFEV pour utiliser les données du réseau NAQUA.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

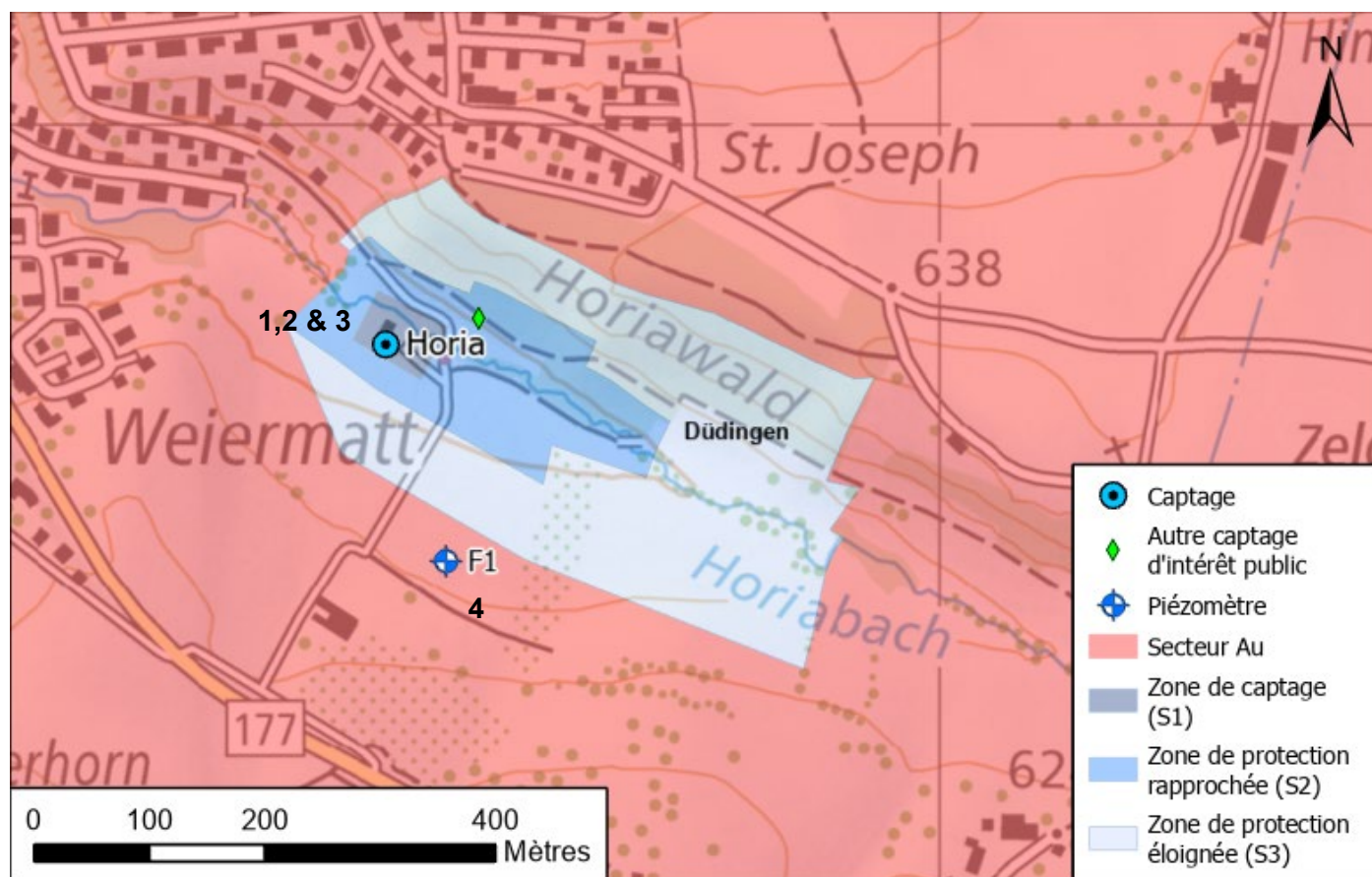


Figure 1 – Vue générale du captage.



Figure 2 – Chambre de captage.



Figure 3 – Arrivée des drains horizontaux dans le puits.*Figure 4 – Piézomètre F1 en partie détruit.*

Bibliographie

- [1] Grundwasserfassung Horia, Düdingen, Hydrogeologische Untersuchungen zur Ausscheidung des Zuströmbereichs Zu – Etappe 1 : Zusammenstellen von vorhandenen Daten und Bestimmung des möglichen Einzugsgebietes, 11.09.2023, rev 31.10.2023 13914.1B231031, Kellerhals + Haefeli
- [2] Hydrogeologische abklärungen zur Ausscheidung der Schutzzzone «S» des Filterbrunnens Horia. Der Wasserversorgung Düdingen AG, Juillet 1998, FR827, ABA Geol.
- [3] NAQUA Trend 2000-2021
- [4] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.

Captage	13 – Flamatt (ancien puits)	Commune	Wünnewil-Flamatt	Catégorie du captage	Stratégique
Coordonnées	2'590'900 / 1'193'468	Altitude [m.s.m.]	534	Lot 4 - Plaine alluviale	

Contexte général

Géographie	Le puits se trouve dans la forêt au nord de Flamatt, en rive gauche de la Singine. Il a été construit en 1923, rénové dans les années 1950.
Géologie	La molasse inférieure d'eau douce (USM) est constituée de grès fin, intercalé de marne. La roche a été érodée par la Singine, déposant des alluvions constituées de sables et de graviers sur une épaisseur d'environ 12 m. Cette formation est le siège d'un important gisement d'eau souterraine [1].
Régime actuel	Variations de niveau d'eau similaire entre la Singine (nivo-pluvial importé) et la nappe mais cette dernière est plus atténuée (observation effectuée sur le site du nouveau puits à Oberflamatt en 2014).
Hydrogéologie	Les eaux souterraines s'écoulent d'est en ouest, parallèlement à la Singine avec un gradient d'environ 3.3 ‰ [2]. L'eau est assez dure avec de faibles teneurs en chlorure et nitrates. Les valeurs sont moyennes pour les sulfates (41 mg/l en 1993) [1]. La conductivité hydraulique de la plaine alluviale est calculée à $4.5 \cdot 10^{-3}$ m/s sur la base de l'essai de pompage de 2013 réalisé sur le site du nouveau puits [2].

Données du captage

Type d'aquifère	Poreux alluvial	Régime hydrogéologique	Nivo-pluvial
Type de captage	Puits	Profondeur du puits [m]	13.5
Profondeur des crépines début/fin [m]	9 / 13	Débit de pompage moyen [l/min]	1200
Niveau d'eau moyen/min/max [m]	- / 1.76 / 1.88 [3]	Saisonnalité des variations de niveau	Intermédiaire
Rabatement moyen [m]	Inconnu	pH moyen / min / max	7.7 [3]
Température [°C] moyenne / min / max	- / 9.4 / 12 [3]	Piezomètre existant	Oui
Conductivité [μ S/cm] moyenne / min / max	- / 473 / 497 [3]	Région Ecosfera	Plateau Nord
Utilisation du sol	Forêt et ville	Impact anthropique	Fort
Remarque	Ce puits va être abandonné pour l'alimentation en eau potable. Il est cependant intéressant de suivre ce puits plutôt que le nouveau car il y a un historique de données à disposition. Suivi de la nappe pour les travaux d'élargissement de la Singine en cours.		

Climat

Légère augmentation des niveaux en hiver et diminution en été. Les périodes d'été en fin d'été seront plus longues et le risque de sécheresse en fin d'été/automne augmentera. Le potentiel lien avec les eaux de surface pourrait permettre de tamponner en partie les fluctuations attendues.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu		2013	Données plus anciennes sur papier
Niveau d'eau	Numérique	Données en continu		2013	Données plus anciennes sur papier
Température	Numérique	Données ponctuelles	Semestrielle		ESoutQual depuis 2023
Conductivité	Numérique	Données ponctuelles	Semestrielle		ESoutQual depuis 2023
pH	Numérique	Données ponctuelles	Semestrielle		ESoutQual depuis 2023
Turbidité	Pas mesuré	-			
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles			ESoutQual depuis 2023

Piézomètres

Piézomètre	Coordonnées X/Y [m]	Ø [mm]	Profondeur [m]	Profondeur des crépines début/fin [m]	Etat	Propriétaire	Remarques
G128	2'592'373 / 1'193'427	114	16	6.5 / 9.5	Bon	Etat de Berne	Surveillance du niveau et de la température

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit pompé et mesure du niveau.
Paramètres manquant au suivi en continu	Conductivité et température.
Présence de piézomètre	Oui Piézomètre de suivi (G128) équipé d'une sonde de mesure en continu en rive droite de la Singine (Canton de Berne) à inclure dans le programme de suivi.
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Installation de sondes de mesure dans le puits (Température et conductivité).
Historique de données	Puits en service depuis 1923, données papiers disponibles mais probablement pas depuis 1923.
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté

Programme de suivi

Captage non retenu pour la suite de l'étude.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

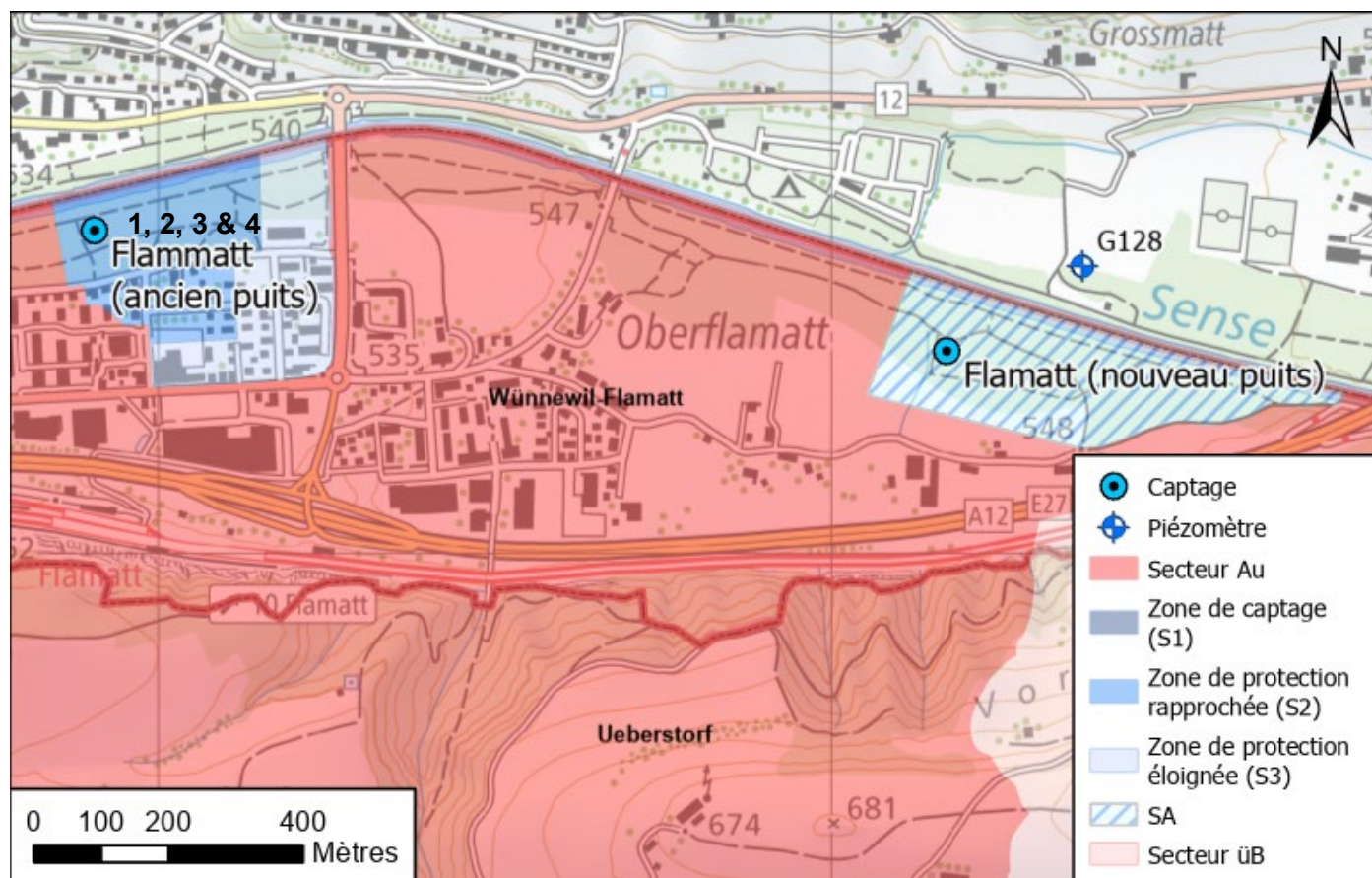


Photo 1 – Vue générale du captage.



Photo 2 – Vue du puits.



Photo 3 – Salle des pompes.



Photo 4 – Mesure de la hauteur du niveau d'eau dans le puits par flotteur.



Bibliographie

- [1] Kellerhals+Haefeli AG, 01.07.1993, Hydrogeologische Untersuchungen für die Schutzzonenausscheidung des Grundwasserfassung Flamatt, 2154.
- [2] Kellerhals+Haefeli AG, 17.02.2014, Wasserversorgungsgenossenschaft Flamatt, Grundwasserprospektion Oberflamatt, 15873-02.
- [3] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.

Captage	14 – Galmacher D	Commune	Lurtigen	Catégorie du captage	Important
Coordonnées	2'579'795 / 1'197'054	Altitude [m.s.m.]	541	Lot 5 - Plateau molassique	

Contexte général

Géographie	Les sources captées se trouvent dans l'axe de la Vallée du Hubelbach, en lisère N de la forêt de Galm. 6 captages se situent le long de ce ruisseau. Le captage A est utilisé par le pénitencier de Bellechasse, les captages C et D par la commune de Lurtigen et les captages E à G par la commune de Ried .b. Kerzers. Le captage faisant l'objet de cette fiche est le D.
Géologie	Le soubassement rocheux de la région est formé par la Molasse d'eau douce inférieure (USM), constitué d'alternance de grès fins à moyens plus ou moins marneux et de marnes bigarrées. Cette formation est surmontée par la Molasse marine supérieure (OMM), constitué de grès massifs à stratifications entrecroisées. Une moraine de fond argilo-limoneuse à blocs discontinue et une moraine indifférenciée sablo-limoneuse recouvre ces roches.
Régime actuel	Les variations de débits sont influencées par les précipitations. L'infiltration diffuse du ruisseau, vers le captage est particulièrement visible en automne / hiver. Ce mélange diffus avec les eaux de surface est mis en évidence par les données de température. La conductivité présente de faibles variations, semblables à celles du ruisseau.
Hydrogéologie	Le captage Galmacher D est une galerie foncée dans la Molasse (OMM), sous le ruisseau vers le sud sous la forêt de Galm. La source est également alimentée par le ruisseau, bien qu'il soit sous conduite vers la chambre D. Le débit du captage D est stable toute l'année même lors de sécheresses prononcées à environ 55 l/s. Le ruisseau sert de niveau de base à l'aquifère principale de l'OMM, qui tend à se vidanger naturellement. La molasse USM joue le rôle de zone peu perméable. La teneur en nitrates est d'environ 20 mg/l et la concentration en pesticides est supérieure aux normes légales lors des campagnes ESoutQual de 2023 (avril et octobre).

Données du captage

Type d'aquifère	Fissuré	Régime hydrogéologique	Pluvial
Type de captage	Source	Type de captation	Galerie
Débit [l/min] moyen / min / max	55/ 53/ 75	Saisonnalité des variations de débit	Peu réactif
Température [°C] moyenne / min / max	9.1 / 8.2 / 10.5 [1]	pH moyen / min / max	7.3 [1]
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	627 / 604 / 640 [1]	Région Ecosfera	Plateau Nord
Utilisation du sol	forêt et rocher affleurant	Impact anthropique	Moyen
Remarque	IB Murten est propriétaire des captages C et D. Seul D est exploité. Le captage C est hors réseau car il présente d'importants problèmes de qualité microbiologique IB-Murten prévoit l'abandon du captage d'ici 5-10 ans		

Climat

Climat

Légère augmentation du débit en hiver et diminution en été mais l'évolution de la quantité d'eau va surtout dépendre de l'évolution pluriannuelle de la recharge. Le débit diminuer à long terme si la recharge moyenne annuelle diminue. Le potentiel imposé par la connexion aux eaux de surface devrait permettre de tamponner en partie les fluctuations attendues.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données ponctuelles	mensuelle	2018	Données IB-Murten Pas de mesure en continu possible avec l'agencement actuel de la chambre
Température	Numérique	Données ponctuelles	mensuelle	Dès 2002	Données Zu
Conductivité	Numérique	Données ponctuelles	mensuelle	Dès 2002	Données Zu
pH	Numérique	Données ponctuelles	Bi-annuelle	Dès 2023	Données ESoutQual
Turbidité	Numérique	Données ponctuelles	mensuelle	Dès 2020	Données IB-Murten
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles	Zu : mensuelle IB-Murten : chaque 2 mois ESoutQual : semestrielle	Dès 2002 Zu Dès 2019 IB Murten Dès 2023 ESoutQual	Données Zu : NO3 IB Murten : NO2, NO3, NH4, Dureté, Ca, Mg, microbiologie, chlorotalonil ESoutQual : O2, NO3, DOC, NH4, Cl, NO2, SO4, pesticides, COV

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Pas de suivi en continu
Paramètres manquant au suivi en continu	Débit, Température, Conductivité électrique
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Mise en place d'un déversoir calibré pour mesurer les débits dans la chambre de captage. Nécessite de construire un mur de retenue de l'eau
Historique de données	Pas de données en continu, ponctuelle dès 2002 (Zu)
Adéquation du captage pour la suite du projet	 0 - Pas adapté

Programme de suivi

Captage non retenu pour la suite de l'étude.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

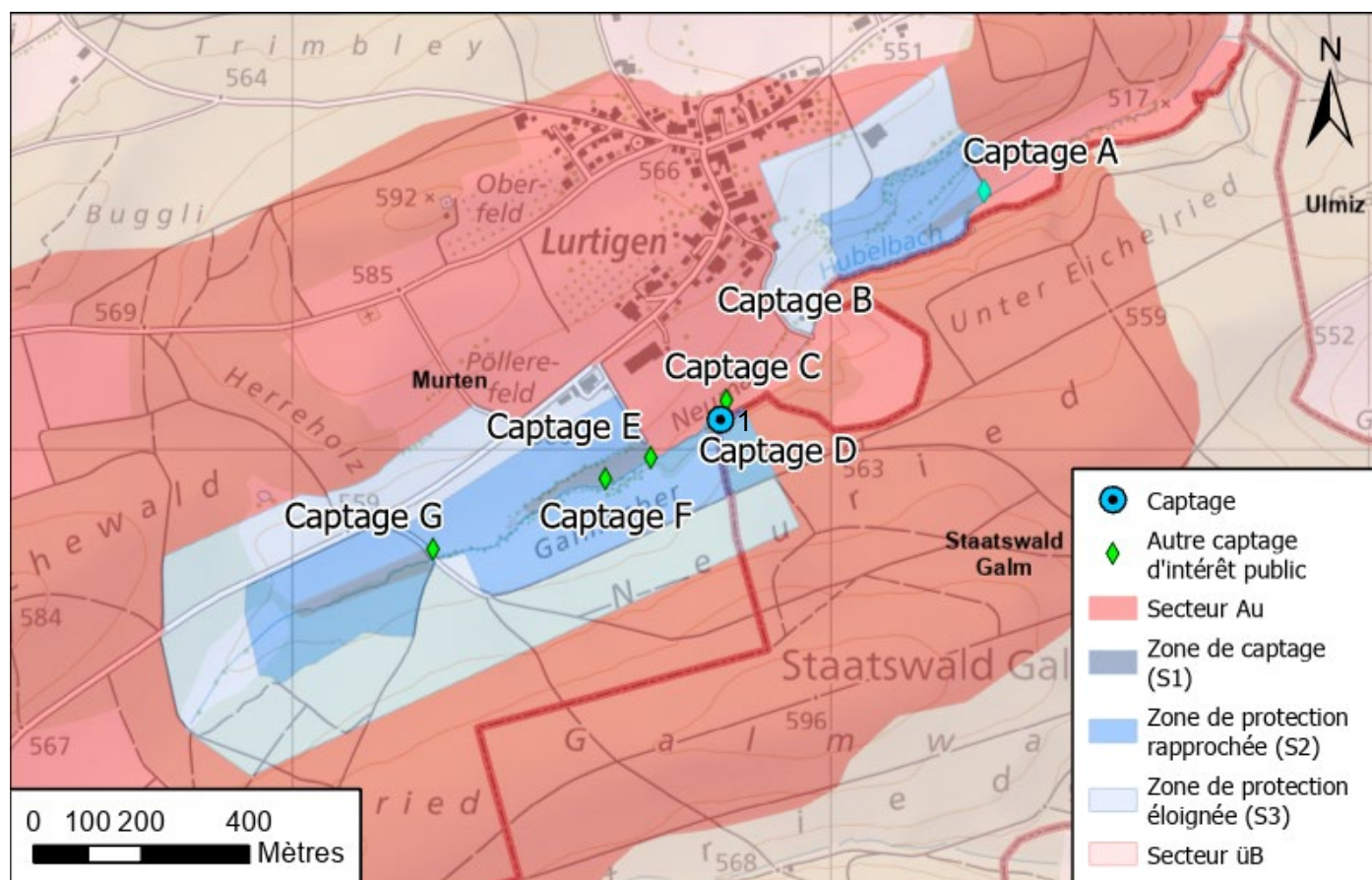


Photo 1: Chambre de captage Galmacher D



Bibliographie

- [1] Bureau Zahner, 21.12.1994, Communes de Lurtigen et de Ried b. Kerzers, Etablissement de Bellechasse, Détermination des zones de protection des sources publiques captées à Lurtigen, Etude Hydrogéologique.
- [2] Bureau Zahner. 30.08.2002, Office de la protection de l'environnement de Fribourg. Assainissement des sources publiques captées sur le territoire de la commune de Lurtigen, Délimitation d'une aire d'alimentation Zu/Zo.
- [3] Suivi ZU, Données du SEn, 22 janvier 2024.

Captage 15 – Danaïdes

Commune Fétigny

Catégorie du captage Intérêt public

Coordonnées 2'558'957 / 1'182'795

Altitude [m.s.m.] 480

Lot 3 - Plateau morainique

Contexte général

Géographie	Le captage des Danaïdes se situe à l'est du village de Fétigny, au-dessus de la route cantonale, au milieu de champs en faible pente.
Géologie	Au droit du puits, la molasse se trouve à 27m. Elle remonte en direction du NW. La molasse est surmontée par la moraine würmienne (limoneuse): Elle est considérée comme imperméable. Les dépôts fluvioglaciaire (retrait glaciaire) sont composés de sables plus ou moins graveleux. Ces dépôts sont recouverts, à l'ouest par une terrasse lacustre (sable limoneux) [1].
Régime actuel	Pas d'information.
Hydrogéologie	L'aquifère exploité par le puits des Danaïdes se situe dans les dépôts fluvioglaciaires. Les crépines sont installées entre 13.5 et 25.5 m de profondeur. L'épaisseur saturée est de l'ordre de 12 m. La conductivité hydraulique est de $3.5 \cdot 10^{-4}$ m/s. L'épaisseur moyenne de l'aquifère (en 2 parties séparées par 2.5 m de sable limoneux, peu argileux) est de 10 m. L'écoulement se fait vers le ENE [2]. L'eau pompé est dure, oxygénée, avec des teneurs en nitrates (> 40 mg/l) et en pesticides dépassent la norme de potabilité [2].

Données du captage

Type d'aquifère	Poreux glaciaire	Régime hydrogéologique	Pluvial (supposé)
Type de captage	Puits	Profondeur du puits [m]	27.3
Profondeur des crépines début/fin [m]	13.5/ 25.5	Débit de pompage moyen [l/min]	Inconnu
Niveau d'eau moyen/min/max [m]	9.76 / 12.85 / 8.46 [3]	Débit de concession [l/min]	200
Rabatement moyen [m]	Inconnu	Saisonnalité des variations de niveau	Intermédiaire
Température [°C] moyenne / min / max	10.3 / 9.8 / 10.7 [1]	pH moyen / min / max	7.2/6.8/8 [3]
Conductivité [μ S/cm] moyenne / min / max	642 / 622 / 672 [1]	Région Ecosfera	Basse Broye
Piezomètre existant	Oui	Impact anthropique	Fort
Utilisation du sol	Forêts et agriculture		

Remarque

Etude pour connaître l'extension de l'aire d'alimentation Zu et comprendre la forte teneur de nitrates toujours présente dans le captage.

Puits abandonné pour l'alimentation en eau, il est actuellement utilisé pour l'irrigation depuis 2020.

Climat

Faible augmentation des niveaux en hiver et diminution relativement importante en été avec davantage de sécheresses pouvant être plus intenses et prolongées.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Papier	Données ponctuelles		2020	Mesure du débit pompé par la société d'irrigation depuis 2020-2021
Niveau d'eau	Numérique	Données ponctuelles	Mensuelle	2005	ESoutQual
Température	Numérique	Données ponctuelles	Mensuelle	2002	ESoutQual.
Conductivité	Numérique	Données ponctuelles	Mensuelle	2002	ESoutQual
pH	Numérique	Données ponctuelles	Semestrielle	2004	ESoutQual
Turbidité	Pas mesuré	-	-	-	-
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles	Mensuelle	2002 /2004	Zu depuis 2002 et ESoutQual depuis 2004.

Piézomètres

Piézomètre	Coordonnées X/Y [m]	Ø [mm]	Profondeur [m]	Profondeur des crépines début/fin [m]	Etat	Propriétaire	Remarques
C	2'558'836 / 1'182'844	50	26	Inconnu	Bon	Commune	Le tube piézomètre sort de terre et n'est pas protégé par un couvercle. Niveau à 17m le 23.04.24
D		?	?	?	?	?	

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Non. Piézomètre et puits à équiper. Pas de difficulté particulière.
Paramètres manquant au suivi en continu	Débit, température, conductivité et niveau
Présence de piézomètre	Oui, deux piézomètres. 1 seul est accessible (C). Le second (D) est cadenassé et le propriétaire est inconnu. Il se trouve à 200 m au SO du piézomètre C. il n'a pas pu être contrôlé.
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Pas d'écrtage.
Modification à prévoir pour suivi en continu	Puits à équiper ainsi que protection de l'accès au piézomètre (couvercle + cadenas).
Historique de données	2002 selon le fichier Excel Données Zu. Des archives peuvent être retrouvées à la commune. Valeurs du suivi du plan nitrates exploitables.
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix secondaire.

Equipement d'un piézomètre au moyen d'une sonde mesurant le niveau, la conductivité électrique et la température.

Le choix se fera en fonction du contrôle effectué sur le D. Si ce dernier n'est pas utilisable, une nouvelle protection devra être réalisée pour le C. Dans tous les cas, mettre un bouchon sur ce dernier.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

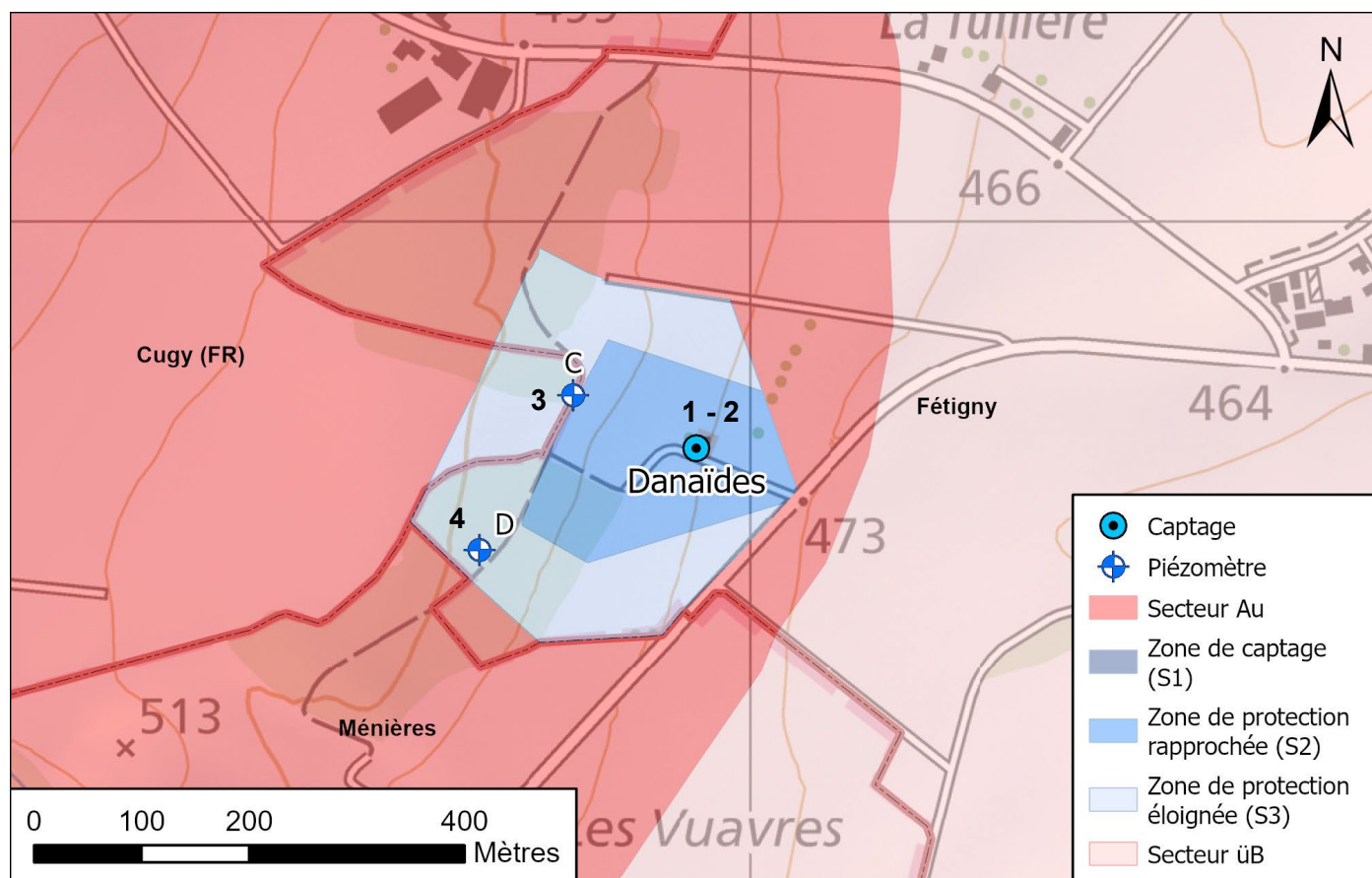


Photo 1 – Vue générale du captage.



Photo 2 – Vue du puits.



Photo 3 – Piézomètre C non protégé.



Photo 4 – Piézomètre D.



Bibliographie

- [1] Géolina SA, 13-11-1992, Définition des zones de protection « S » du captage des Danaïdes, Rapport hydrogéologique, 91-165.
- [2] Géolina SA, 09-04-2018, Puits des Danaïdes, Commune de Fétigny, Etude complémentaire pour l'analyse de l'aire Zu, Rapport hydrogéologique, 17-185.
- [3] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.
- [4] Suivi ZU, Données du SEn, 22 janvier 2024.

Captage	16 – Hänisried	Commune	Fräschels	Catégorie du captage	Important
Coordonnées	2'583'073 / 1205216	Altitude [m.s.m.]	498	Lot 3 - Plateau morainique	

Contexte général

Géographie	Le captage de Hänisried se situe en amont du village de Fräschels, district du lac. Ce puits a été mis en service en décembre 2006 afin de remplacer le puits de la commune situé vers la gare qui était trop vulnérables aux pollutions anthropiques.
Géologie	Le sous-sol se compose de dépôts de la molasse inférieur d'eau douce (USM- Aquitanien) constitué de grès à grains fin, de marnes sableuses et colorées. Au-dessus se trouvent des dépôt morainiques composés de graviers et lentilles sableuses pouvant atteindre 100m d'épaisseur.
Régime actuel	Le régime naturel n'est pas connu pour ce puits. Nous ne disposons pas des données de suivi en continu du niveau d'eau et des débits pompés. D'après les chroniques ESoutQual, Le battement du niveau d'eau dans le puits est d'environ 10 m entre 444 et 454 m.s.m. Les débits pompés varient de 120 à 900 l/min. Vu la grande profondeur des crépines, le puits est considéré comme étant peu réactif aux conditions météorologie à court terme.
Hydrogéologie	L'aquifère exploité par le puits de Hänisried se situe dans les dépôts morainiques. Les crépines sont installées entre 61 et 73 m de profondeur dans des graviers sableux. Le niveau piézométrique avant les essais de pompage se situait à 448.34 m.s.m soit 66 m sous le terrain naturel. La conductivité hydraulique est de $2.2 \cdot 10^{-3}$ m/s. L'eau pompé est dure avec de faibles teneurs en chlorures et des teneurs moyennes en nitrates (22 mg/l) et en sulfates (18.1 mg/l). Les pesticides (métabolites du Chlorothalonil et Désphenyl-chloridazone) dépassent les normes légales selon les analyses réalisés par ESoutQual.

Données du captage

Type d'aquifère	Poreux glaciaire	Régime hydrogéologique	Pluvial
Type de captage	Puits	Profondeur du puits [m]	74.4
Profondeur des crépines début/fin [m]	61.4/ 73.8	Débit de pompage moyen [l/min]	300
Niveau d'eau moyen [m]	61* [2]	Débit de concession [l/min]	750
Rabattement moyen [m]	Non défini	Saisonnalité des variations de niveau	Peu réactif
Température [°C] moyenne / min / max	10.7/9.7/12 [2]	pH moyen / min / max	7.1/ 6.9 / 7.4 [2]
Conductivité [μ S/cm] moyenne / min / max	687 / 630/ 726 [2]	Région Ecosfera	Plateau Nord
Piézomètre existant	Oui	Impact anthropique	Moyen
Utilisation du sol	Forêts et agriculture		

Remarque

* niveau depuis le sommet du tubage

Le puits est exploité depuis début 2024 par WAGROM.

D'après l'exploitant, les chroniques de données du système d'exploitation (Débit, niveau d'eau et température) pourraient être extraites par RMC tableau.

Climat

Légère augmentation du niveau d'eau en hiver et diminution en été mais l'évolution de la quantité d'eau va surtout dépendre de l'évolution pluriannuelle de la recharge et pourrait diminuer à long terme si la recharge moyenne annuelle diminue.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu		2006	Extraction au frais du projet par RMC tableau Le système sera remplacé en 2024
Niveau d'eau	Numérique	Données en continu		2006	Extraction au frais du projet par RMC tableau. Le système sera remplacé en 2024
Température	Numérique	Données en continu		2006	Extraction au frais du projet par RMC tableau. Le système sera remplacé en 2024
Conductivité	Numérique	Données ponctuelles	Semestrielle	2004	ESoutQual
pH	Numérique	Données ponctuelles	Semestrielle	2004	ESoutQual
Turbidité	Papier	Données ponctuelles	2/4 x an	2006	Commune de Fräschels, avant 2024 (sur demande) Site internet WAGROM depuis 2024
Analyse qualité	Papier	Données ponctuelles	2/4 x an	2006	Commune de Fräschels, avant 2024 (sur demande) Site internet WAGROM depuis 2024 ESoutQual depuis 2004.

Piézomètres

Piézomètre	Coordonnées X/Y [m]	Ø [mm]	Profondeur [m]	Profondeur des crépines début/fin [m]	Etat	Propriétaire	Remarques
Ancien puits	2'582'333 1'205'285	800	13.6	9-13	bon	Commune de Fräschels	<i>La connexion hydrogéologique directe entre l'ancien puits et le puits d'Hänisried n'est pas certaine car le sommet de l'ancien puit se situe à 444 m.s.m</i>

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit, niveau d'eau et température
Paramètres manquant au suivi en continu	Conductivité électrique
Présence de piézomètre	Oui, ancien puits de Fräschels. Connexion hydrogéologique entre l'ancien puits et le puits d'Hänisried n'est pas certaine.
Mesures réalisées sur un groupe de sources	non
Écrêtage des débits maximum	non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Installation d'une sonde de mesure de la conductivité électrique
Historique de données	Dès 2006 pour tous les paramètres.
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté

Programme de suivi

Captage non retenu pour la suite de l'étude.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

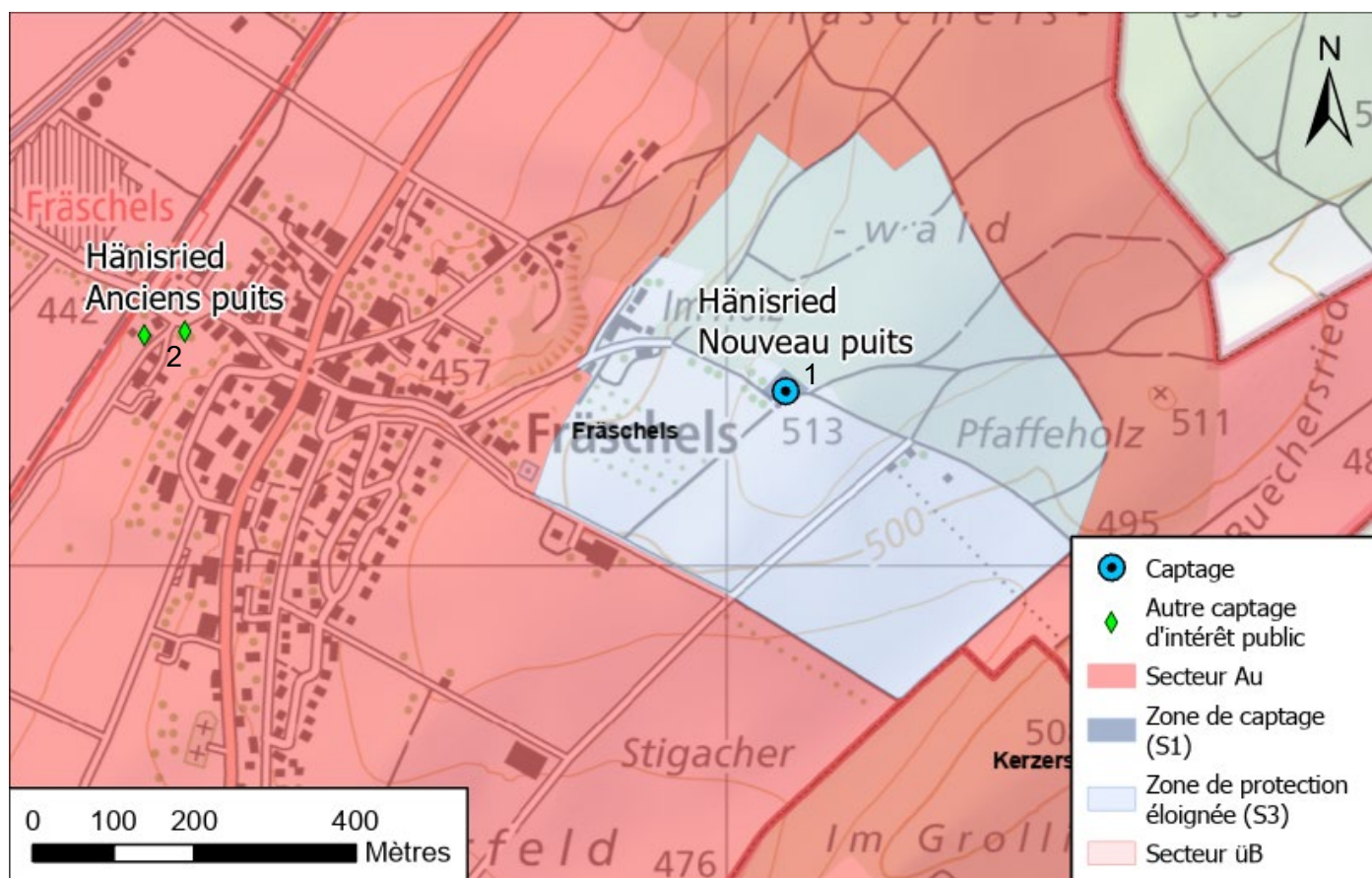


Photo 1: Captage Hänisried



Photo 2: Ancien Puits de Fräschels



Bibliographie

- [1] Kellerhals+Haefeli AG, Mai 2007, Wasserversorgung Fräschels, Gundwasserfassung Hänisried, Hydrogeologische Arbeiten für die definitive Grundwasserfassung, Schutzzonenausscheidung.
- [2] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.

Captage	17 – La Carnoche 3	Commune	Belmont-Broye	Catégorie du captage	Intérêt public
Coordonnées	2'568'632 / 1'189'959	Altitude [m.s.m.]	500	Lot 5 - Plateau molassique	

Contexte général

Géographie	Le groupe de captage de la Carnoche se compose de 18 chambres réparties en forêt, en rive gauche du ruisseau d'Oleyres, à 1 km au SE de la commune de Domidier. Les terrains environnants sont en pente douce et utilisée pour l'agriculture intensive.
Géologie	Le soubassement rocheux se compose essentiellement de molasse (alternance de bancs de grès et de niveau marneux). La molasse est fissurée et dans sa partie supérieure peut être altérée, formant des couches décimétriques de sable. La molasse est couverte d'une moraine de 5 à 10 m d'épaisseur, à prédominance sableuse, parfois limoneuse avec de rares graviers [2].
Régime actuel	Les captages de la Carnoches sont influencés par les conditions météorologiques [1]. La fin de l'été correspond aux basses eaux : les débits sont plus faibles et les températures plus hautes. Cette situation est typique des aquifères dans des sédiments relativement proches de la surface. De plus, le réservoir est de taille restreinte avec une nappe phréatique de petite dimension.
Hydrogéologie	L'alimentation des captages de la Carnoche se fait vraisemblablement par l'aquifère des sables propres de la moraine, par les horizons de molasse altérée et indirectement par des fissures dans la molasse. Les chambres semblent posées sur un niveau de molasse apparemment imperméable, permettant des résurgences dans les terrains morainiques sus-jacents. Cet aquifère n'est alimenté que par des précipitations. Il n'y a vraisemblablement aucune contribution depuis un autre aquifère ou cours d'eau. Mais cela reste à prouver par un essai de traçage [2]. L'eau présente une concentration importante en nitrates et des teneurs en pesticides dépassant la norme de potabilité [2].

