

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Rapports annuels de suivi de la ressource en eau des trois dernières années, bureau d'études SAFEGE-SUEZ, 2022-2023-2024

Annexe 2 : Rapport de contrôle de subsidence, IGN, 2022

Annexe 3 : Rapport de contrôle de la stabilité des cavités, F. HADJ-HADSSSEN, 2016

Annexe 4 : Note relative à la maîtrise foncière des terrains de CHLORALP

Annexe 5 : Note technique STORENGY, 2026 (annexée dès réception)

Annexe 6 : Courrier du 20/01/2026 de PTT GC à l'attention du Ministère de l'Economie, des Finances et de la Souveraineté industrielle, énergétique et numérique

Annexe 7 : Courrier du 20/02/2026 du Ministère chargé de l'Industrie à l'attention de PTT GC

**ANNEXE 1 : RAPPORTS ANNUELS DE SUIVI DE LA RESSOURCE EN
EAU DES TROIS DERNIERES ANNEES, BUREAU D'ETUDES
SAFEGE-SUEZ, 2022-2023-2024**



SALINE DE HAUTERIVES

Surveillance de la Galaure
Surveillance de la
nappe de la molasse

RAPPORT ANNUEL 2022

TABLE DES MATIERES

1 PREAMBULE	7
2 PRELEVEMENT EN EAU DOUCE DE LA SALINE CHLORALP	8
2.1 Les ouvrages	8
2.2 Prélèvements 2021 et historique	10
2.3 Répartition des prélèvements 2021	12
3 CONTEXTE METEOROLOGIQUE 2021	13
3.1 Données utilisées	13
3.2 Période de référence météorologique	13
3.3 Situation pluviométrique 2021	14
4 SUIVI DE LA NAPPE DE LA MOLASSE.....	16
4.1 Cadre du suivi.....	16
4.2 Observations - Influences	17
5 SUIVI DE LA NAPPE DES ALLUVIONS	19
6 DEBIT DE LA GALAURE ANNEE 2021	21
6.1 Contexte général St-Uze.....	21
6.2 Suivi de la Galaure au droit du site.....	21
7 QUALITE DES EAUX DE LA MOLASSE	25

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Localisation des points de référence	9
Figure 2 : Suivi des forages M1, M2 et des puits T8 T9 et T10.....	18
Figure 3 : Evolution des puits T de la nappe alluviale.....	20
Figure 4 : Débit de la Galaure à St-Uze	22
Figure 5 : Relation pluie débit Galaure à St-Uze	23
Figure 6 : Suivi comparé du niveau puits T10 et aux stations Massetières amont et HA10/HA11 aval	24
Figure 7 : Suivi Niveau-Débit du forage M1.....	28
Figure 8 : Suivi Niveau-Débit du forage M2.....	29
Tableau 1 : Répartition interannuelle des prélèvements de la saline.....	11
Tableau 2 : Répartition mensuelle des débits pompés.....	12
Tableau 3 : Pluviométrie 2021	15
Tableau 4 : Evolution du niveau des puits T de la nappe alluviale	19
Tableau 5 : Résultats du contrôle de qualité des eaux des forages.....	26

RESUME

En 2022 les prélèvements en eau douce de la saline CHLORALP à Hauterives s'élèvent à 687 753 m³, similaires à ceux de 2021 (-3%).

Ces prélèvements de 2022 représentent seulement \approx 39% de la consommation moyenne des années 2001 à 2006.

La part des eaux pompées dans l'aquifère molassique miocène par les forages M1 et M2 représente \approx 78% du prélèvement sur cette année 2022 soit 539 647 m³.

Le prélèvement dans la nappe alluviale de la Galaure est de 148 106 m³ soit \approx 22% en moyenne annuelle.

Durant les mois de août à octobre, aucun prélèvement n'a été réalisé dans la nappe alluviale. Le besoin étant couvert à 100% par la ressource de la molasse. En juillet le débit prélevé dans les alluvions est de 16 229 m³, soit 6,3 l/s et 23% de la consommation de la saline.

Avec seulement 20% de déficit, la pluviométrie de l'année 2022 s'est avérée au total moins déficitaire qu'en première impression mais très contrastée : l'essentiel de la pluie s'est concentré sur les mois de août à décembre, les mois de janvier à juillet s'étant avérés très déficitaires : -55% par rapport aux normales.

Les niveaux des puits T varient peu et sont dans le haut des limites interannuelles. La période estivale montre des points bas en juillet et un début de remontée dès août avec les pluies.

T10 montre une baisse estivale plus marquée qu'en 2021, se prolongeant jusqu'à fin octobre.

La remontée correspondant aux premières pluies importantes.

Aucun indice de surexploitation n'est observable sur les alluvions.

La nappe de la molasse :

- ◆ M1 a été en arrêt pour entretien à partir de début novembre et a permis une remontée complète ;
Le niveau suivi sur M1, présente un niveau stable en début de l'année et reconstitué en décembre aucun signe de surexploitation depuis 1997 ;
- ◆ Suivie sur M2 peu exploitée, est stable sur l'année ;
- ◆ Suivi sur T10 à partir de juillet montre une baisse estivale de plus de 1 m corrélée à la baisse de la nappe alluviale.
Cette influence n'est pas imputable à l'activité industrielle, les niveaux de fin 2022 remontent avec les pluies.

Aucune influence de l'exploitation du forage M1 ou M2 n'est mesurable sur T10.

1

Préambule

Le présent rapport constitue la synthèse des données acquises en 2022 dans le cadre du suivi des ressources en eau douce de la saline VENCOREX de Hauterives.

Ces dispositions de contrôle résultent du respect par VENCOREX des dispositions de l'article 21 de l'Arrêté préfectoral d'autorisation n°21-27 du 26 mai 1997 autorisant la réalisation et l'exploitation du forage M1 prélevant sa ressource dans l'aquifère profond de la molasse et de l'Arrêté préfectoral d'autorisation n°10-3179 du 30 juillet 2010 autorisant la réalisation et l'exploitation du forage M2.

Ce rapport annuel clôture une année calendaire complète de janvier à décembre 2022.

En 2022 les systèmes d'acquisition ont fonctionné de manière optimale :

Mesure du forage T10 :

Suivi numérique, année complète

Mesure station Massetières :

Suivi numérique, année complète

Mesure station HA10/HA11 :

Suivi numérique, année complète

Mesure forage M1 :

Suivi numérique, année complète

Mesure forage M2 :

Suivi numérique, année complète

La série présente des mesures anomaliques entre le 5/6 9h47 et le 15/6 10h47
Les valeurs correspondantes n'ont pas été représentées

Forages de la nappe alluviale T8 et T9 :

Ces ouvrages, suivi manuellement, sont maintenant inclus dans un nouveau lotissement. Ils ne peuvent plus être relevés

Prélèvement en eau douce de la saline Chloralp

2.1 Les ouvrages

En 2022 la saline CHLORALP de Hauterives s'est approvisionnée en eau douce à partir du forage profond M1 captant la nappe de la molasse et des puits de la nappe alluviale de la Galaure T1 à T7 et T11 à T14 et du forage M2 captant la molasse.

Les prélèvements en nappe ont été réalisés :

- ✓ Essentiellement sur le forage profond **M1** captant la nappe de la molasse ;
- ✓ Les puits de la nappe alluviale de la Galaure **T1 à T7 et T11 à T14**.
- ✓ **M2** captant a molasse fonctionne en complément.

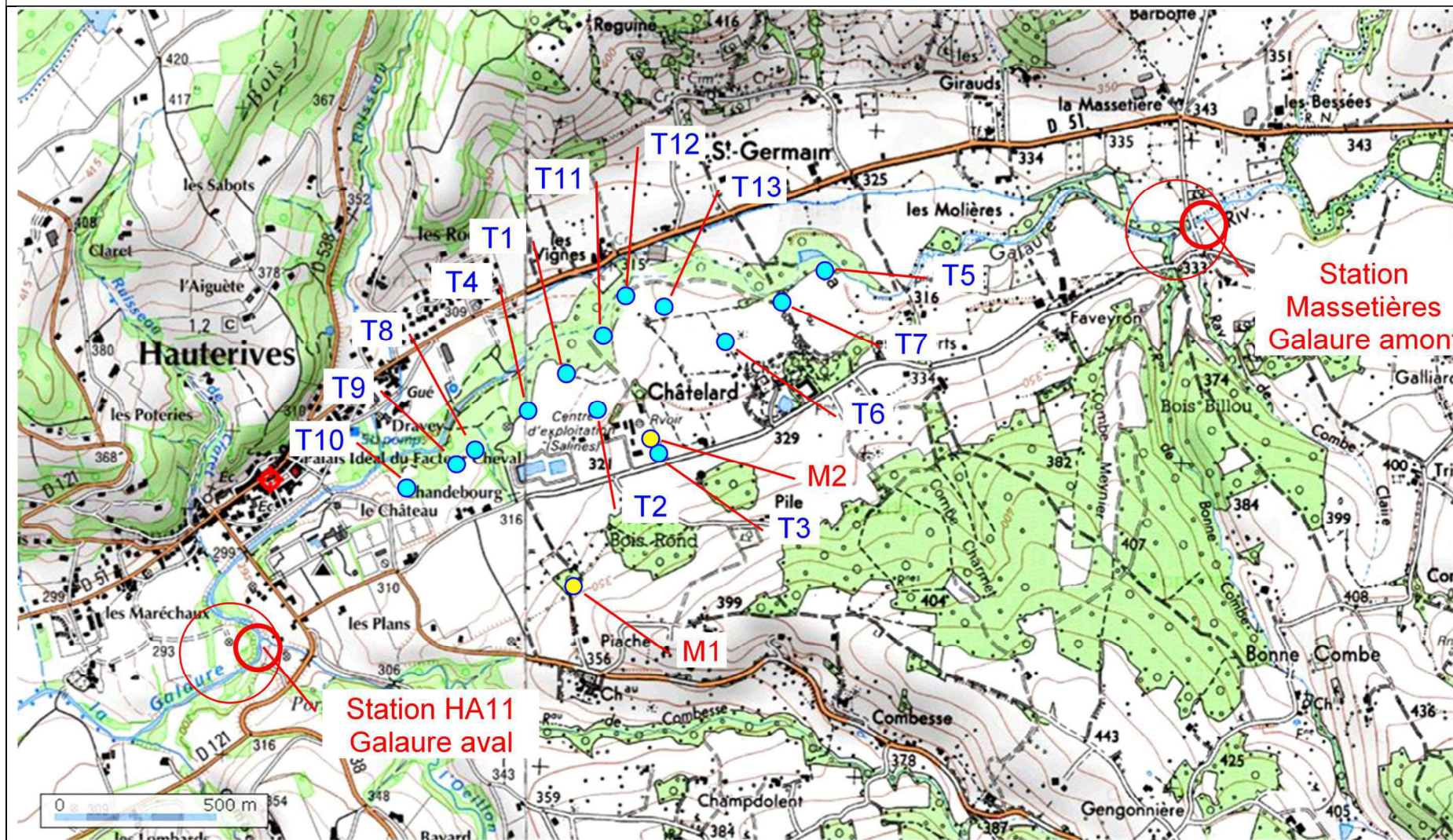
Le forage **M1**, réalisé en 1997, est exploité en 2022 de janvier à octobre. L'ouvrage a été à l'arrêt en novembre décembre pour entretien. De janvier à octobre, il a été exploité en moyenne 11h15 par jour, à un débit moyen de 99,5 m³/h, compris entre 81 et 119 m³/h. Le rabattement est compris, en fonction du débit,, entre 12 et 17 m ;

Le forage **M2**, réalisé en 2010, a été plus exploité en 2022, notamment en fin d'année pour compenser l'arrêt de M1 en travaux : 5 h 40 par jour en moyenne pour un débit moyen de 114 m³/h. L'ouvrage fonctionne à débit variable, entre un minimum à 80 m³/h et des pointes à 168 m³/h. Le rabattement varie de 7 à 9 m à 160 m³/h.

Les prélèvements dans la nappe alluviale sur les ouvrages T s'effectuent à la demande, en complément des forages M1. Les puits sont sélectionnés en fonction des besoins et de leurs potentialités. Il n'y a pas de programmation rigide.

Les ouvrages d'eau douce de la saline sont localisés sur la figure de la page suivante.

Figure 1 : Localisation des points de référence



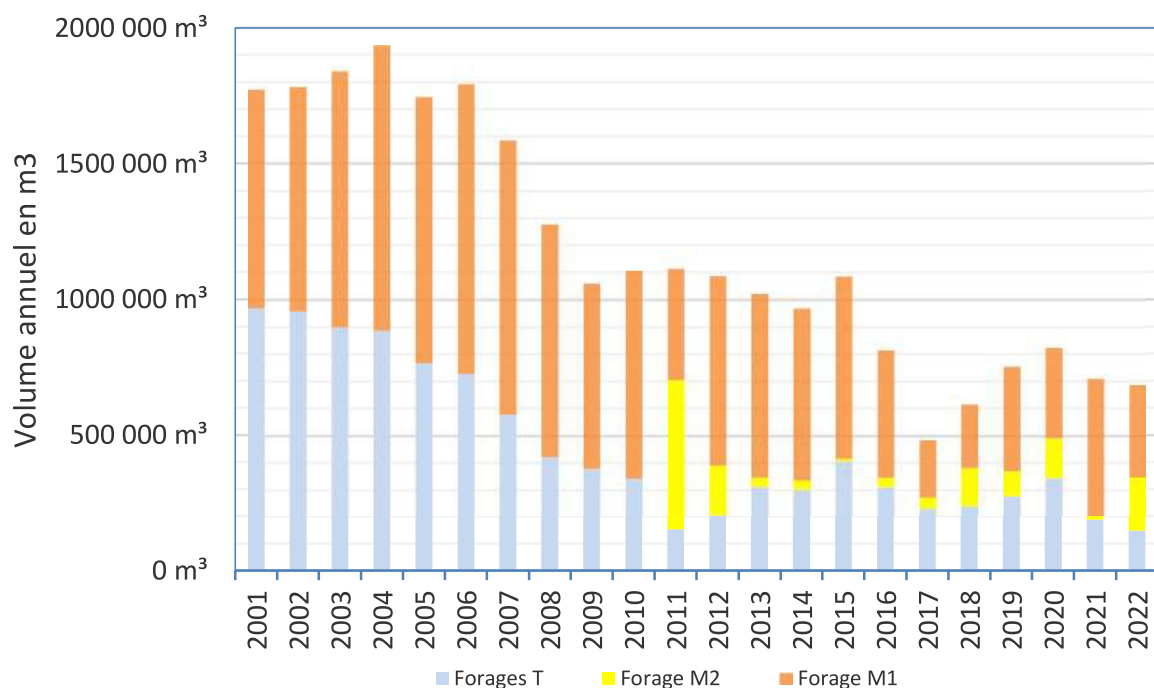
2.2 Prélèvements 2022 et historique

La production de saumure est en 2022 directement issue de la fourniture d'eau par la saline :

- ✓ La consommation en eau douce de la saline pour la confection de saumure en 2022 est en légère baisse par rapport à l'année 2021 : -3% ;
- ✓ La consommation d'eau douce de 2022 représente maintenant moins de 40% de la consommation moyenne des années 2001 à 2006 (1 800 000 m³) ;
- ✓ Pour 2022, la molasse a fourni 78% du débit total, à raison de 63% par le forage M1 et 47% par le forage M2 ;
- ✓ L'évolution des consommations annuelles depuis 2001 est donné page suivante.
Ce tableau détaille la répartition des origines des eaux consommées, entre les forages à la molasse, M1, M2, et les ouvrages T de la nappe alluviale ;
- ✓ Durant les mois d'étiage estival de 2022, de août à septembre, le prélèvement s'est fait uniquement dans la nappe de la molasse, avec un prélèvement nul dans la nappe alluviale.
La part fournie par les alluvions est de 23% en juillet, soit 6,1 l/s.

Tableau 1 : Répartition interannuelle des prélèvements de la saline

Années	M1	M2	Puits T	Total	Part molasse
2001	803 770 m ³	Non existant	968 215 m ³	1 771 985 m ³	45%
2002	824 720 m ³		956 992 m ³	1 781 712 m ³	46%
2003	939 291 m ³		900 030 m ³	1 839 321 m ³	51%
2004	1 047 233 m ³		886 568 m ³	1 933 801 m ³	54%
2005	980 011 m ³		765 498 m ³	1 745 509 m ³	56%
2006	1 065 330 m ³		726 801 m ³	1 792 131 m ³	59%
2007	1 008 739 m ³		577 280 m ³	1 586 019 m ³	64%
2008	855 190 m ³		421 712 m ³	1 276 902 m ³	67%
2009	679 896 m ³		378 933 m ³	1 058 827 m ³	64%
2010	763 812 m ³	En création	343 186 m ³	1 106 998 m ³	69%
2011	408 643 m ³	553 302 m ³	151 824 m ³	1 113 769 m ³	86%
2012	697 129 m ³	183 000 m ³	207 741 m ³	1 087 870 m ³	81%
2013	675 616 m ³	31 724 m ³	313 864 m ³	1 021 204 m ³	69%
2014	629 553 m ³	36 216 m ³	301 020 m ³	966 789 m ³	69%
2015	669 699 m ³	11 130 m ³	405 391 m ³	1 086 220 m ³	63%
2016	468 166 m ³	33 646 m ³	312 070 m ³	813 882 m ³	62%
2017	210 971 m ³	40 121 m ³	232 528 m ³	483 620 m ³	52%
2018	234 653 m ³	140 512 m ³	240 817 m ³	615 982 m ³	61%
2019	384 451 m ³	91 493 m ³	278 072 m ³	754 016 m ³	63%
2020	333 173 m ³	145 674 m ³	344 732 m ³	823 579 m ³	58%
2021	504 425 m ³	16 742 m ³	187 758 m ³	708 925 m ³	74%
2022	341 402 m ³	198 245 m ³	148 106 m ³	687 753 m ³	78%

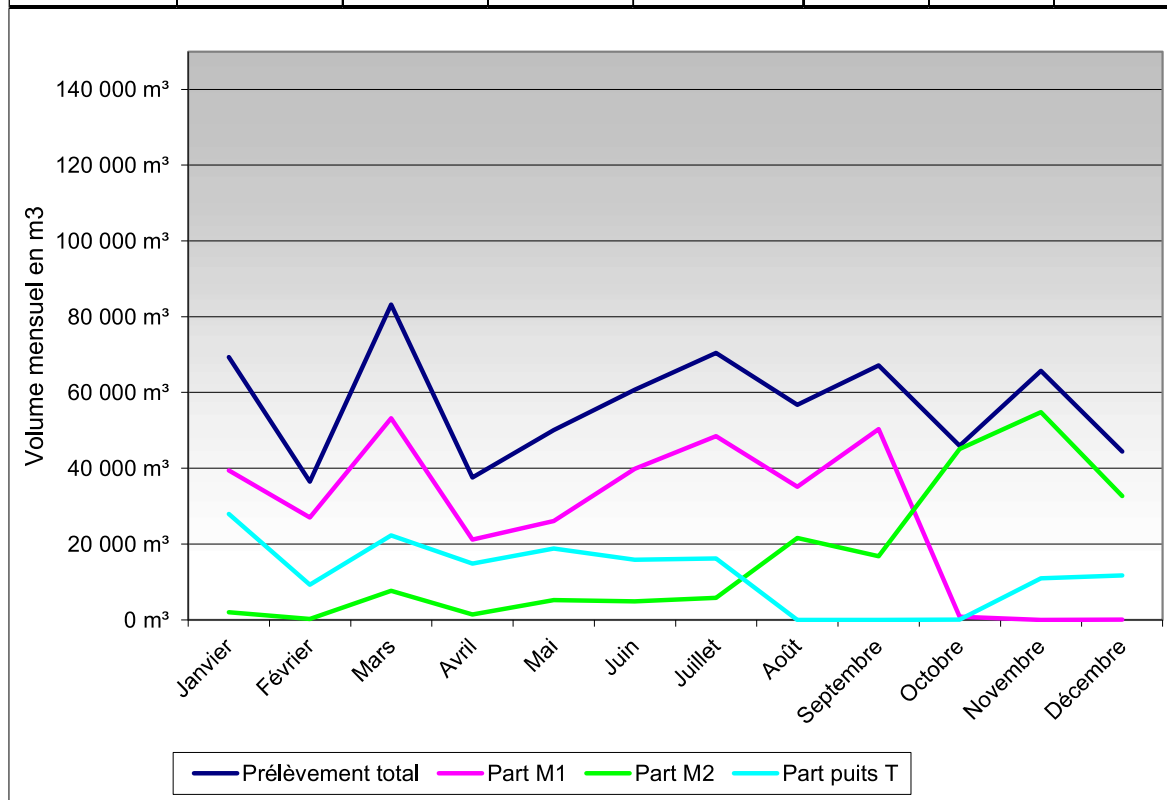


✓ Répartition des prélèvements 2021

La répartition mensuelle des consommations 2021 est la suivante :

Tableau 2 : Répartition mensuelle des débits pompés

Année 2022	Totalité	M1	M2	Total des puits T	Part M1	Part M2	Part molasse
Janvier	69 353 m ³	39 362 m ³	2 045 m ³	27 946 m ³	57%	3%	60%
Février	36 472 m ³	26 984 m ³	182 m ³	9 306 m ³	74%	0%	74%
Mars	83 209 m ³	53 206 m ³	7 696 m ³	22 307 m ³	64%	9%	73%
Avril	37 569 m ³	21 239 m ³	1 425 m ³	14 905 m ³	57%	4%	60%
Mai	50 113 m ³	26 053 m ³	5 246 m ³	18 814 m ³	52%	10%	62%
Juin	60 676 m ³	39 855 m ³	4 927 m ³	15 894 m ³	66%	8%	74%
Juillet	70 482 m ³	48 459 m ³	5 794 m ³	16 229 m ³	69%	8%	77%
Août	56 739 m ³	35 122 m ³	21 617 m ³	0 m ³	62%	38%	100%
Septembre	67 083 m ³	50 297 m ³	16 786 m ³	0 m ³	75%	25%	100%
Octobre	45 927 m ³	804 m ³	45 105 m ³	18 m ³	2%	98%	100%
Novembre	65 685 m ³	4 m ³	54 759 m ³	10 922 m ³	0%	83%	83%
Décembre	44 445 m ³	17 m ³	32 663 m ³	11 765 m ³	0%	73%	74%
Total 2022	687 753 m³	341 402 m³	198 245 m³	148 106 m³	50%	29%	78%



Contexte météorologique 2021

3.1 Données utilisées

VENCOREX dispose d'une chronique pluviométrique locale acquise sur son poste installé à la Saline.