Données du captage

Type d'aquifère	Poreux et fissuré	Régime hydrogéologique	Pluvial
Type de captage	Source	Type de captation	Tranchée
Débit [l/min] moyen / min / max	18.8 / 18 / 21 [1]	Saisonnalité des variations de débit	Intermédiaire
Température [°C] moyenne / min / max	10.5 / 8.9 / 12 [1]	pH moyen / min / max	7.3 / 6.9 / 8.1 [3]
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	585 / 575 / 590 [1]	Région Ecosfera	Plateau Nord
Utilisation du sol	Forêt, terres cultivés	Impact anthropique	Moyen
Remarque	Ces sources ne sont plus utilisées pour l'alimentation en eau potable.,		

Climat

Légère augmentation des débits en hiver et diminution relativement importante en été avec davantage de sécheresses pouvant être plus intenses et prolongées.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données ponctuelles	Mensuelle	2005	ESoutQual Chambre 3.
Température	Numérique	Données ponctuelles	Mensuelle	2003	ESoutQual Chambre 3.
Conductivité	Numérique	Données ponctuelles	Mensuelle	2003	ESoutQual Chambre 3.
pH	Numérique	Données ponctuelles	Semestrielle	2004	ESoutQual Chambre 3
Turbidité	Numérique	Données en continu		Inconnu	Mesure au réservoir
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles		2003	ESoutQual Chambre 3.

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Turbidité et débit pompé au réservoir.
Paramètres manquant au suivi en continu	Débit de l'ensemble des sources, température et conductivité
Présence de piézomètre	Non. Pas de piézomètre exploitable
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Oui
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Modification de la chambre 1 pour permettre la mesure du débit avec un déversoir avant le réservoir (mesure impossible à cet endroit actuellement).
Historique de données	2003 pour la chambre n°3 (Programme ESoutQual; [3])
Adéquation du captage pour la suite du projet	 0 - Pas adapté

Programme de suivi

Captage non retenu pour la suite de l'étude.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

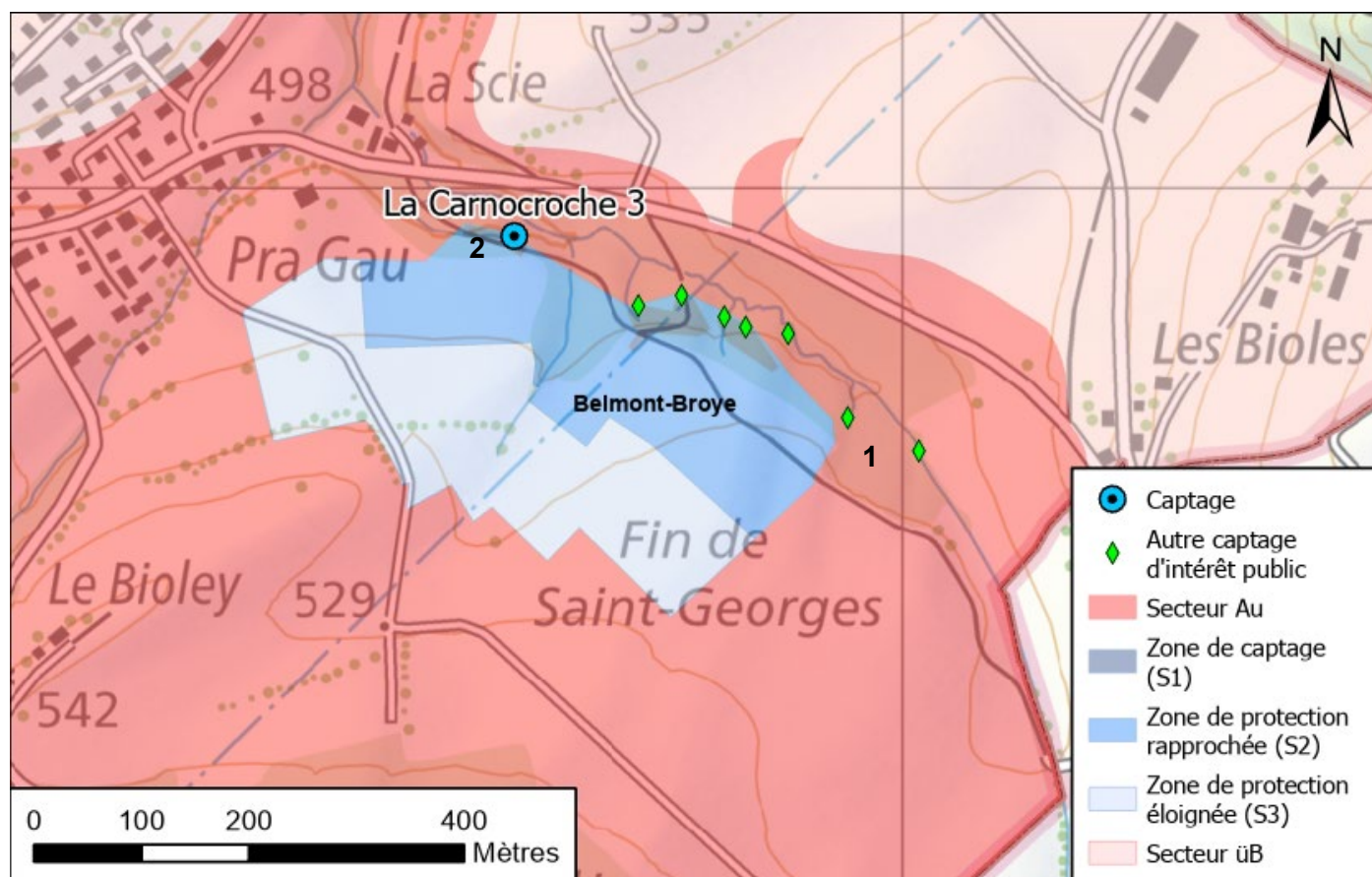


Photo 1 – Vue générale d'une chambre (n°18).



Photo 2 – Vue de la chambre n°1 avant le départ au réservoir.



Bibliographie

- [1] ABA GEOL SA, Février 1994, COMMUNE DE DOMDIDIER, Zones de protection "S" des captages communaux, rapport hydrogéologique. FR 359.
- [2] ABA GEOL SA, Septembre 2002, COMMUNE DE DOMDIDIER, Rapport hydrogéologique pour la délimitation de bassin d'alimentation des captages communaux de la "Carnoche". FR 1359.
- [3] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.
- [4] Suivi ZU, Données du SEn, 22 janvier 2024.

Captage	18 - Vau de Praz	Commune	Mont-Vully	Catégorie du captage	Intérêt public
Coordonnées	2'573'691 / 1'200'891	Altitude [m.s.m.]	541	Lot 5 - Plateau molassique	

Contexte général

Géographie	Les captages de Vau de Praz (chambre 14, 15 et 17) se trouvent en rive gauche d'un petit vallon taillé sur le flanc sud du Mont Vully (le ravin de Vau de Praz). Celui-ci culmine à 651 m, 1 km au nord du lac de Morat.
Géologie	Le sommet du Mont Vully est un synclinal perché avec un faible plongement axial vers l'est. Le soubassement rocheux est formé par la molasse d'eau douce inférieure (USM, Aquitanien) et par la molasse marine supérieure (OMM, Burdigalien). Seule la crête du Mont est constituée de molasse marine supérieure. Celle-ci repose stratigraphiquement sur la molasse d'eau douce inférieure. L'USM affleure dans le ravin de la Vau de Praz et se trouve en général sous faible couverture morainique. L'USM est constituée de grès et de marnes et l'OMM est essentiellement formé de grès. Le toit de la molasse est altéré (0.5 m). Des failles orientées nord-sud sont observées sur les flancs nord et sud du Mont-Vully. La moraine du dernier maximum glaciaire forme une couverture quaternaire ne dépassant pas 2 m.
Régime actuel	Prises séparément, les différentes venues ont des comportements très variables. En effet, certains débits sont plutôt réguliers alors que d'autres, souvent les plus faibles à l'étiage, subissent d'importantes variations. La période de hautes eaux est en hiver. Globalement, le débit des sources est sensible aux sécheresses et aux fortes précipitations (variation entre 12 l/min et 100 l/min)
Hydrogéologie	Le rapport Zu de Géolina (2016) mentionne l'existence de nappes dans les niveaux gréseux de la molasse. La présence de niveaux aquifères dans ces grès résulte de la dissolution du ciment calcaire. La présence de fissures facilite la circulation des eaux souterraines. L'alimentation desdites nappes se fait par infiltration des précipitations au travers de la moraine et via les failles qui permettent une connexion des niveaux gréseux séparés par les niveaux marneux. Les eaux captées ont une concentration élevée en nitrates (25-30 mg/l) et une concentration supérieure à la norme de potabilité pour les métabolites du chlorothalonil.

Données du captage

Type d'aquifère	Fissuré	Régime hydrogéologique	Pluvial
Type de captage	Source	Type de captation	Tranchée et drains
Débit [l/min] moyen / min / max	-/39.3/213.3 [1]*	Saisonnalité des variations de débit	Réactif
Température [°C] moyenne / min / max	12.4/ 5.8 / 24.5 [3]*	pH moyen / min / max	-
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	663/ 630/ 698 [3]*	Région Ecosfera	Basse Broye
Utilisation du sol	Pâturage et forêt	Impact anthropique	Moyen
Remarque	<i>*chambre de réunion :</i> Toutes les sources sont réunies avant la chambre de UV de Praz. La mesure du débit et de la turbidité y est réalisée en continu.		

Climat

Augmentation des débits en hiver et diminution importante en été avec davantage de sécheresses pouvant être plus intenses et prolongées.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu		inconnu	Le système doit être remplacé
Température	Numérique	Données ponctuelles	Mensuelle	2014- 2022	Programme Zu Mesure mensuelle en format papier disponible à la commune
Conductivité	Numérique	Données ponctuelles	Mensuelle	2014-2022	Programme Zu
pH	-	-	-	-	
Turbidité	Numérique	Données en continu		inconnu	Le système doit être remplacé
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles		2014	Programme Zu Analyse potabilité disponibles en format papier à la commune

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit et turbidité
Paramètres manquant au suivi en continu	Température et conductivité électrique
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Oui
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Installation de sondes pour la mesure en continu de la température et de la conductivité électrique
Historique de données	Programme Zu de 2014 à 2022. Long historique disponible à la commune au format papier
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix prioritaire.

Installation d'une sonde de température et de conductivité électrique à discuter avec le distributeur.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

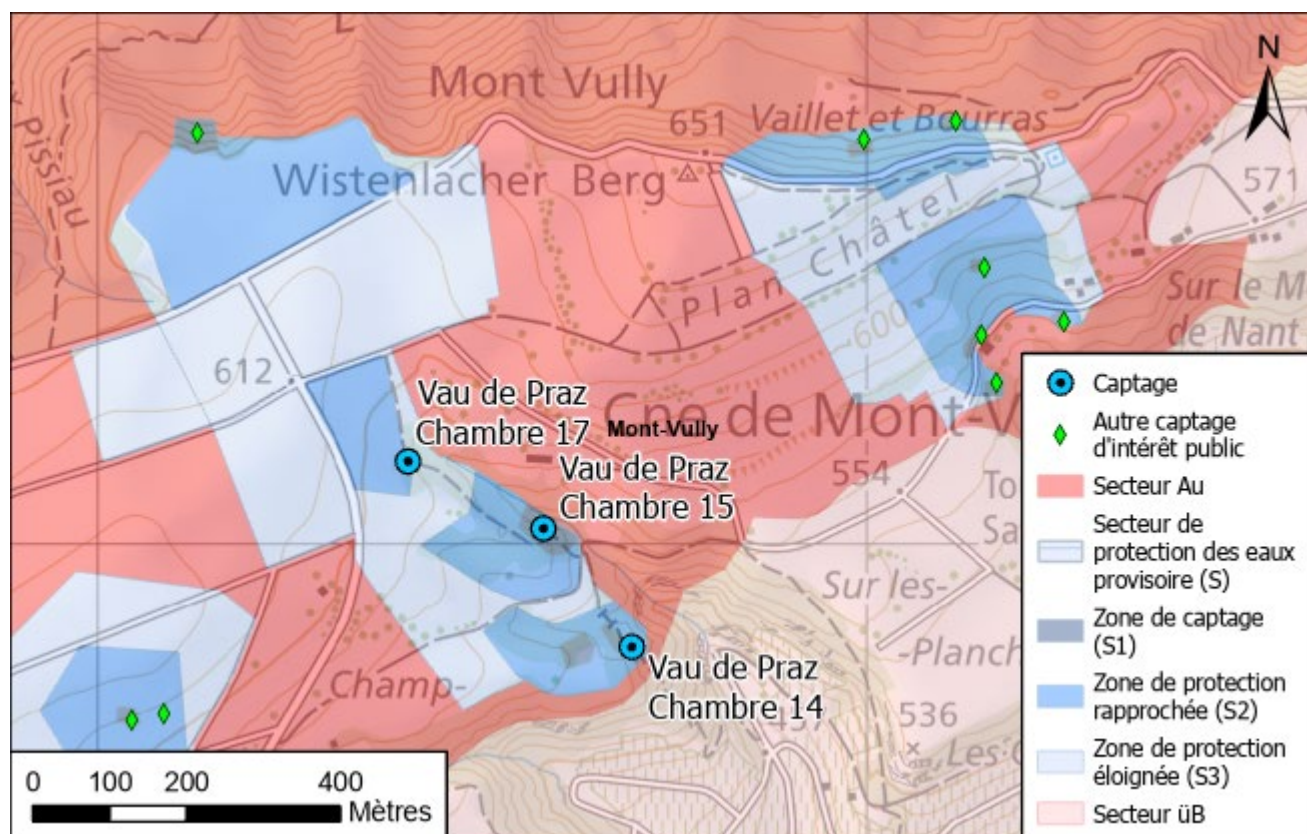


Photo 1 : Chambre de captage Vau de Praz 14



Photo 2 : Chambre de traitement UV de Praz



Bibliographie

- [1] Géolina, 26 juillet 1996, COMMUNE DE BAS-VULLY, Recaptage des sources de Vau de Praz et dimensionnement des zones de protection, rapport hydrogéologique. 94-134.
- [2] Géolina, 26 juillet 1996, COMMUNE DE BAS-VULLY, Délimitation de l'aire d'alimentation Zu des sources de la Vau de Praz, rapport hydrogéologique. 13.177.
- [3] Suivi ZU, Données du SEn, 22 janvier 2024.

Captage	19 – Hangbüel	Commune	Heitenried	Catégorie du captage	Important
Coordonnées	2'590'334. / 1'187'101	Altitude [m.s.m.]	748	Lot 3 - Plateau morainique	

Contexte général

Géographie	Le captage de Hangbüel se situe sur la Commune de Heitenried dans le district de la Singine. Il se trouve à 1 km du village dans un petit vallon creusé par l'érosion glaciaire dans la molasse.
Géologie	Sur les versants du vallon de Hangbüel apparaissent des affleurements de molasse marine supérieur (OMM-Burdigalien) recouverts par une épaisse couche d'argile sableuses. Le fond de du vallon est constitué de sables et silts qui reposent soit sur la molasse soit sur des alluvions graveleuses
Régime actuel	Le débit varie beaucoup en fonction des précipitations avec un décalage temporel de quelques mois. La conductivité électrique varie de manière inversement proportionnelle aux variations de débit [1].
Hydrogéologie	Le captage est composé d'une galerie souterraine alimentée par 6 tributaires. La galerie est creusée directement dans les grès de la molasse marine à environ 2m de profondeur. La source est influencée par des pollutions d'origine agricoles avec une concentration en nitrates variant de 23 à 38 mg/l (1993) et des traces de métabolites du chlorothalonil dépassant la valeur limite de 0.1 µg/l.

Données du captage

Type d'aquifère	Fissuré	Régime hydrogéologique	Nivo-pluvial
Type de captage	Source	Type de captation	galerie
Débit [l/min] moyen / min / max	214 / 94 / 774 [1]	Saisonnalité des variations de débit	Intermédiaire
Température [°C] moyenne / min / max	9.7 / 8.3 / 10.9 [1]	pH moyen / min / max	-
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	464 / 413 / 496 [1]	Région Ecosfera	Plateau Nord
Utilisation du sol	Habitat dispersé et agriculture	Impact anthropique	Moyen
Remarque	Source intégrée à NAQUA trend. http://www.hydrodaten.admin.ch/fr/6585.html Bassin d'alimentation estimé à 18 ha – gamme d'altitude 750 à 800 m		

Climat

Légère augmentation des débits en hiver et diminution en été. Les périodes d'été en fin d'été seront plus longues.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	10 minutes	2003	Naqua Quant [3]
Température	Numérique	Données en continu	10 minutes	2003	Naqua Quant [3]
Conductivité	Numérique	Données en continu	10 minutes	2003	Naqua Quant [3]
pH	Pas mesuré	-			
Turbidité	Numérique	Données en continu	10 minutes	2003	Naqua Quant [3]
Analyse qualité	Numérique	Données ponctuelles	2x / an		Valeur consultable sur les analyses chimiques

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Oui,
Paramètres manquant au suivi en continu	-
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	-
Historique de données	Suivi Q, EC et T et Turbidité par OFEV programme NAQUA TREND [3]
Adéquation du captage pour la suite du projet	 4 - Très bien adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix prioritaire.

Discussion avec l'OFEV pour utiliser les données du réseau NAQUA.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

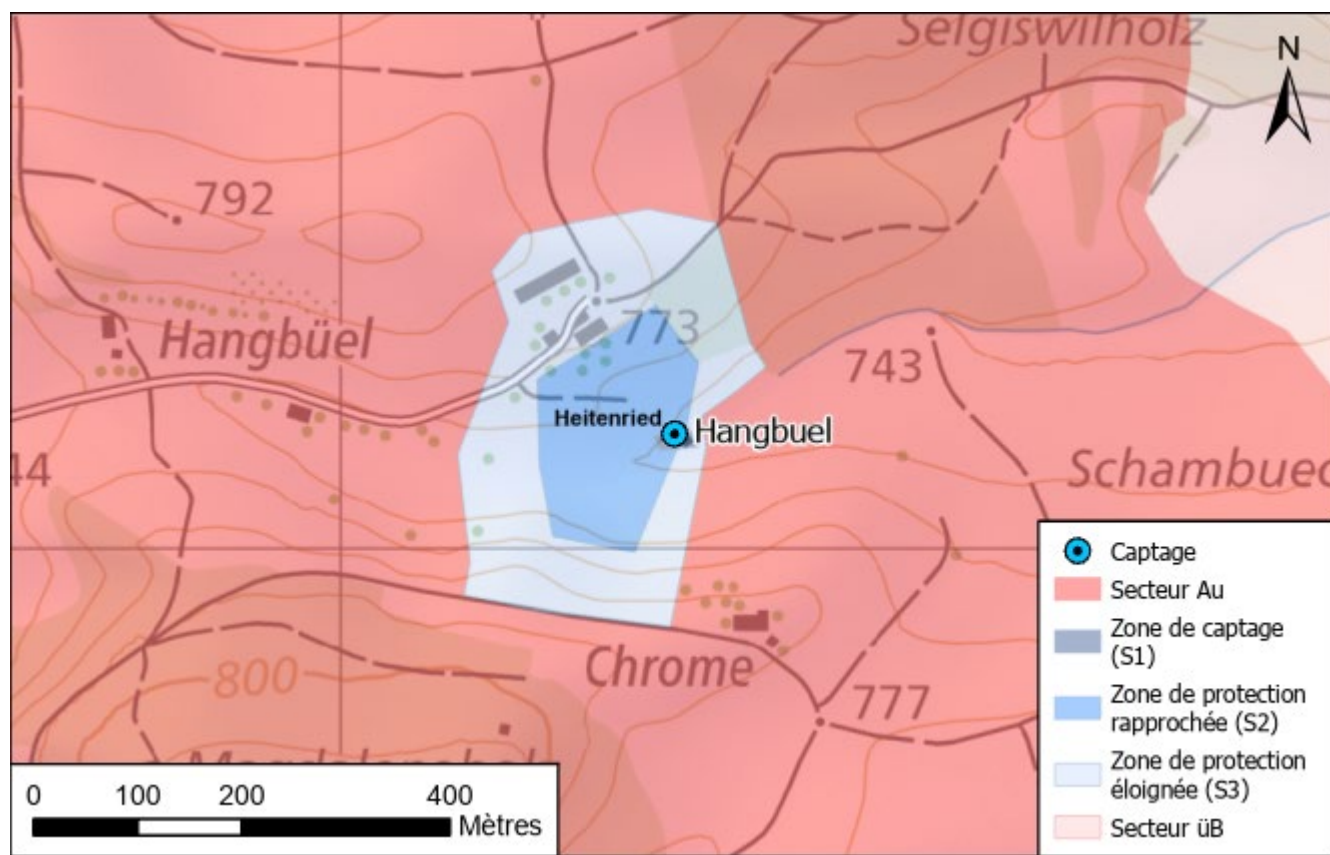


Photo 1 – Vue générale du réservoir.



Photo 2 – Vue du captage.



Photo 3 – Vue de la source avec les équipements. La molasse est visible au fond du captage.



Bibliographie

- [1] Géolina SA, janvier 1993, Gemeinde Heitenried, Hydrogeologische Studie und Bestimmung der Schutzzonen des Gemeindequelle von Hangbüel-Heitenried, n°90-117.
- [2] Aquaterra 2/2005, Hydrogéologie, Les eaux souterraines sous la loupe. Office fédéral des eaux et de la géologie OFEG
- [3] NAQUA : <https://www.hydrodaten.admin.ch/fr/grundwasser/stationen-und-daten/6585>

Captage	20 – Frassettes	Commune	Enney	Catégorie du captage	Important
Coordonnées	2'571'750/1'156'420	Altitude [m.s.m.]	950	Lot 1 - Préalpes karstiques	

Contexte général

Géographie	Les sources des Frassettes sourdent au pied d'une butte rocheuse boisée. Elles se trouvent à 1.3 km au Sud-Est et en amont d'Enney. La Vudalla culmine à 1669 m à 1.7 km à l'OSO des sources. Cette zone se trouve dans la partie NO des Préalpes Fribourgeoises. [1]
Géologie	Les sources sont captées par deux ouvrages dans des calcaires siliceux et spathiques de la formation du Grand Bonavau et du Petit Liençon. Ces ouvrages consistent en des sortes de mur drainant un fond de puits de plusieurs mètres de profondeurs. Le sommet de la Vudella correspond auxdites formations et se trouve dans le flanc sud d'un anticlinal dont l'axe est d'orientation OSO-ENE. Le captage des Frassettes se trouve sur le même axe, mais avec un resserrement des structures entre les roches du Trias et la formation marneuse du Staldengraben. Un décrochement senestre joue probablement de barrage hydrogéologique. [1]
Régime actuel	Les périodes d'étiage surviennent après une période sèche, en particulier en automne, ou lors d'une période froide prolongé en hiver (bassin versant compris entre 950 et 1670 m). [3] Les débits les plus élevés sont enregistrés lors de la période de fonte de la neige ou lors des épisode pluvieux. [3]
Hydrogéologie	L'aquifère principal se trouve dans les formations siliceuses et spastiques de la formation du Grand Bonavau et du Petit Liençon. Les formations triasiques peuvent jouer le rôle d'aquifère secondaire. Une contribution par les calcaires massifs de la formation du Moléson a été écartée du fait de la présence des niveaux marneux du Staldengraben faisant office de barrière avec l'aquifère principal. [1] L'écoulement se ferait à la fois dans un système fissuré et faiblement karstique. [1] D'après les analyses de qualité cantonales [2], les eaux sont riches en sulfates (environ 120 mg/l) et pauvre en nitrates (2.5 mg/l)

Données du captage

Type d'aquifère	Fissuré	Régime hydrogéologique	Nivo-pluvial
Type de captage	Source	Type de captation	Drains
Débit [l/min] moyen / min / max	1'800/1'200/3'800 [4]	Saisonnalité des variations de débit	Réactif
Température [°C] moyenne / min / max	9.3/8.6/9.6 [4]	pH moyen / min / max	7.5 [2]
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	568 [2]	Région Ecosfera	Préalpes
Utilisation du sol	Alpages, route d'alpages et forêts	Impact anthropique	Faible
Remarque	Débit de concession de 1320 l/min		

Climat

Augmentation significative des débits en hiver et diminution en été. Les périodes d'étiage en fin d'été seront plus longues et le risque de sécheresse en fin d'été/automne sera plus important.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	minute	2018	2/an avant 2018, depuis 1994 Naqua Spez
Température	Numérique	Données en continu	minute	2018	2/an avant 2018, depuis 1994 Naqua Spez
Conductivité	Numérique	Données ponctuelles	minute	5.4.2024	Naqua Spez
pH	Papier	Données ponctuelles	2/an	1994	Naqua Spez
Turbidité	Numérique	Données en continu	minute	2018	Naqua Spez
Analyse qualité	Papier	Données ponctuelles	2/an	1994	Cond, Turbidité, Germes, E-col, Entéro. ESoutQual depuis 2023. Naqua Spez

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit entrant dans le réseau, température et turbidité.
Paramètres manquant au suivi en continu	Conductivité
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Oui, Q1 et Q4 qui sont proches l'une de l'autre.
Écrêtage des débits maximum	Oui et mise en décharge lorsque la turbidité est trop forte, ce qui est le cas après de grandes pluies.
Modification à prévoir pour suivi en continu	Mesure des débits des sources avant mise en décharge et installation de sonde de mesure de la conductivité électrique. La commune prévoit pour 2024 la rénovation de la chambre de rassemblement juste entre les captages et le réservoir. Cette chambre sera dotée d'un déversoir en V pour chacun des deux captages afin de permettre des jaugeages. Il sera dès lors possible d'équiper ces déversoirs avec une sonde de niveau.
Historique de données	Données en continu dès 1994 pour le débit, Température et conductivité en continu dès 2018.
Adéquation du captage pour la suite du projet	 3 - Adapté

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude, choix secondaire.

Installation d'une sonde de conductivité après réfection des captages en 2024 à compléter par l'exploitant.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos

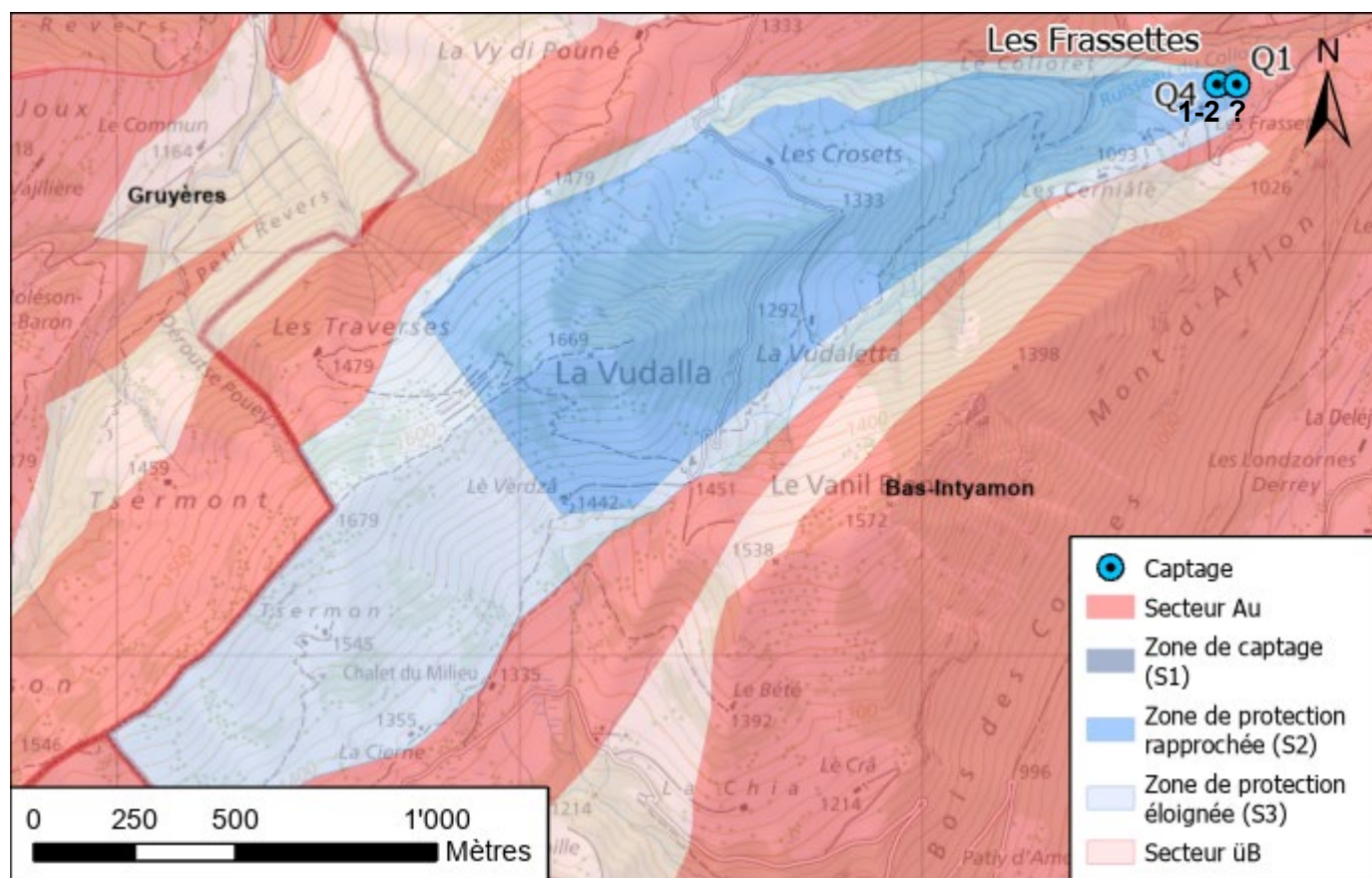


Photo 1 – Chambre des captages Q1 et Q4.



Photo 2 – Chambre de régulation (ou de réunion), juste entre les captage Q1-Q4 et le réservoir des Frassettes



Bibliographie

- [1] CSD SA, 20 Février 1985, Zone de protection des captages aux Frassettes, rapport hydrogéologique. FR 1088.
- [2] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.
- [3] Données transmises par la commune en mai 2024
- [4] Données NAQUA en ligne : <https://www.hydrodaten.admin.ch/fr/grundwasser/stationen-und-daten/6756>

Captage 21 – Closels

Commune Montets

Catégorie du captage Intérêt public

Coordonnées 2'554'667 / 1'182'517

Altitude [m.s.m.] 645

Lot 5 - Plateau molassique

Contexte général

Géographie	Le captage des sources de la Closels se trouve en Basse Broye, 5 km au SE du lac de Neuchâtel. Le terrain est faiblement vallonné. Les collines à 1-2 km au S et au SE des sources dépassent à peine les 750 m. Les terrains environnants sont essentiellement occupés par l'agriculture et quelques habitations.
Géologie	Le soubassement rocheux est constitué par de la molasse burdigalienne recouverte par de la moraine rhodanienne de faible épaisseur. La molasse se compose d'alternance de bancs gréseux et de bancs marneux. La couverture morainique se compose principalement de sable limoneux-graveleux. Les quelques dépressions à proximité sont remplies d'alluvions récentes.
Régime actuel	Les débits sont stables avec une période de hautes eaux au printemps [1].
Hydrogéologie	Les écoulements souterrains se font essentiellement dans la molasse. L'importance du débit et la stabilité des paramètres physico-chimiques indiquent également une provenance du cœur de la molasse, à l'abri des influences extérieures. Cependant, la présence de fractures verticales permet une infiltration depuis la surface, ce qui rend la ressource vulnérable aux pollutions [1]. La zone sourcière est large d'environ 20m. L'eau est captée à la sortie de la molasse par des drains relativement courts [1]. Des résidus de pesticides supérieur aux normes légales ont été mesurée au captage en 2022 [2].

Données du captage

Type d'aquifère	Fissuré	Régime hydrogéologique	Pluvial
Type de captage	Source	Type de captation	Drains
Débit [l/min] moyen / min / max	248/222/281 [1]	Saisonnalité des variations de débit	Peu réactif
Température [°C] moyenne / min / max	9.5/9/10 [1]	pH moyen / min / max	7.3 [2]
Conductivité [μS/cm] moyenne / min / max	562/549/575 [1]	Région Ecosfera	Basse Broye
Utilisation du sol	Bâtiments, chemin agricole, agriculture	Impact anthropique	Moyen
Remarque	<i>Le captage datant de 1946 a été rénové en 2010</i> <i>Débit de concession 250 l/min</i>		

Climat

Légère augmentation du débit en hiver et diminution en été mais l'évolution du débit va surtout dépendre de l'évolution pluriannuelle de la recharge et pourrait diminuer à long terme si la recharge moyenne annuelle diminue.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Numérique	Données en continu	Inconnu	2010	
Température	Papier	Données ponctuelles	2x par an	1946	Valeur consultable sur les analyses chimiques
Conductivité	Papier	Données ponctuelles	2x par an		Valeur consultable sur les analyses chimiques
pH	Pas mesuré	-			
Turbidité	Numérique	Données en continu	Inconnu	2010	
Analyse qualité	Papier	Données ponctuelles	2x / an		Couleur, conductivité, turbidité, nitrite, nitrate, ammonium, dureté totale, calcium, Magnésium Germes aérobies mésophiles, E.coli, Entérocoque. ESoutQual (2022) [2]

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Débit et turbidité.
Paramètres manquant au suivi en continu	Température, conductivité.
Présence de piézomètre	Non
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non
Écrêtage des débits maximum	Non
Modification à prévoir pour suivi en continu	Adaptation du système pour installer les sondes.
Historique de données	Données bisannuelles issues des analyses de l'eau potable. Depuis 2010, le débit et la turbidité sont mesurés en continu.
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté

Programme de suivi

Captage non retenu pour la suite de l'étude.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

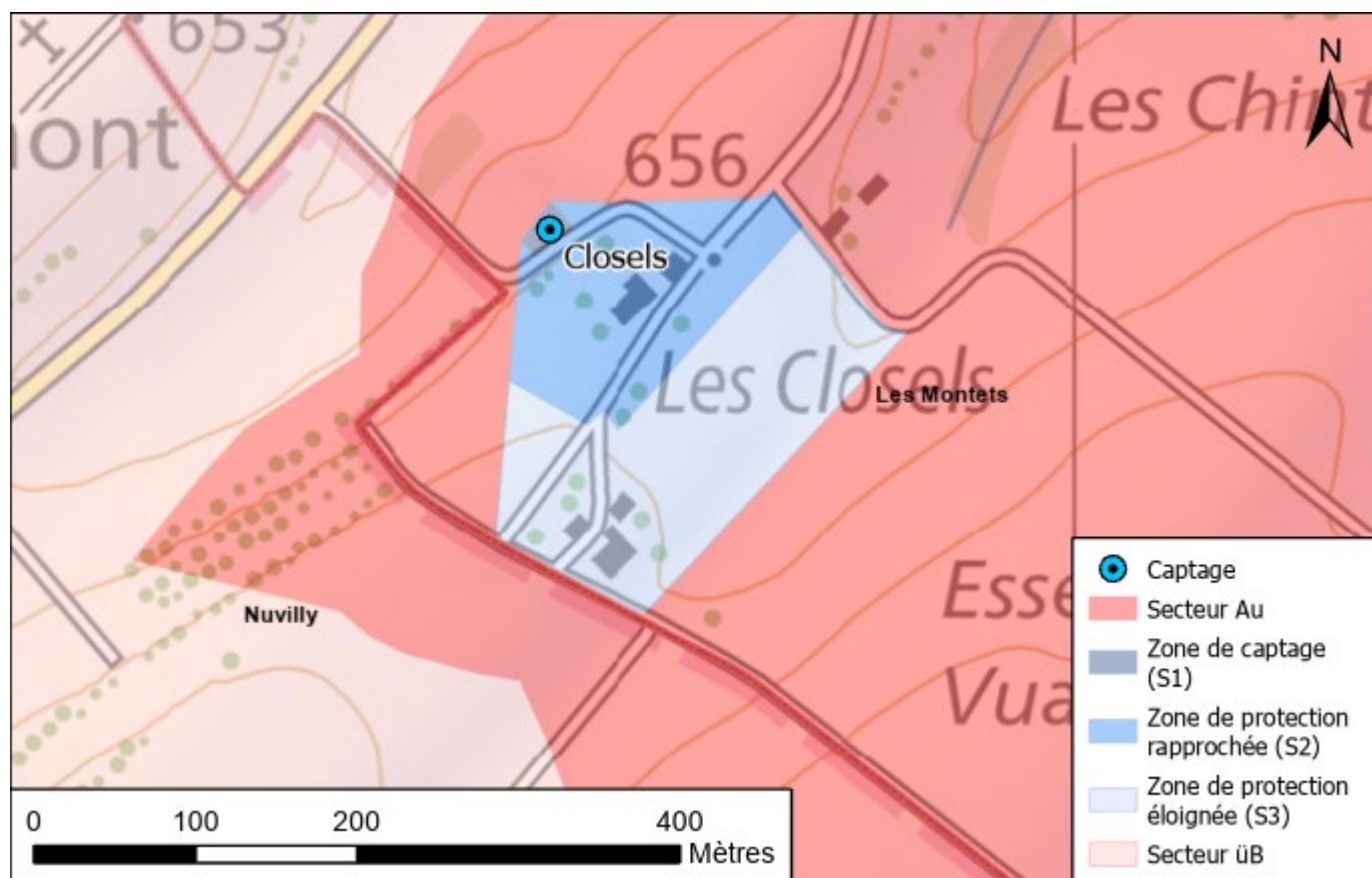


Photo 1 – Vue générale des chambres du captage.



Photo 2 – Vue du captage et de l'arrivée des 3 drains.



Bibliographie

- [1] ABA GEOL, septembre 2013, COMMUNE DES MONTETS, Zone de protection du captage des Closels, rapport hydrogéologique. FR03789.
- [2] ESoutQual, Donnée du SEn, 5 mai 2024.

Captage	22 – Sandli	Commune	Jaun	Catégorie du captage	Important
Coordonnées	2'589'881 / 1'160'618	Altitude [m.s.m.]	1086	Lot 1 - Préalpes karstiques	

Contexte général

Géographie	La source de Sandli (commune de Jaun) se trouve le long de la route de la vallée d'Abländschen, dans le prolongement nord-est de l'arrête des Gastlosen. Le captage se trouve dans un éboulis en pied de versant.
Géologie	La région du Jaun se trouve dans les Préalpes formée par plusieurs nappes plissées dont celle des Préalpes médianes rigides. Cette unité tectonique est principalement constituée de calcaire, marquant la topographie locale par la chaîne des Gastlosen. La source s'aligne dans la direction de l'accident tectonique formant la vallée d'Abländschen.
Régime actuel	Les débits montrent peu de fluctuations et les paramètres physico-chimique sont stables [1]. Les variations climatique saisonnière sont observées avec des débits maximaux de mai à juillet et des faibles débits de septembre à octobre et surtout de février à mars.
Hydrogéologie	La source constitue l'émergence principale du réservoir formé par les calcaires massifs fissurés et karstifiés des Gastlosen. L'accident tectonique permet aux eaux du réservoir calcaires de remonter à la surface en traversant une zone de Flyschs imperméables. La vulnérabilité est jugée faible [1]. Alimentation par un important réservoir ayant une zone non saturée importante, expliquant les faibles fluctuations observées.

Données du captage

Type d'aquifère	Karstique	Régime hydrogéologique	Nival
Type de captage	Source	Type de captation	Drains
Débit [l/min] moyen / min / max	3269/1829/7615 [1]	Saisonnalité des variations de débit	Réactif
Température [°C] moyenne / min / max	6.4/6.0/6.8 [1]	pH moyen / min / max	7.81 [2]
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	282/268/295 [1]	Région Ecosfera	Préalpes
Utilisation du sol	Forêt	Impact anthropique	Faible
Remarque			

Climat

Augmentation significative du débit en hiver et diminution en été. Les hautes eaux printanières devraient être moins importantes et plus précoces. Les périodes de basses eaux devraient progressivement se décaler en été/automne, des sécheresses ponctuelles pourraient apparaître.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Papier	Données ponctuelles	1x par mois	01.10.1990 à 01.04.1995 et 2002 - 2008	Projet ISHYDRO (CHYN) [1] pour les années 90 et mesure relevée par le fontainier [1], pas de document à la commune pour les années 2000.
Température	Papier	Données en continu	Inconnu	01.10.1990 à 01.04.1995	Projet ISHYDRO (CHYN) [1] et données sporadiques du laboratoire cantonal
Conductivité	Papier	Données en continu	Inconnu	01.10.1990 à 01.04.1995	Projet ISHYDRO (CHYN) [1] et données sporadiques du laboratoire cantonal
pH	Pas mesuré	-			
Turbidité	Papier	Données ponctuelles	2x / an	1993	Mesures du laboratoire cantonal
Analyse qualité	Papier	Données ponctuelles	2x / an		Débit, conductivité, turbidité, nitrite, nitrate, ammonium Germs aérobies mésophiles, E.coli, Entérocoque.

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Aucun suivi.
Paramètres manquant au suivi en continu	Débit, température, conductivité, turbidité.
Présence de piézomètre	Non.
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non.
Écrêtage des débits maximum	Oui mais après l'arrivée d'eau dans la chambre.
Modification à prévoir pour suivi en continu	Possibilité d'installer un déversoir avant l'écrêtage (système déjà réalisé par le passé). Installation de sonde possible, mais pas d'électricité à proximité.
Historique de données	Pas d'historique de données continu.
Adéquation du captage pour la suite du projet	 2 - Moyennement adapté.

Programme de suivi

Captage retenu pour la suite de l'étude.

Illustration

Plan de situation avec emplacement des photos.