La chronique a été comparée pour validation en 1999 à la chronique relevée par Météo-France à la station de St-Sorlin en Valloire. Les valeurs locales mesurées par CHLORALP étant représentatives de la pluviométrie générale, le protocole de mesure et la chronique constituée sont validés.

Les données journalières utilisées sont celles de la station de la saline.

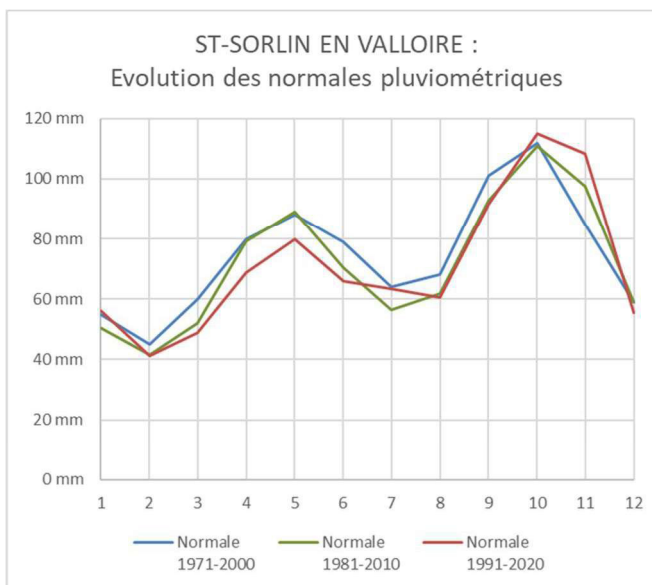
3.2 Période de référence météorologique

Pour situer la période de suivi, les relevés pluviométriques à la saline sont comparés aux normales de la station de Saint-Sorlin en Valloire.

Normales des années 1971-2000, jusqu'à présent.

Les normales sont revues chaque décennie et les normales en vigueur ont évolué, mais de manière limitée :

	Normale 1971-2000	Normale 1981-2010	Normale 1991-2020
Janvier	55.0 mm	50.4 mm	56.1 mm
Fevrier	45.0 mm	41.4 mm	41.2 mm
Mars	60.0 mm	51.9 mm	48.7 mm
Avril	80.0 mm	79.1 mm	68.8 mm
Mai	88.0 mm	88.9 mm	79.9 mm
Juin	79.0 mm	70.3 mm	66.0 mm
Juillet	64.0 mm	56.3 mm	63.3 mm
Aout	68.0 mm	61.9 mm	60.4 mm
Septembre	101.0 mm	93.0 mm	91.5 mm
Octobre	112.0 mm	110.9 mm	115.1 mm
Novembre	85.0 mm	97.5 mm	108.3 mm
Decembre	59.0 mm	59.0 mm	55.6 mm
TOTAL	896.0 mm	860.6 mm	854.9 mm



La comparaison du présent rapport porte sur la normale 1991-2020.

3.3 Situation pluviométrique 2022

Les situations antérieures indiquaient :

- La période depuis 2012 a été excédentaire 6 années sur 8. L'année 2016 proche de la normale et l'année 2017 nettement déficitaire avec une pluie inférieure de 31% par rapport à la normale.
L'année 2020 s'étaient, avec une lame de 608 mm, marquée par un fort déficit.
- L'année 2020 s'étaient, avec une lame de 608 mm, marquée par un fort déficit.
- L'année 2021 s'est révélée très excédentaire de 13 % avec une lame de 1 010.5 mm masquant une année marquée par des extrêmes selon un rythme atypique :
 - 7 mois sur 12 fortement déficitaires y compris septembre à novembre ;
 - Des mois fortement excédentaires : janvier, mai à juillet et décembre.
- L'année 2022 se révèle déficitaire de 20% avec 687.5 mm en 2 périodes :
 - Un premier semestre de janvier à juillet représentant 45% de la normale ;
 - et un second semestre normal à excédentaire +15% au total.

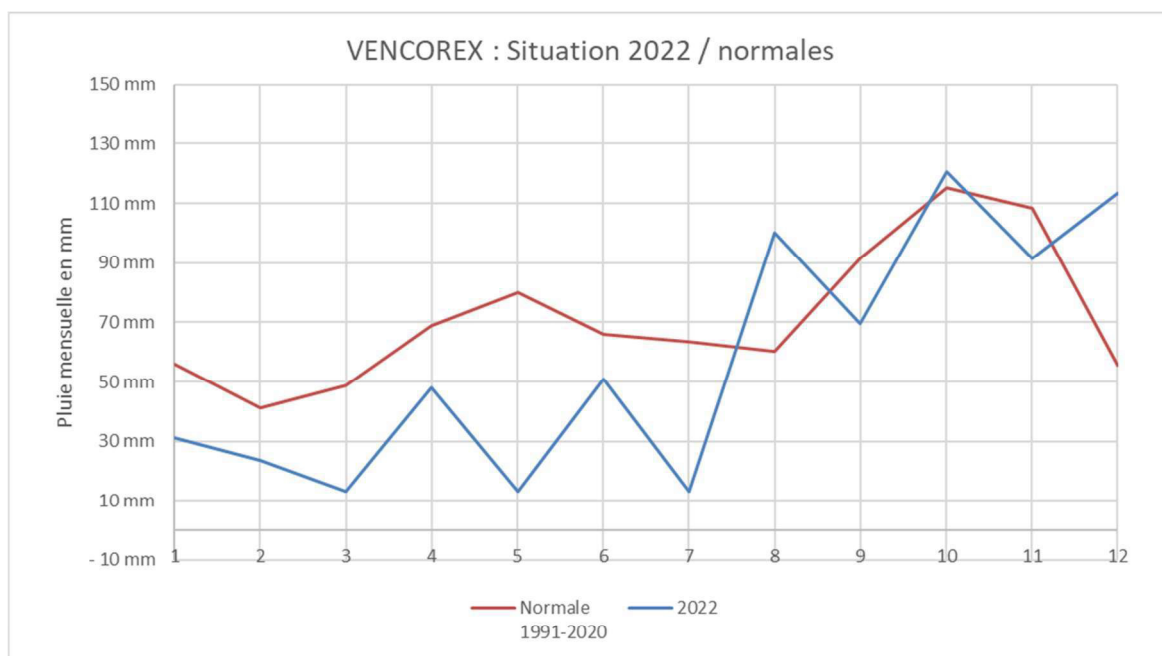


Tableau 3 : Pluviométrie 2021

	Normale 1991-2020	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Ecart
Janvier	56.1 mm	76.5 mm	65.5 mm	148.5 mm	103.6 mm	93.0 mm	25.0 mm	133.5 mm	26.5 mm	28.0 mm	81.5 mm	31.0 mm	-44.7%
Fevrier	41.2 mm	2.5 mm	51.5 mm	145.0 mm	82.0 mm	61.0 mm	36.5 mm	36.5 mm	80.0 mm	13.0 mm	40.5 mm	23.5 mm	-43.0%
Mars	48.7 mm	37.0 mm	85.0 mm	16.0 mm	62.0 mm	79.0 mm	58.0 mm	84.5 mm	26.5 mm	51.0 mm	26.5 mm	13.0 mm	-73.3%
Avril	68.8 mm	113.0 mm	136.0 mm	32.0 mm	75.0 mm	64.0 mm	25.0 mm	68.0 mm	77.0 mm	14.0 mm	54.0 mm	48.0 mm	-30.2%
Mai	79.9 mm	75.5 mm	151.0 mm	67.5 mm	58.0 mm	126.0 mm	98.0 mm	139.0 mm	69.5 mm	67.0 mm	159.0 mm	13.0 mm	-83.7%
Juin	66.0 mm	70.0 mm	28.5 mm	34.0 mm	97.0 mm	78.0 mm	60.0 mm	99.0 mm	75.0 mm	61.5 mm	100.0 mm	51.0 mm	-22.7%
Juillet	63.3 mm	46.0 mm	50.5 mm	130.0 mm	4.0 mm	54.0 mm	28.5 mm	26.0 mm	42.0 mm	23.0 mm	123.5 mm	13.0 mm	-79.5%
Aout	60.4 mm	66.5 mm	84.0 mm	54.5 mm	37.0 mm	41.0 mm	68.0 mm	40.0 mm	49.0 mm	26.0 mm	54.5 mm	100.0 mm	+65.6%
Septembre	91.5 mm	115.0 mm	129.0 mm	104.5 mm	214.5 mm	39.0 mm	47.0 mm	8.5 mm	41.0 mm	32.5 mm	75.0 mm	69.5 mm	-24.0%
Octobre	115.1 mm	63.5 mm	242.0 mm	137.0 mm	96.5 mm	125.5 mm	8.5 mm	81.5 mm	174.5 mm	130.5 mm	105.0 mm	120.5 mm	+4.7%
Novembre	108.3 mm	195.0 mm	114.5 mm	205.5 mm	37.0 mm	101.0 mm	81.0 mm	123.5 mm	190.0 mm	26.0 mm	71.0 mm	91.5 mm	-15.5%
Decembre	55.6 mm	46.5 mm	110.0 mm	3.0 mm	27.0 mm	10.0 mm	79.0 mm	63.0 mm	76.0 mm	136.0 mm	120.0 mm	113.5 mm	+104.1%
TOTAL	854.9 mm	907.0 mm	1 247.5 mm	1 077.5 mm	893.6 mm	871.5 mm	614.5 mm	903.0 mm	927.0 mm	608.5 mm	1 010.5 mm	687.5 mm	
		+1%	+39%	+20%	-0%	-3%	-28%	+6%	+8%	-29%	+18%	-20%	

4

Suivi de la nappe de la molasse

4.1 Cadre du suivi

Un graphe comparatif des cotes de nappe est établi avec les mesures de M1 et M2, les mesures manuelles de T8 T9 et les mesures automatiques de T10.

Les ouvrages M1, M2 et T10 sont suivis en continu.

- ✓ Sur **M1** suivi en continu, au pas de 1 mesure / 5 minutes ;
Continu, année complète

- ✓ Sur **M2** suivi en continu, au pas de 1 mesure / 5 à 6 minutes.
Continu, année complète ;

- ✓ Sur **T10** en continue, au pas de 1 mesure / 5 minutes.
Continu, année complète

- ✓ Les mesures de **T8** et **T9** sont manuelles au pas mensuel.
Les puits T8 et T9 sont inaccessibles en raison de la construction d'un lotissement.

4.2 Observations - Influences

T10, le plus superficiel, montre une année à faible variation. Moins de 1.0 m, entre le plus bas à 294,88 m NGF le 1^{er} janvier 2021 et le plus haut à 295,67 m NGF le 17 décembre 2021.

Sous l'effet des pluies de mai à juillet, 2021 est marqué par l'absence d'étiage estival.

La baisse de niveau estivale a été plus marquée, 1 m plus bas qu'en 2021

M1 fonctionne plus régulièrement. L'ouvrage a été arrêté à partir du 8 octobre pour entretien.

A cette occasion la mesure de niveau a été vérifiée et recalée en cote par des mesures sur la période 26/11, 5/12.

L'ensemble de la chronique annuelle 2022 a été recalée.

Le niveau pendant la période d'arrêt de novembre-décembre, (Figure 7), s'établissait vers 293,1 / 293,65 m NGF.

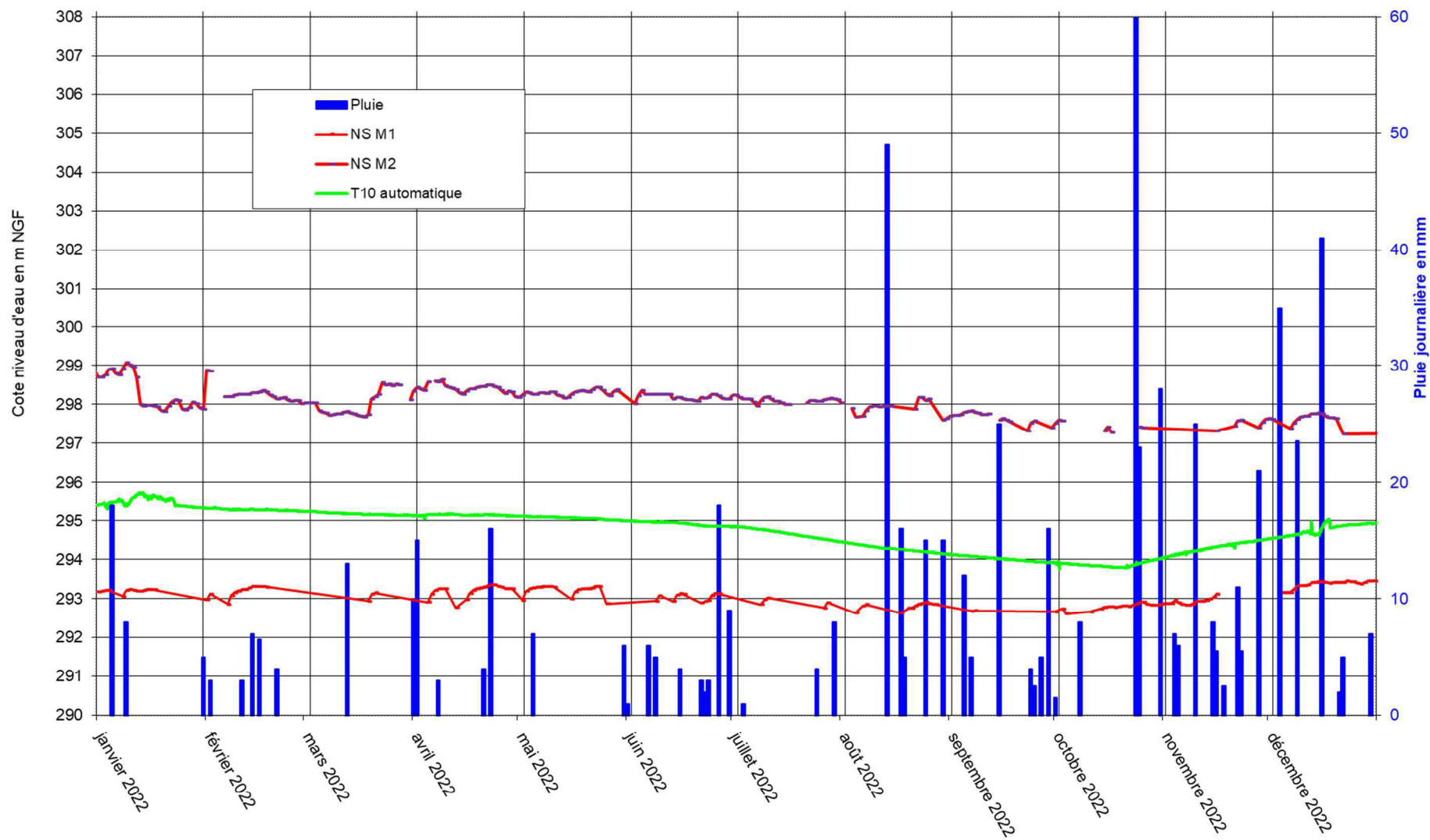
Durant la période estivale les niveaux piézométriques ont légèrement fléchis, 0,5 m environ, avant de remonter en fin d'année .

M2 a été exploité en 2022 à 198 245 m³ (pour seulement 16 740 m³ en 2021). Les niveaux hauts constituent un niveau statique représentatif (Figure 8). Le graphe montre un niveau statique autour de 298,10 m. Une légère déflexion est visible de août à octobre. Cette influence est très faible.

La nappe n'est pas surexploitée. Les niveaux au repos sont remarquablement stables depuis la mise en exploitation des ouvrages M1 et M2.

Aucune influence de M1/M2 n'est observable sur T10.

Figure 2 : Suivi des forages M1, M2 et des puits T8 T9 et T10



5

Suivi de la nappe des alluvions

Les données sont acquises mensuellement par VENCOREX avec une sonde électrique.

Le graphe de l'évolution des niveaux, établi avec ces valeurs, montre, pour les ouvrages non exploités, une grande stabilité de la nappe alluviale.

Les mesures sont réalisées de préférence hors pompage. Il n'y a pas de marques de remontées incomplètes.

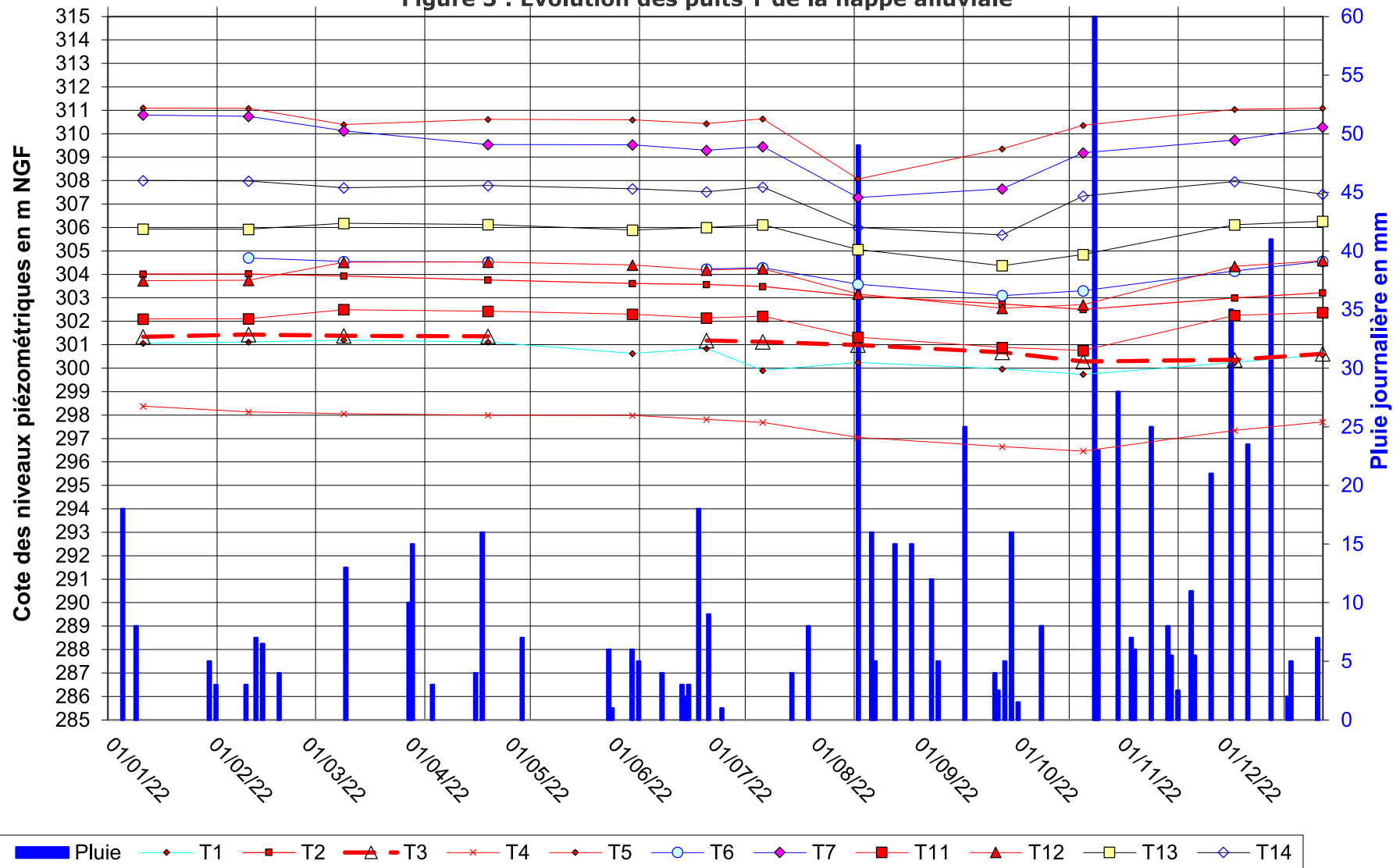
Tableau 4 : Evolution du niveau des puits T de la nappe alluviale

Ouvrage	Cote repère	Variation 2022	Variation historique	Remarques Rapport aux situations antérieures
T1	306.55 m	299.7 / 301.2 m	298.5 / 301.3 m	2022 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans les plus hauts
T2	311.57 m	302.5 / 304.0 m	302.6 / 304.7 m	2022 : Peu de variation annuelle Interannuel : Dans la plage
T3	322.87 m	300.3 / 301.4 m	300.6 / 302.0 m	2022 : Peu de variation annuelle Interannuel : un plus bas interannuel
T4	304.15 m	296.5 / 298.4 m	296.3 / 298.5 m	2022 : Variation annuelle marquée, 2 m Interannuel : Variation estivale marquée
T5	316.26 m	308.1 / 311.1 m	310.9 / 311.4 m	2022 : Variation estivale marquée Interannuel : un plus bas interannuel
T6	315.35 m	303.1 / 304.7 m	303.0 / 304.9 m	2022 : Peu de variation annuelle Interannuel : stable hors l'étiage
T7	314.76 m	307.3 / 310.8 m	306.8 / 311.2 m	2022 : Variation estivale marquée Interannuel : Nouveau plus haut
T11	307.88 m	300.8 / 302.5 m	300.8 / 303.7 m	2022 : Peu de variation annuelle Interannuel : stable hors l'étiage
T12	311.20 m	302.6 / 304.6 m	302.5 / 304.8 m	2022 : Peu de variation annuelle Interannuel : stable hors l'étiage
T13	310.73 m	304.4 / 306.3 m	304.2 / 306.7 m	2022 : Variation estivale marquée Interannuel : stable hors l'étiage
T14	313.21 m	305.7 / 308.0 m	304.8 / 308.2 m	2022 : Variation estivale marquée Interannuel : Dans la plage

2022 est marqué par un point bas estival, surtout début juillet.