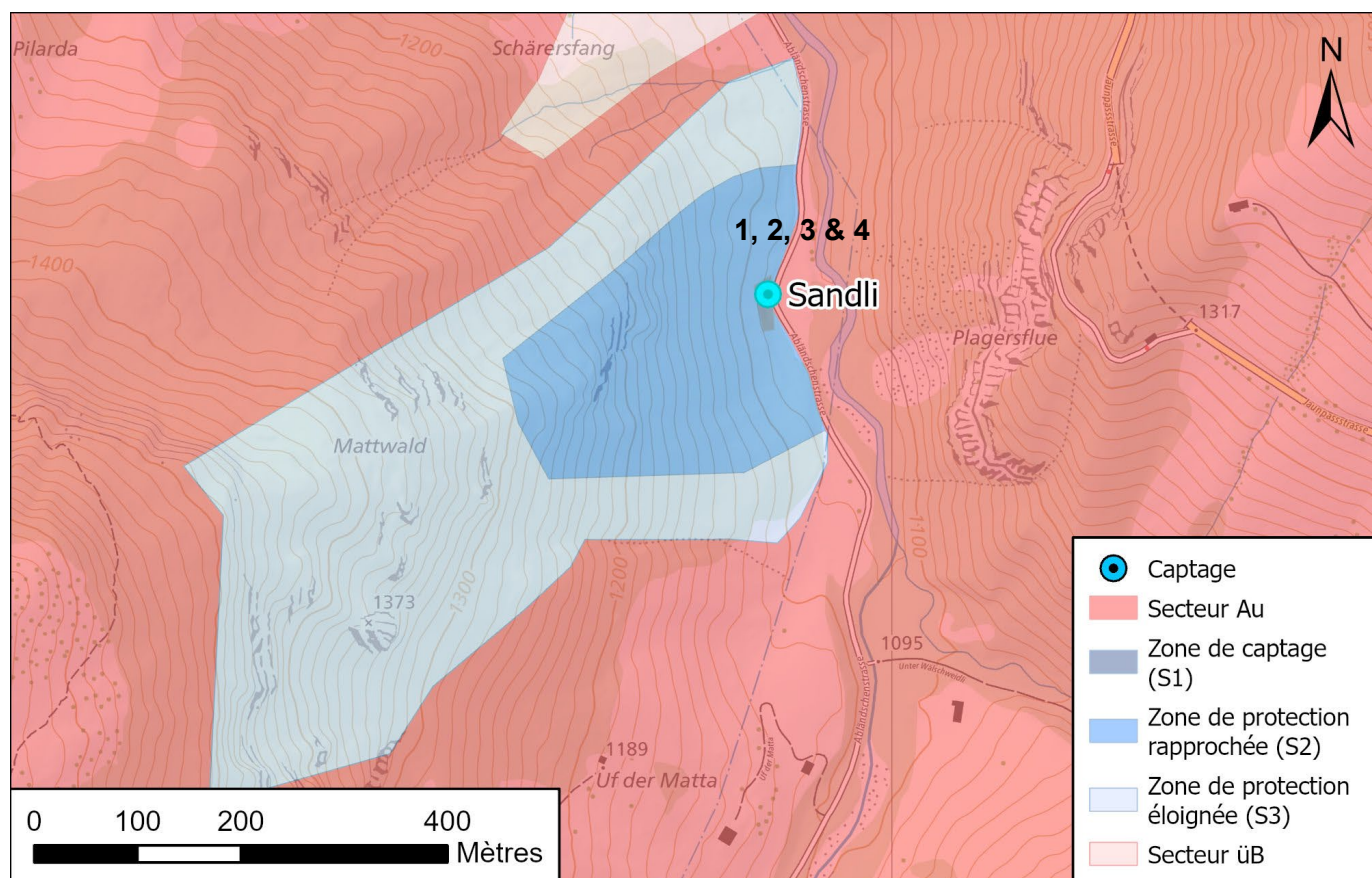


Photo 1 – Vue générale de la chambre de jaugeage avec le captage en arrière-plan (cercle rouge).



Photo 2 – Vue de l'arrivée de la conduite du captage.

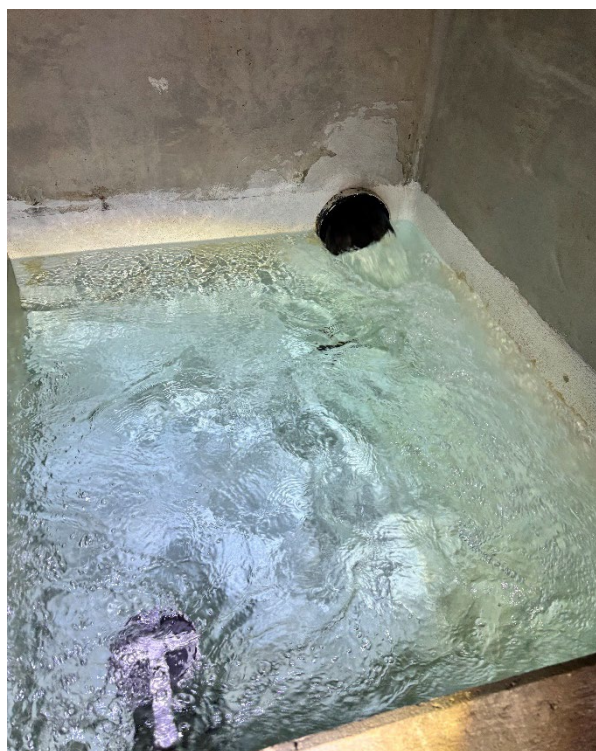
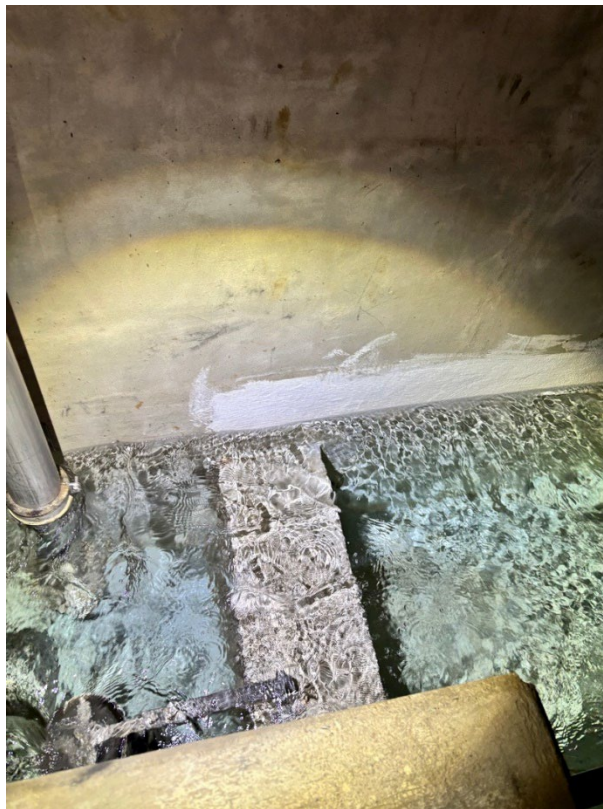


Photo 3 – Vue de l'écrêtage de crue et du départ de l'eau dans le réseau.



Photo 4 – Position potentielle pour la mise en place d'un déversoir et d'une station de mesure.



Bibliographie

- [1] HydroSol Sàrl, 06.06.2008, Commune de Jaun, délimitation des zones de protection « S » de la source de Sandli.05HS23.

Captage 23 – Kappelboden

Commune Jaun

Catégorie du captage Intérêt public

Coordonnées 2'588'118 / 1'162'129

Altitude [m.s.m.] 1020

Lot 1 - Préalpes karstiques

Contexte général

Géographie	La source se situe dans le village de Kappelboden, entre 2 habitations. Cette émergence est canalisée et rejoint rapidement la Jogne qui se trouve à environ 60 m.
Géologie	La région du Jaun se trouve dans les Préalpes formée par plusieurs nappes plissées dont celle des Préalpes médianes rigides. La source se trouve dans l'axe du synclinal des Morteys, allant de Widdergalm au NE de Kappelboden à la Pointe de Paray au Sud du Vanil Noir [2]. La source se trouve à un point bas du système karstique régional.
Régime actuel	Selon les discussions avec les responsables communaux, cette source fluctue fortement en fonction des saisons et des événements météorologiques. Aucune donnée
Hydrogéologie	La source n'est pas captée. Elle émerge des calcaires plaquetés Néocomien [2]. Il est fort probable que la nappe qui alimente la source de la Cascade de Jaun soit la même pour Kappelboden. Il s'agit de l'aquifère composé des calcaires du Malm et du Néocomien. Le bassin d'alimentation est estimé à 16 km². Le faible débit indiqué dans [1] suggérerait qu'une partie des débits se déverserait directement dans la nappe alluviale, sous les sédiments. Il a été observé par la commune que lors de forts épisodes pluvieux, des venues d'eau temporaires se forment le long de la route cantonale, de part et d'autre du village de Kappelboden.

Données du captage

Type d'aquifère	Karstique	Régime hydrogéologique	Nival de transition
Type de captage	Source	Type de captation	-
Débit [l/min] moyen / min / max	- /40/500 [1]	Saisonnalité des variations de débit	Réactif
Température [°C] moyenne / min / max	-/-/-	pH moyen / min / max	-/-/-
Conductivité [µS/cm] moyenne / min / max	-/-/-	Région Ecosfera	Préalpes
Utilisation du sol	Forêt, pâturage	Impact anthropique	Faible
Remarque			

Climat

Augmentation significative du débit en hiver et diminution en été. Les hautes eaux printanières devraient être moins importantes et plus précoces. Les périodes de basses eaux devraient progressivement se décaler en été/automne, des sécheresses ponctuelles pourraient apparaître.

Données disponibles

Données	Format	Type	Fréquence de mesure	Début des mesures	Remarques
Débit	Pas mesuré	-	-	-	-
Température	Pas mesuré	-	-	-	-
Conductivité	Pas mesuré	-	-	-	-
pH	Pas mesuré	-	-	-	-
Turbidité	Pas mesuré	-	-	-	-
Analyse qualité	Pas mesuré	-	-	-	-

Analyse de déficit

Suivi en continu déjà en place	Aucun suivi.
Paramètres manquant au suivi en continu	Débit, température, conductivité, turbidité.
Présence de piézomètre	Non.
Mesures réalisées sur un groupe de sources	Non.
Écrêtage des débits maximum	Non.
Modification à prévoir pour suivi en continu	La possibilité d'instrumenter cette source nécessite de connaître les débits et comportement en cas de crue pour pouvoir installer une station de mesure fiable.
Historique de données	Pas d'historique de données.
Adéquation du captage pour la suite du projet	 0 - Pas adapté

Programme de suivi

Captage non-retenu pour la suite de l'étude.

Illustration

Plan de situation.

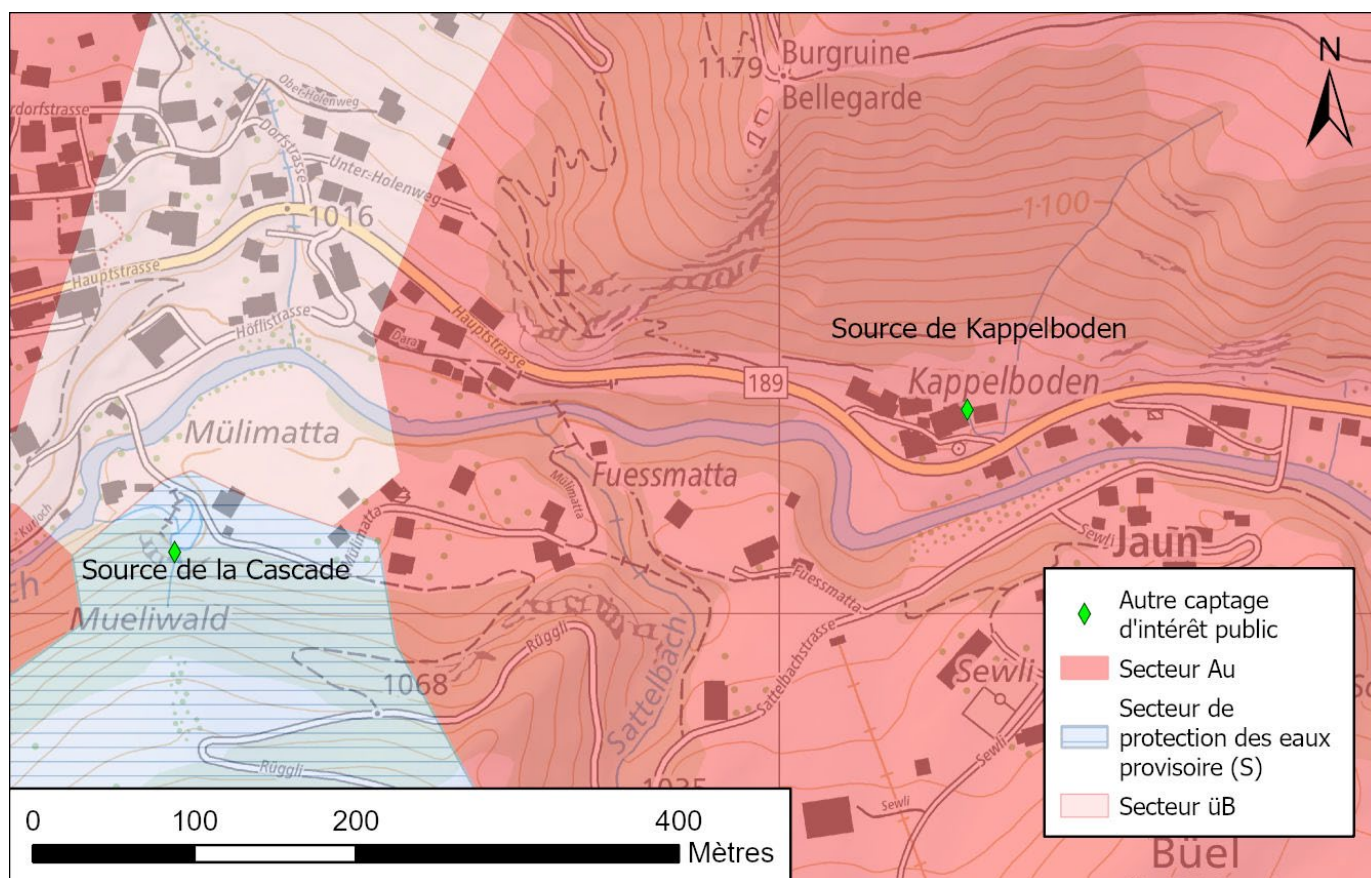


Photo 1 – Vue du versant. La source se trouve au pied du versant.



Photo 2 – Résurgence de la source sous le bâtiment.



Photo 3 – Canalisation de la résurgence.



Photo 4 – Les eaux transitent sous le pont de la route cantonale pour rejoindre la Jogne.



Bibliographie

- [1] Sylvia Bugnon, Août 1988. Travail de diplôme de géographie, Université de Fribourg. La vallée de la Jogne: Un exemple d'influence structurale et karstique sur la morphologie et l'orientation d'une vallée des Préalpes fribourgeoises.
- [2] ISSKA - Geoazimut (2014) - KARST Fribourg - Carte d'admissibilité pour l'implantation de sondes géothermiques en milieu karstique. Rapport non publié. Mandant : Service de l'Environnement du canton de Fribourg

Annexe 2 – Annexes aux fiches de captages

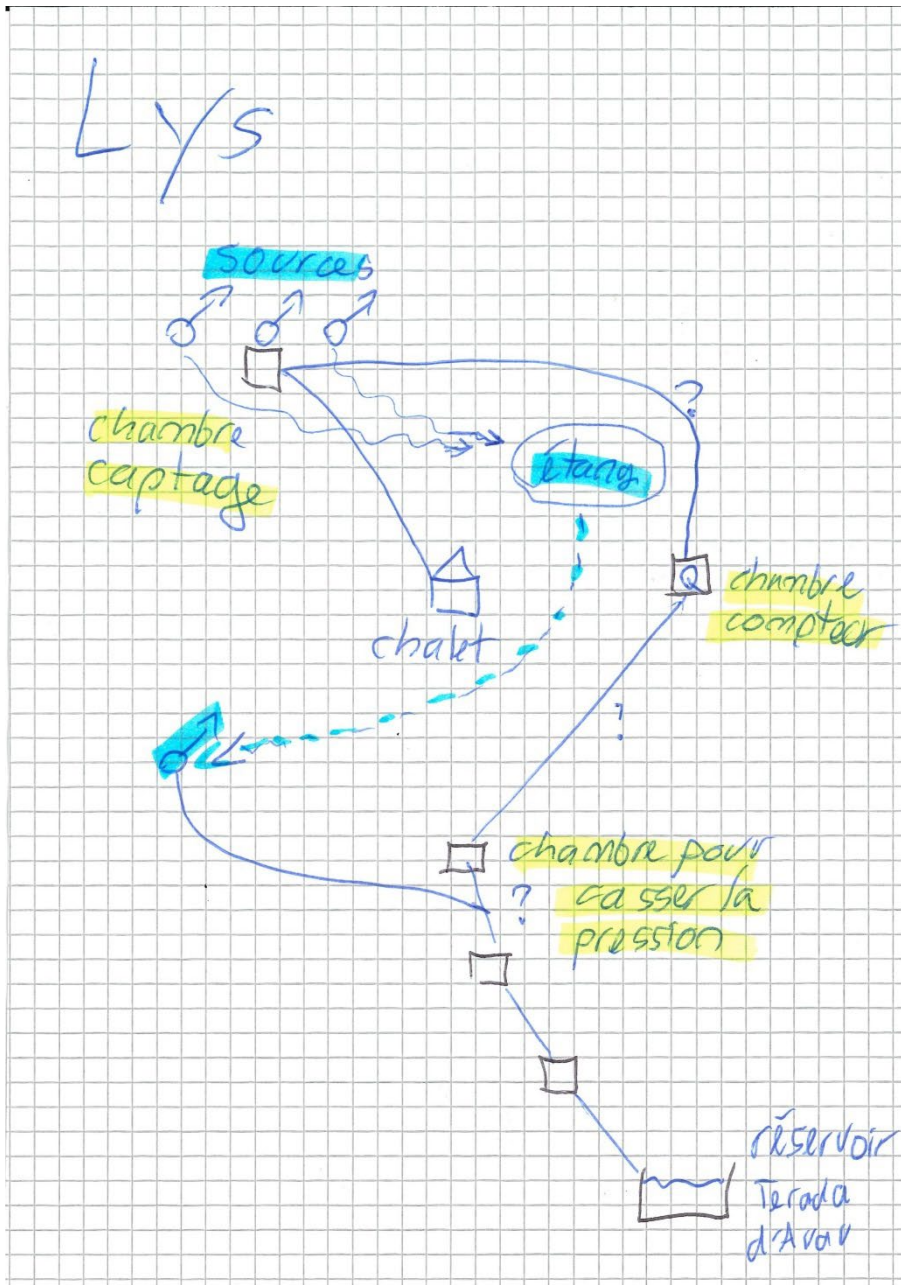
Table des matières

A) Schéma de principe.....	3
B) Courbes débit (source : rapport ABA GEOL, Mars 2004)	4
Annexe 2.2 - 2.Villard-Bony Supérieur	5
A) Schéma de principe.....	5
B) Graphiques.....	5
Annexe 2.3 - 3.Fin de la Porta.....	7
A) Schémas de principe (Technique et hydrogéologique)	7
B) Logs	8
C) Graphiques.....	11
Annexe 2.4 - 4.Marais 1.....	13
A) Schémas de principe	13
B) Graphique.....	14
Annexe 2.5 - 5. La châtelaine.....	15
A) Schémas de principe	15
B) Graphiques.....	16
Annexe 2.6 - 6. Müllera, Käserli, Schmutzena	18
A) Graphique & mesures	18
Annexe 2.7 - 7. La Tuffière.....	19
A) Graphiques.....	19
B) Cartes du fond et extension des graviers.....	20
Annexe 2.8 - 8. Hoffmatt	21
A) Schémas de principe hydrogéologique.....	21
A) Coupe géologique	21
B) Graphiques.....	22
C) Log de Forage.....	22
Annexe 2.9 - 9. En Cudré	23
A) Profil technique du puits.....	23
B) Graphiques.....	24
Annexe 2.10 - 10. Les Mettraux 2.....	25
A) Schémas de principe	25
B) Logs et profil technique	26
B) Graphique.....	29
Annexe 2.11 - 11. Les Ouches.....	30
A) Log du puits.....	30
B) Graphiques.....	31
C) Log.....	32
Annexe 2.12 - 12. Horia	33

A) Profil du puits.....	33
B) Graphiques.....	35
Annexe 2.13 - 13. Flamatt	36
A) Mesure des niveau d'eau du puits	36
B) Graphiques.....	37
C) Log.....	38
Annexe 2.14 - 14. Galmacher	39
A) Schémas de principe	39
B) Graphiques.....	40
Annexe 2.15 - 15. Danaïdes	41
A) Logs et profil technique	41
B) Graphiques.....	42
Annexe 2.16 - 16. Hänsiried.....	43
A) Graphiques.....	43
Annexe 2.17 - 17. La Carnoche 3	44
A) Schéma de principe des captages	44
B) Données & graphiques.....	45
Annexe 2.18 - 18. Vau de Praz.....	48
A) Schémas de principe – carte du réseau	48
B) Données	49
Annexe 2.19 - 19. Hangbüel	50
A) Graphiques.....	50
Annexe 2.20 - 20. Les Frassettes	51
A) Schéma de principe.....	51
B) Graphique.....	51
Annexe 2.21 - 21. Closels.....	52
A) Données & graphiques.....	52
B) Statistiques débit source de Granvau (Closels).....	54
Annexe 2.22 - 22. SAndli.....	55
A) Données & graphiques.....	55
B) Plans de la chambre de jaugeage.....	57

Annexe 2.1 - 1.En Lys

A) SCHÉMA DE PRINCIPE



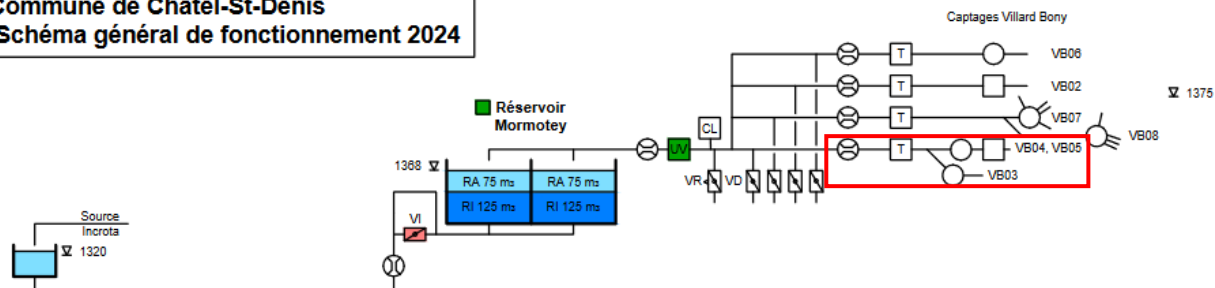
B) COURBES DÉBIT (SOURCE : RAPPORT ABA GEOL, MARS 2004)

Dates	Capatges	Conductivité en $\mu\text{S/cm}$	Température en °C	Débit en l/min
18.06.02	F1	360	5.8	
20.06.02	F1 + F2			> 150
25.06.02	F1	362	6.4	
25.06.02	F2	359	6.4	
19.07.02	F1 + F2			190
29.07.02	F1 + F2	327	9.3	150
26.08.02	F1 + F2	335	8.3	150
02.09.02	F1 + F2		8.5	150
23.09.02	F1 + F2			150
04.06.03	F1 + F2	326	8.4	220

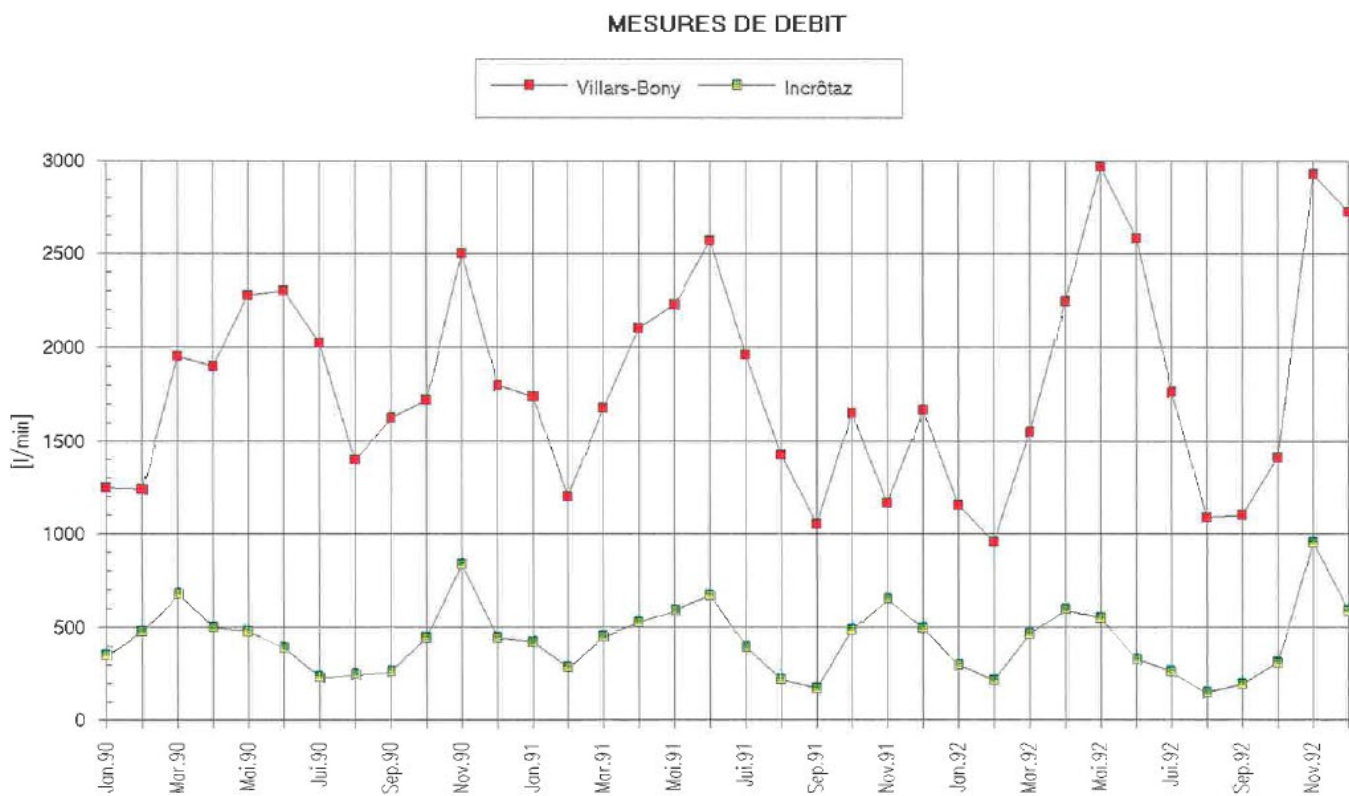
ANNEXE 2.2 - 2.VILLARD-BONY SUPÉRIEUR

A) SCHÉMA DE PRINCIPE

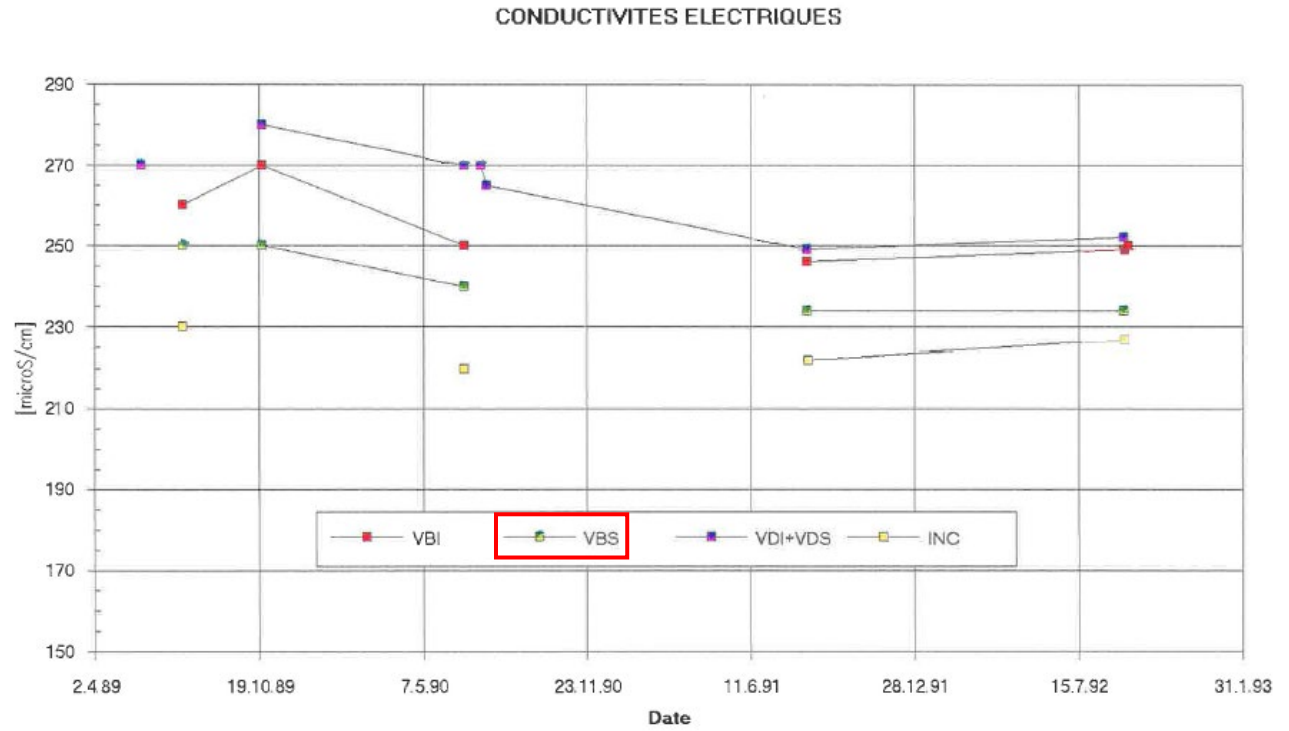
Commune de Châtel-St-Denis
Schéma général de fonctionnement 2024



B) GRAPHIQUES

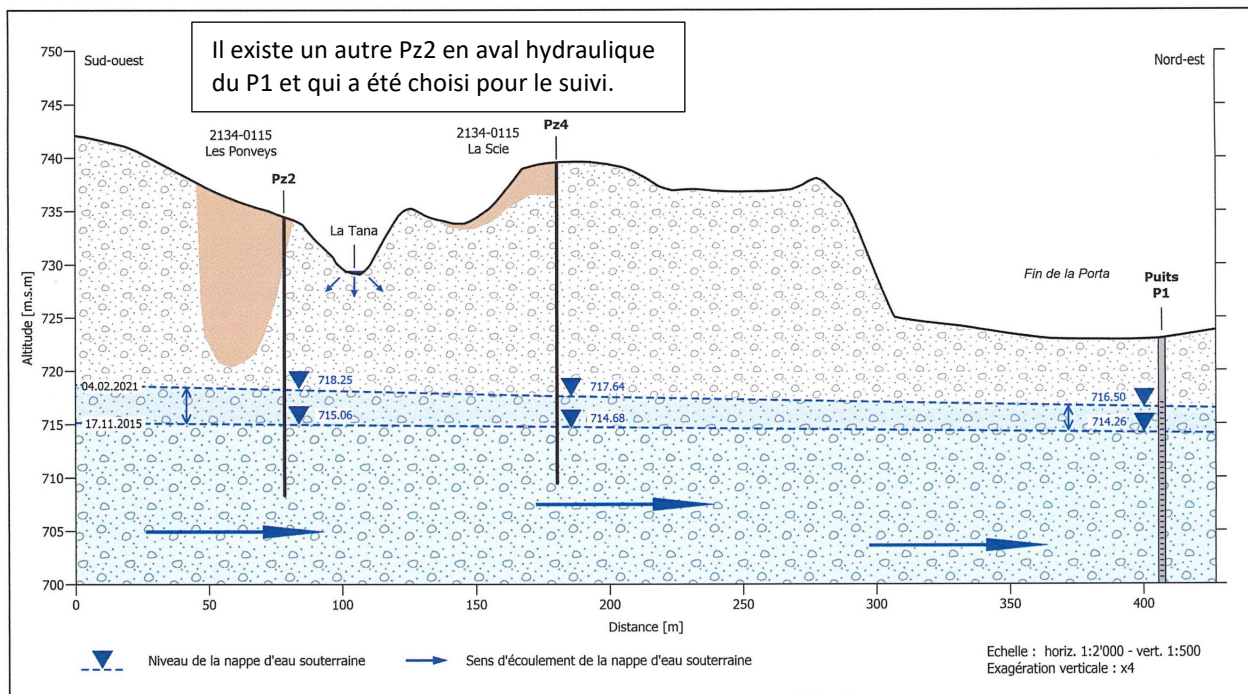
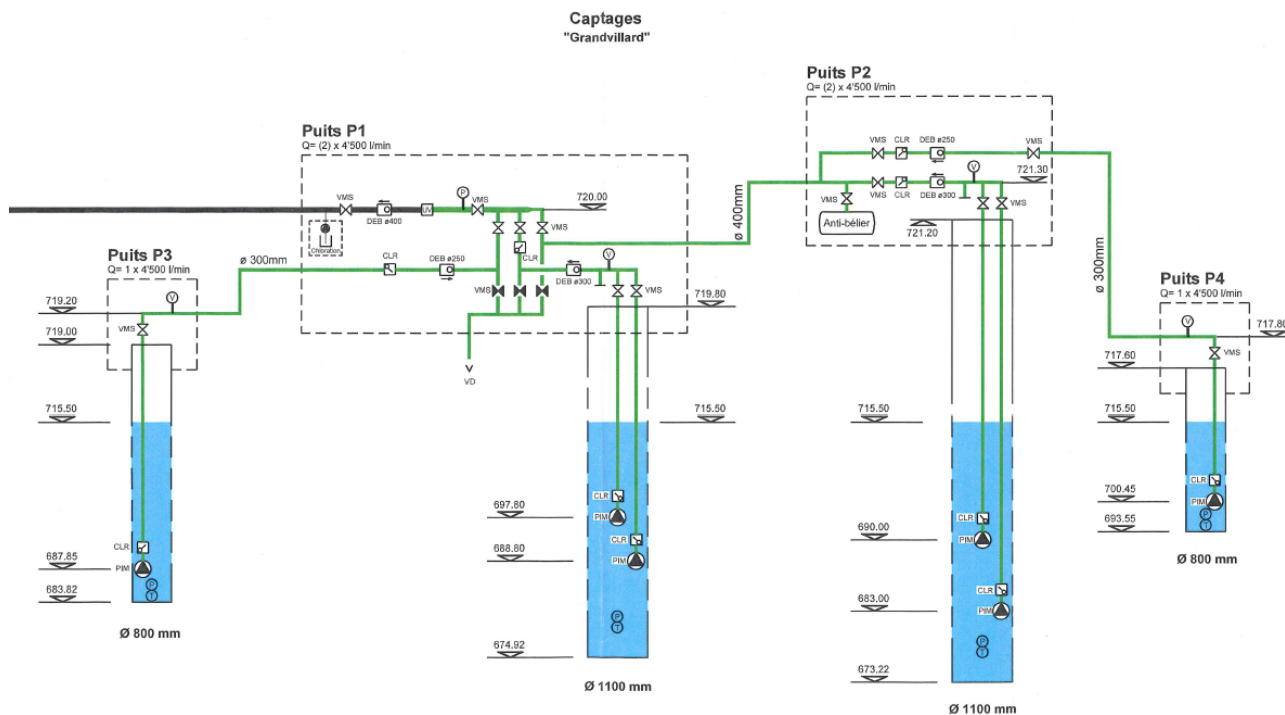


En rouge, il s'agit de l'ensemble des captages de Villard-Bony (galerie supérieure et inférieure) et de Villard-Dessous (captage supérieur et inférieur).



ANNEXE 2.3 - 3.FIN DE LA PORTA

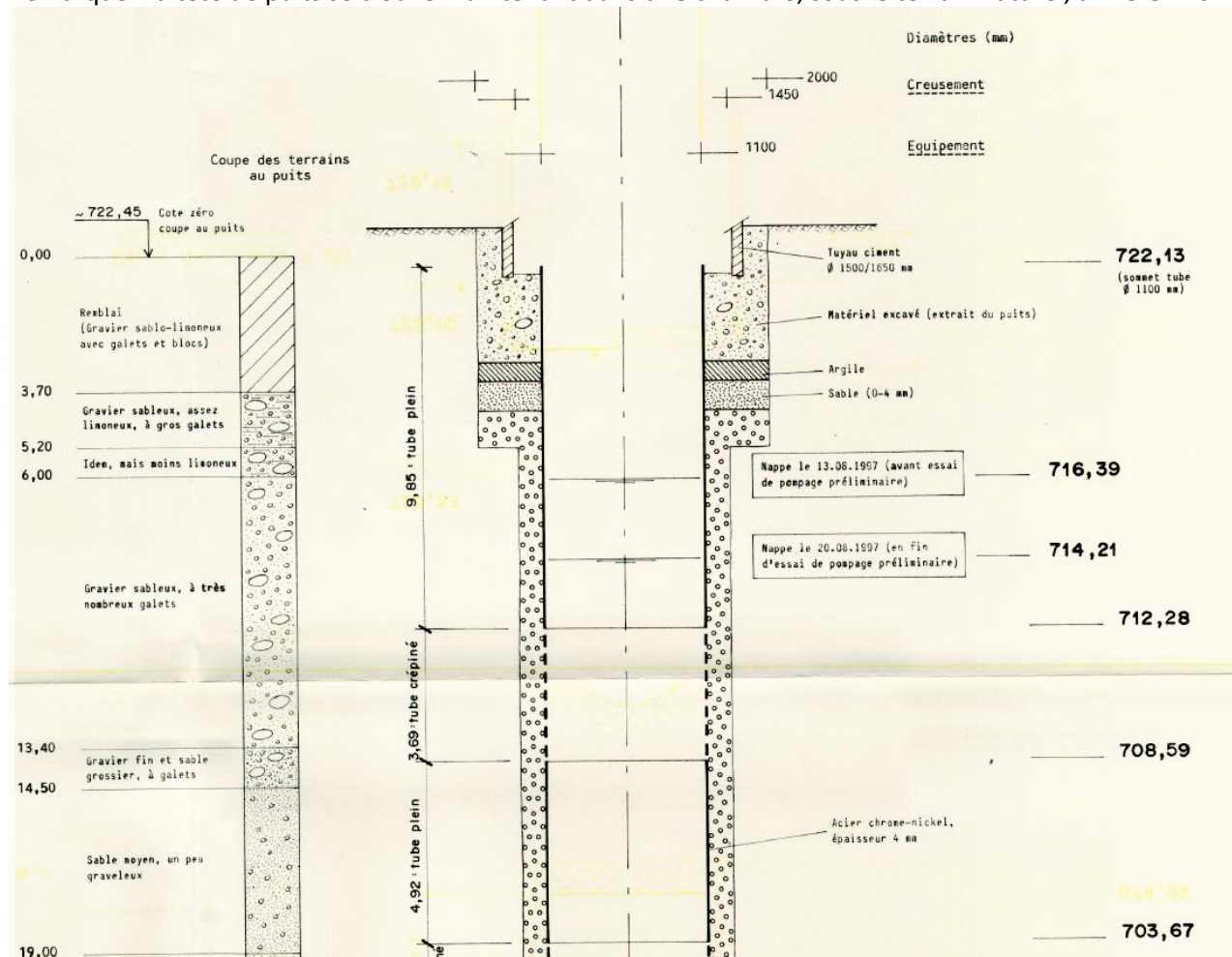
A) SCHÉMAS DE PRINCIPE (TECHNIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE)

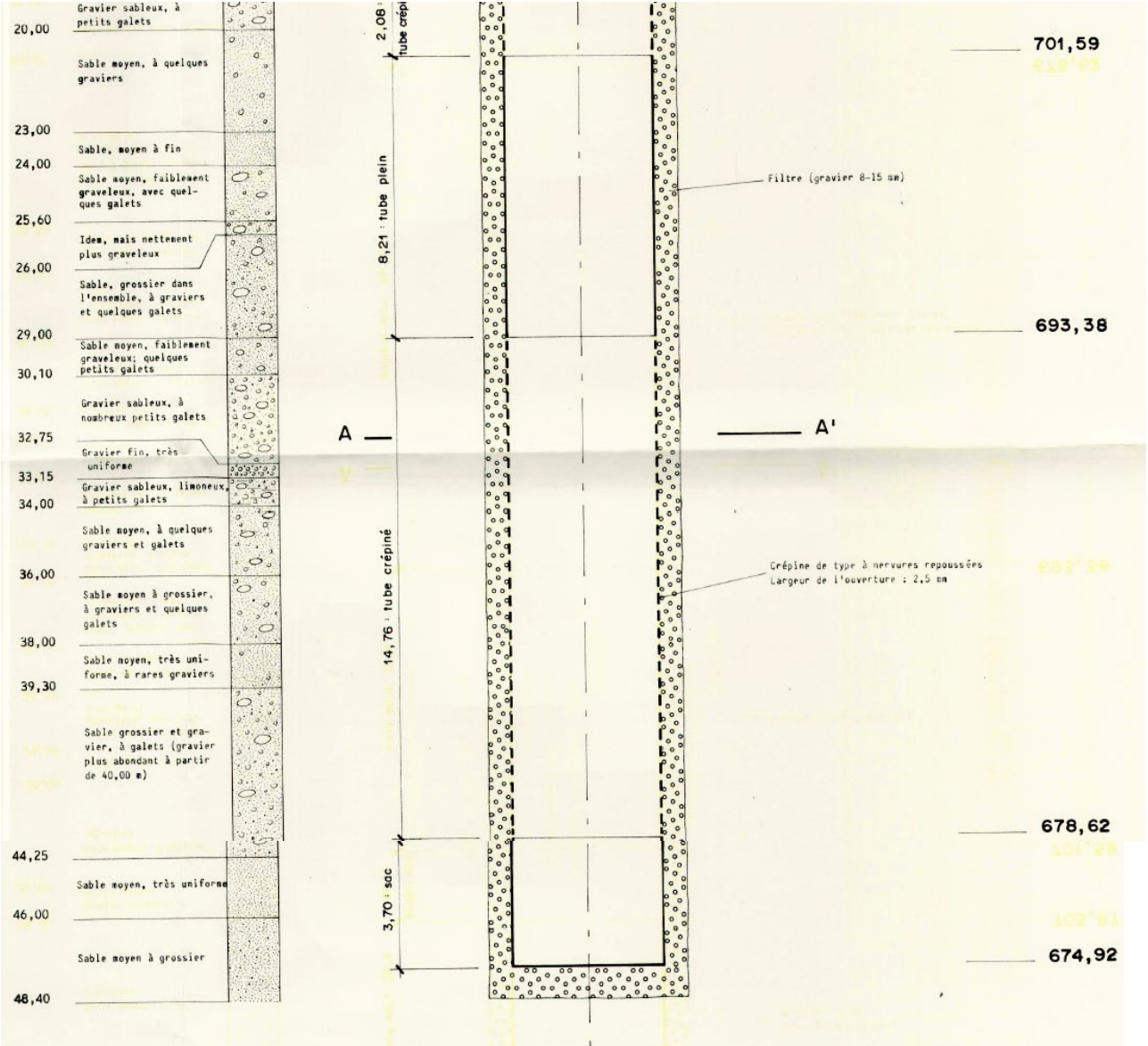


B) LOGS

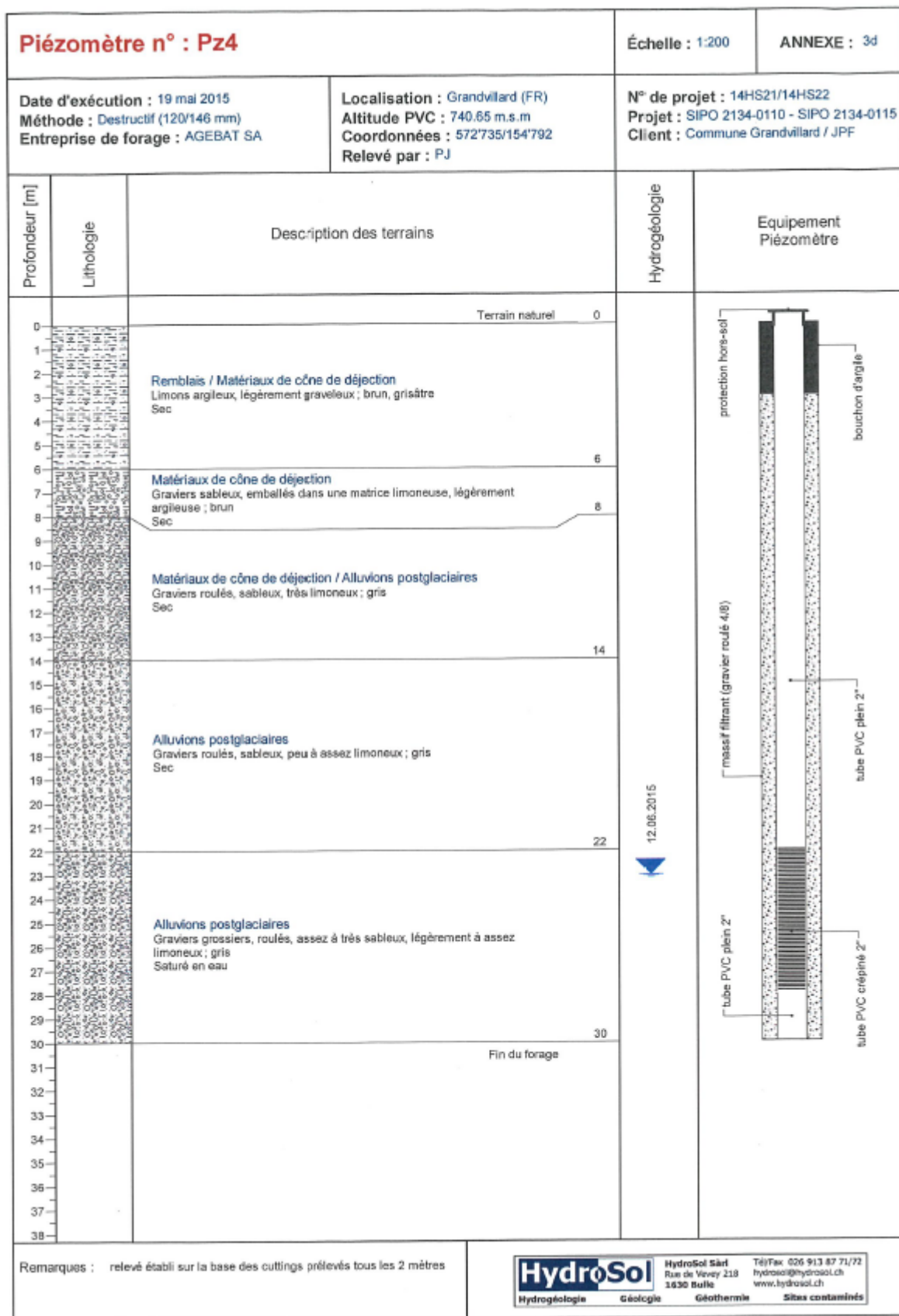
Puits P1

Remarque : la tête de puits se trouve maintenant dans une chambre, sous le terrain naturel, à 719.8 m.s.m.