Aucune influence des prélèvements de la Saline sur la nappe alluviale de la Galaure n'est perceptible.

Figure 3 : Evolution des puits T de la nappe alluviale



6

Débit de la Galaure Année 2022

6.1 Contexte général St-Uze

L'année 2022 est très déficitaire par rapport aux valeurs de référence :

- ✓ Des débits de la Galaure constamment plus faible que le débit moyen de référence excepté en décembre ;
- ✓ Des débits notablement plus faibles qu'en 2021 ;
- ✓ Des débits moyens estivaux très faibles, à la moitié des débits de référence.

La corrélation pluie de la saline / débit de la station de St-Uze est clairement apparente sur le graphe de la Figure 5, elle confirme la validité des pluies mesurées sur le site.

6.2 Suivi de la Galaure au droit du site

En aval, sur HA10/HA11, le suivi est valide pour toute l'année. L'écoulement y a été nul en période estivale 2022, du 2 juillet au 22 octobre.

Données de débit de la Galaure 2022 à St-Uze :

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Référence	%
Janvier	2.09 m³/s	3.55 m³/s	2.40 m³/s	8.65 m³/s	4.71 m³/s	2.36 m³/s	1.18 m³/s	3.81 m³/s	1.29 m³/s	1.36 m³/s	2.75 m³/s	2.38 m³/s	2.81 m³/s	-15%
Février	1.52 m³/s	1.40 m³/s	2.73 m³/s	7.98 m³/s	4.78 m³/s	2.34 m³/s	1.93 m³/s	2.58 m³/s	3.51 m³/s	1.21 m³/s	2.36 m³/s	1.42 m³/s	2.69 m³/s	-47%
Mars	1.79 m³/s	1.43 m³/s	3.91 m³/s	3.45 m³/s	3.54 m³/s	2.77 m³/s	1.48 m³/s	3.16 m³/s	1.38 m³/s	1.76 m³/s	1.11 m³/s	1.04 m³/s	2.56 m³/s	-59%
Avril	1.05 m³/s	3.47 m³/s	3.92 m³/s	1.63 m³/s	2.92 m³/s	1.82 m³/s	1.14 m³/s	1.78 m³/s	1.59 m³/s	0.78 m³/s	0.93 m³/s	1.34 m³/s	2.67 m³/s	-50%
Mai	0.65 m³/s	2.32 m³/s	5.90 m³/s	1.75 m³/s	2.21 m³/s	2.40 m³/s	1.66 m³/s	1.82 m³/s	1.21 m³/s	1.08 m³/s	3.56 m³/s	0.59 m³/s	2.36 m³/s	-75%
Juin	0.93 m³/s	1.26 m³/s	1.70 m³/s	0.87 m³/s	2.25 m³/s	2.24 m³/s	0.72 m³/s	2.76 m³/s	0.97 m³/s	0.87 m³/s	1.74 m³/s	0.42 m³/s	1.53 m³/s	-72%
Juillet	1.44 m³/s	0.71 m³/s	0.79 m³/s	2.15 m³/s	0.49 m³/s	0.79 m³/s	0.47 m³/s	0.45 m³/s	0.40 m³/s	0.35 m³/s	2.65 m³/s	0.30 m³/s	0.94 m³/s	-68%
Août	0.61 m³/s	0.48 m³/s	0.67 m³/s	1.23 m³/s	0.49 m³/s	0.63 m³/s	0.45 m³/s	0.47 m³/s	0.41 m³/s	0.33 m³/s	0.89 m³/s	0.37 m³/s	0.68 m³/s	-45%
Septembre	0.66 m³/s	0.79 m³/s	0.80 m³/s	1.35 m³/s	2.35 m³/s	0.66 m³/s	0.56 m³/s	0.50 m³/s	0.45 m³/s	0.42 m³/s	0.66 m³/s	0.50 m³/s	1.32 m³/s	-62%
Octobre	0.90 m³/s	0.89 m³/s	5.79 m³/s	3.31 m³/s	1.65 m³/s	1.21 m³/s	0.66 m³/s	0.60 m³/s	1.15 m³/s	0.83 m³/s	2.36 m³/s	0.71 m³/s	2.25 m³/s	-68%
Novembre	1.71 m³/s	4.45 m³/s	4.70 m³/s	7.46 m³/s	1.60 m³/s	2.08 m³/s	0.90 m³/s	1.75 m³/s	3.32 m³/s	0.69 m³/s	1.27 m³/s	1.16 m³/s	2.62 m³/s	-56%
Décembre	2.09 m³/s	2.80 m³/s	4.59 m³/s	2.59 m³/s	1.33 m³/s	1.29 m³/s	2.05 m³/s	2.14 m³/s	4.00 m³/s	2.06 m³/s	4.78 m³/s	2.97 m³/s	2.54 m³/s	+17%

Référence : débit moyen mensuel donné par la Banque Hydro à début 2022

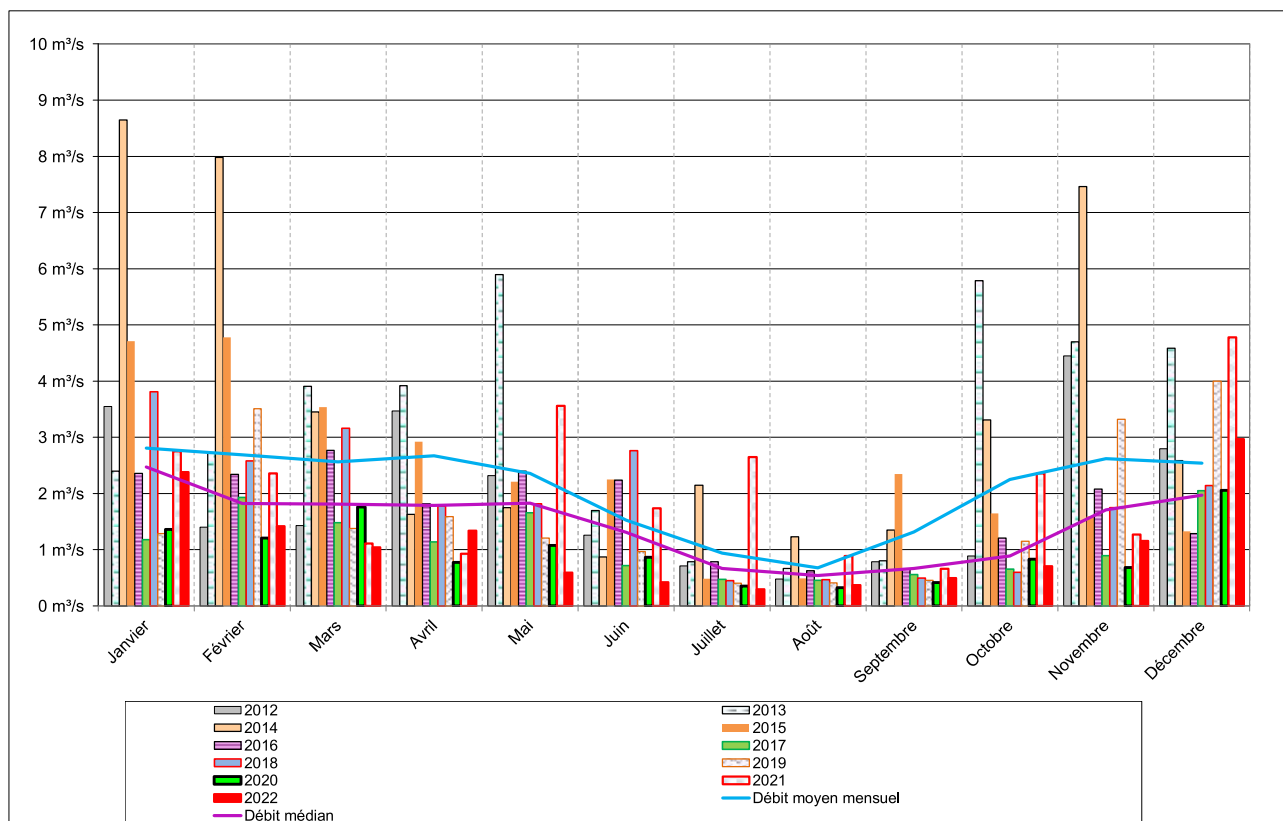


Figure 4 : Débit de la Galaure à St-Uze

Figure 5 : Relation pluie débit Galaure à St-Uze
CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
EVOLUTION DU DEBIT DE LA GALAURE A ST-UZE

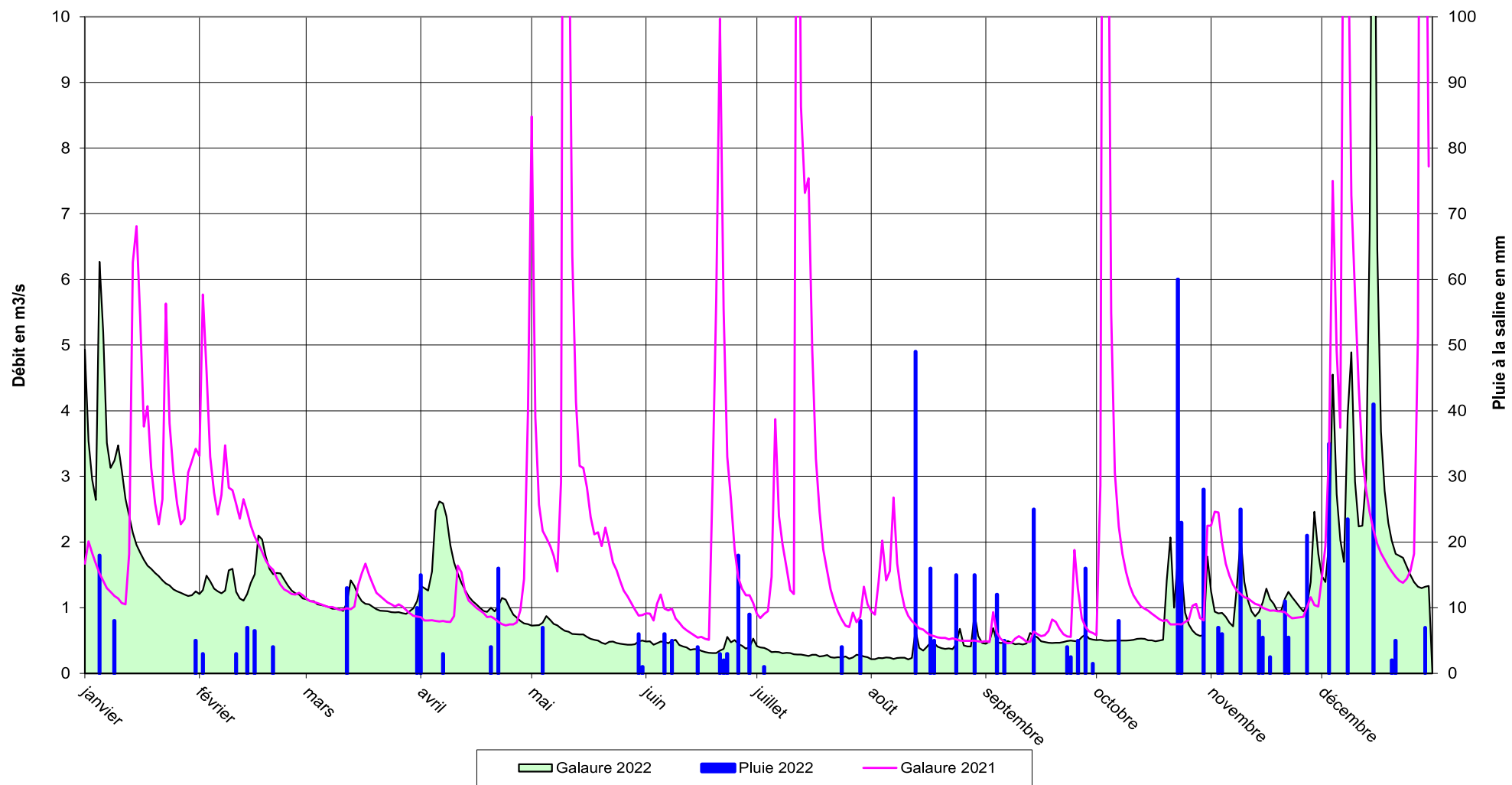
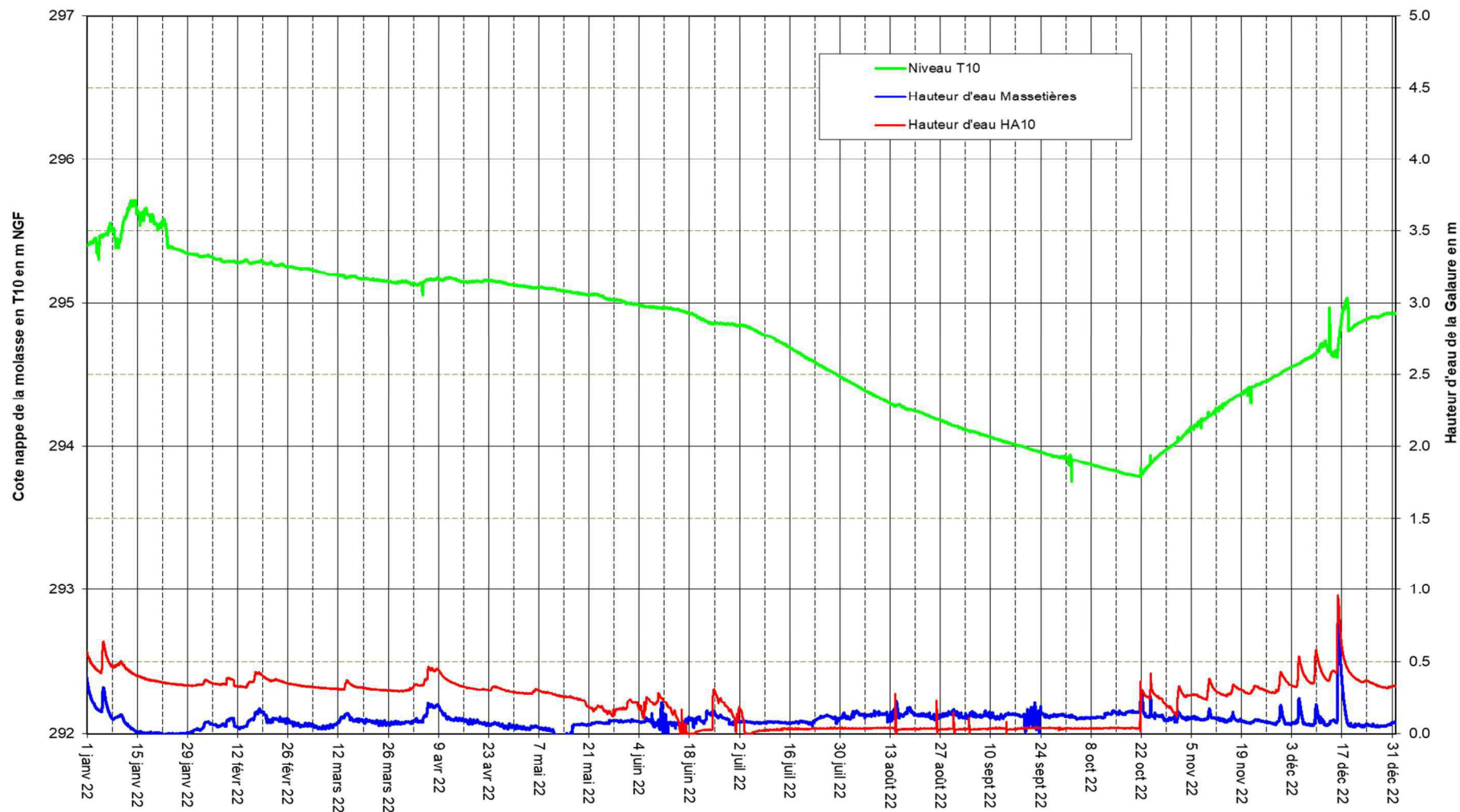


Figure 6 : Suivi comparé du niveau puits T10 et aux stations Massetières amont et HA10/HA11 aval

CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
EVOLUTION DU NIVEAU DE LA GALAURE



7

Qualité des eaux de la molasse

Durant la fin d'année 2022, les ouvrages ont peu ou pas fonctionné. Le prélèvement a donc dû être reporté début 2023 à la reprise de l'exploitation.

Les prélèvements d'eau pour analyse ont été réalisés le 17 janvier 2023 sur chacun des forages M1 et M2.

Les résultats d'analyses par le laboratoire EUROFINS sont les suivants :

- ✓ L'eau captée par M2 est de bonne qualité, peu minéralisée et à faible teneur en nitrates et chlorures. Les hydrocarbures sont absents.
- ✓ L'eau captée par M1 en exploitation est de bonne qualité. L'eau est exempte de nitrates. Les hydrocarbures sont absents.
L'eau captée sur M1 est de minéralisation élevée en chlorures, sodium et calcium. Ces concentrations sont globalement stables en exploitation depuis 2019.

Tableau 5 : Résultats du contrôle de qualité des eaux des forages

Paramètres	Forage M1												Unité de mesure
Date	20/1 2011	28/03 2012	17/12 2012	13/1/ 2014	12/12 2014	12/02 2016	05/12 2017	24/01/ 2019	12/12/ 2019	05/02/ 2022	03/12/ 2022	17/02 / 2023	
Conductivité		1 010	960		1 310	1 250	1 180	1 300	1 210	1 350	1 370	1 360	µS/cm
Calcium soluble	125	156	145	142	149	142	121	158	140	152	140	142	mg/l
Magnésium soluble	11,5	11,9	12,1	11,9	11,2	11,3	8,86	11.4	10.8	8.84	10.7	9.93	mg/l
Sodium soluble	19,3	32,1	38,5	44,9	50,8	59,5	51,5	36.1	74.8	111	105	116	mg/l
Potassium soluble	1,07	1,05	0,88	1,09	1,11	0,85	0,99	1.32	1.24	1.22	1.35	1.59	mg/l
Hydrogéo-carbonates	183	179	184	223,3	189,1	186,7	192,8	196.4	201.3	217.2	203.7	208.3	mg/l HCO3
Chlorures	202	232	239	258	277	245	282	323	297	310	323	333	mg/l
Sulfates	5,88	6,45	7,03	11,1	12,5	8,97	9,29	11.1	10.4	12.4	12.4	14.2	mg/l SO4
Nitrates	3,15	3,46	3,23	3,72	2,4	3,44	3,06	2.66	3.20	3.96	2.02	4.7	mg/l NO3
Hydrocarbures C10-C40	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,057	<0.03	<0.03	<0.03	mg/l

Paramètres	Forage M2												Unité de mesure
	20/1 2011	28/03 2012	17/12 2012	13/1/ 2014	12/12 2014	12/02 2016	05/12 2017	24/01/ 2019	12/12/ 2019	05/02/ 2022	03/12/ 2022	17/02/ 2023	
Conductivité		300	340		410	410	340		362	379	470	400	µS/cm
Calcium soluble	53	56,4	59,7	60,5	62,5	68,5	51,9	67,9	69,3	70,9	79,1	76,6	mg/l
Magnésium soluble	7,36	3,73	3,33	2,74	2,76	1,79	2,58	1,9	1,64	2,65	1,95	1,82	mg/l
Sodium soluble	2,65	3,05	3,61	2,74	4,12	5,19	4,28	2,27	4,33	3,39	3,95	6,49	mg/l
Potassium soluble	0,64	0,73	0,51	0,64	0,71	0,60	0,67	0,58	0,55	0,54	0,67	0,72	mg/l
Hydrogéo-carbonates	184	178	181	208,6	192,8	186,7	187,9	190,3	198,9	197,6	190,3	191,0	mg/l HCO3
Chlorures	6,34	5,73	9,59	14,1	12,9	12,1	9,24	13,2	12,7	23,7	31,6	24,3	mg/l
Sulfates	<5	5,39	5,48	10,4	11,7	8,19	5,51	6,8	7,40	5,21	6,41	7,16	mg/l SO4
Nitrates	2,54	4,5	5,66	8,32	7,25	8,34	7,06	11,2	8,24	7,22	5,41	9	mg/l NO3
Hydrocarbures C10-C40	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,134	<0,03	<0,03	<0,03	mg/l