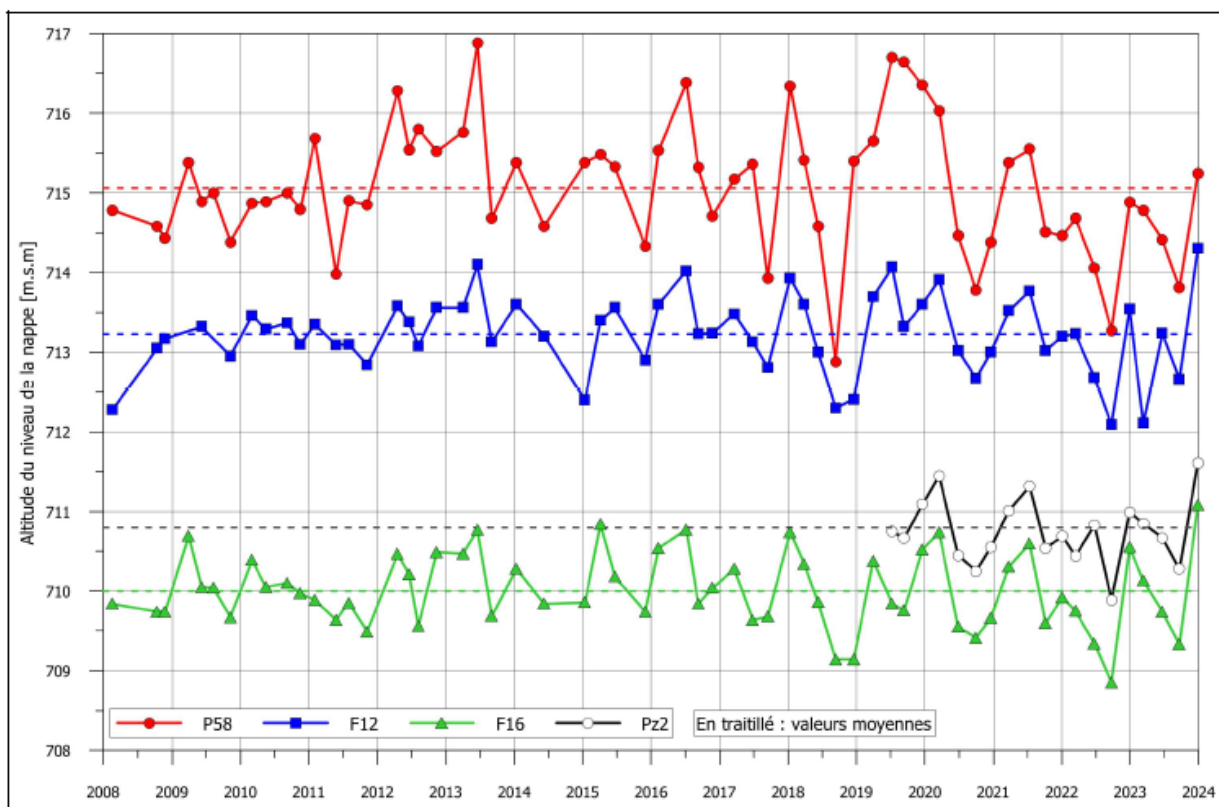
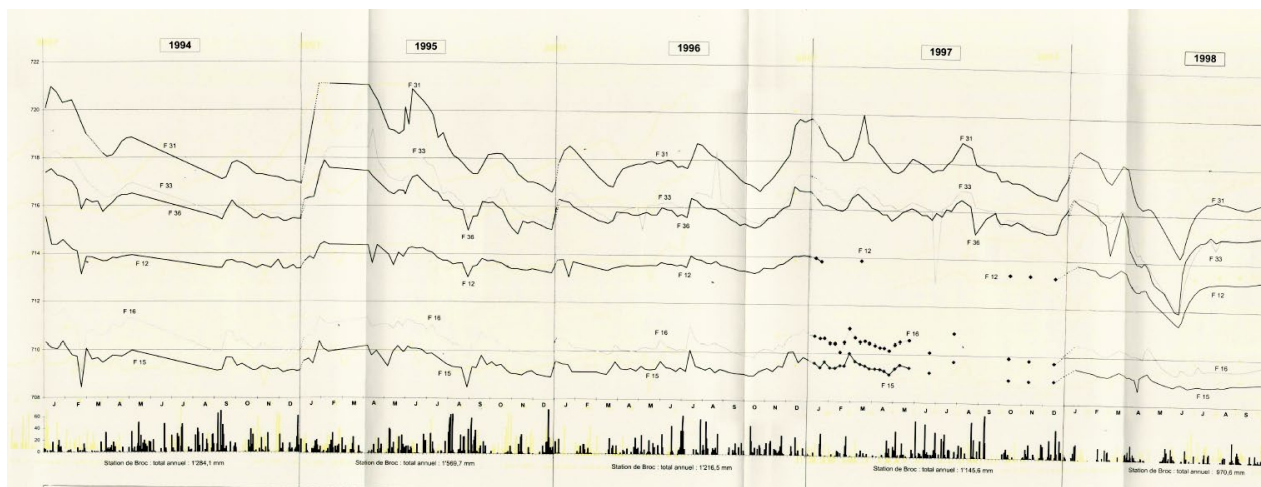




Piézomètre Pz4



C) GRAPHIQUES



ANNEXE 3a

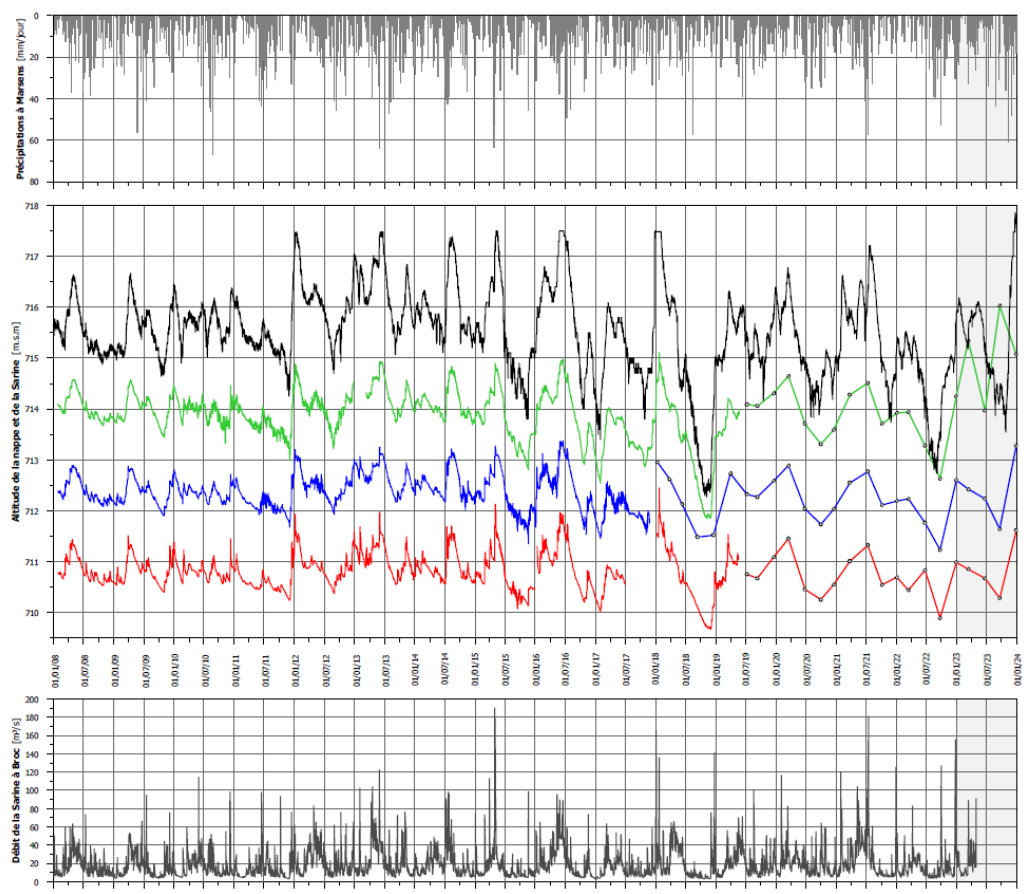
EAUSUD SA
Surveillance de la nappe
d'eau souterraine
Secteur Grandvillard – Estavannens
Suivi annuel 2023

Pluviométrie journalière
(station de Marsens)
Niveaux de la nappe
(Puits P1, Pz1, Pz2 et Pz3)
Débits de la Sarine

Période 2008-2023
— Puits P1
— Pz1
— Pz2
— Pz3

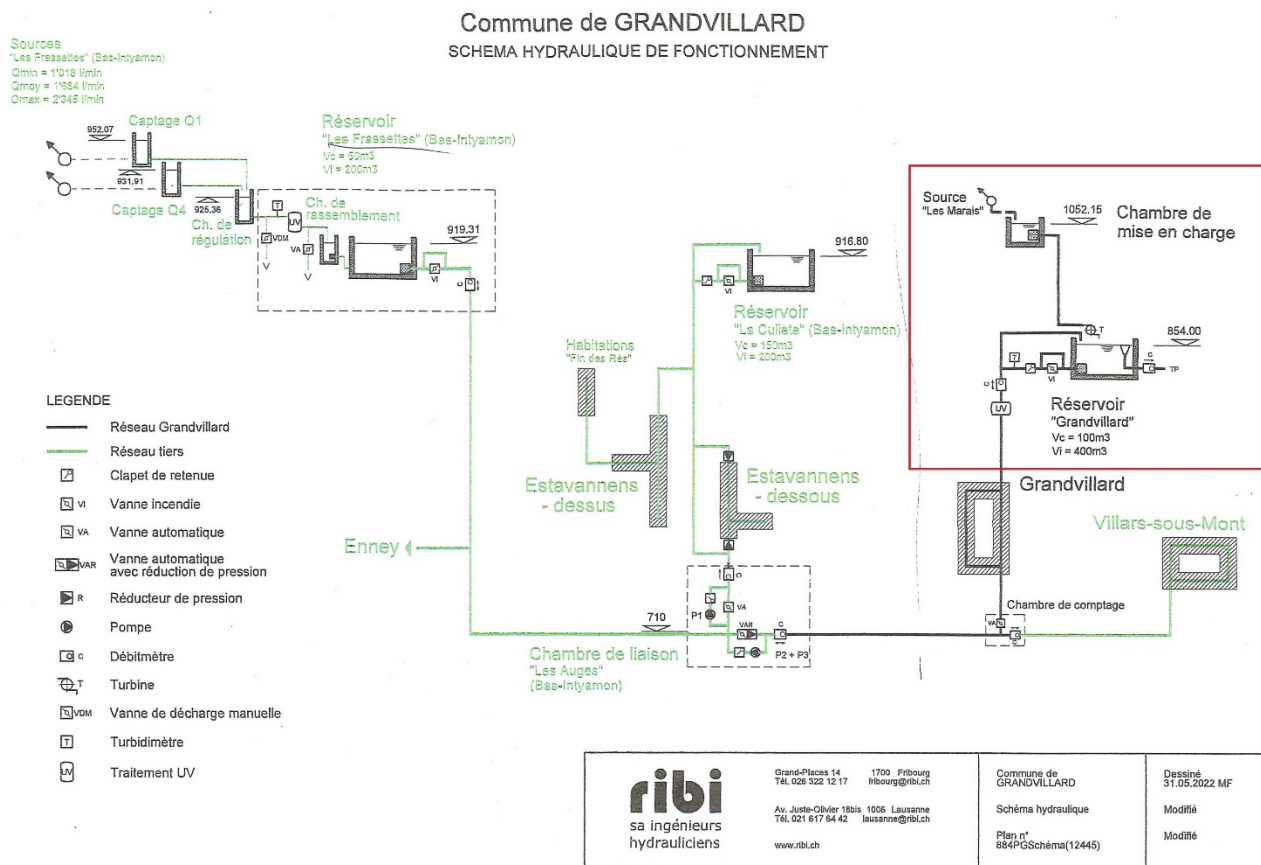
Date : février 2024
N° mandat : 24HS02
Dessin : PJ
Format : A4

HydroSol
HydroSol Sàrl
Rue de Vevey 218
1630 Bulle
Tél/Fax 026 913 87 71/72
hydrosol@hydrosol.ch
www.hydrosol.ch



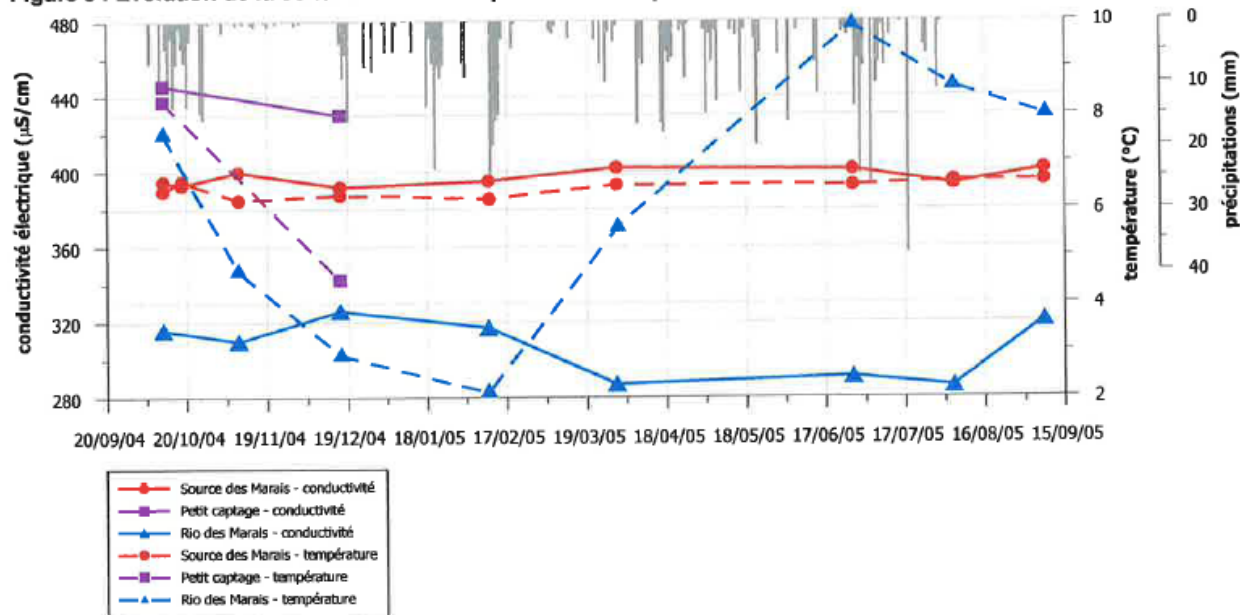
ANNEXE 2.4 - 4.MARAIS 1

A) SCHÉMAS DE PRINCIPE



B) GRAPHIQUE

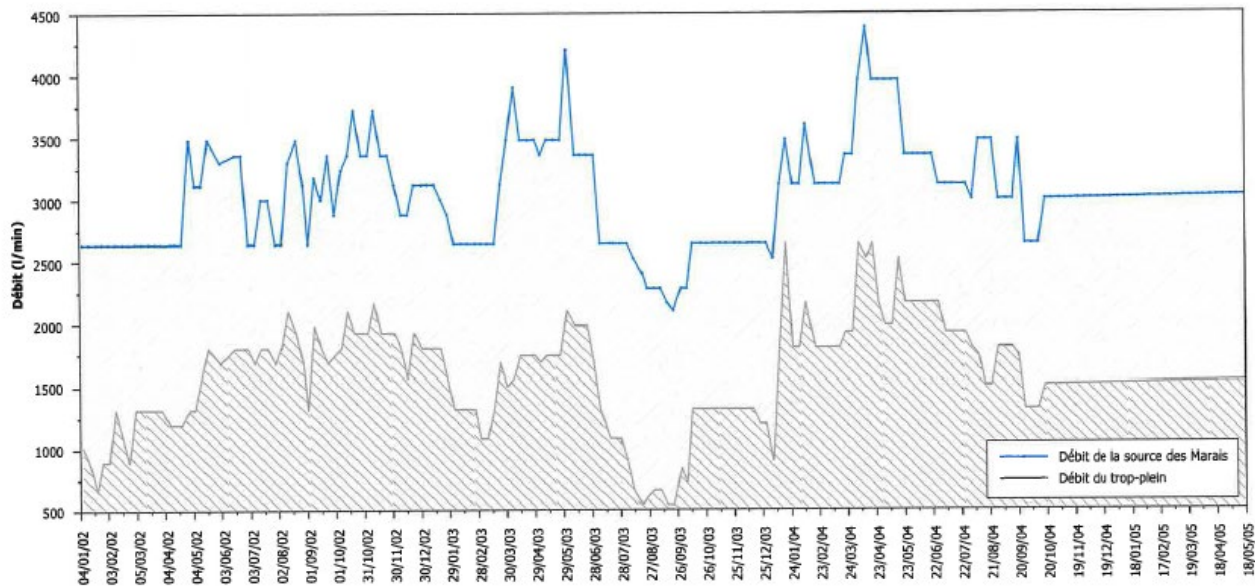
Figure 3 : Evolution de la conductivité électrique et de la température avec pluviométrie locale



Débits de la Source des Marais et du trop-plein

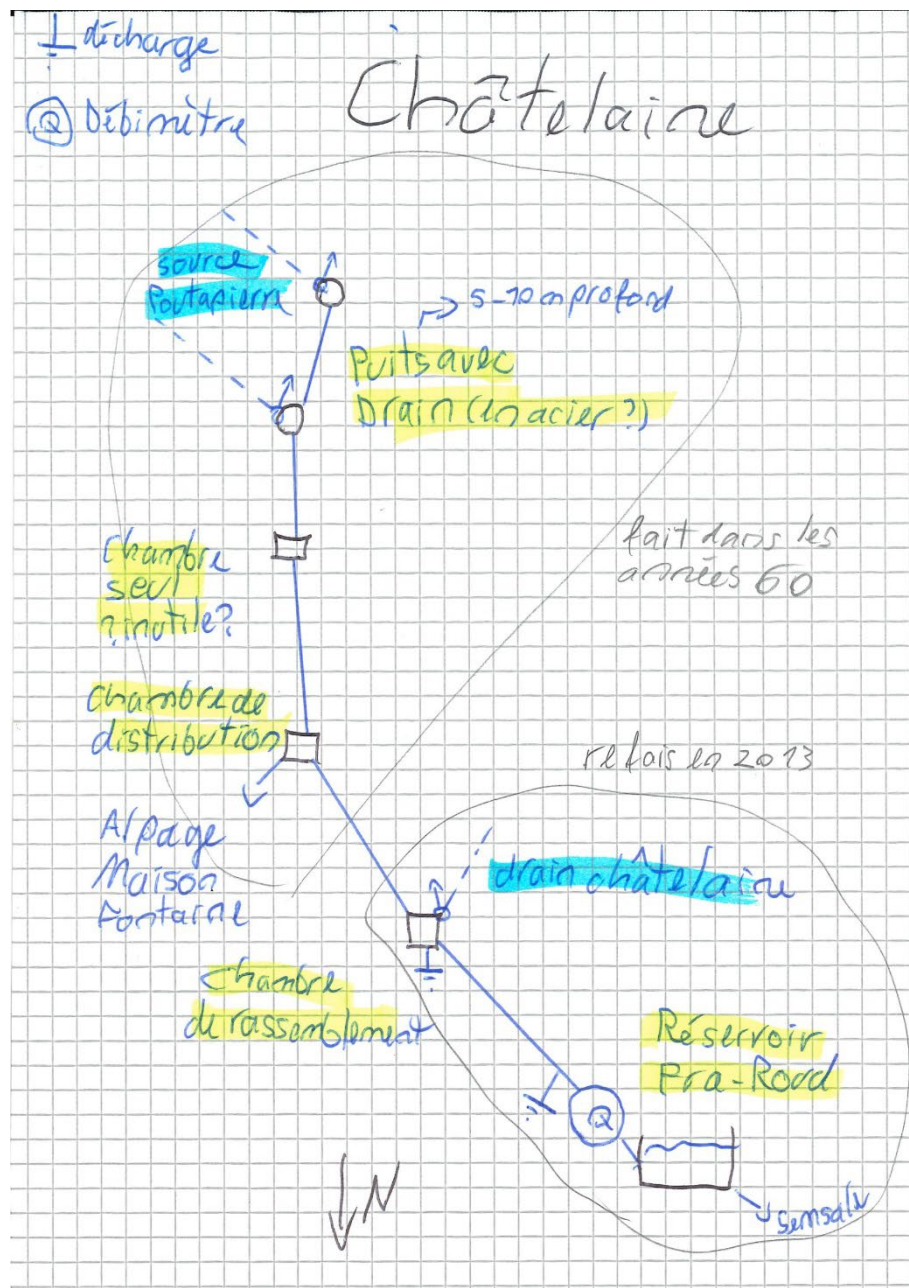
Période janvier 2002 - mai 2005

Mesures effectuées au réservoir par les EEF - Station CREG

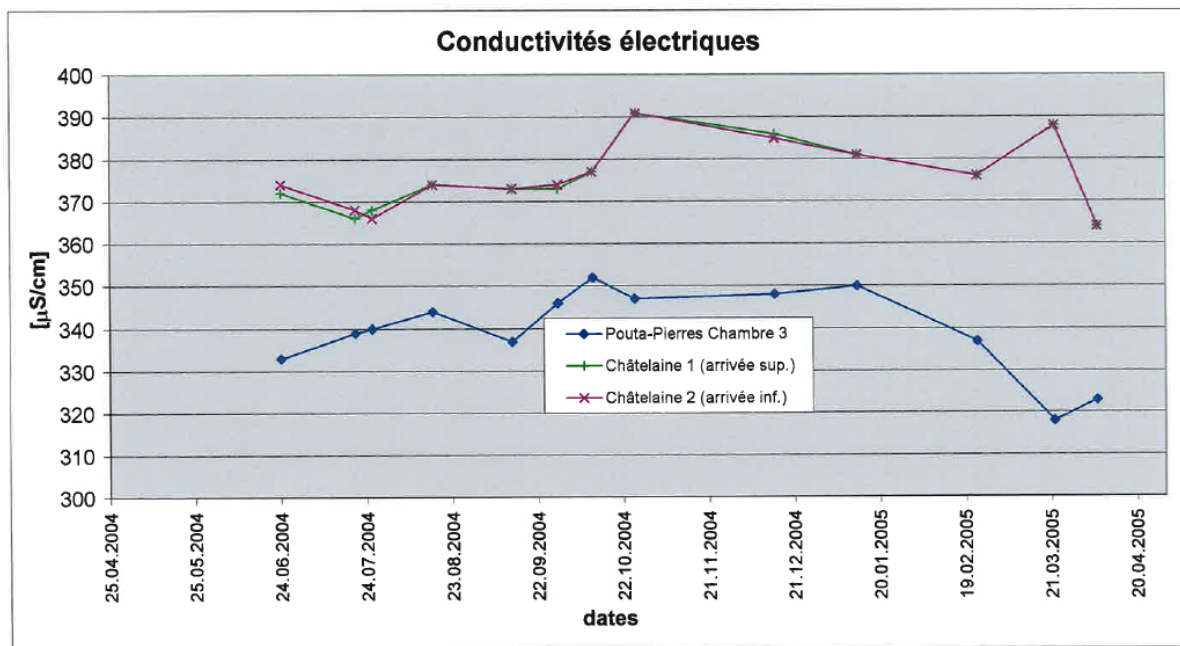
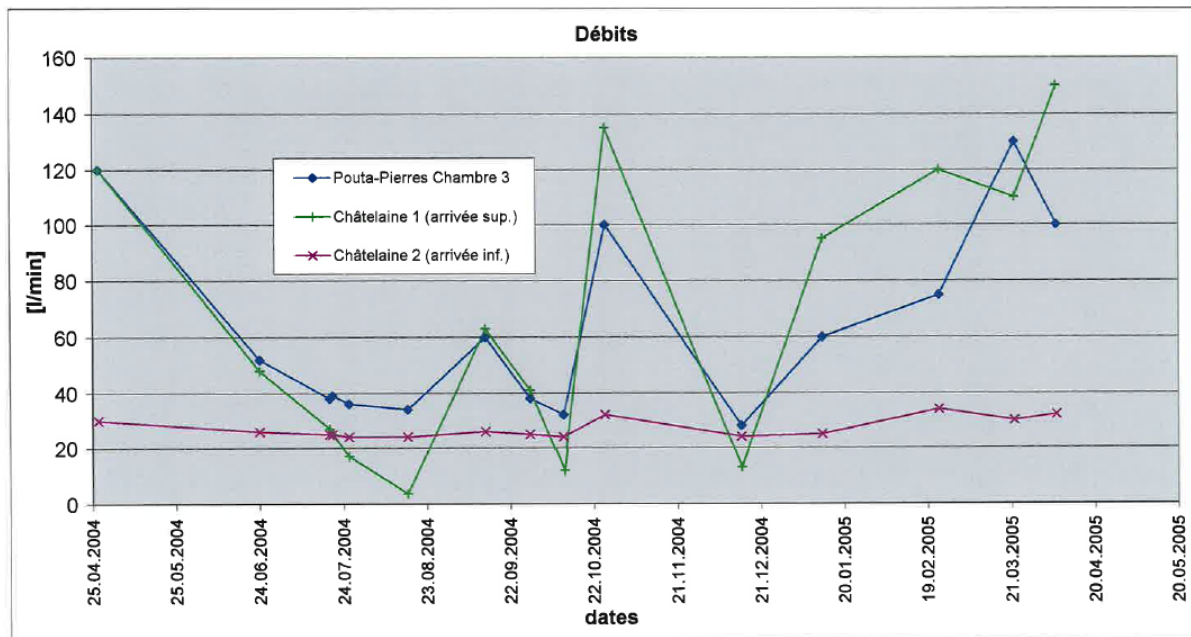


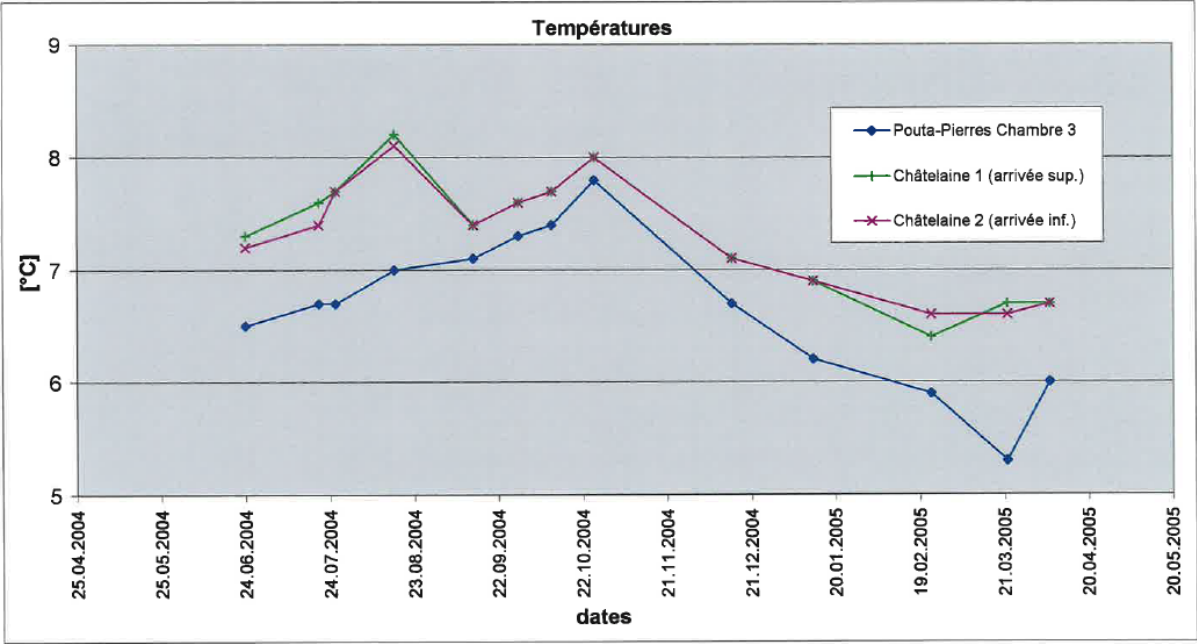
ANNEXE 2.5 - 5. LA CHÂTELAINE

A) SCHÉMAS DE PRINCIPE



B) GRAPHIQUES





ANNEXE 2.6 - 6. MÜLLERA, KÄSERLI, SCHMUTZENA

A) GRAPHIQUE & MESURES

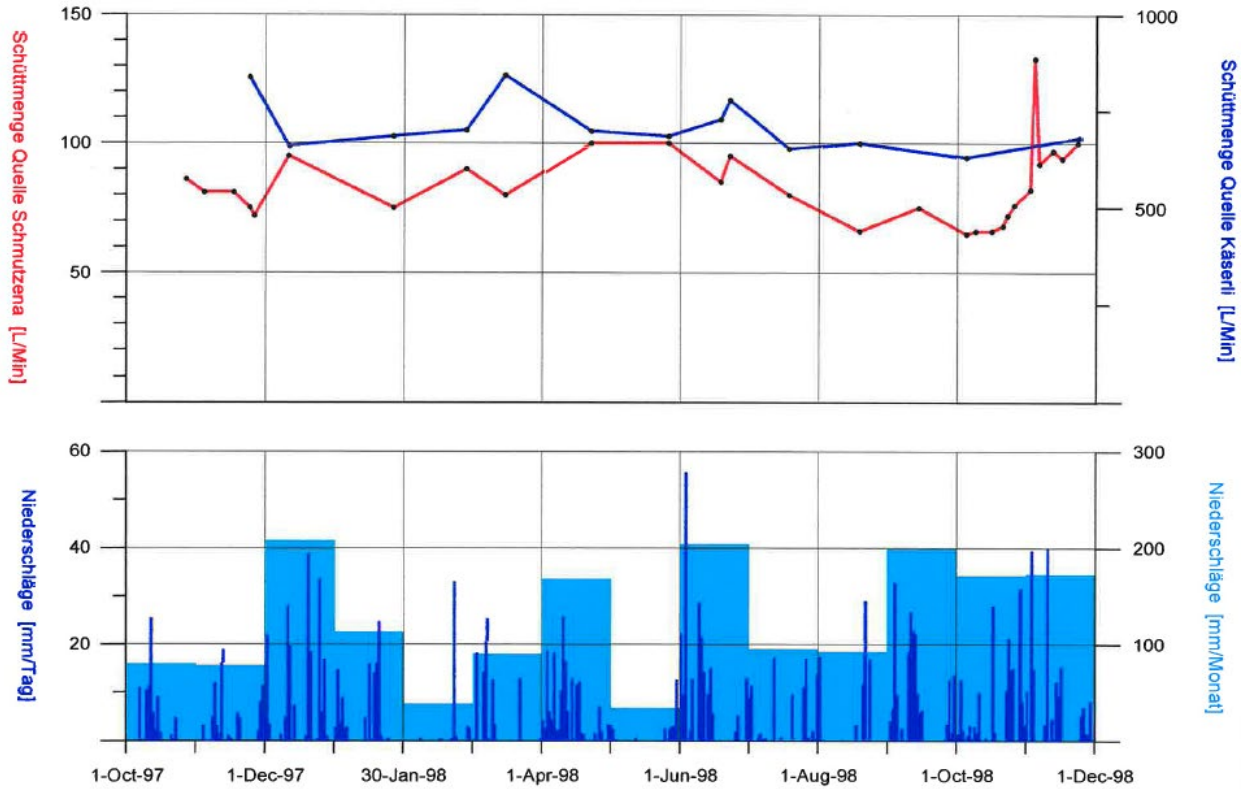
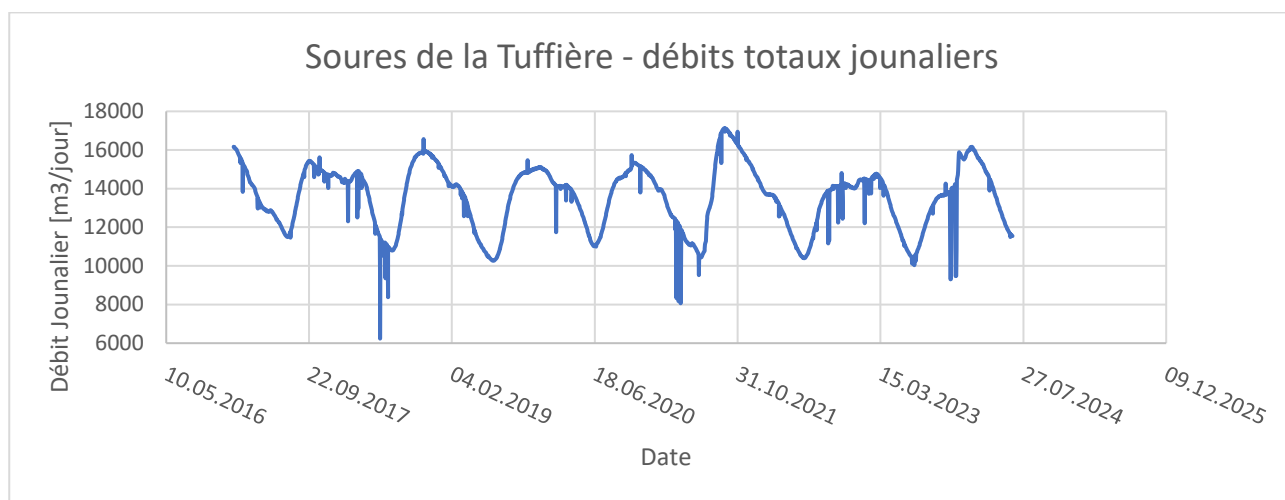
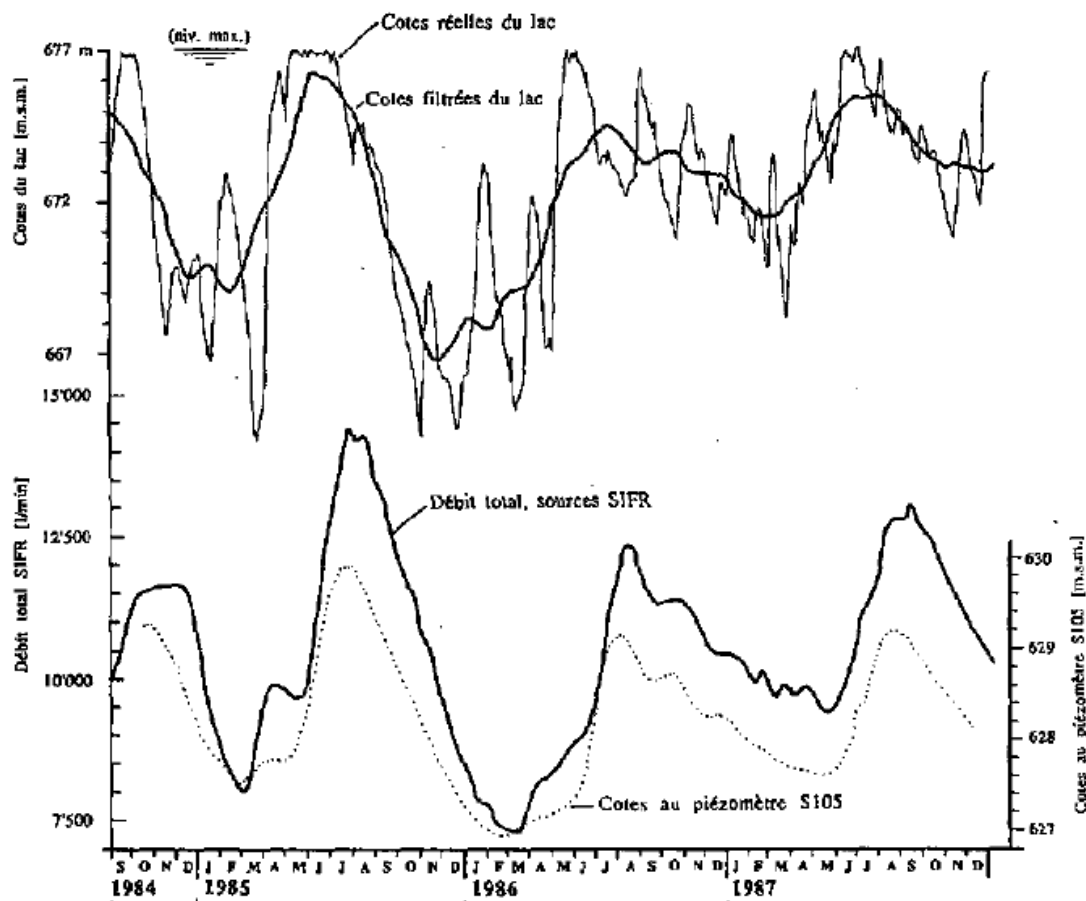


Tableau 1: Donnée qualité source Käserli, relevé depuis le rapport Géolina 1999

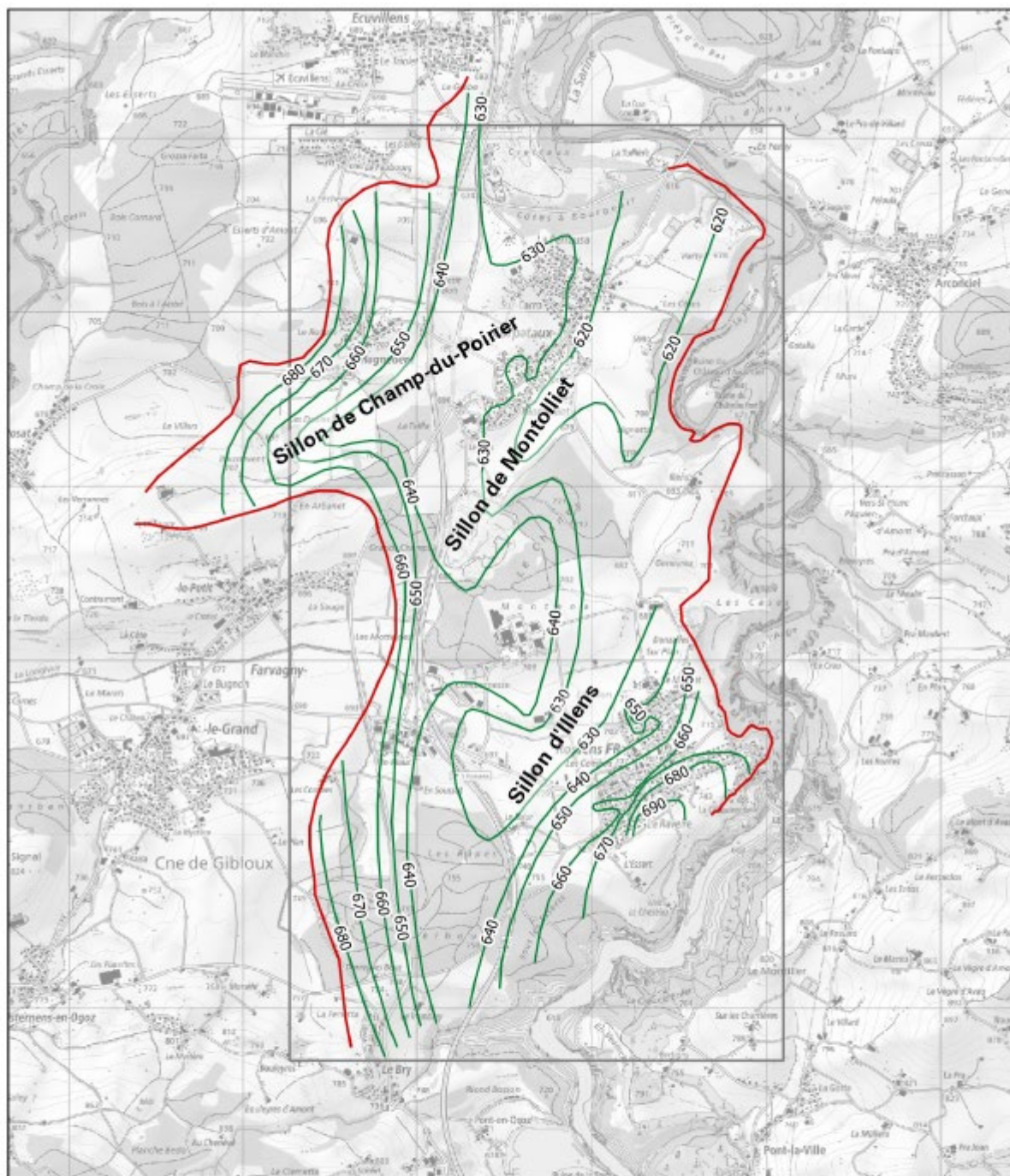
Date	EC [μ S/cm]	T[°C]	Autre
17.06.1997	312	8	
19.08.1997	315	8	
24.11.1997	318	8	
16.03.1998	310	7	Dureté ; 1.75 mmol/l, Nitrate 2 mg/l
23.06.1998	312	8	
14.09.1998	306	8	
5.10.1998	314	7.5	
23.11.1998	311	8	