Figure 7 : Suivi Niveau-Débit du forage M1

CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
NAPPE DE LA MOLASSE AU FORAGE M1

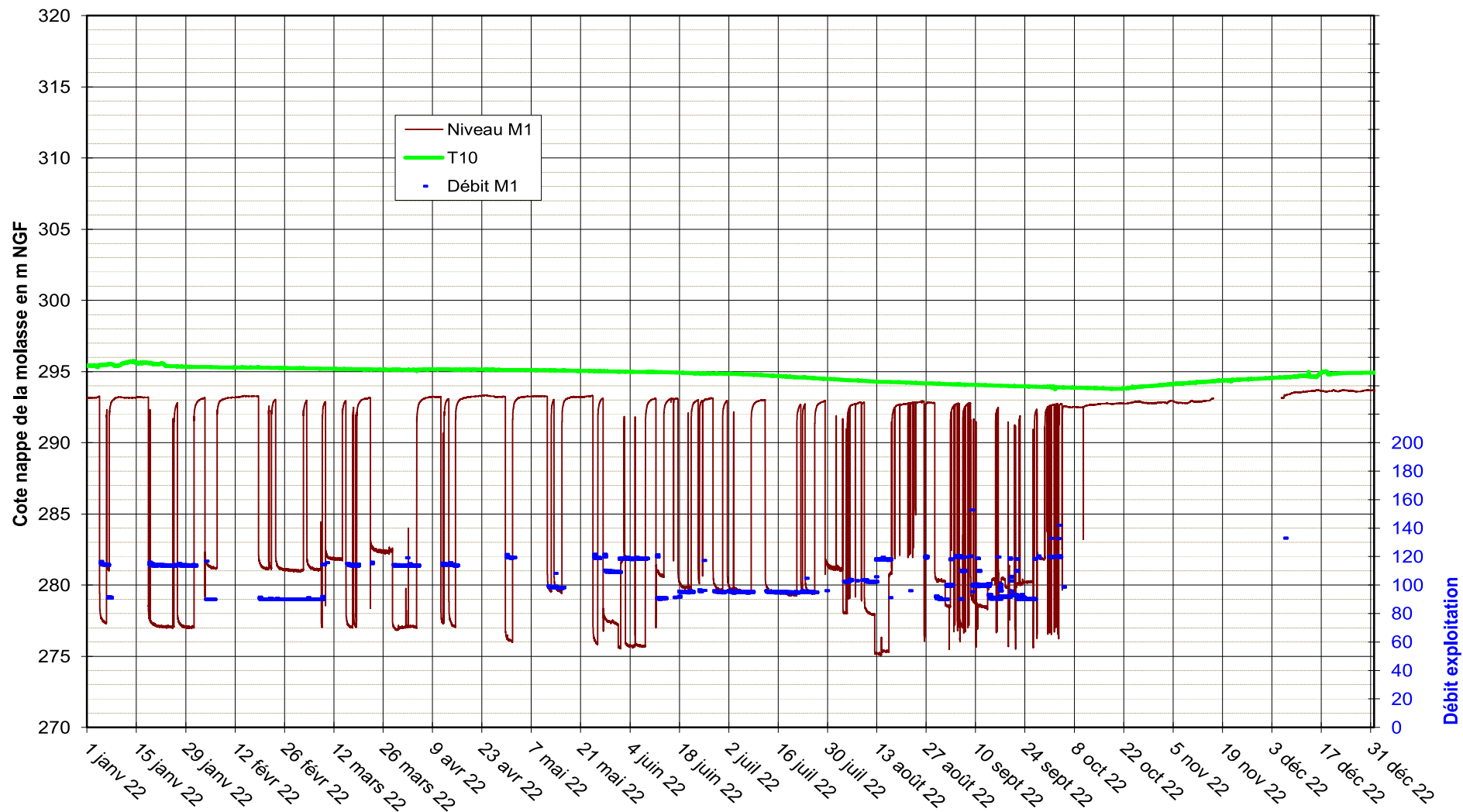
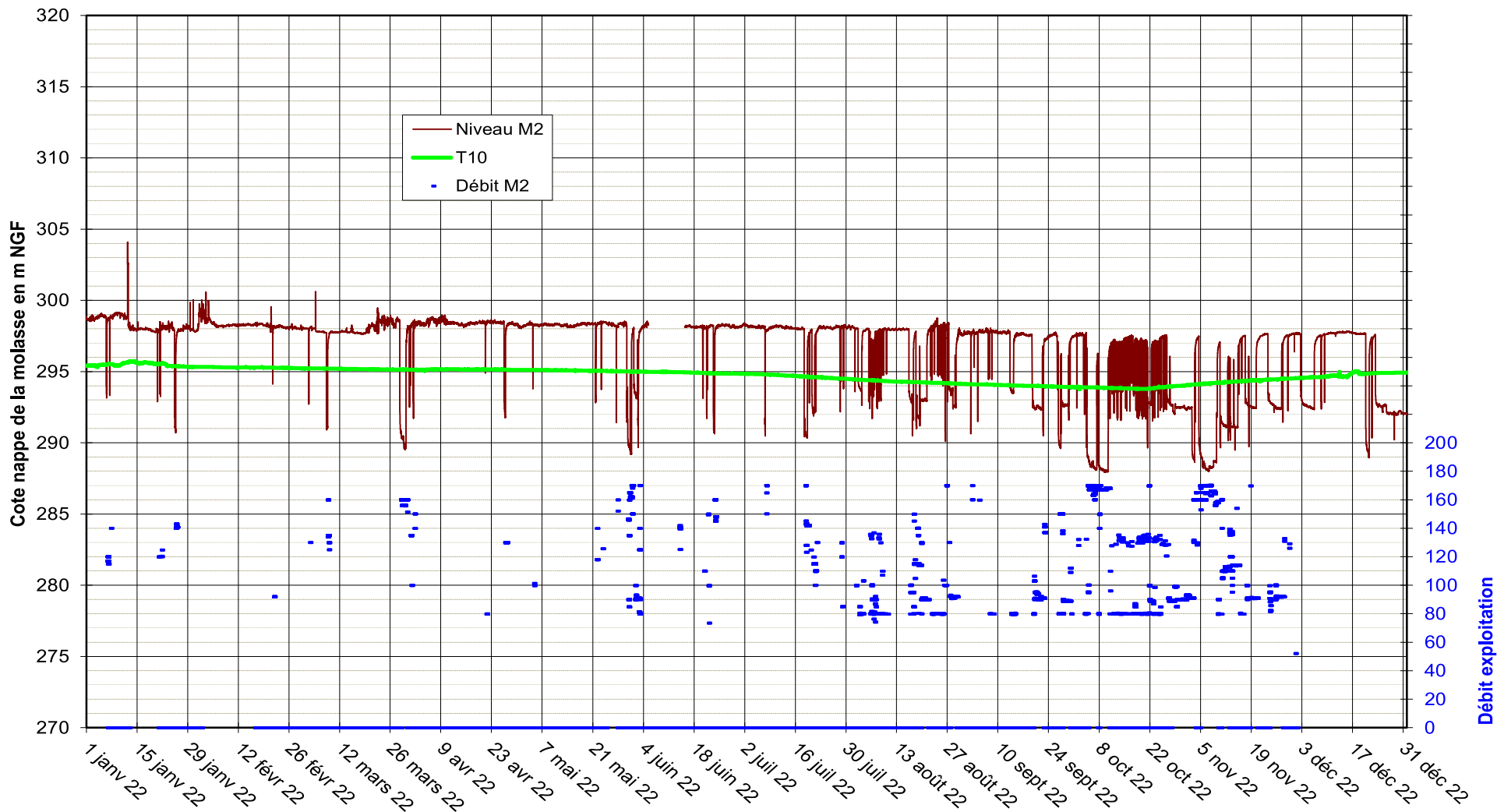


Figure 8 : Suivi Niveau-Débit du forage M2

CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
NAPPE DE LA MOLASSE AU FORAGE M2



SAFEGE

Monsieur Philippe PRAT

aix métropole bât d

30 avenue malacrida

13100 AIX EN PROVENCE

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 23E029706

Version du : 28/02/2023

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-035607-02

Date de réception technique : 20/02/2023

Première date de réception physique : 17/02/2023

Annule et remplace la version AR-23-LK-035607-01.

Référence Dossier : N° Projet : 22MAX021_venco

Nom Projet : Vencorex 2022

Nom Commande : Vencorex 2018

Référence Commande : 22MAX021

Coordinateur de Projets Clients : Jean-Paul Klaser / JeanPaulKlaser@eurofins.com / +33 3 88 91 19 11

N° Ech	Matrice		Référence échantillon
001	Eau souterraine	(ESO)	M1
002	Eau souterraine	(ESO)	M2

RAPPORT D'ANALYSE
Dossier N° : 23E029706

Version du : 28/02/2023

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-035607-02

Date de réception technique : 20/02/2023

Première date de réception physique : 17/02/2023

Annule et remplace la version AR-23-LK-035607-01.

Référence Dossier : N° Projet : 22MAX021_venco

Nom Projet : Vencorex 2022

Nom Commande : Vencorex 2018

Référence Commande : 22MAX021

N° Echantillon	001	002
Référence client :	M1	M2
Matrice :	ESO	ESO
Date de prélèvement :	17/02/2023	17/02/2023
Date de début d'analyse :	20/02/2023	20/02/2023
Température de l'air de l'enceinte :	7.4°C	7.4°C

Préparation Physico-Chimique

LS025 : Filtration 0.45 µm	Effectuée	Effectuée
-----------------------------------	-----------	-----------

Analyses immédiates

LS001 : Mesure du pH		
pH	▲ # 7.6	▲ # 7.8
Température de mesure du pH °C	19.5	19.4
LSK98 : Conductivité à 25°C		
Conductivité corrigée automatiquement à 25°C µS/cm	▲ # 1360	▲ # 400
Température de mesure de la conductivité °C	19.5	19.5
JI020 : Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	* 16.8	* 15.4

Indices de pollution

LS02L : Azote Nitrique / Nitrates (NO3)		
Nitrates mg NO3/l	▲ # 4.70	▲ # 9.00
Azote nitrique mg N-NO3/l	▲ # 1.06	▲ # 2.03
LS02I : Chlorures (Cl)	* 333	* 24.3
LS02Z : Sulfates (SO4)	* 14.2	* 7.16

Métaux

LS206 : Magnésium (Mg) dissous	mg/l	* 9.93	* 1.82
LS204 : Calcium (Ca) dissous	mg/l	* 142	* 76.6
LS207 : Potassium (K) dissous	mg/l	* 1.59	* 0.72
LS208 : Sodium (Na) dissous	mg/l	* 116	* 6.49

Hydrocarbures totaux

 LS308 : **Indice hydrocarbures (C10-C40) – 4 tranches**

RAPPORT D'ANALYSE
Dossier N° : 23E029706

Version du : 28/02/2023

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-035607-02

Date de réception technique : 20/02/2023

Première date de réception physique : 17/02/2023

Annule et remplace la version AR-23-LK-035607-01.