ANNEXE 2.7 - 7. LA TUFFIÈRE

A) GRAPHIQUES



B) CARTES DU FOND ET EXTENSION DES GRAVIERS



Fond et extension des graviers

Annexe A4

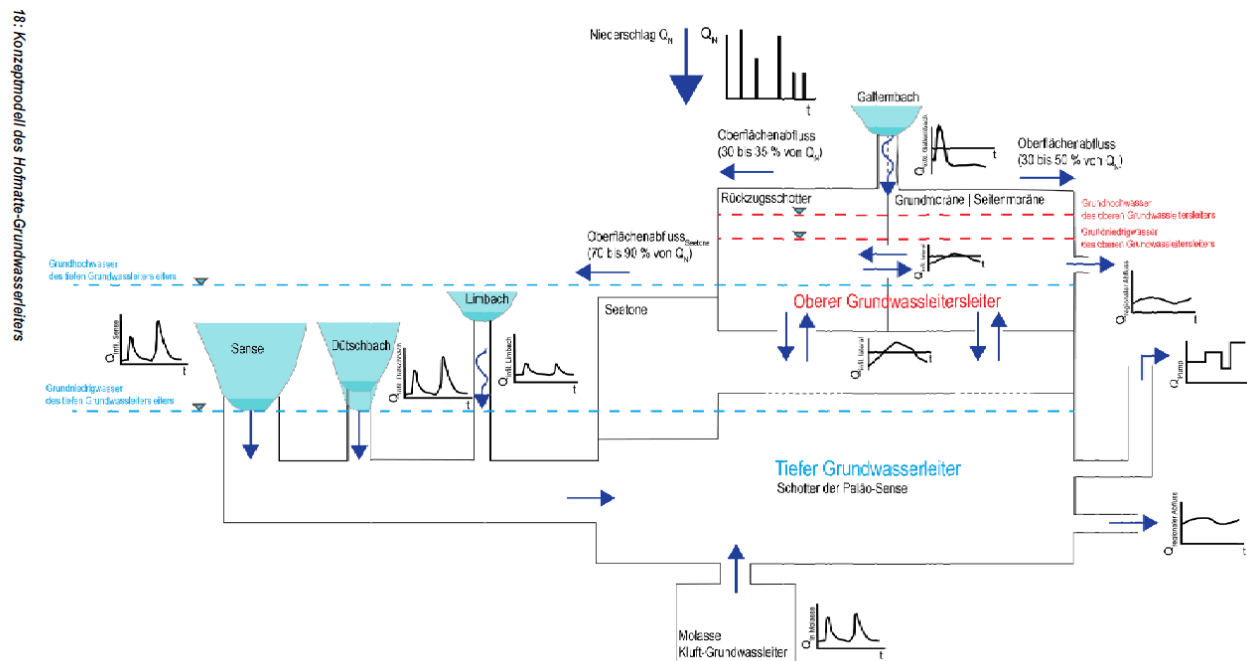
Projet : P19220
PACES Tuffière

Légende

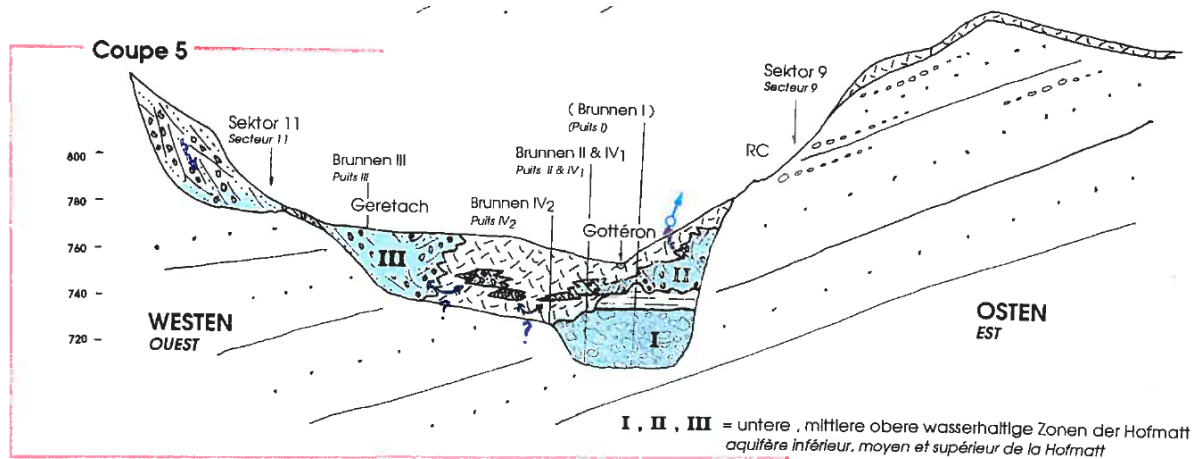
- Cadre de l'étude
- Extension des graviers
- Fond des graviers (altitude en m sur mer)

ANNEXE 2.8 - 8. HOFFMATT

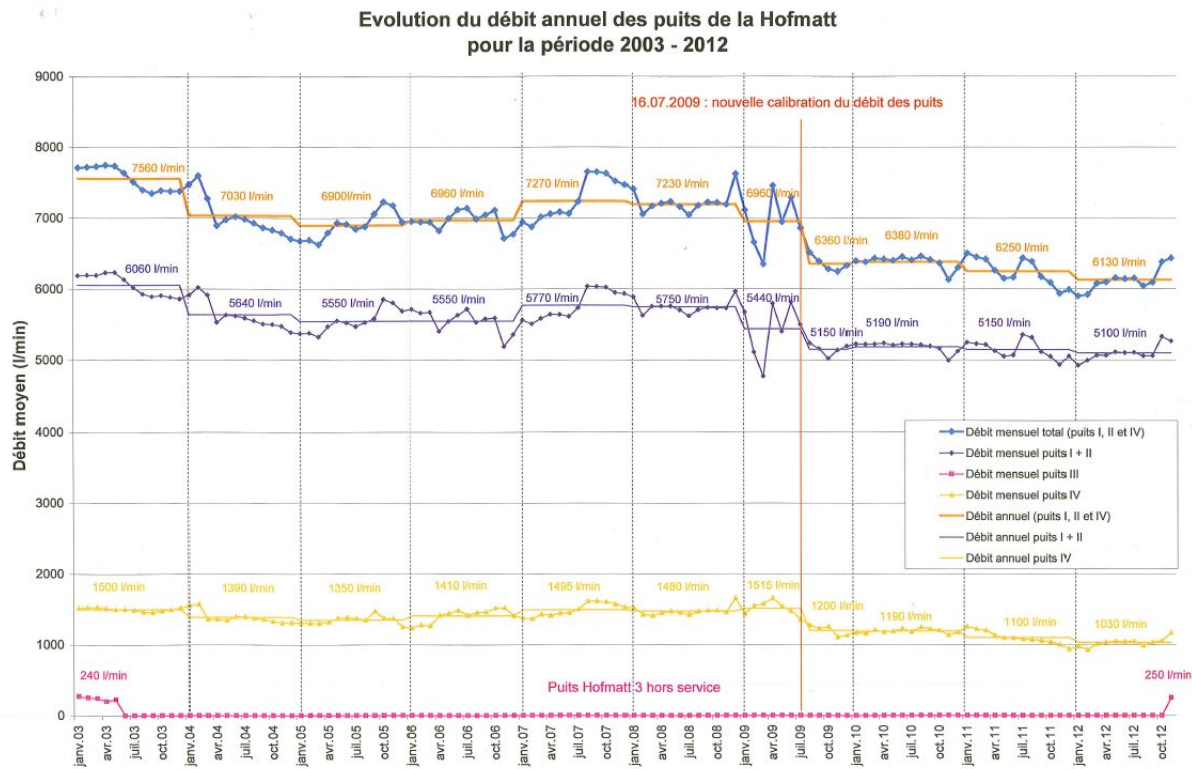
A) SCHÉMAS DE PRINCIPE HYDROGÉOLOGIQUE



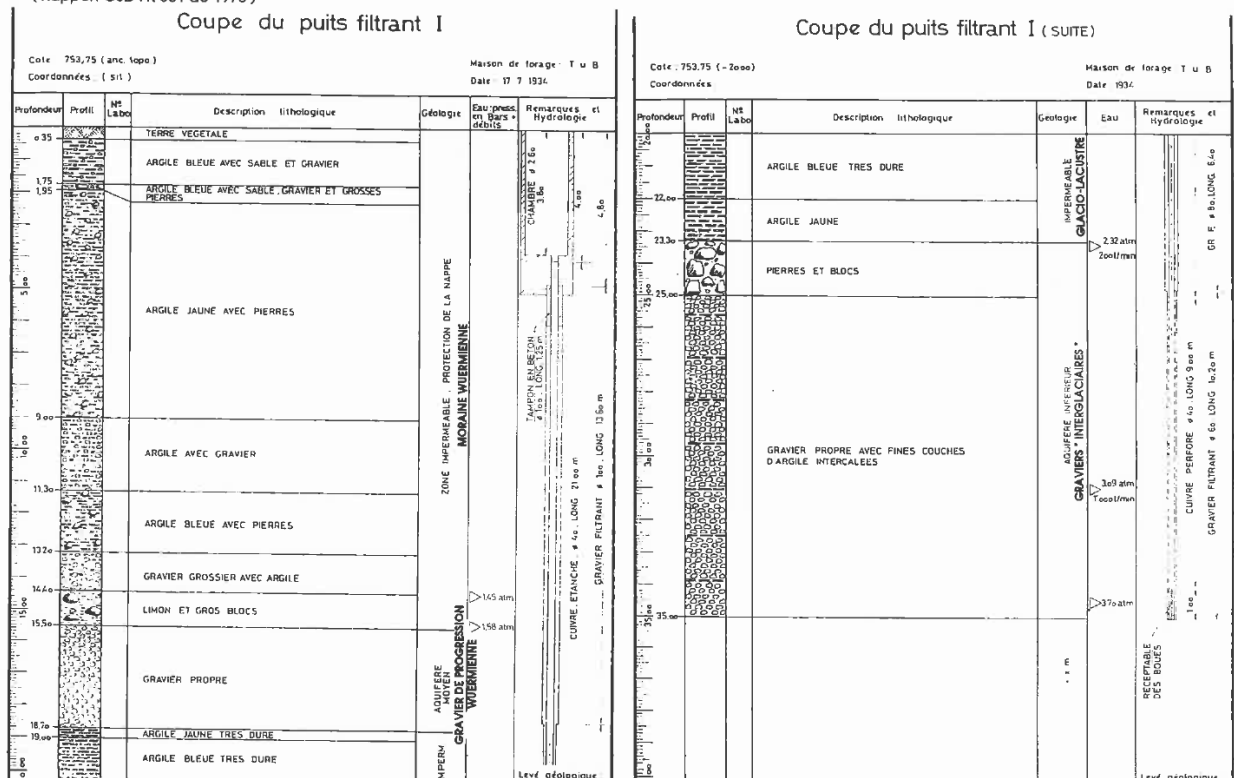
A) COUPE GÉOLOGIQUE



B) GRAPHIQUES

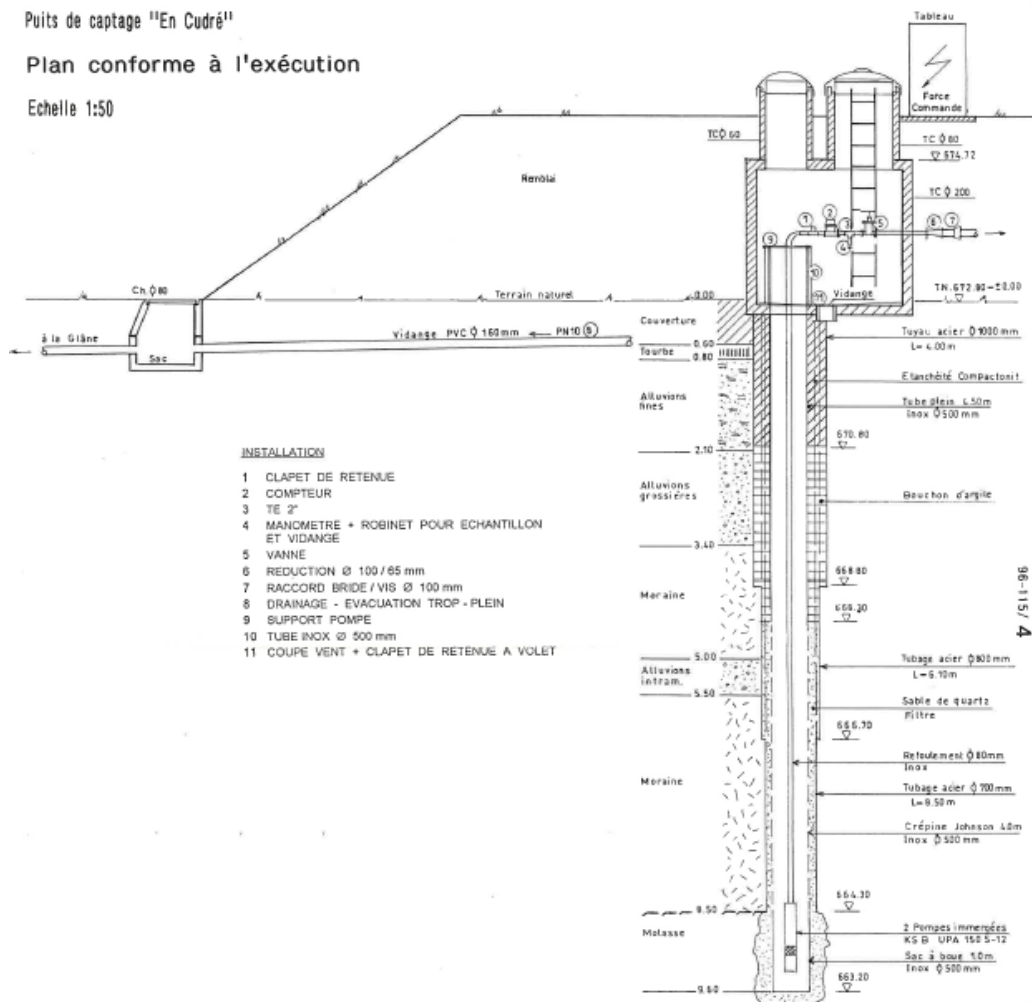


C) LOG DE FORAGE



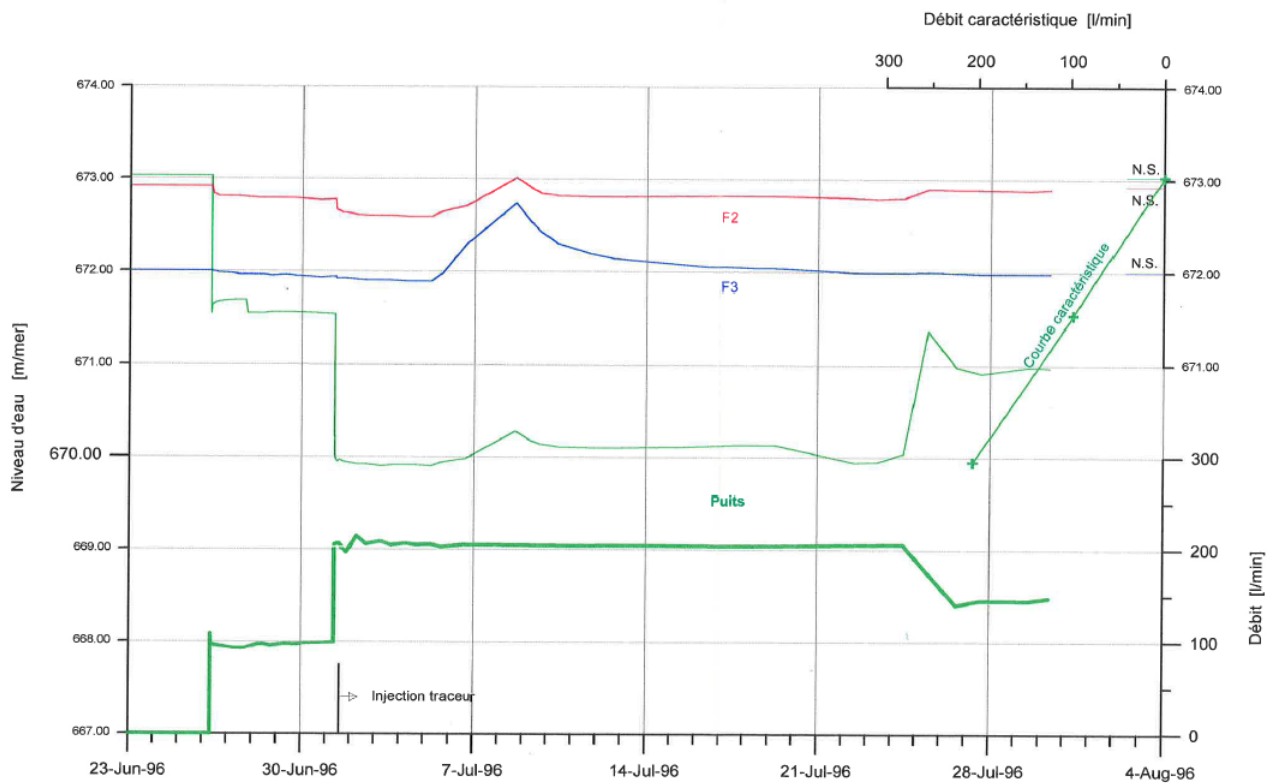
A) PROFIL TECHNIQUE DU PUIT

Echelle 1:50



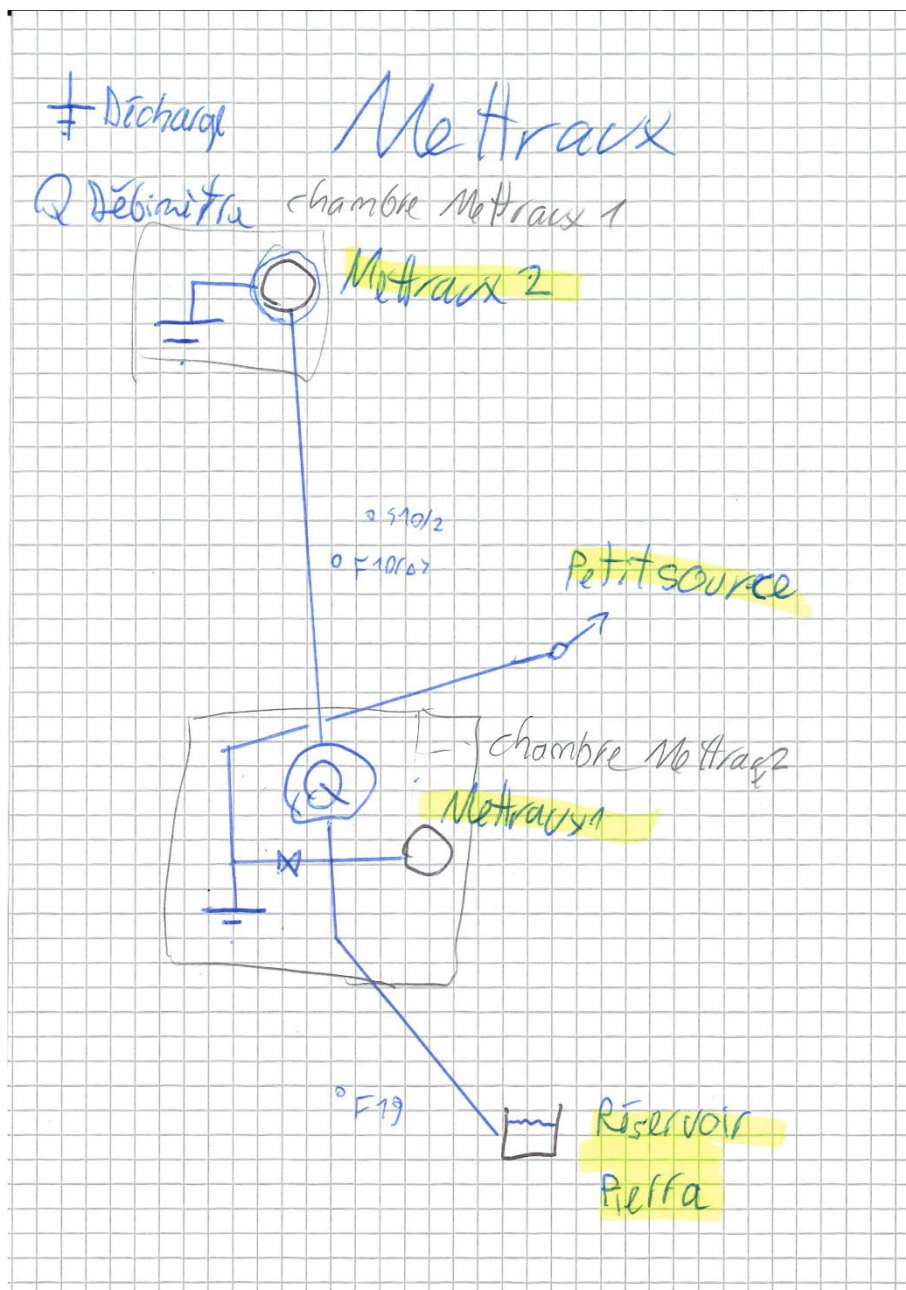
B) GRAPHIQUES

Commune de Villaz St. Pierre, puits "En Cudré" Essai de pompage longue durée (26 juin - 30 juillet 1996)



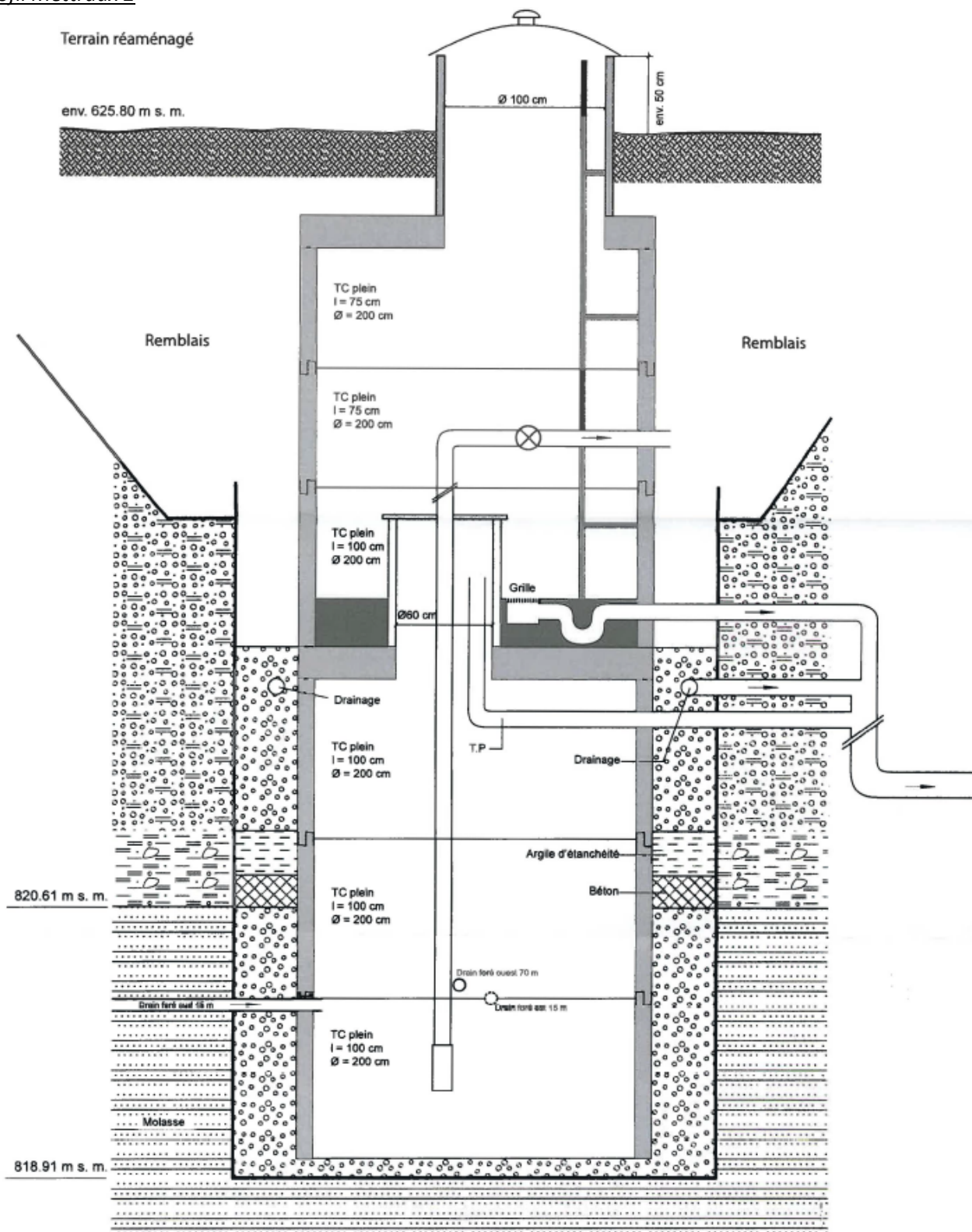
ANNEXE 2.10 - 10. LES METTRAUX 2

A) SCHÉMAS DE PRINCIPE

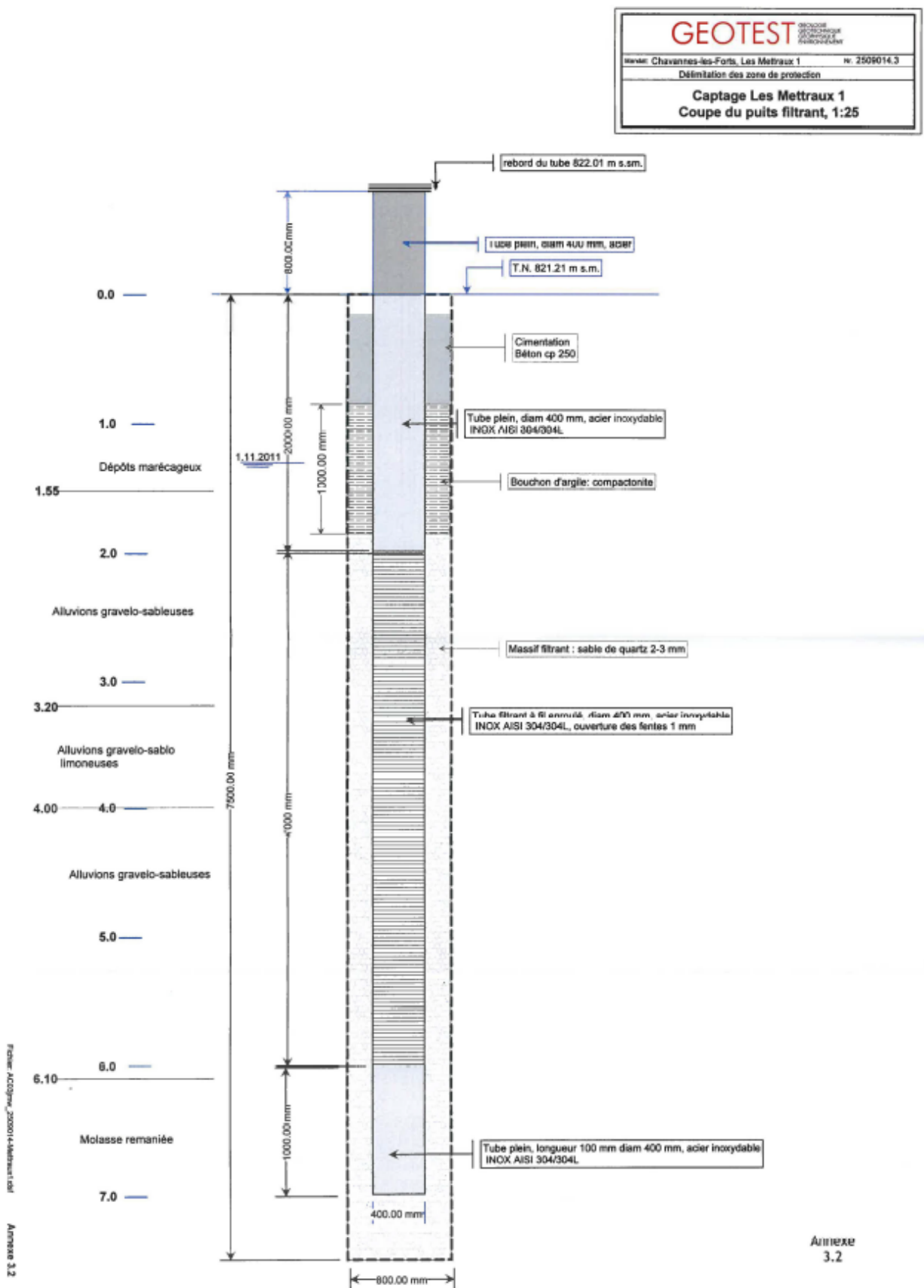


B) LOGS ET PROFIL TECHNIQUE

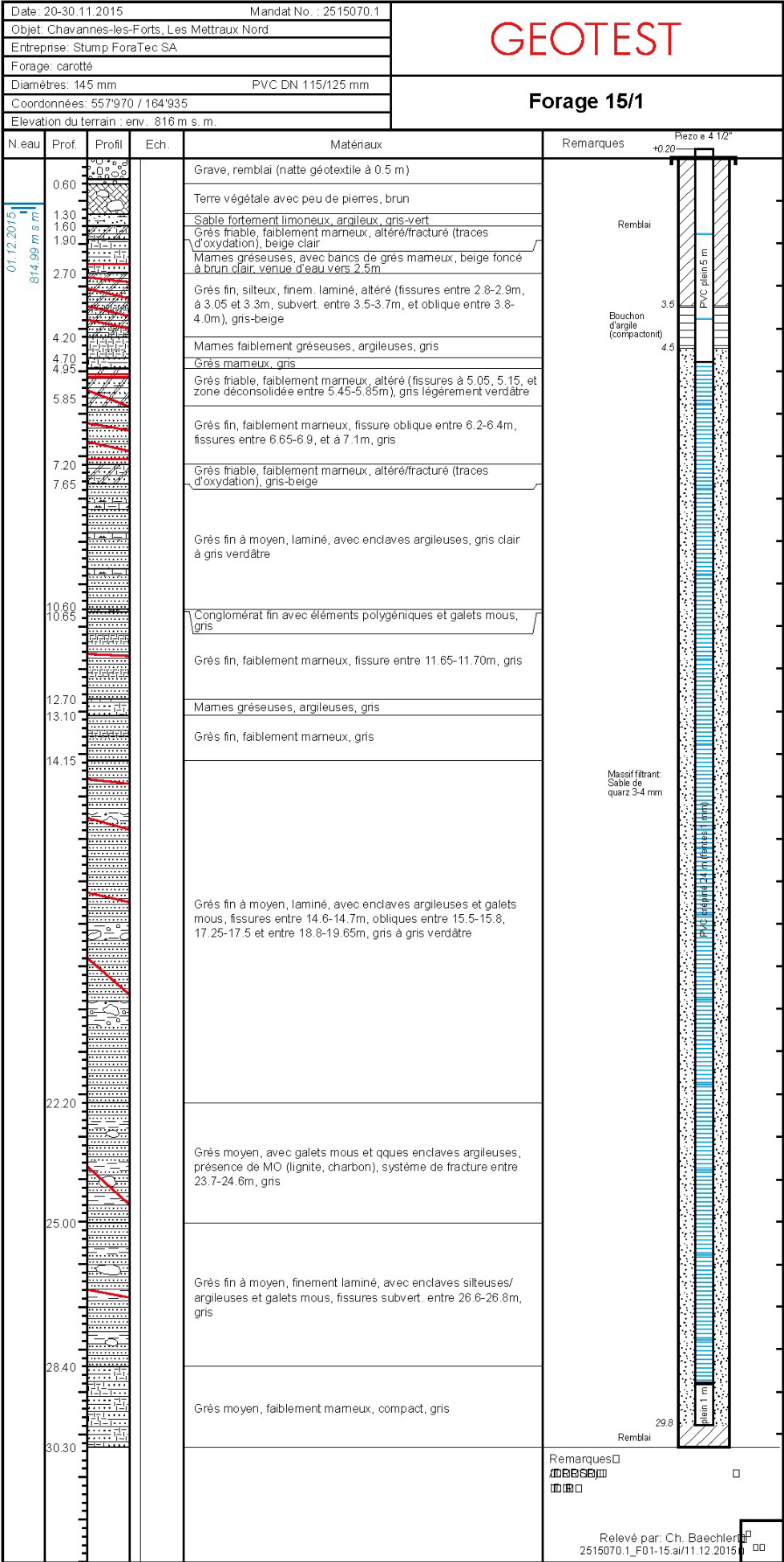
Profil Mettraux 2



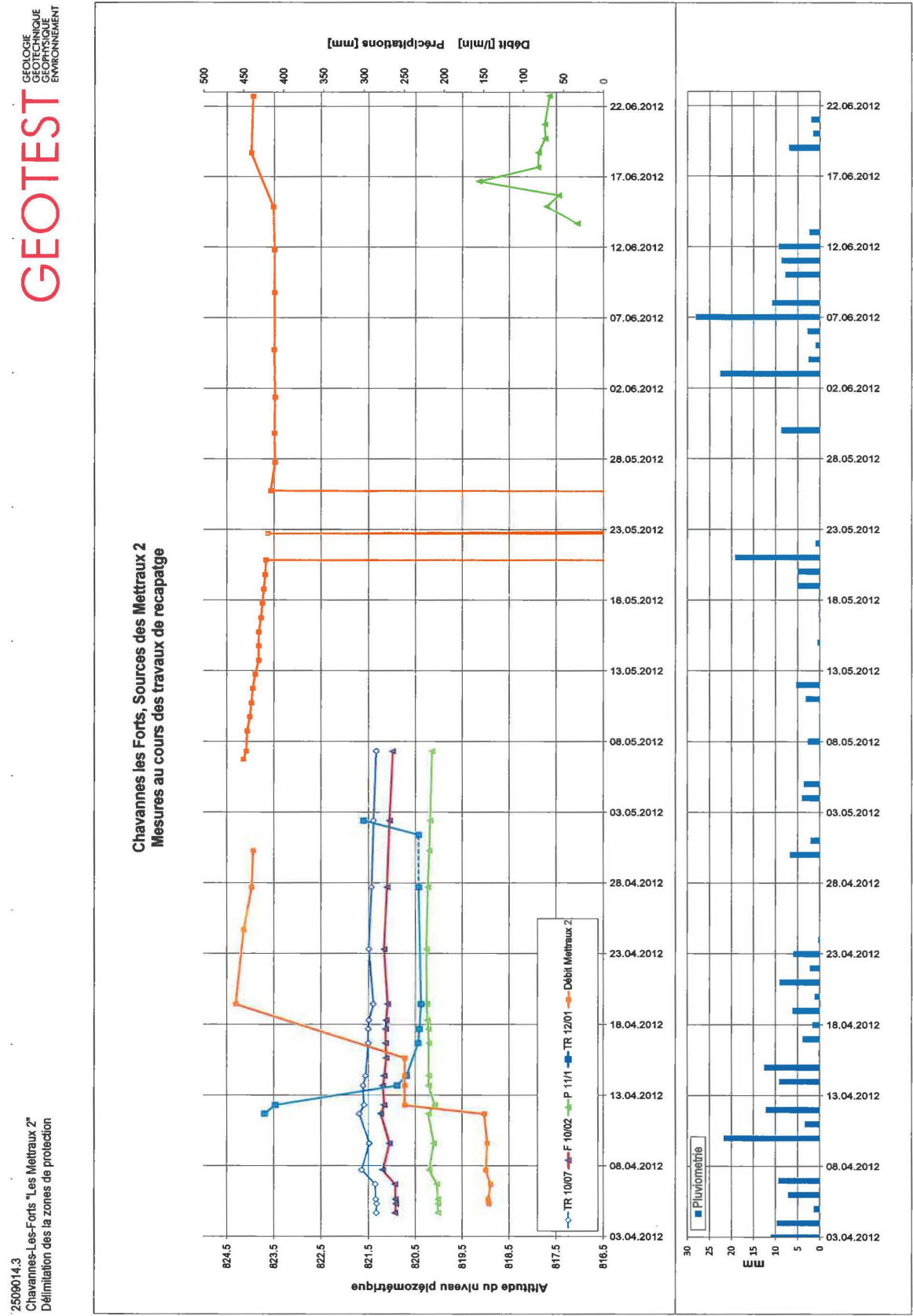
Profil technique Mettraux 1



Log F15/1

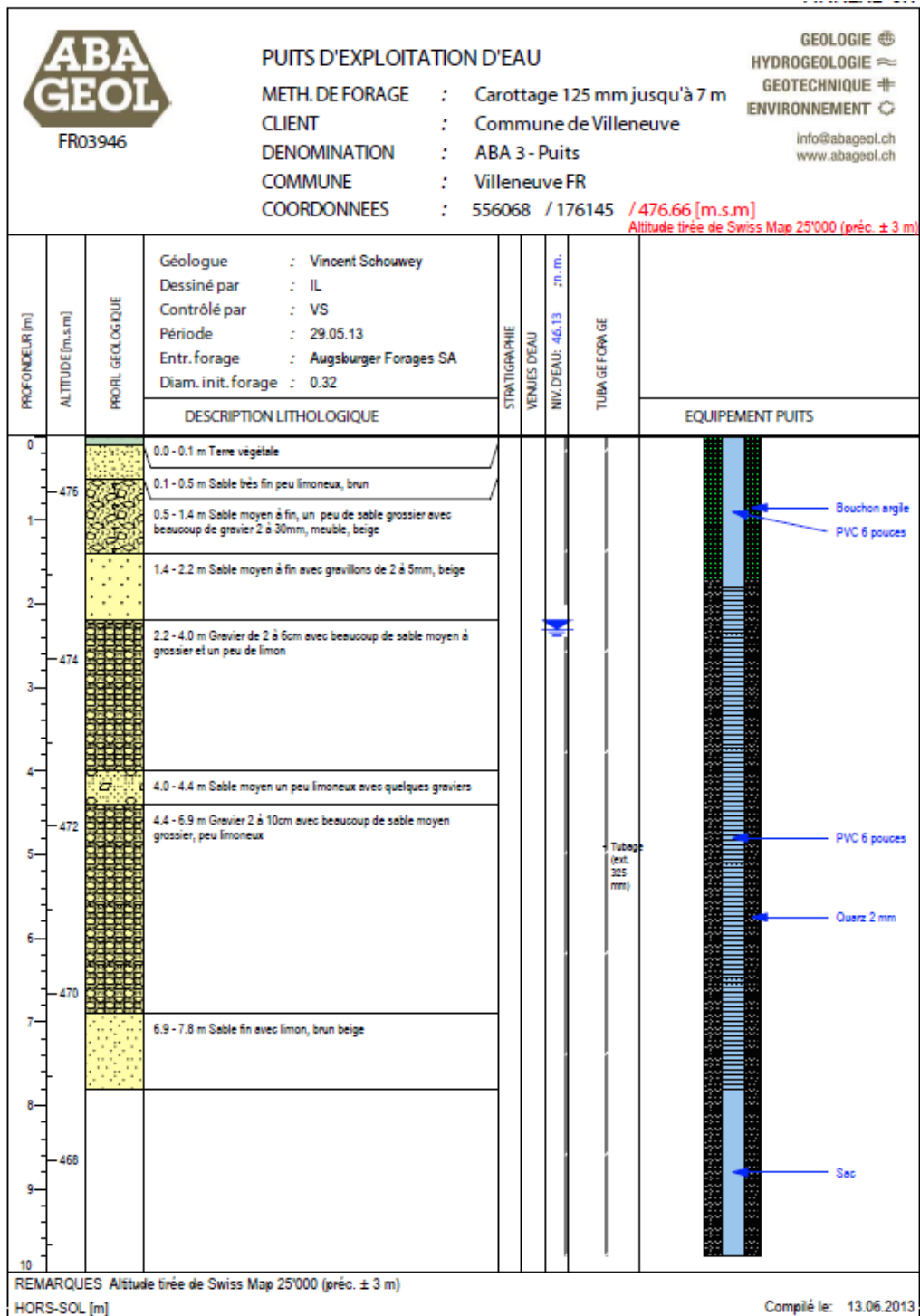


B) GRAPHIQUE



ANNEXE 2.11 - 11. LES OUCHES

A) LOG DU Puits



B) GRAPHIQUES

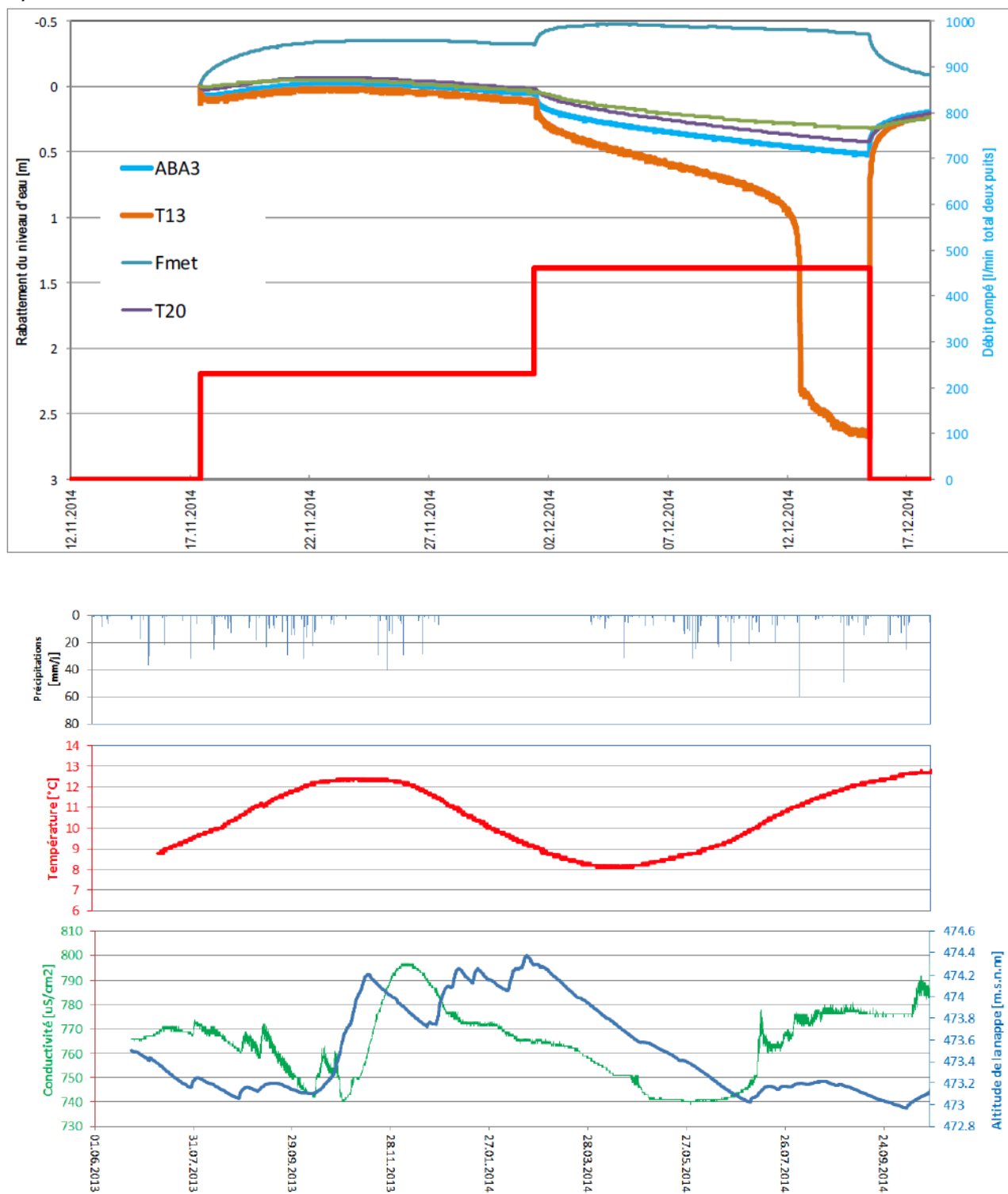


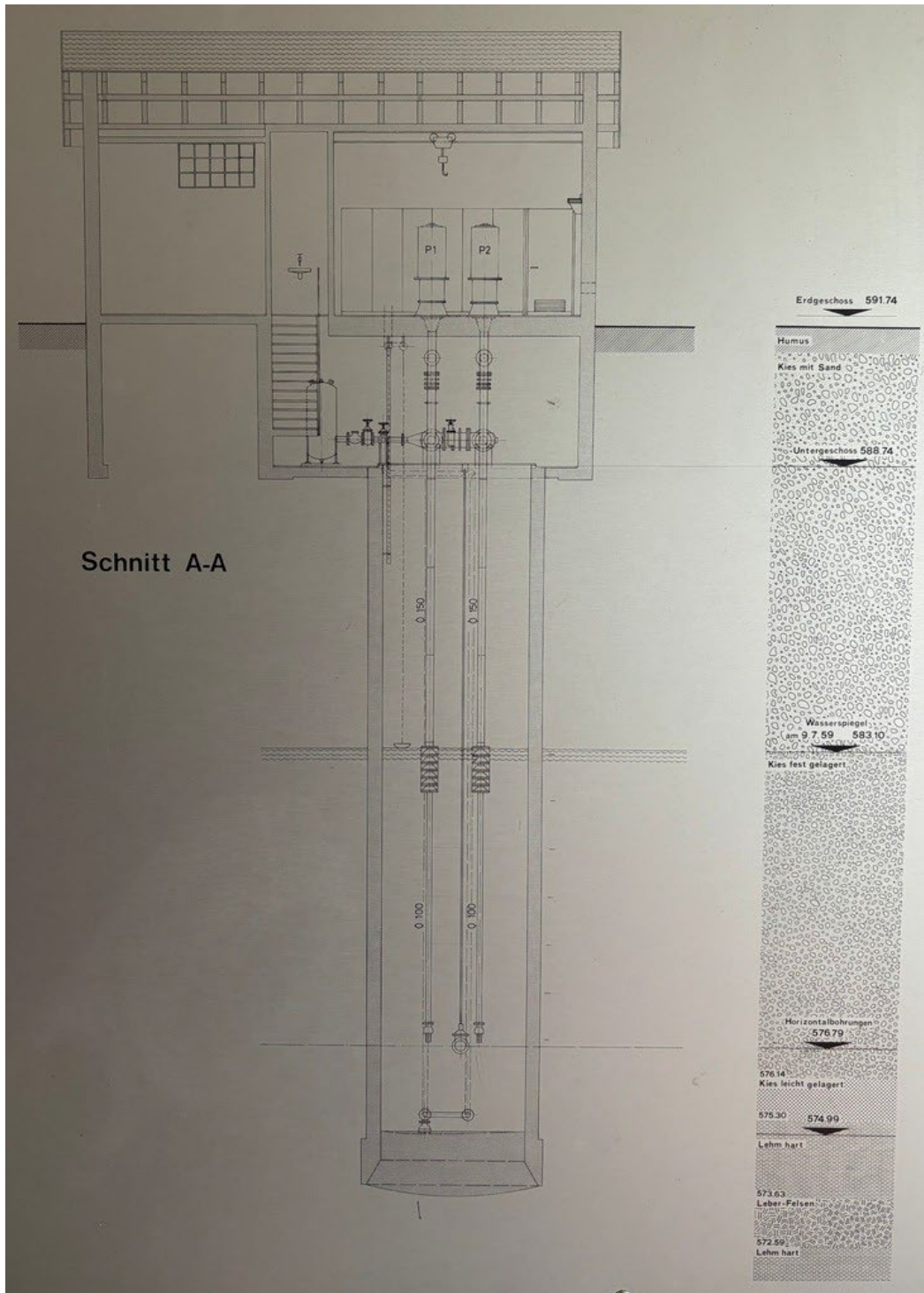
Figure 9 : Données chiffrées des paramètres physico-chimiques (ABA 3)

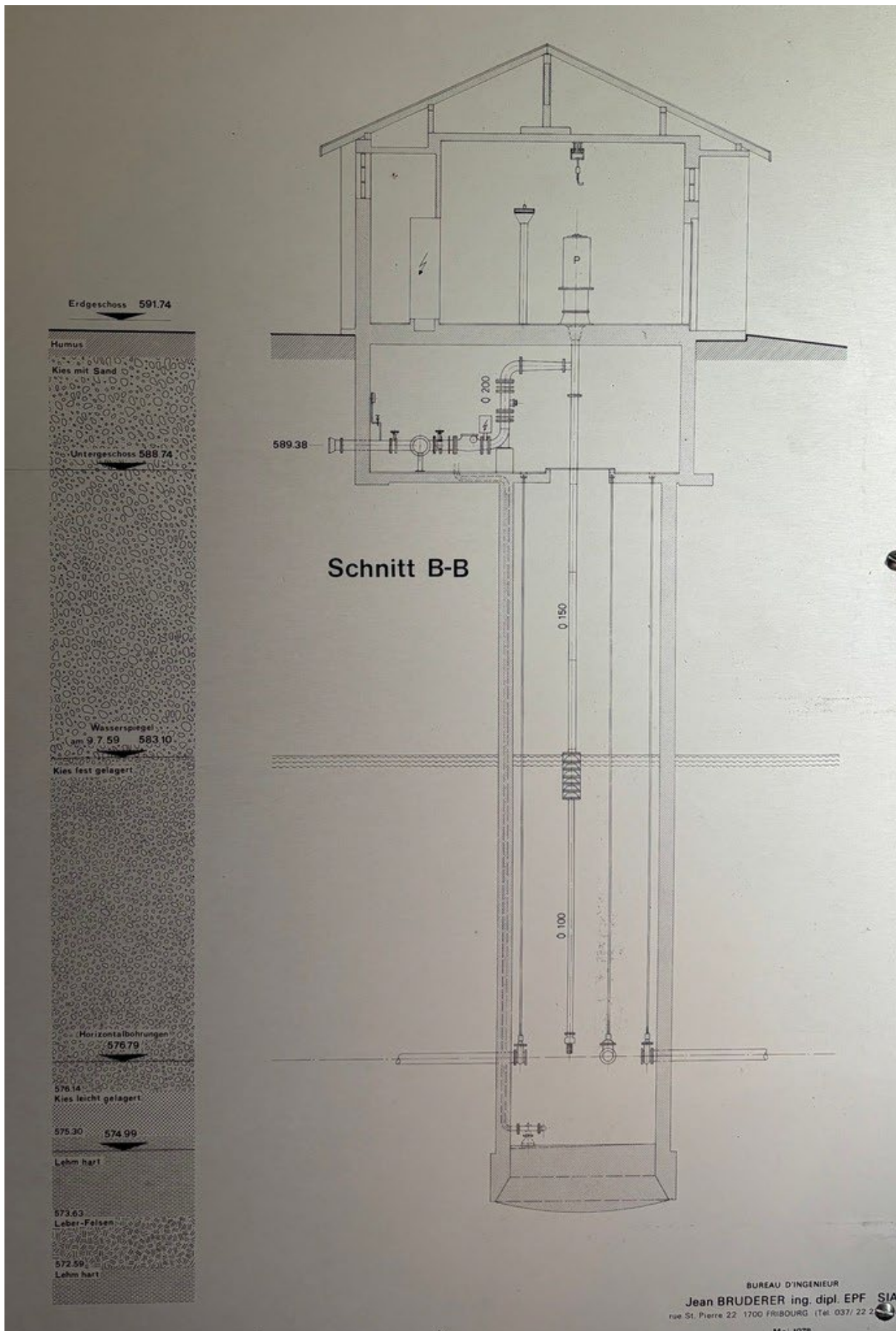
ANNEXE 2.3

Réf 9021 – 28.10.2024

ANNEXE 2.12 - 12. HORIA

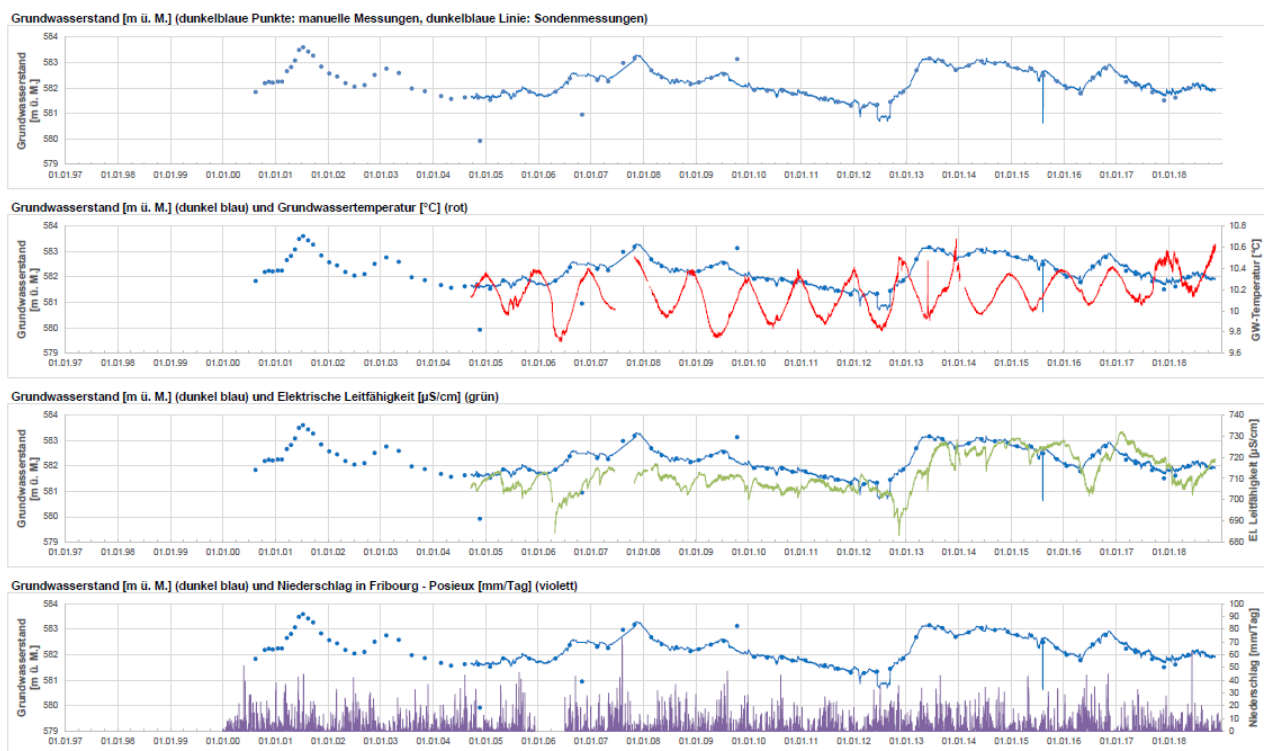
A) PROFIL DU PUIT





B) GRAPHIQUES

2001-2018



Alte Masse mal 2

Wasserstand im Pumpensumpf

Bei Stand 531.10 still
Pumpen-Entsorgung ab

Pumpensuch 72 Std. 3000 U/Min

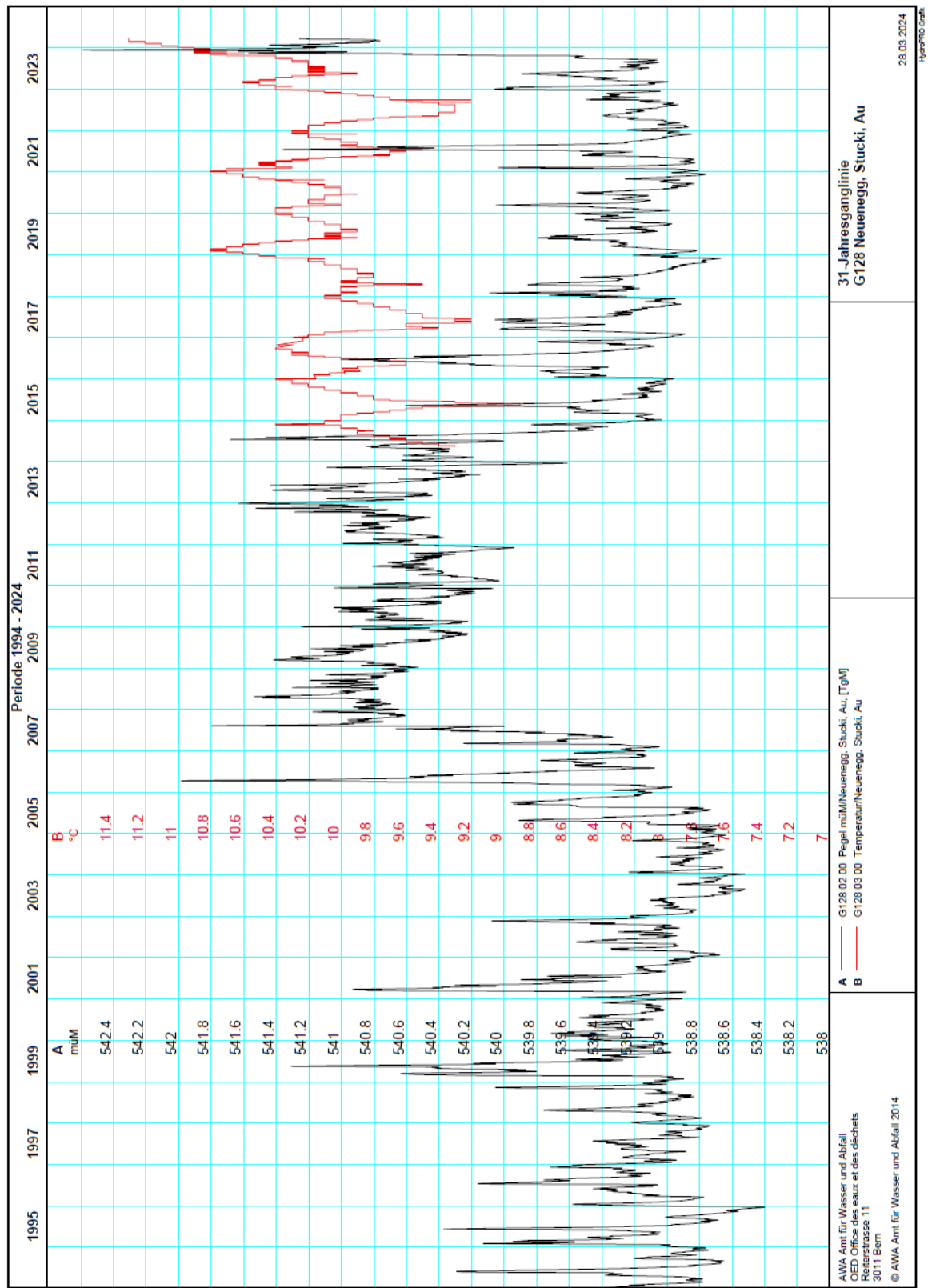
Ende 12.10.75 10:30
12.10.75 11:45
12.10.75 12:00
12.10.75 12:15
12.10.75 12:30
12.10.75 12:45
12.10.75 13:00
12.10.75 13:15
12.10.75 13:30
12.10.75 13:45
12.10.75 14:00
12.10.75 14:15
12.10.75 14:30
12.10.75 14:45
12.10.75 15:00
12.10.75 15:15
12.10.75 15:30
12.10.75 15:45
12.10.75 16:00
12.10.75 16:15
12.10.75 16:30
12.10.75 16:45
12.10.75 17:00
12.10.75 17:15
12.10.75 17:30
12.10.75 17:45
12.10.75 18:00
12.10.75 18:15
12.10.75 18:30
12.10.75 18:45
12.10.75 19:00
12.10.75 19:15
12.10.75 19:30
12.10.75 19:45
12.10.75 20:00
12.10.75 20:15
12.10.75 20:30
12.10.75 20:45
12.10.75 21:00
12.10.75 21:15
12.10.75 21:30
12.10.75 21:45
12.10.75 22:00
12.10.75 22:15
12.10.75 22:30
12.10.75 22:45
12.10.75 23:00
12.10.75 23:15
12.10.75 23:30
12.10.75 23:45
12.10.75 24:00

Terrain 535.0 MCM

Schichtgrenz 11.5 m

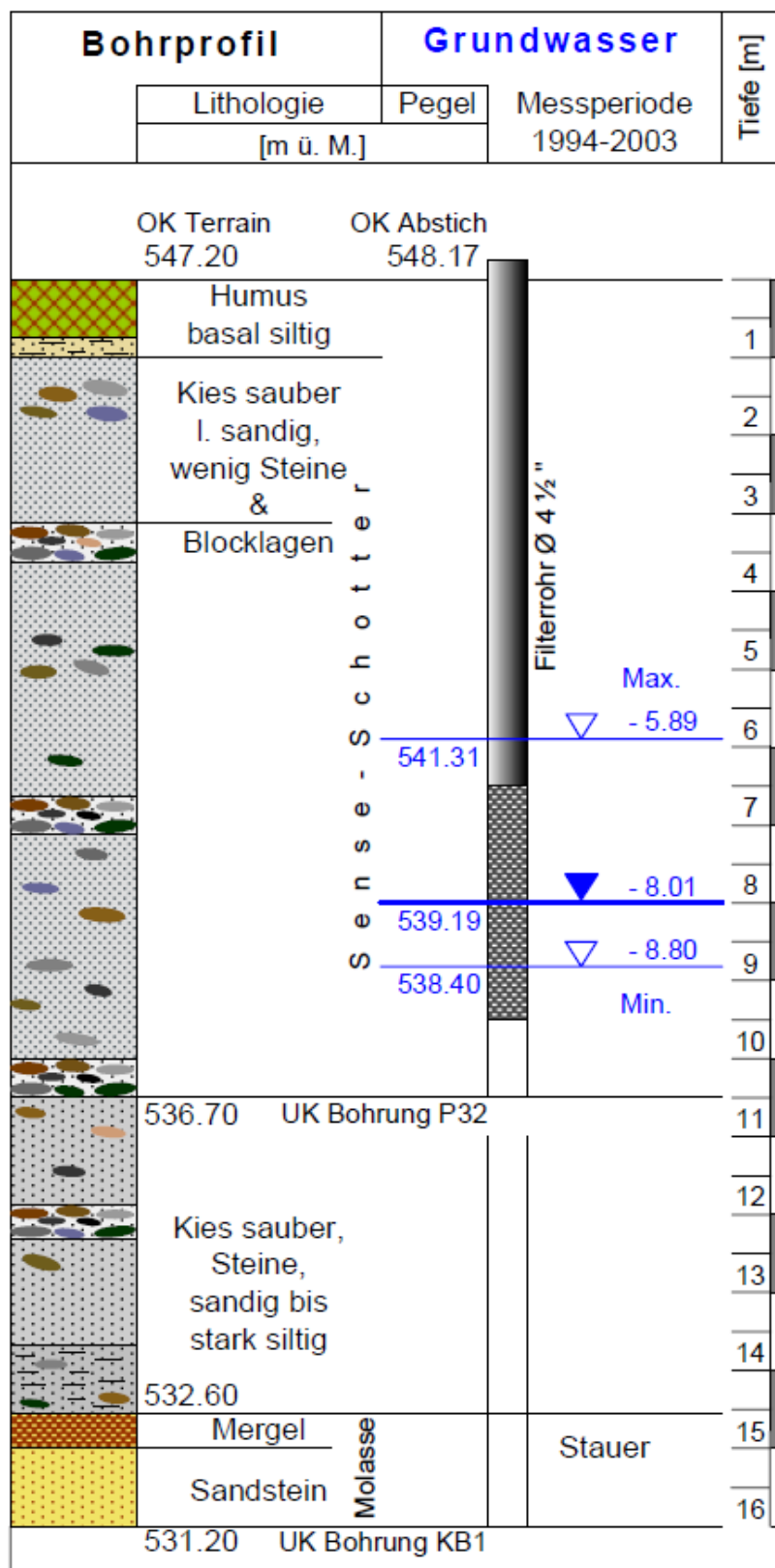
B) GRAPHIQUES

Piézomètre G128 (Etat de Berne)



C) Log

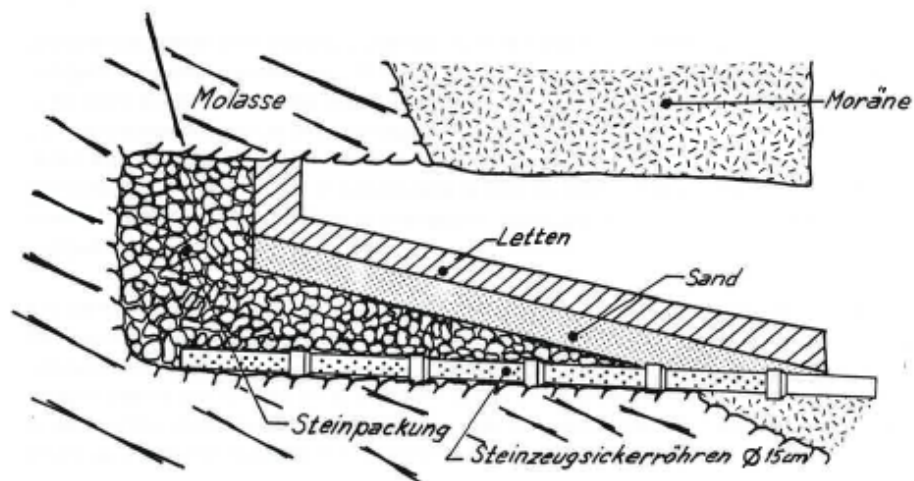
Piézomètre G128 (Etat de Berne)



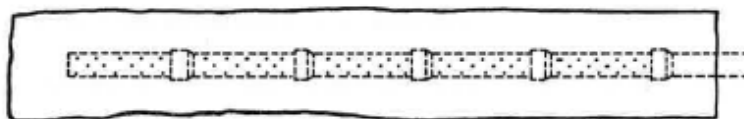
ANNEXE 2.14 - 14. GALMACHER

A) SCHÉMAS DE PRINCIPE

Schnitt



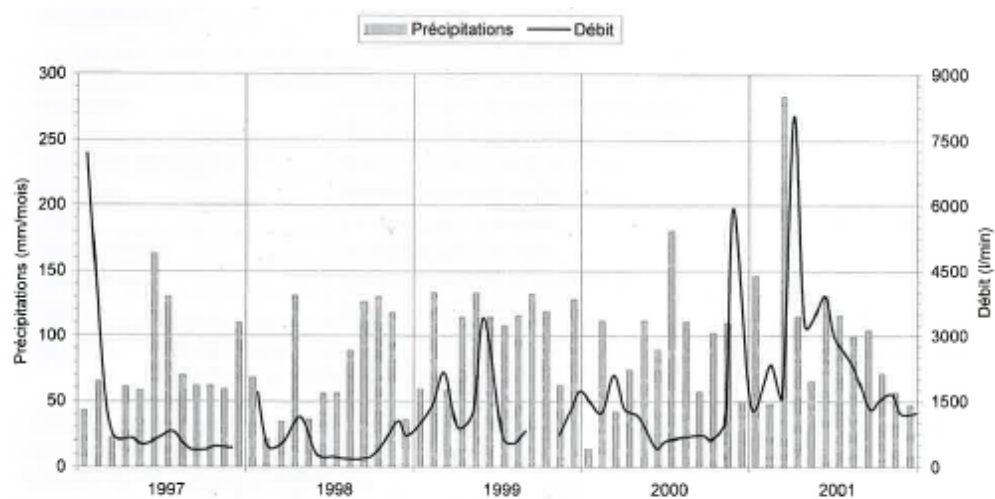
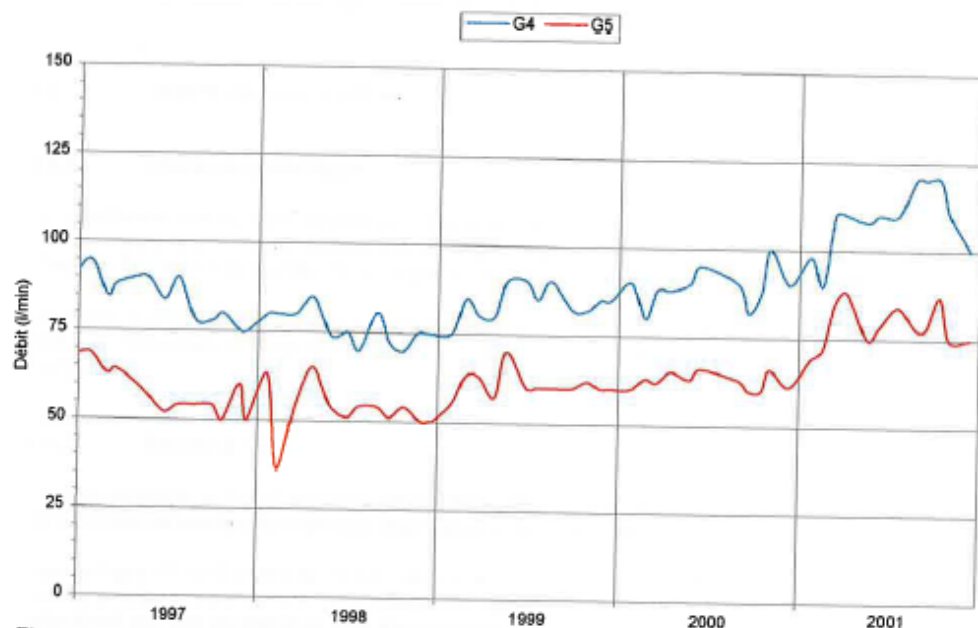
Grundriss



1:50

Figure 5. Captage de Galmacher (Lurtigen). Plan-type de la galerie (d'après le projet M. Keller-Merz joint au contrat d'entreprise signé le 9 décembre 1912).

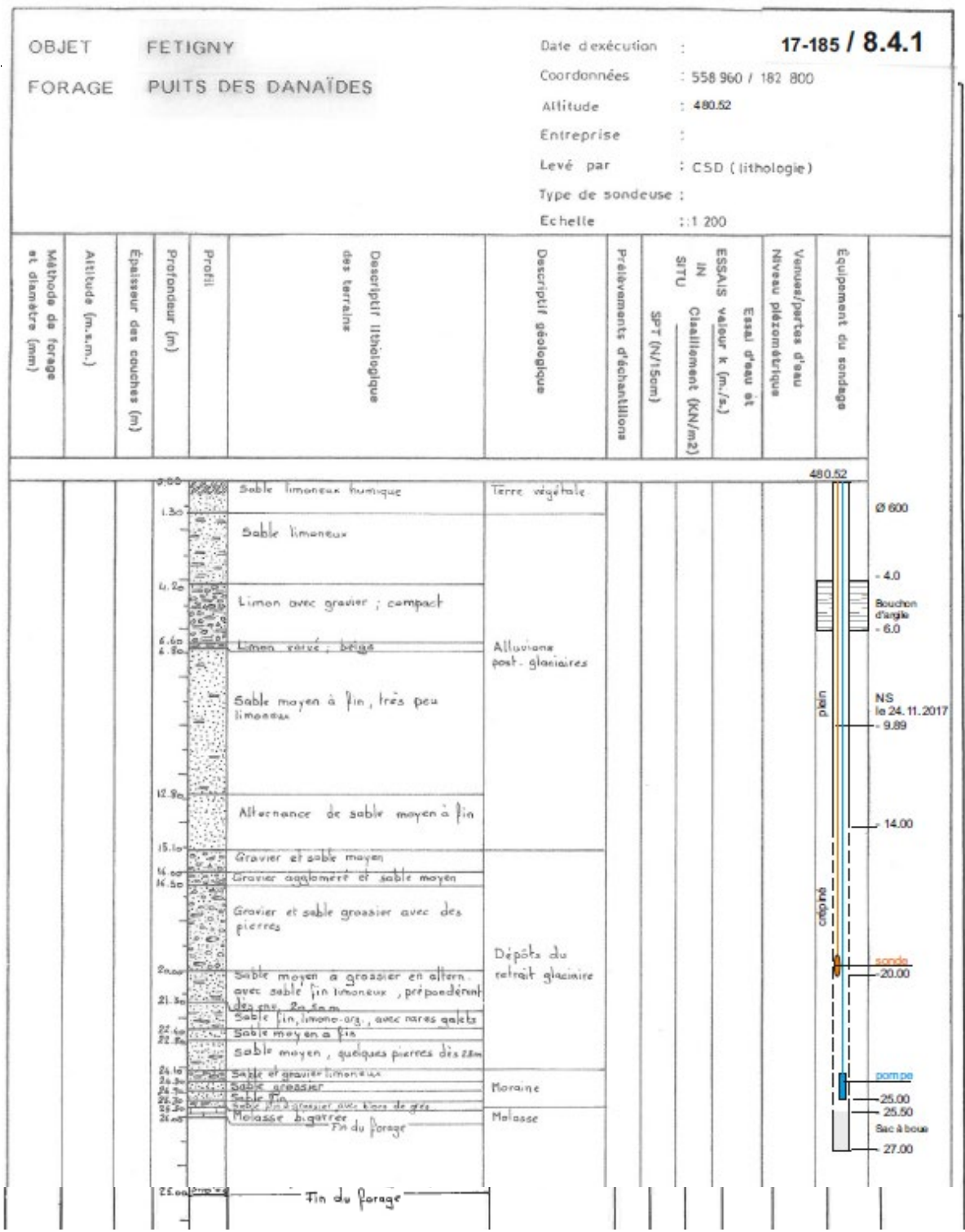
B) GRAPHIQUES



ANNEXE 2.15 - 15. DANAÏDES

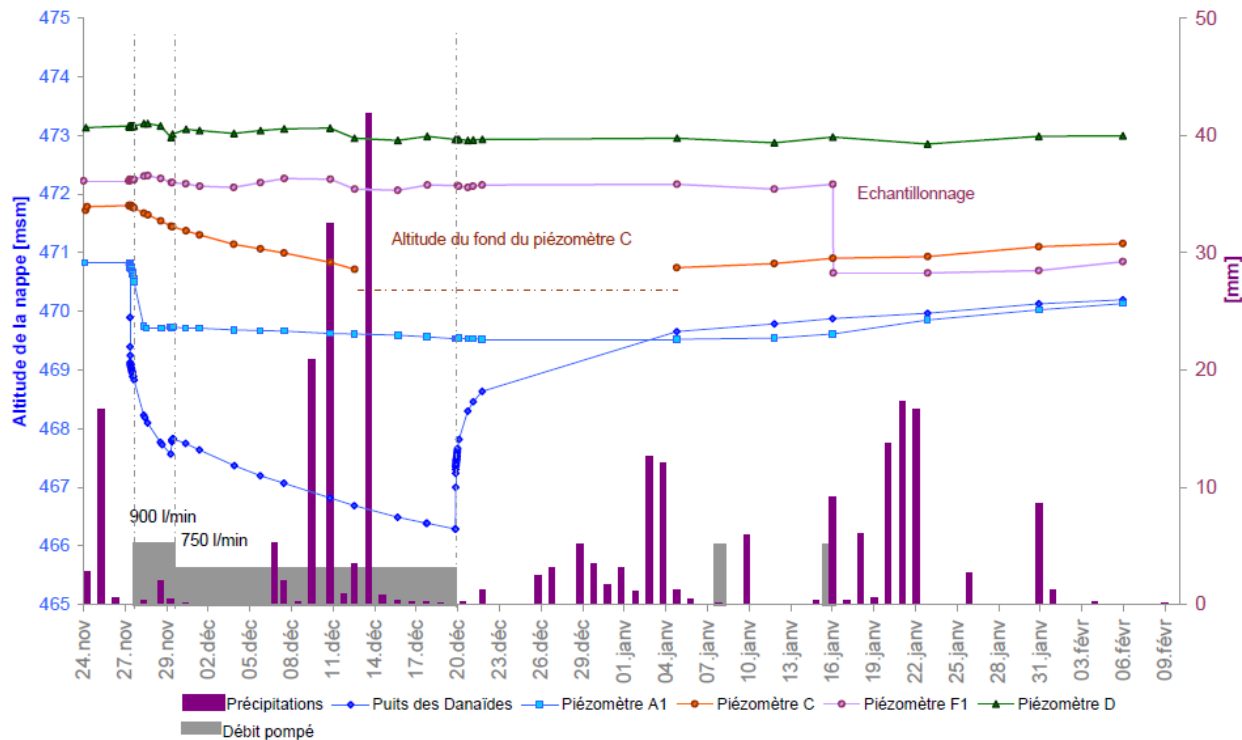
A) LOGS ET PROFIL TECHNIQUE

Puits des Danaïdes



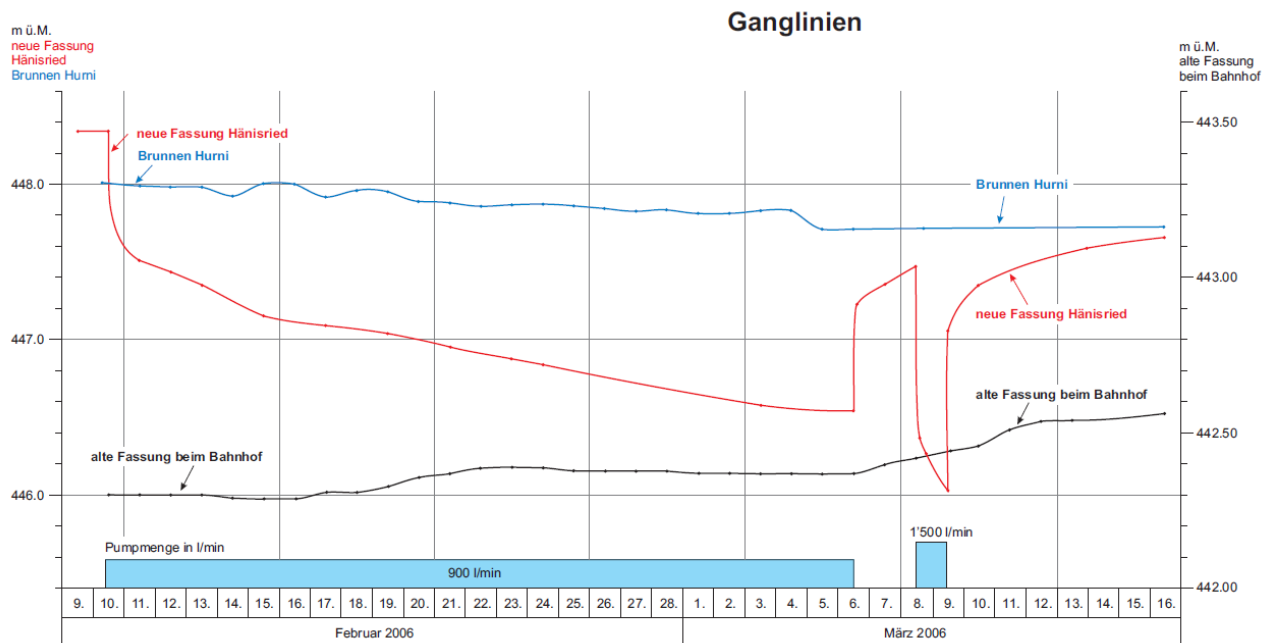
B) GRAPHIQUES

Variation du niveau de la nappe pendant l'essai de pompage dans l'aquifère des Danaïdes
Puits des Danaïdes et piézomètres d'observation

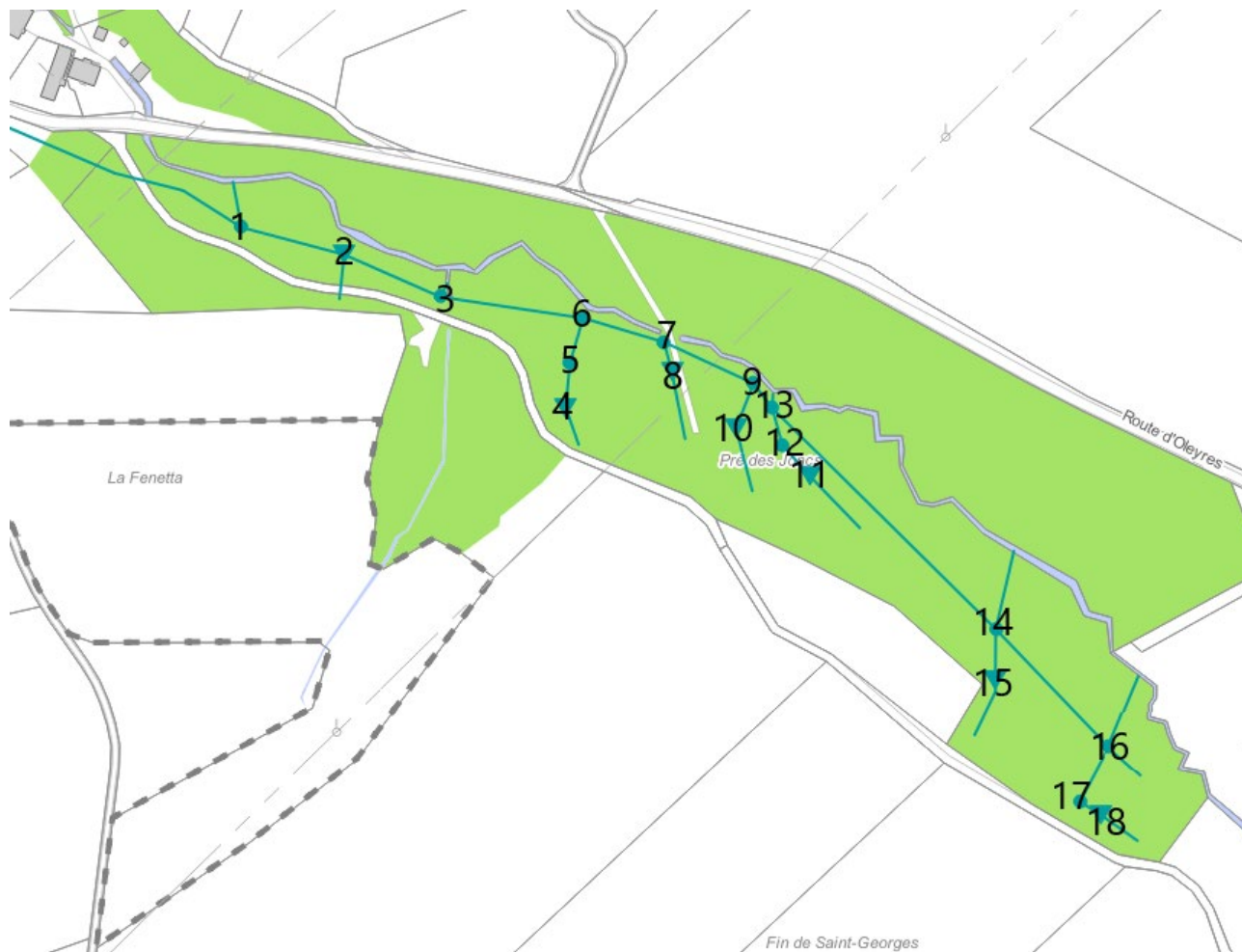


ANNEXE 2.16 - 16. HÄNSIRIED

A) GRAPHIQUES



A) SCHÉMA DE PRINCIPE DES CAPTAGES



B) DONNÉES & GRAPHIQUES

COMMUNE DE DOMDIDIER

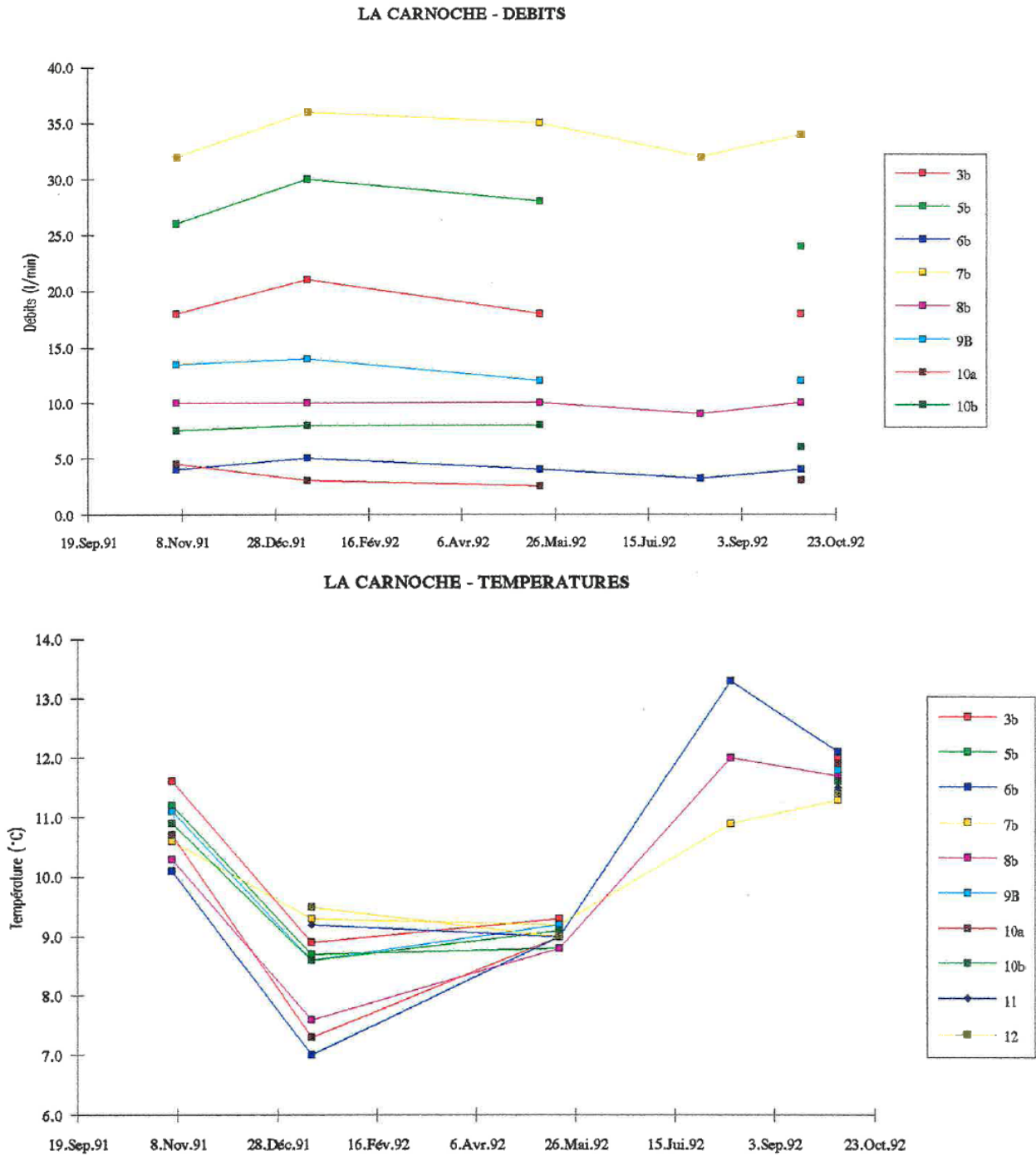
La Carnoche

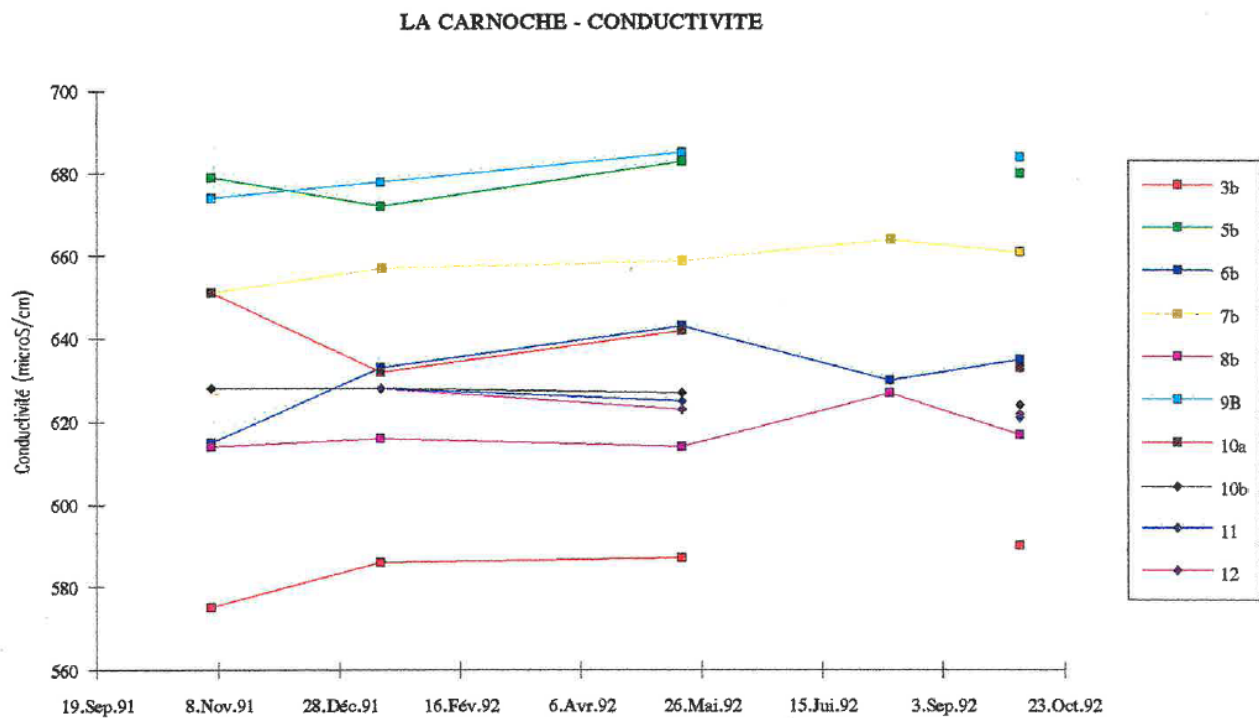
Drains	Temp. 5.Nov.91	Temp. 14.Jan.92	Temp. 18.Mai.92	Temp. 12.Aoû.92	Temp. 5.Oct.92	
2		8.4	8.9	11.8	11.9	Passage
3b	11.6	8.9	9.3		12.0	Source
4a		8.5	8.9		11.8	Passage
4b			sec			Source
5a		8.4	9.0		11.7	Passage
5b	11.2	8.7	8.8		12.1	Source
6a		8.5	9.0	11.5	11.6	Passage
6b	10.1	7.0	9.0	13.3	12.1	Source
7a		7.8	8.7	11.8	12.9	Passage
7b	10.6	9.3	9.2	10.9	11.3	Source
8a		7.9	8.7	11.6	11.7	Passage
8b	10.3	7.6	8.8	12.0	11.7	Source
9a		7.6	8.9		11.8	Passage
9b		8.5	9.0		11.6	Passage
9B	11.1	8.6	9.2		11.8	Source
10a	10.7	7.3	9.0		11.9	Source
10b	10.9	8.6	9.1		11.6	Source
11		9.2	9.0		11.5	Source
12		9.5	9.0		11.4	Source

COMMUNE DE DOMDIDIER

La Carnoche

Drains	Cond. 5.Nov.91	Cond. 14.Jan.92	Cond. 18.Mai.92	Cond. 12.Aoû.92	Cond. 5.Oct.92	Débit 5.Nov.91	Débit 14.Jan.92	Débit 18.Mai.92	Débit 12.Aoû.92	Débit 5.Oct.92	
2		635	630	665	629		124.0	120.0	112.0	120.0	Passage
3b	575	586	587		590	18.0	21.0	18.0		18.0	Source
4a		656	658		658	98.0	108.0	105.0		110.0	Passage
4b								sec			Source
5a		652	652		658		86.0	75.0		84.0	Passage
5b	679	672	683		680	26.0	30.0	28.0		24.0	Source
6a		649	652	666	653	75.0	82.0	72.0	67.0	70.0	Passage
6b	615	633	643	630	635	4.0	5.0	4.0	3.2	4.0	Source
7a		642	646	643	645	42.0	40.0	38.0	37.0	36.0	Passage
7b	651	657	659	664	661	32.0	36.0	35.0	32.0	34.0	Source
8a		655	655	655	665	30.0	28.0	26.0	27.0	26.0	Passage
8b	614	616	614	627	617	10.0	10.0	10.0	9.0	10.0	Source
9a		630	627		628		14.0	12.0		10.0	Passage
9b		680	681		688		14.0	14.0		15.0	Passage
9B	674	678	685		684	13.5	14.0	12.0		12.0	Source
10a	651	632	642		633	4.5	3.0	2.5		3.0	Source
10b	628	628	627		624	7.5	8.0	8.0		6.0	Source
11		628	625		621						Source
12		628	623		622						Source
Total: (sources)						116.00	124.00	120.00	112.00	120.00	

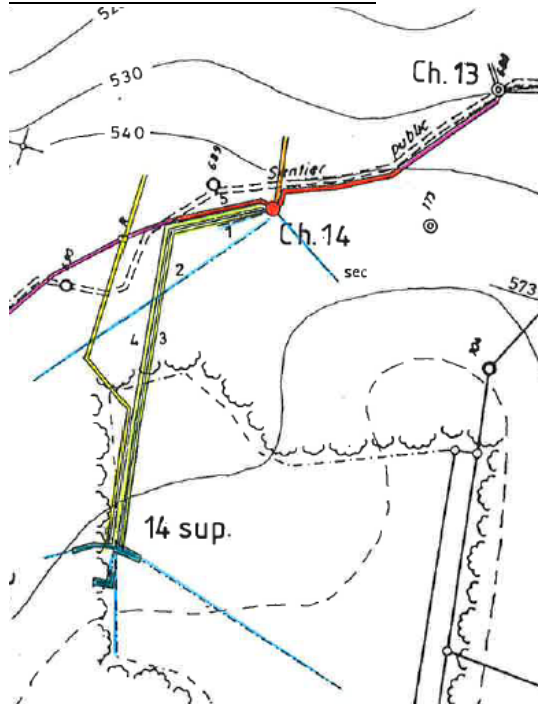




ANNEXE 2.18 - 18. VAU DE PRAZ

A) SCHÉMAS DE PRINCIPE – CARTE DU RÉSEAU

Alimentation de la chambre 14



Venue	PE(mm)	Long. (m)	Pente (%)	Remarques
1	50/110	8	~1	Recapt. local anc.N° 13
2	32	48	6	Forage local (molasse)
3	40	Transport		Eaux toit molasse recapt. 14 sup.
4	50	Transport		Eaux fond molasse recapt. 14 sup.
5	60	Transport		Arrivée ch N° 15

B) DONNÉES

no.	Coordonnées			Utilisation	origine eau	Q [l/min]		
	E [m]	N [m]	z [m]			Min ¹	Moy ²	Max ¹
573/200-1 (ch. 14)	573'702	200'856	542	Réseau Bas-Vully	Molasse, grès aquitainien (MDI)	14.5	22.4	107
573/201-4 (ch. 15)	573'613	201'011	555	Réseau Bas-Vully	Molasse, grès aquitainien (MDI)	10	16.2	58.3
573/201-2 (ch. 17)	573'405	201'105	~590	Réseau Bas-Vully	Limite moraine - molasse burdigalienne (MMS)	10	19.1	48

Tableau 4 : Données tirées du cadastre cantonal des sources

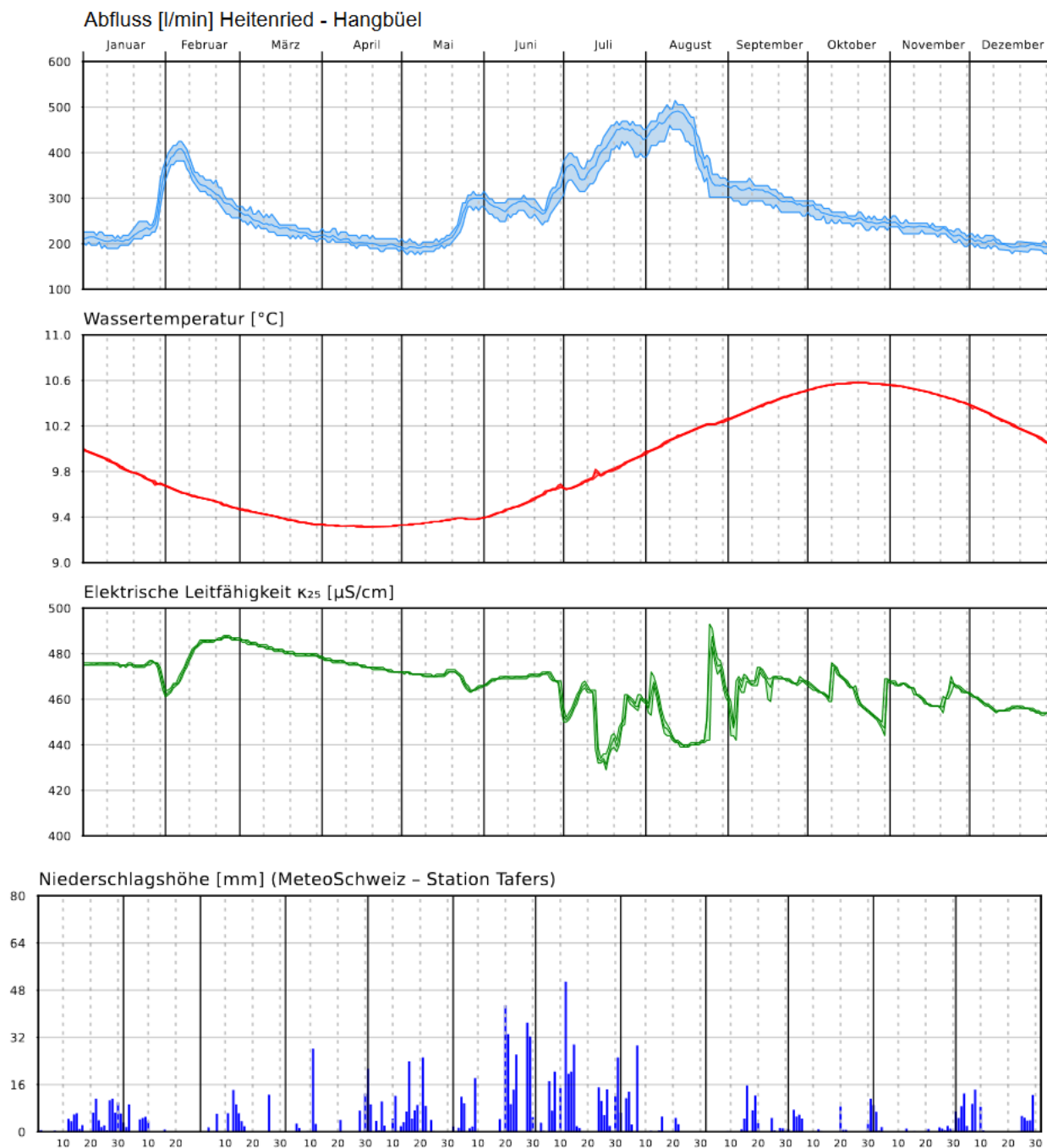
¹ valeurs tirées des fiches des sources; minimum du 13.09.1996 et maximum du 22.02.1995 [14]² valeurs moyennes de la période du 09.10.2011 au 14.11.2013 (09.10.2011, 09.05.2012, 31.10.2012, 05.06.2013 et 14.11.2013). [8]

Feuille de jaugeage

Date	11.07.94	21.09.94	11.10.94	22.02.95	10.04.96	28.06.96			
Ventes									
14 1. Q	7.5	7.3	7.5	60	9	6.3			
T		9.9	10.6	9.1		9.3			
p		642		656		658			
2. Q	1.2	1.1	1.1	1.5	1	0.6			
T		9.2	9.9	9.5		9.1			
p		654		643		680			
3. Q	6.8	6.9	7.1	33	6	2.6			
T		11.2	11.4	9.6		10.4			
p		682		687		683			
4. Q	6.2	5.8	6.0	12.5	6	5			
T		11.5	11.7	9.1		10.1			
p		698		705		712			
5 = 15 + 17	-	(~54)	(-)	(100)	(25)	(26)			
tot. ch. 14	21.7	21.1	21.7	107	22	14.5			
compteur									
13 = 17+15+14		69.0 (bidon)	61.0		47	34			
somme									
ch. 14 - 15 - 17	55.3	67.2	60.5	213.3	54	39.3			

ANNEXE 2.19 - 19. HANGBÜEL

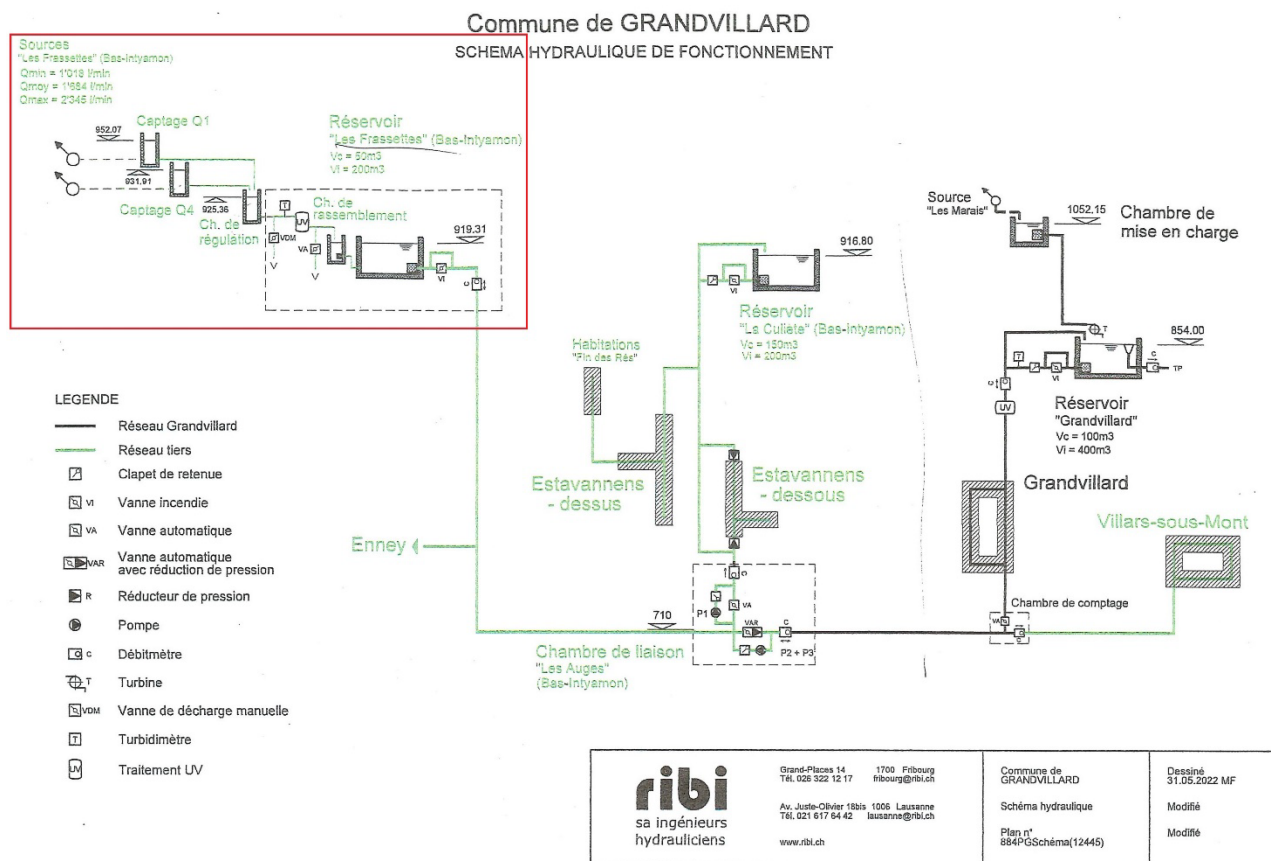
A) GRAPHIQUES



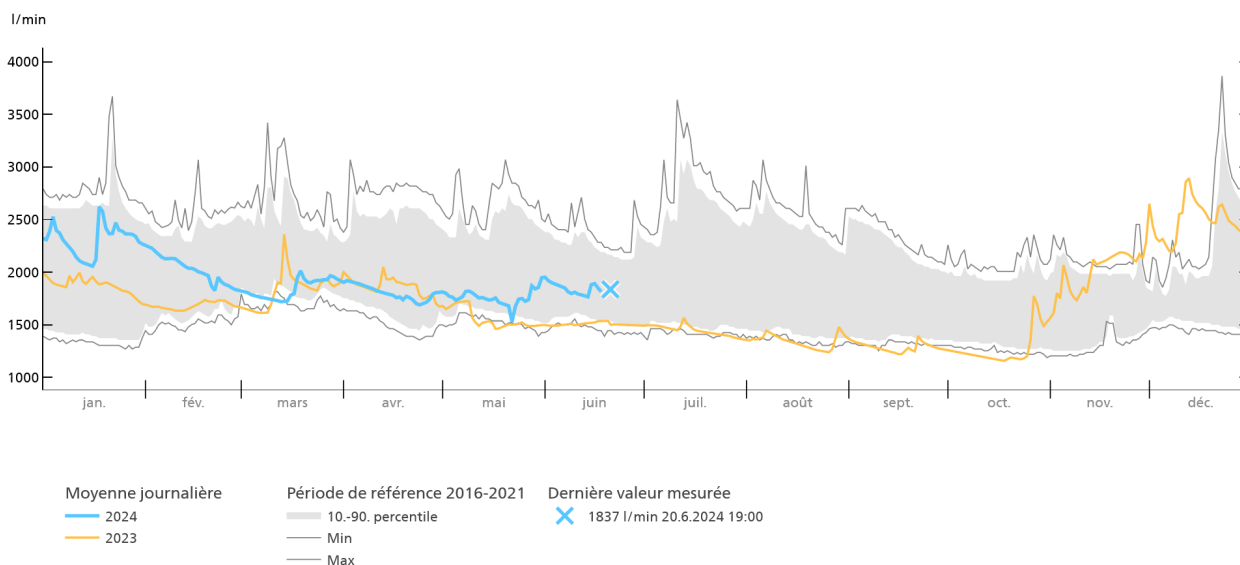
Données disponibles de 2021 à 2006

ANNEXE 2.20 - 20. LES FRASSETTES

A) SCHÉMA DE PRINCIPE



B) GRAPHIQUE



ANNEXE 2.21 - 21. CLOSELS

A) DONNÉES & GRAPHIQUES

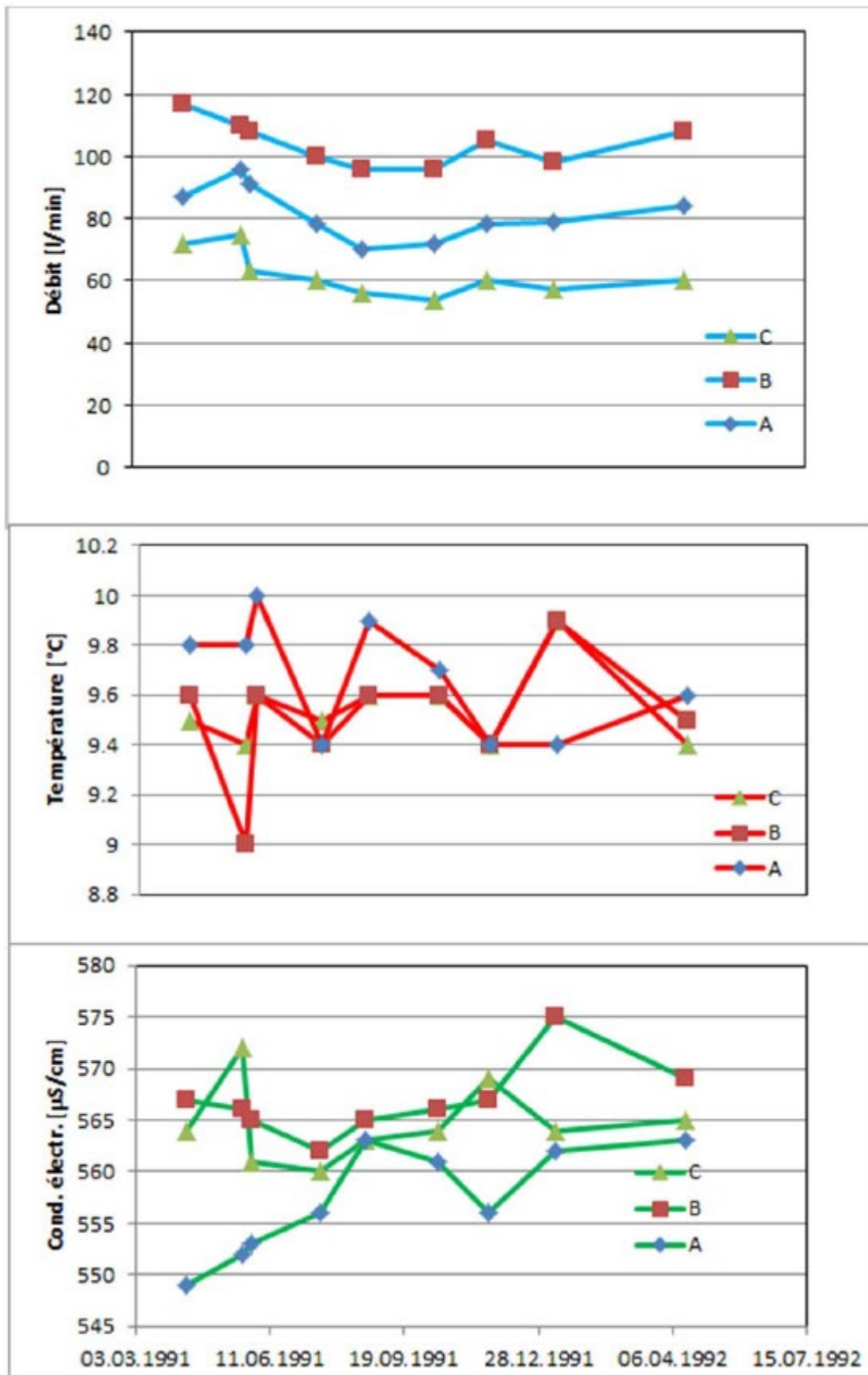
	Débit [l/min]				Température [°C]			Conductivité électr. [µS/cm]		
	a	b	c	Total	a	b	c	a	b	c
10.04.1991	87	117	72	276	9.8	9.6	9.5	549	567	564
22.05.1991	96	110	75	281	9.8	9	9.4	552	566	572
29.05.1991	91	108	63	262	10	9.6	9.6	553	565	561
18.07.1991	78	100	60	238	9.4	9.4	9.5	556	562	560
21.08.1991	70	96	56	222	9.9	9.6	9.6	563	565	563
14.10.1991	72	96	54	222	9.7	9.6	9.6	561	566	564
21.11.1991	78	105	60	243	9.4	9.4	9.4	556	567	569
10.01.1992	79	98	57	234	9.4	9.9	9.9	562	575	564
16.04.1992	84	108	60	252	9.6	9.5	9.4	563	569	565
Moyenne	81.7	104.2	61.9	247.8	9.7	9.5	9.5	557.2	566.9	564.7
Minimum	70.0	96.0	54.0	222.0	9.4	9.0	9.4	549.0	562.0	560.0
Maximum	96.0	117.0	75.0	281.0	10.0	9.9	9.9	563.0	575.0	572.0

Figure 5 : Données chiffrées des paramètres physico-chimiques

Un jaugeage effectué le 11 septembre 2013 a fourni les résultats suivants :

	Débit l/min	Cond. él. µS/cm	Temp. °C
Drain a	66	585	10.4
Drain b	96	598	10.3
Drain c	54	592	10.3

Cela fait un total de 216 l/min, ce qui se situe en dessous de la valeur minimale mesurée lors de l'étude hydrogéologique (1991-1992)



B) STATISTIQUES DÉBIT SOURCE DE GRANVAU (CLOSELS)

Données fournies par la commune

2022		2023		2024	
Janvier	10160	Janvier	10247	Janvier	10057
Février	8934	Février	9051	Février	8892
Mars	9709	Mars	9824	Mars	9798
Avril	8971	Avril	9323	Avril	9263
Mai	9146	Mai	9427	Mai	2158
Juin	8528	Juin	8805	Juin	0
Juillet	8614	Juillet	8846	Juillet	0
Août	8369	Août	8575	Août	0
Septembre	7828	Septembre	8099	Septembre	0
Octobre	8341	Octobre	8230	Octobre	0
Novembre	8428	Novembre	9212	Novembre	0
Décembre	9334	Décembre	10143	Décembre	0
Total	106362	Total	109782	Total	40168
Maximum	10160	Maximum	10247	Maximum	10057
Moyenne	8863.5	Moyenne	9148.5	Moyenne	9495.98109
Minimum	7828	Minimum	8099	Minimum	8892

ANNEXE 2.22 - 22. SANDLI

A) DONNÉES & GRAPHIQUES

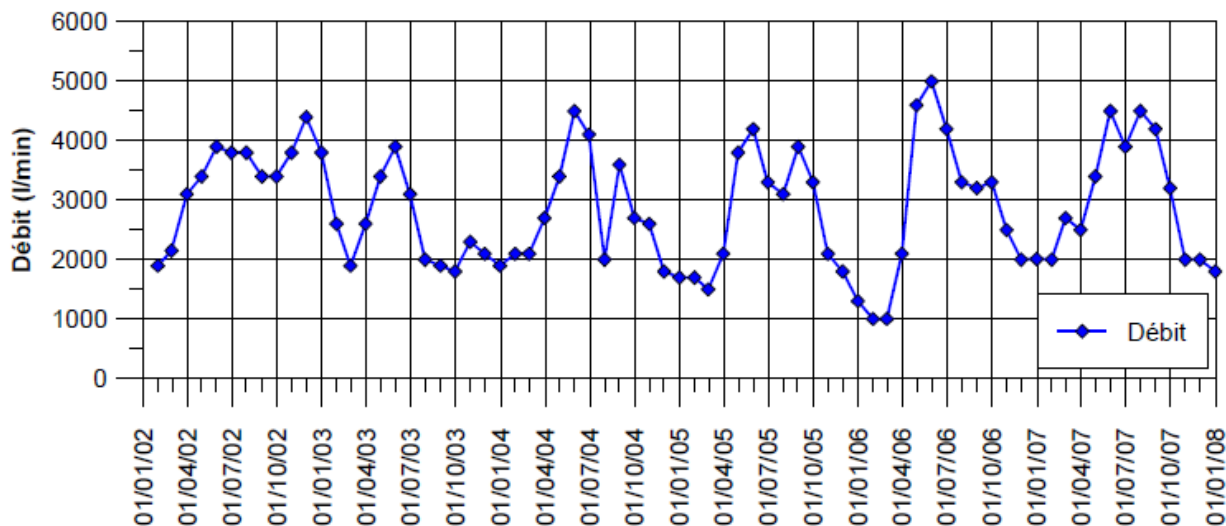
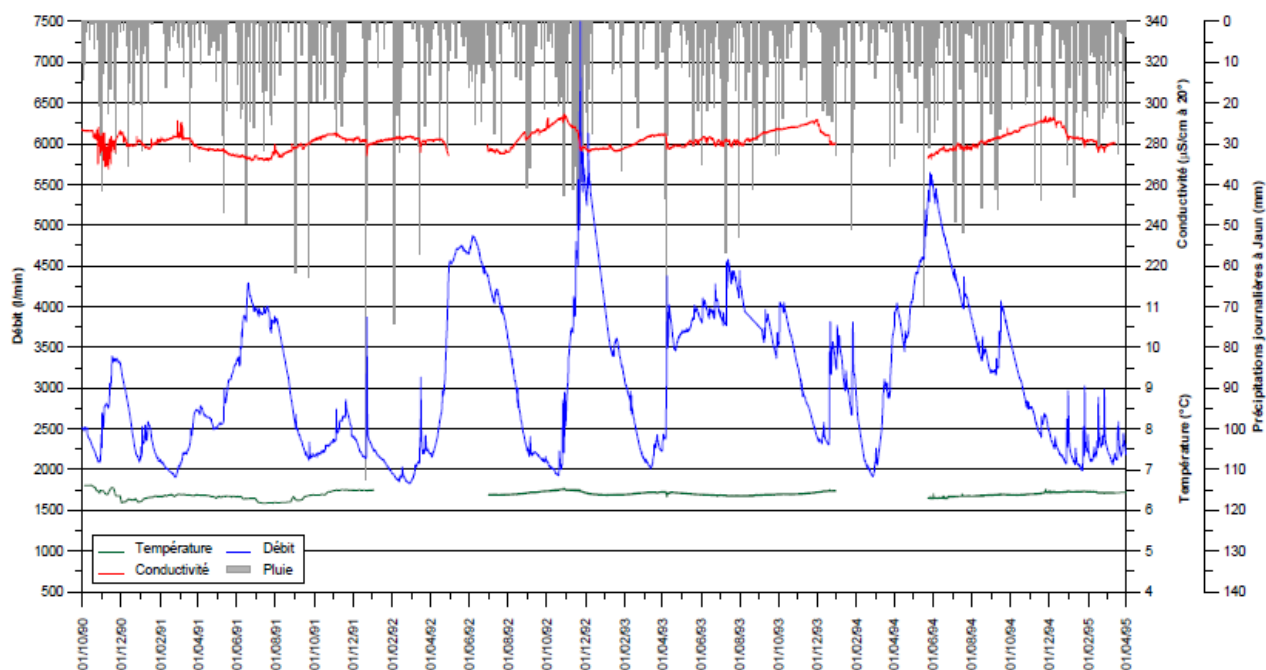


Figure 2: Débits relevés mensuellement à la source Sandli par le fontainier



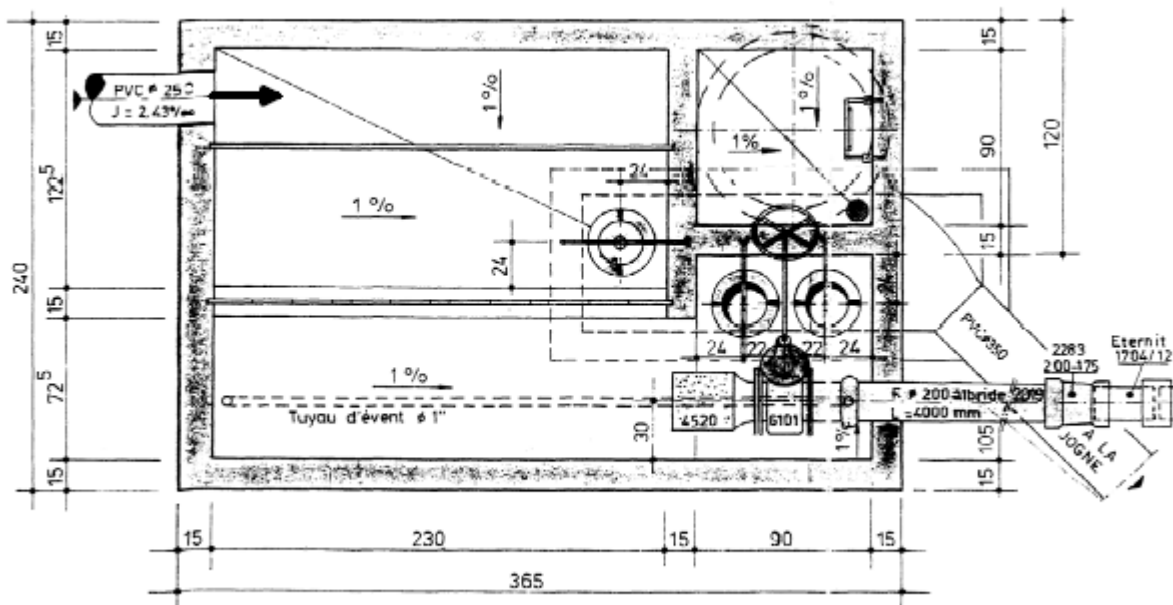
Mesure en continu de la source dans le cadre du projet ISHYDRO de l'université de Neuchâtel (données non publiées).

Tableau 1 : Synthèse des analyses effectuées par le laboratoire cantonal à la source de Sandli

Date	Débit (l/min)	Conductivité électrique (microS/cm à 20°)	Température (°C)	Turbidité (TE/F)	NH4+(mg/l)	NO3-(mg/l)	NO2-(mg/l)	Escherichia Coli (UFC/100 ml)	Germes aérobies mésophiles (UFC/ml)	Entérocoques (UFC/100 ml)
06.10.1980						3		0	1	0
26.06.1988		290		0.07				0	1	0
20.08.1991		275		0.05				0	2	
16.03.1992	3840	274	3	0.58	0	<5	0	0	446	
16.02.1993	3800	280	5	0.06	0	<5	0	0	0	
22.11.1993		285		0.06				0	1	
18.05.1994		272		0.06	0	2	0	0	2	
06.12.1994	5200	292	4	0.07				0	5	
10.05.1995	6900	268	3.5	0.12	0	2	0	0	31	
12.06.1996	5400	273	5	0.1	0	2	0	1	84	
02.07.1996	4300							0	17	
26.11.1996	2800	282	5	0.08				0	7	
13.05.1997	4000	273	5	0.1	0	2	0	0	3	
12.11.1997	2000	294	5	0.1				0	0	
07.05.1998	3300	280	5	0.1	0	2	0	0	2	
16.11.1998	4600	276	5	0.08				0	8	
19.05.1999	6200	267	5	0.12	0	2	0	0	2	
05.10.1999	3600	285	5	0.08				0	9	
04.07.2000	4000	274	5	0.08	0	2	0	0	3	
08.11.2000	1900	296	6	0.1				0	2	
21.08.2001	3500	272	5	0.06	0	2	0	0	0	
29.11.2001	2000	294	5	0.1				0	0	
28.05.2002	3400	276	6	0.1	0	2	0	0	0	
02.09.2002	3600	277	5	0.08				0	1	
11.03.2003		298		0.08	0	3	0	0	2	0
29.04.2003	3400	282	5	0.08	0	3	0	0	4	
15.10.2003	1800	308	6	0.08				0	1	
26.04.2004	3300	286	5	0.12	0	3	0	0	2	
15.11.2004	2100	295	5	0.06				0	0	
21.06.2005	4100	277	5	0.06	0	2	0	0	0	
07.09.2005		278		0.38	0	2	0	0	5	0
22.11.2005	1300	301	6	0.06				0	0	
16.05.2006	4200	273	5	0.08	0	2	0	0	1	
21.11.2006	3000	293	5	0.06				0	0	
26.07.2007	4600	276	5	0.06				0	0	
31.10.2007	2400	289	5	0.12				0	0	

B) PLANS DE LA CHAMBRE DE JAUGEAGE

PLAN



D'après plan n° 5.09.65D du 11.02.1976, J. & A. Barras ing. civ. EPF, Bulle

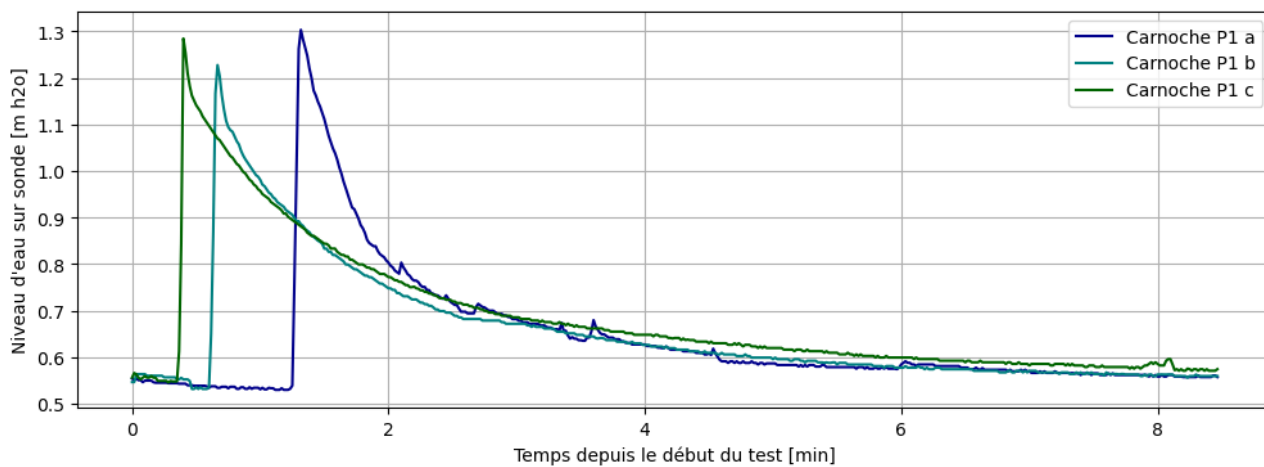
ANNEXE 3 - SLUG TEST

Tableau 1: Résumé des résultats des slug tests

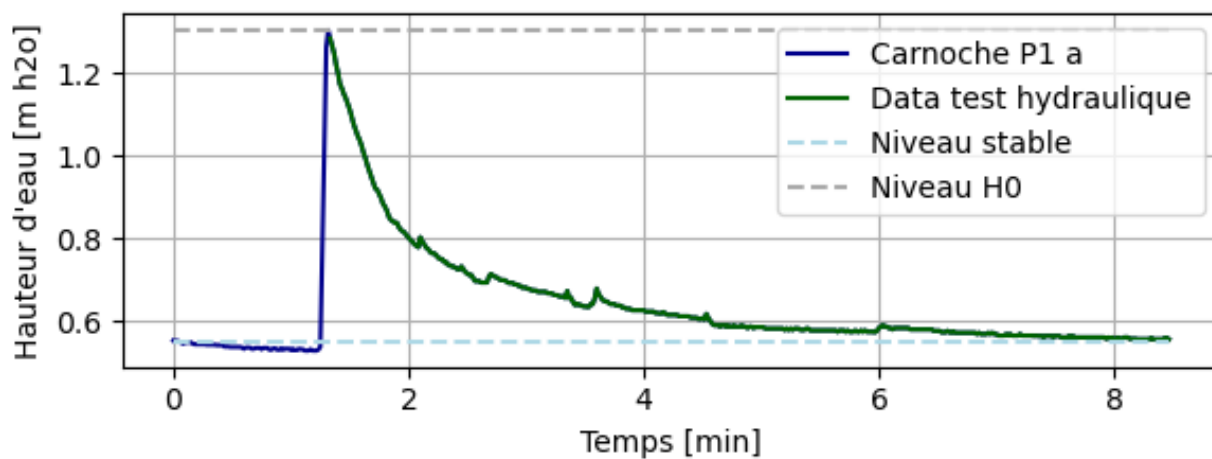
Piézomètre	Longueur de crépine [m]	Rayon du piézomètre intérieur [m]	K1 estimé [m/s]	K2 estimé [m/s]	K3 estimé [m/s]	K moyen [m/s]
Carnoche P1	2.54	0.055	6.34E-05	3.88E-05	3.16E-05	4.46E-05
Carnoche P2	2.82	0.055	1.48E-06	-	-	1.48E-06
Danaïdes C1	7	0.0254	5.77E-06	1.07E-05	-	8.24E-06
Fin de la porta Pz4	6	0.0254	8.99E-05	-	-	8.99E-05
Horia F1	> 25	0.0254	-	-	-	-
Mettraux F19	5	0.1778	7.71E-04	1.44E-03	1.30E-03	1.17E-03
Surpierre T51	3.48	0.0254	6.75E-05	9.15E-05	-	7.95E-05
Tuffière	12.46	0.0254	-	-	-	-

Carnoche P1

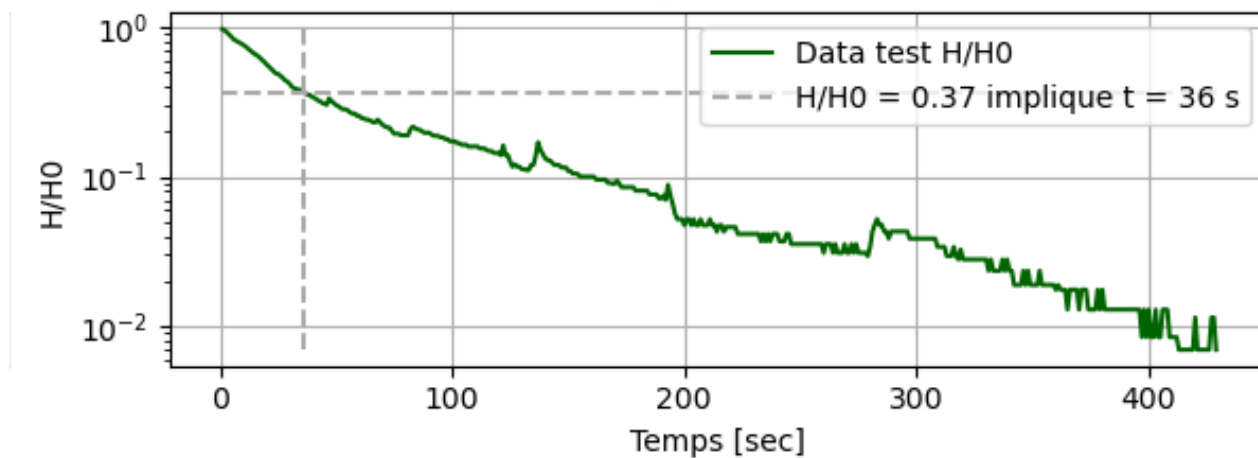
Données de base

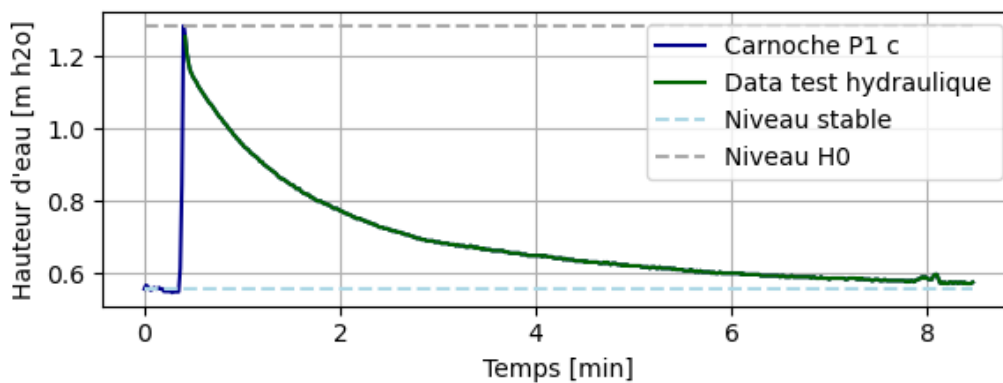
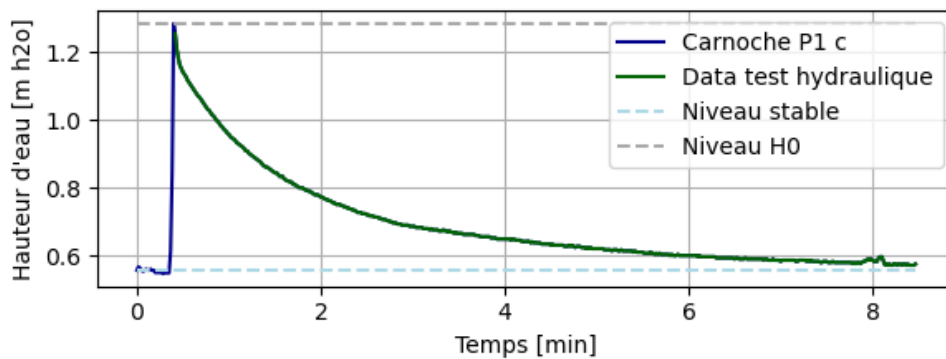
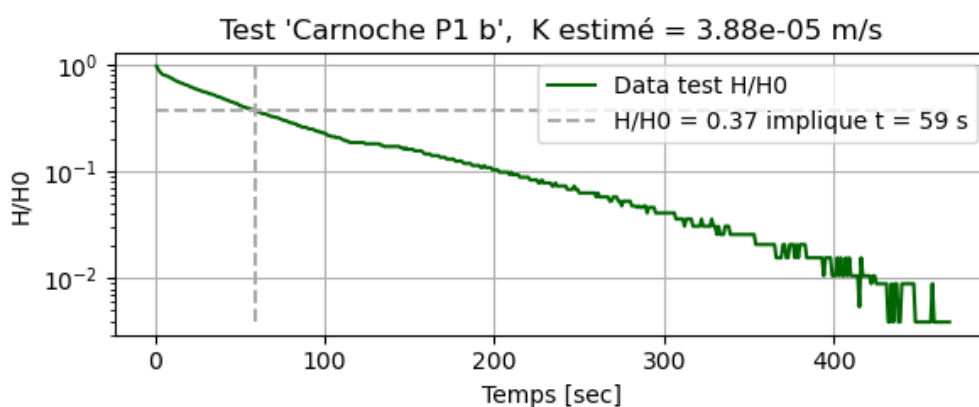
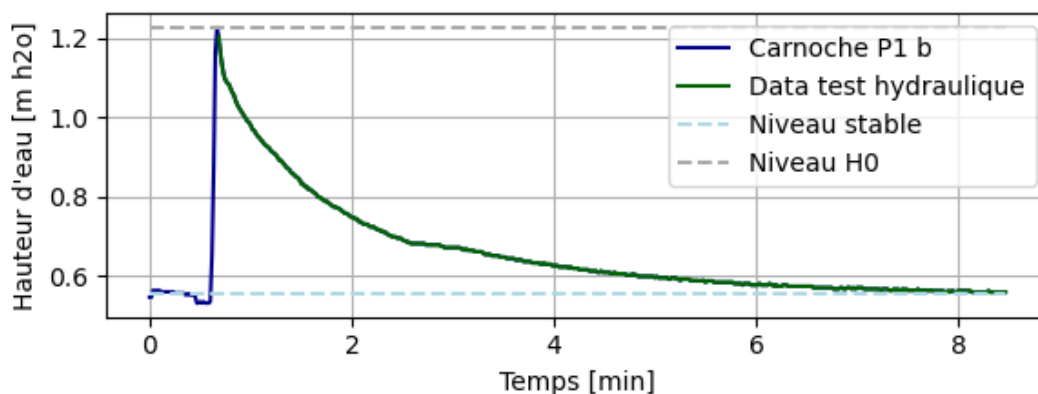


Interprétation



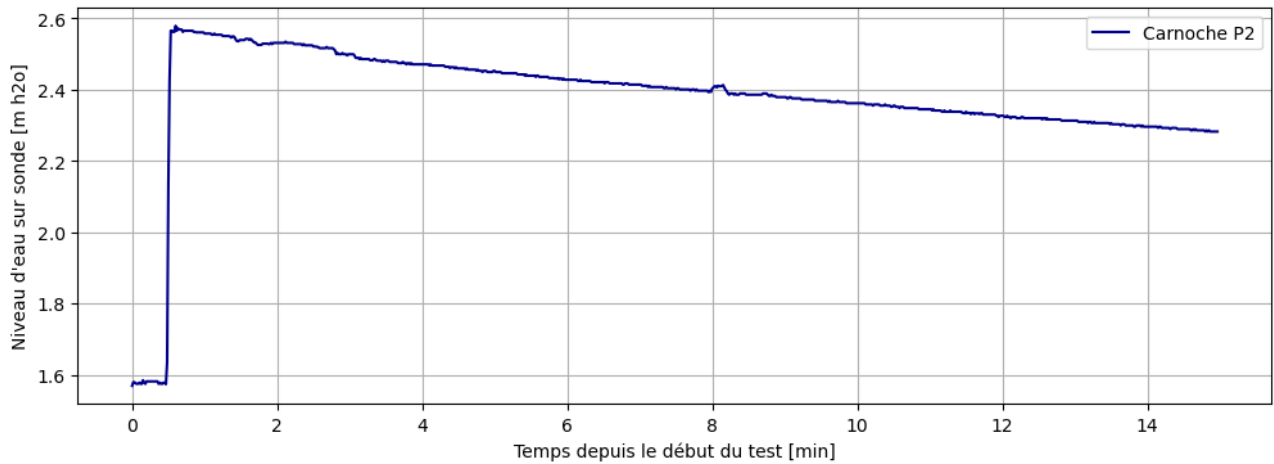
Test 'Carnoche P1 a', K estimé = 6.34×10^{-5} m/s



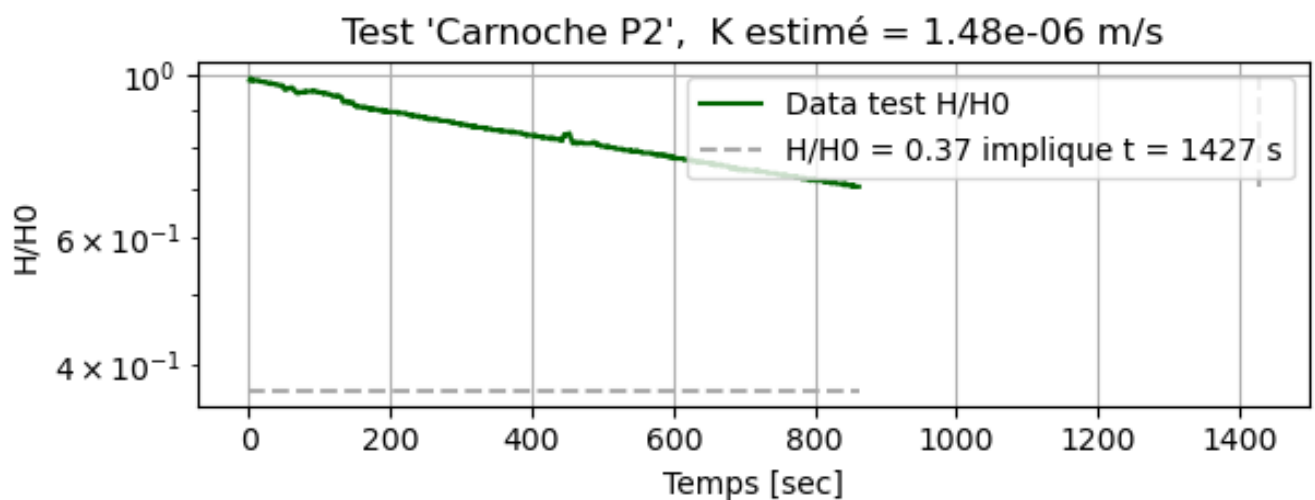
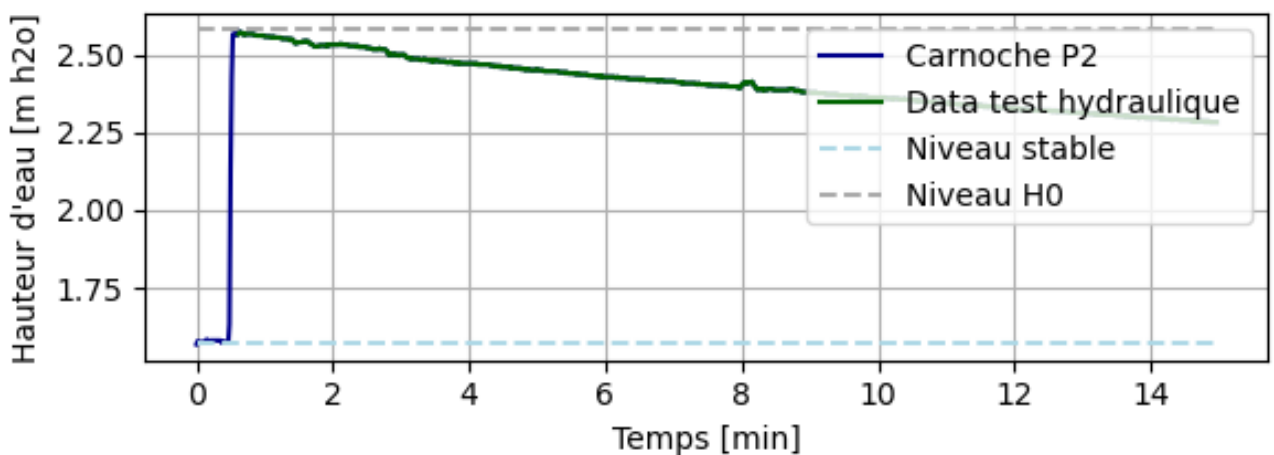


Carnoche P2

Données de base

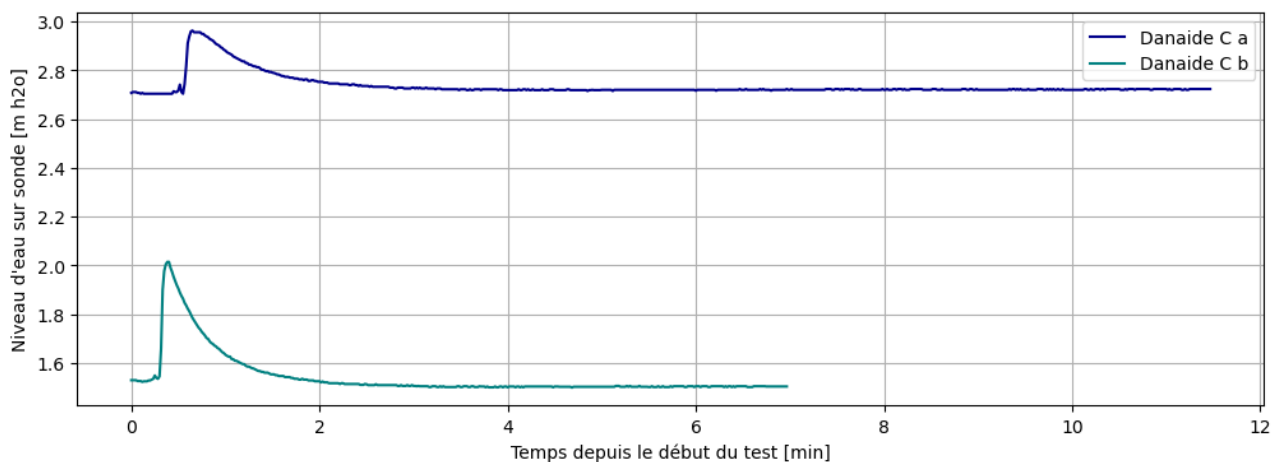


Interprétation

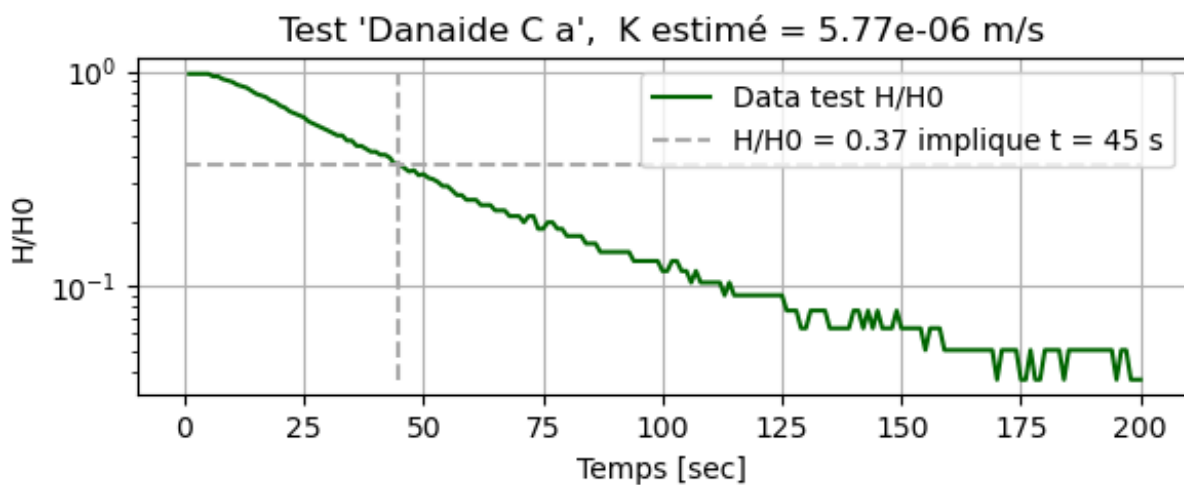
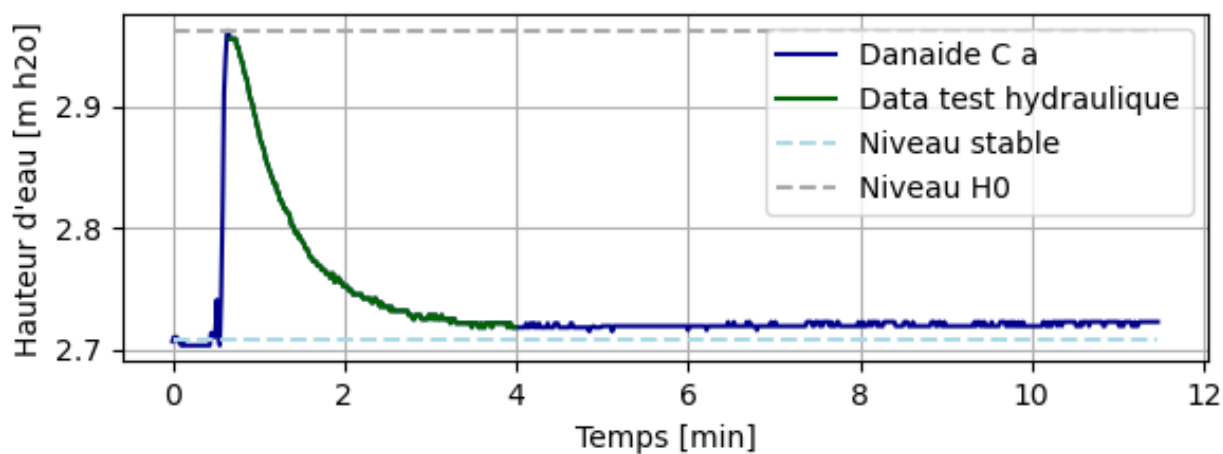


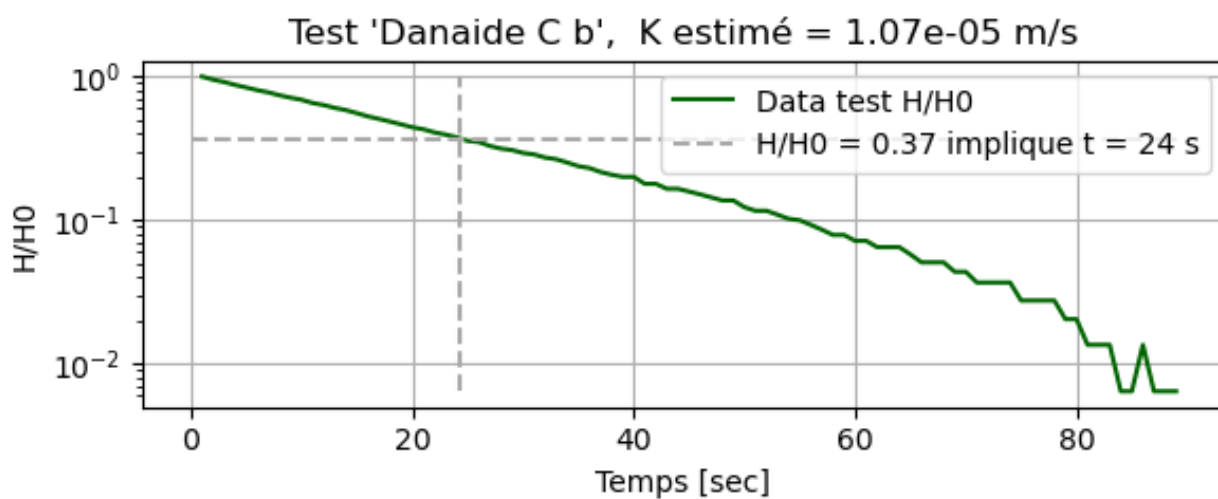
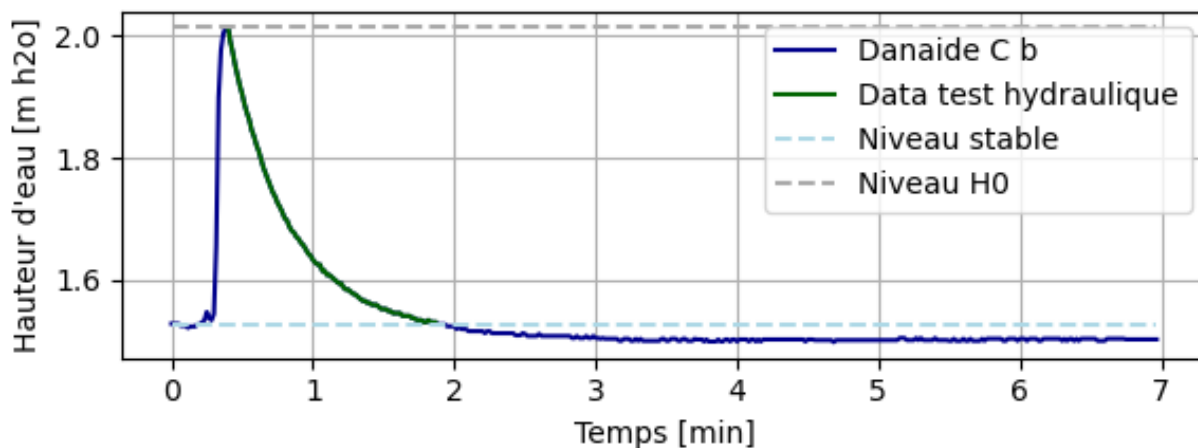
Danaïdes C1

Données de base



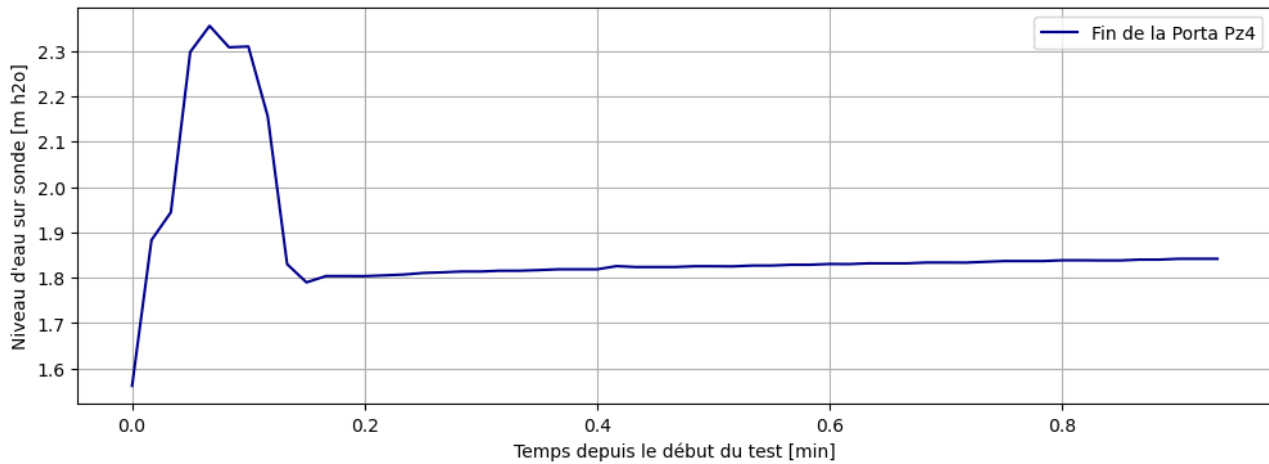
Interprétation



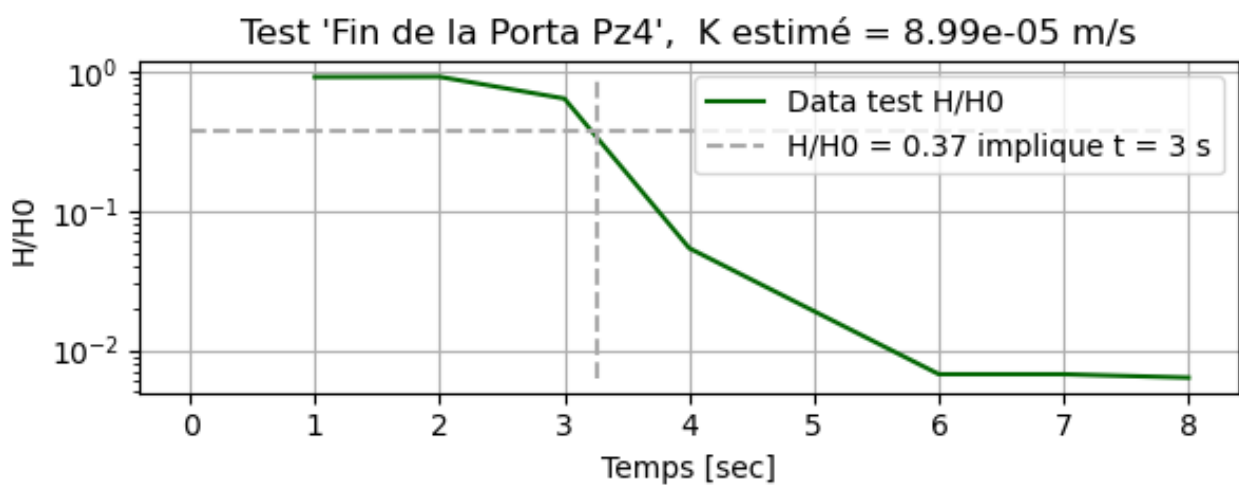
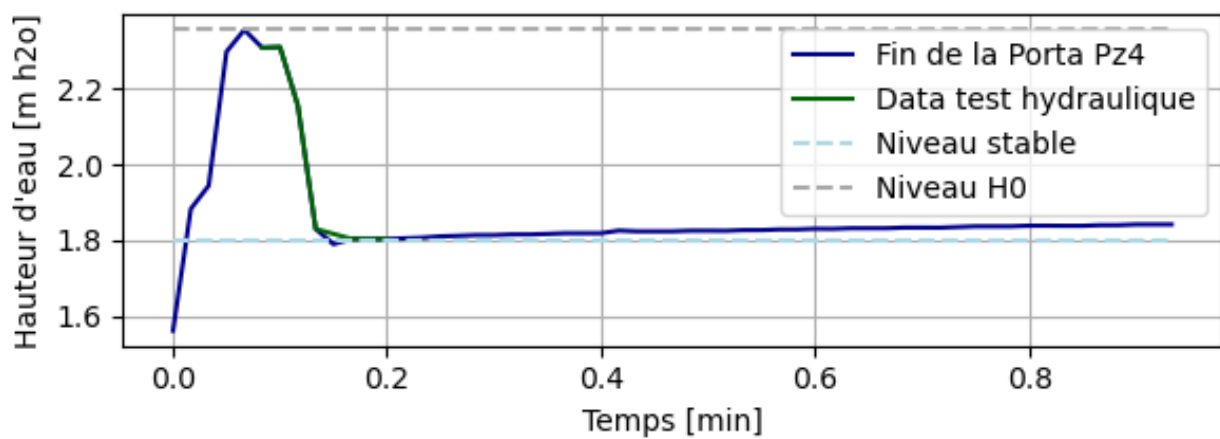


Fin de la Porta Pz 4

Données de base

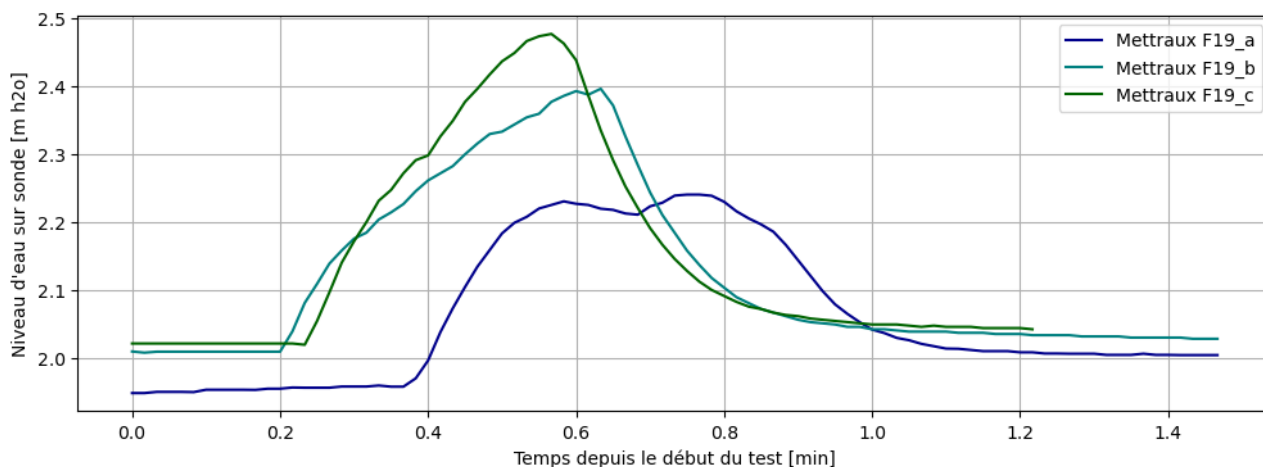


Interprétation

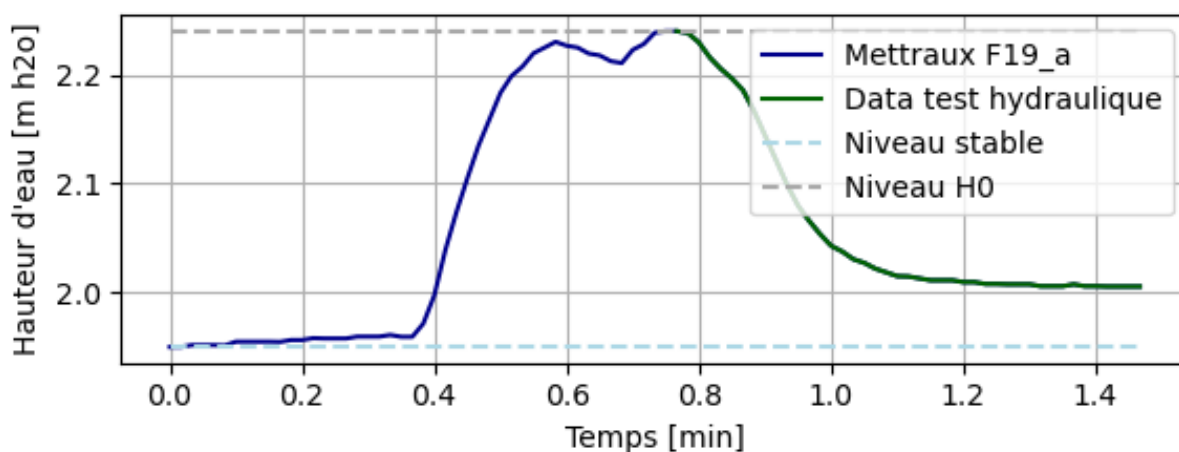


Mettraux F19

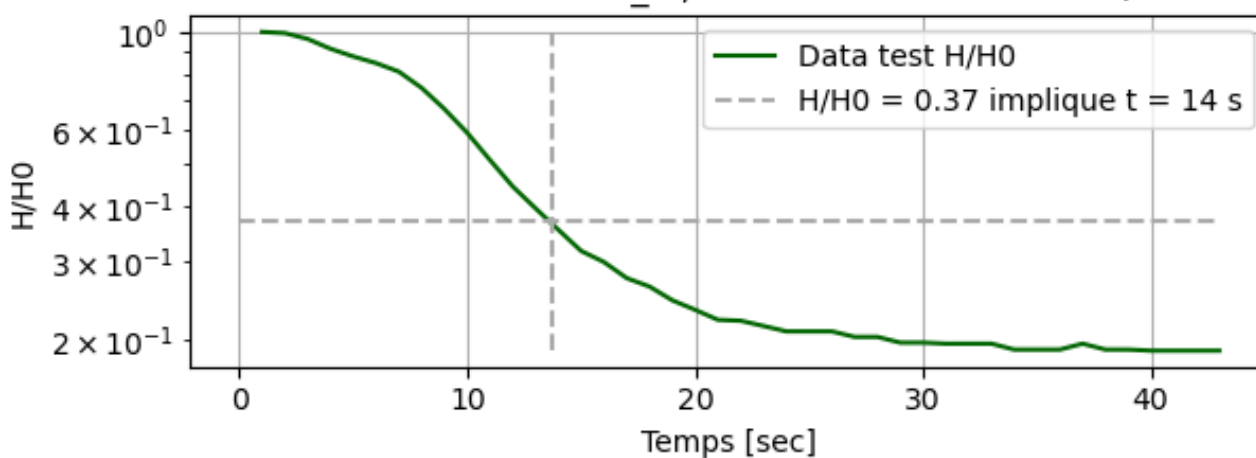
Données de base

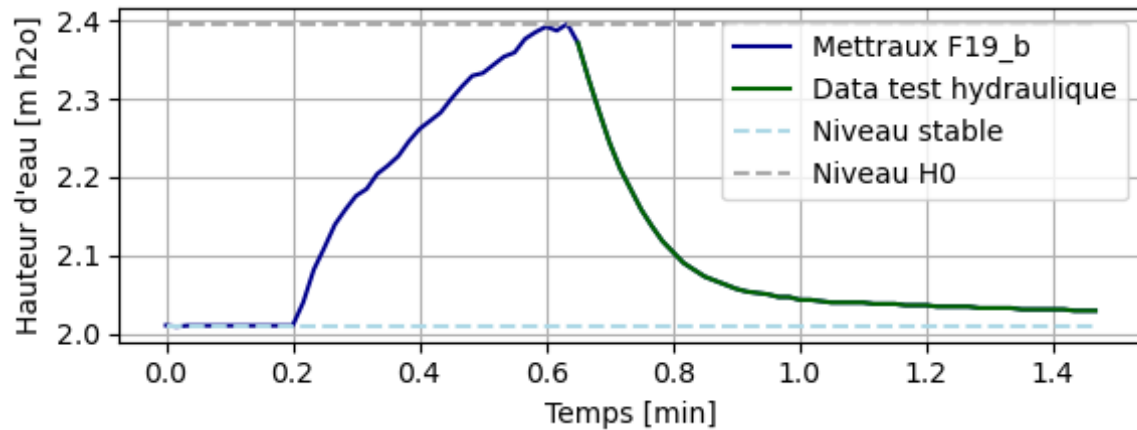


Interprétation

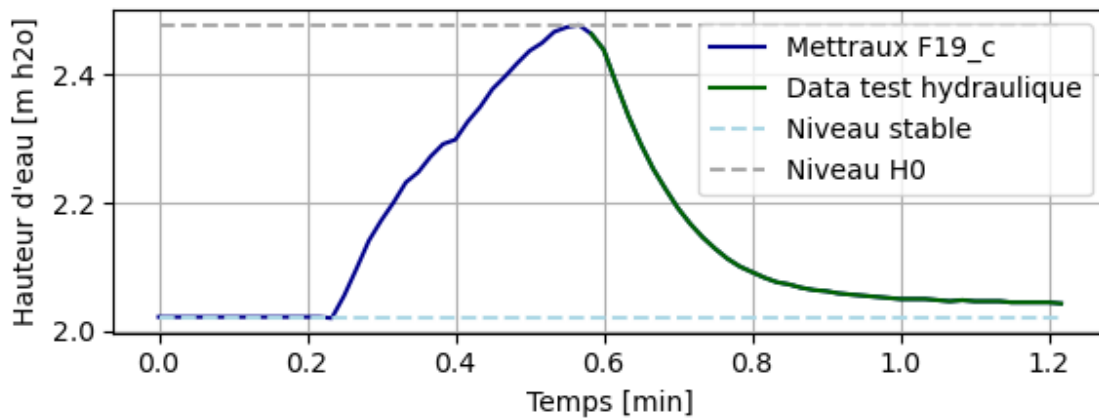
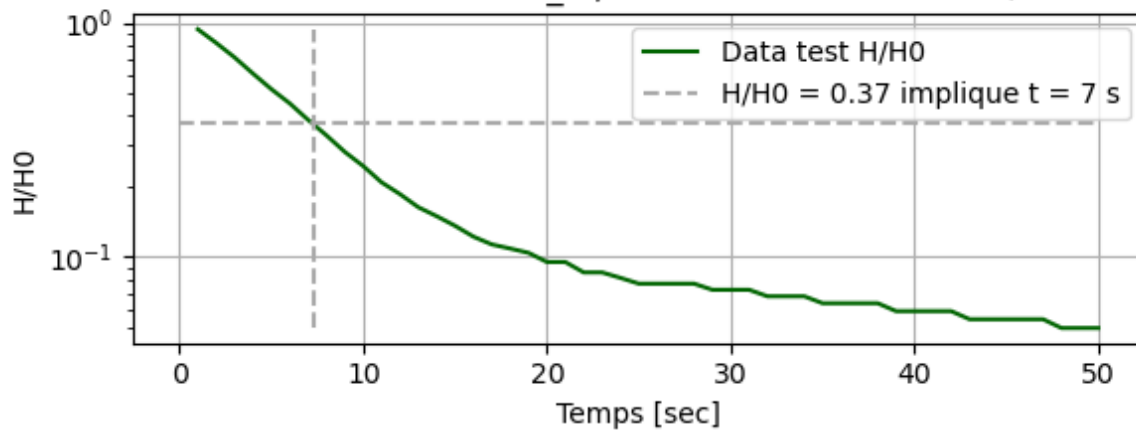


Test 'Mettraux F19_a', K estimé = $7.71e-04$ m/s

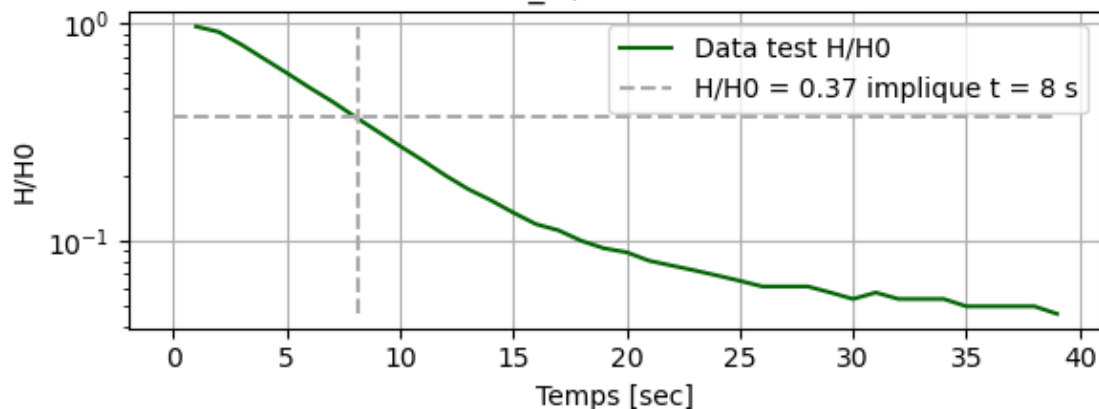




Test 'Mettraux F19_b', K estimé = $1.44e-03$ m/s

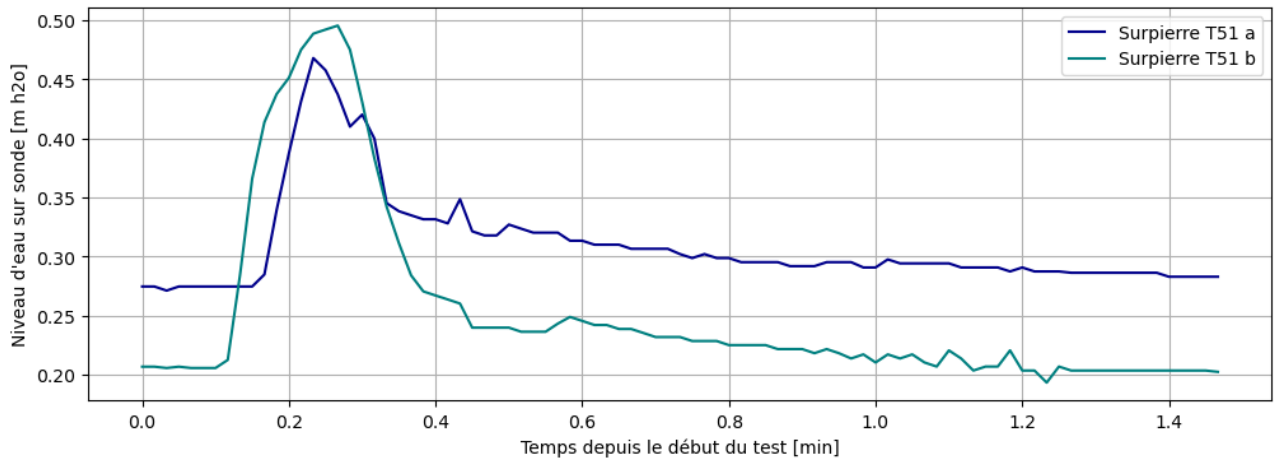


Test 'Mettraux F19_c', K estimé = $1.30e-03$ m/s

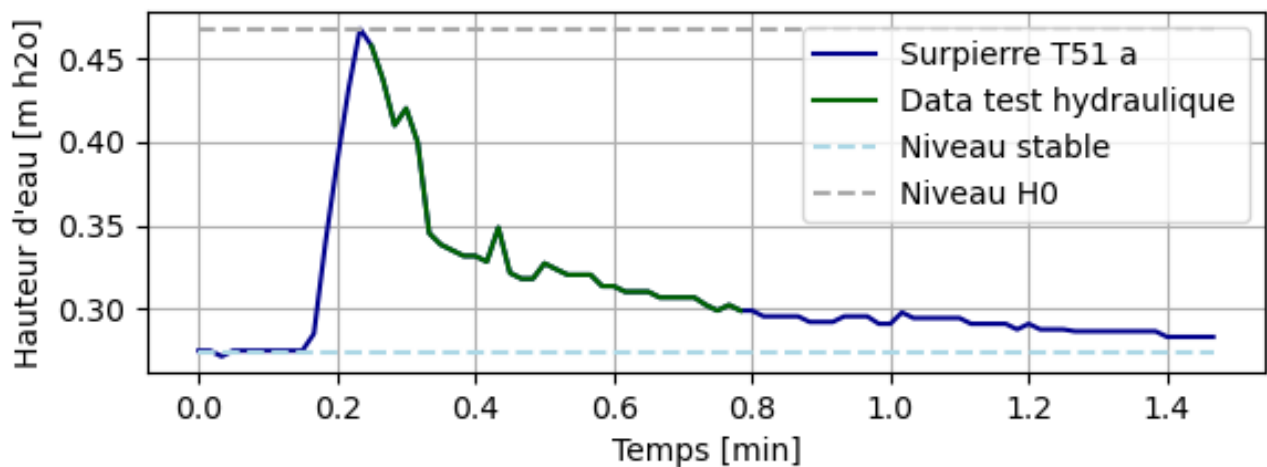


Surpierre T51

Données de base



Interprétation



Test 'Surpierre T51 a', K estimé = 6.75×10^{-5} m/s