Référence Dossier : N° Projet : 22MAX021_venco

Nom Projet : Vencorex 2022

Nom Commande : Vencorex 2018

Référence Commande : 22MAX021

N° Echantillon

Référence client :

Matrice :

Date de prélèvement :

Date de début d'analyse :

Température de l'air de l'enceinte :

001**M1****ESO**

17/02/2023

20/02/2023

7.4°C

002**M2****ESO**

17/02/2023

20/02/2023

7.4°C

Hydrocarbures totaux
LS308 : Indice hydrocarbures (C10-C40) – 4
tranches

	001	002
Indice Hydrocarbures (C10-C40) mg/l	* <u><0.03</u>	* <u><0.03</u>
HCT (nC10 - nC16) (Calcul) mg/l	<u><0.008</u>	<u><0.008</u>
HCT (>nC16 - nC22) (Calcul) mg/l	<u><0.008</u>	<u><0.008</u>
HCT (>nC22 - nC30) (Calcul) mg/l	<u><0.008</u>	<u><0.008</u>
HCT (>nC30 - nC40) (Calcul) mg/l	<u><0.008</u>	<u><0.008</u>

LS4L8 : Découpage 8 tranches HCT-CPG nC10 à nC40 (%)

	001	002
> C10 - C12 inclus (%)	%	%
> C12 - C16 inclus (%)	%	%
> C16 - C20 inclus (%)	%	%
> C20 - C24 inclus (%)	%	%
> C24 - C28 inclus (%)	%	%
> C28 - C32 inclus (%)	%	%
> C32 - C36 inclus (%)	%	%
> C36 - C40 exclus (%)	%	%

LS4L8 : Découpage 8 tranches HCT-CPG nC10 à nC40 (mg/l)

	001	002
C10 - C12 inclus mg/l	<u><0.004</u>	<u><0.004</u>
> C12 - C16 inclus mg/l	<u><0.004</u>	<u><0.004</u>
> C16 - C20 inclus mg/l	<u><0.004</u>	<u><0.004</u>
> C20 - C24 inclus mg/l	<u><0.004</u>	<u><0.004</u>
> C24 - C28 inclus mg/l	<u><0.004</u>	<u><0.004</u>
> C28 - C32 inclus mg/l	<u><0.004</u>	<u><0.004</u>
> C32 - C36 inclus mg/l	<u><0.004</u>	<u><0.004</u>
> C36 - C40 inclus mg/l	<u><0.004</u>	<u><0.004</u>

RAPPORT D'ANALYSE
Dossier N° : 23E029706

Version du : 28/02/2023

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-035607-02

Date de réception technique : 20/02/2023

Première date de réception physique : 17/02/2023

Annule et remplace la version AR-23-LK-035607-01.

Référence Dossier : N° Projet : 22MAX021_venco

Nom Projet : Vencorex 2022

Nom Commande : Vencorex 2018

Référence Commande : 22MAX021

Observations	N° d'échantillon	Référence client
L'accréditation a été retirée pour l'analyse identifiée par le symbole ▲. Par conséquent, celle-ci n'est ni présumée conforme au référentiel d'accréditation ni couverte par les accords de reconnaissance internationaux.	(001) (002)	M1 / M2 /
Les délais de mise en analyse sont supérieurs à ceux indiqués dans notre dernière étude de stabilité ou aux délais normatifs pour les paramètres identifiés par '#' et donnent lieu à des réserves sur les résultats, avec retrait de l'accréditation. L'échantillon a néanmoins été conservé dans les meilleures conditions de stockage.	(001) (002)	M1 / M2 /
Spectrophotométrie visible automatisée : l'analyse a été réalisée sur l'échantillon filtré à 0.45µm.	(001) (002)	M1 / M2 /
Version modifiée suite à une demande de complément(s) d'analyse(s)	(001) (002)	M1 / M2 /


Gilles Lacroix

Chef d'Equipe Coordinateur Projets Clients

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 7 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai. Les résultats et conclusions éventuelles s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Les données transmises par le client pouvant affecter la validité des résultats (la date de prélèvement, la matrice, la référence échantillon et autres informations identifiées comme provenant du client), ne sauraient engager la responsabilité du laboratoire. Seules certaines prestations rapportées dans ce document sont couvertes par l'accréditation. Elles sont identifiées par le symbole *.

Lors de l'émission d'une nouvelle version de rapport, toute modification est identifiée par une mise en forme gras, italique et souligné ou notifiée en observation. Les résultats précédés du signe < correspondent aux limites de quantification, elles sont la responsabilité du laboratoire et fonction de la matrice.

Tous les éléments de traçabilité et incertitude (déterminée avec $k = 2$) sont disponibles sur demande.

Laboratoire agréé par le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg pour l'accomplissement de tâches techniques d'étude et de vérification dans le domaine de l'environnement – Détail disponible sur demande

Annexe technique

Dossier N° :23E029706

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-035607-02

Emetteur : M Philippe Prat

Commande EOL : 006-10514-942020

 Nom projet : N° Projet : 22MAX021_venco
Vencorex 2022

Référence commande : 22MAX021

Nom Commande : Vencorex 2018

Eau souterraine

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Incertitude à la LQ	Unité	Prestation réalisée sur le site de :
J1020	Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	Spectrophotométrie (UV/VIS) - Méthode interne - Méthode interne - Méthode interne - Méthode interne - Méthode interne	0.5	30%	° f	Eurofins Analyses pour l'Environnement France
LS001	Mesure du pH pH Température de mesure du pH	Potentiométrie - NF EN ISO 10523			°C	
LS025	Filtration 0.45 µm	Filtration - Méthode interne				
LS02I	Chlorures (Cl)	Spectrophotométrie (UV/VIS) [Spectrophotométrie visible automatisée] - NF ISO 15923-1	1	30%	mg/l	
LS02L	Azote Nitrique / Nitrates (NO3) Nitrates Azote nitrique	Spectrophotométrie (UV/VIS) [Spectrophotométrie visible automatisée] - NF ISO 15923-1	1	35%	mg NO3/l	
			0.2	35%	mg N-NO3/l	
LS02Z	Sulfates (SO4)	Spectrophotométrie (UV/VIS) [Spectrophotométrie visible automatisée] - NF ISO 15923-1	5	20%	mg/l	
LS204	Calcium (Ca) dissous	ICP/AES - NF EN ISO 11885	1	30%	mg/l	
LS206	Magnésium (Mg) dissous		0.01	30%	mg/l	
LS207	Potassium (K) dissous		0.1	40%	mg/l	
LS208	Sodium (Na) dissous		0.05	35%	mg/l	
LS308	Indice hydrocarbures (C10-C40) – 4 tranches Indice Hydrocarbures (C10-C40) HCT (nC10 - nC16) (Calcul) HCT (>nC16 - nC22) (Calcul) HCT (>nC22 - nC30) (Calcul) HCT (>nC30 - nC40) (Calcul)	GC/FID [Extraction Liquide / Liquide sur prise d'essai réduite] - NF EN ISO 9377-2	0.03	41%	mg/l	
			0.008		mg/l	
			0.008		mg/l	
			0.008		mg/l	
			0.008		mg/l	
LS4L8	Découpage 8 tranches HCT-CPG nC10 à nC40 (mg/l) C10 - C12 inclus > C12 - C16 inclus > C16 - C20 inclus > C20 - C24 inclus > C24 - C28 inclus > C28 - C32 inclus > C32 - C36 inclus	Calcul - Méthode interne	0.004		mg/l	
			0.004		mg/l	
			0.004		mg/l	
			0.004		mg/l	
			0.004		mg/l	
			0.004		mg/l	
			0.004		mg/l	

Annexe technique

Dossier N° :23E029706

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-035607-02

Emetteur : M Philippe Prat

Commande EOL : 006-10514-942020

 Nom projet : N° Projet : 22MAX021_venco
Vencorex 2022

Référence commande : 22MAX021

Nom Commande : Vencorex 2018

Eau souterraine

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Incertitude à la LQ	Unité	Prestation réalisée sur le site de :
	> C36 - C40 inclus		0.004		mg/l	
LSK98	Conductivité à 25°C Conductivité corrigée automatiquement à 25°C Température de mesure de la conductivité	Potentiométrie [Méthode à la sonde] - NF EN 27888	15	30%	µS/cm °C	
LSL4E	Découpage 8 tranches HCT-CPG nC10 à nC40 (%) > C10 - C12 inclus (%) > C12 - C16 inclus (%) > C16 - C20 inclus (%) > C20 - C24 inclus (%) > C24 - C28 inclus (%) > C28 - C32 inclus (%) > C32 - C36 inclus (%) > C36 - C40 exclus (%)	Calcul - Méthode interne			% % % % % % % %	

Annexe de traçabilité des échantillons

Cette traçabilité recense les flaconnages des échantillons scannés dans EOL sur le terrain avant envoi au laboratoire

Dossier N° : 23E029706

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-035607-02

Emetteur :

Commande EOL : 006-10514-942020

Nom projet : N° Projet : 22MAX021_venco
Vencorex 2022

Référence commande : 22MAX021

Nom Commande : Vencorex 2018

Eau souterraine

N° Ech	Référence Client	Date & Heure Prélèvement	Date de Réception Physique (1)	Date de Réception Technique (2)	Code-Barre	Nom Flacon
001	M1	17/02/2023 10:00:00	17/02/2023	20/02/2023		
002	M2	17/02/2023 10:00:00	17/02/2023	20/02/2023		

(1) : Date à laquelle l'échantillon a été réceptionné au laboratoire.

Lorsque l'information n'a pas pu être récupérée, cela est signalé par la mention N/A (non applicable).

(2) : Date à laquelle le laboratoire disposait de toutes les informations nécessaires pour finaliser l'enregistrement de l'échantillon.

CONSULTING

**Agence d'Aix-en-Provence
Aix Métropole – Bât. D30
Avenue Henri Malacrida
13 100 AIX-EN-PROVENCE
Tel. : + 33 4 42 93 65 10**

www.suez.com/fr/consulting-conseil-et-ingenierie





SALINE DE HAUTERIVES

Surveillance de la Galaure
Surveillance de la
nappe de la molasse

RAPPORT ANNUEL 2023

TABLE DES MATIERES

1 PREAMBULE	7
2 PRELEVEMENT EN EAU DOUCE DE LA SALINE CHLORALP	8
2.1 Les ouvrages	8
2.2 Prélèvements 2023 et historique	10
3 CONTEXTE METEOROLOGIQUE 2023	13
3.1 Données utilisées	13
3.2 Période de référence météorologique	13
3.3 Situation pluviométrique 2023	14
4 SUIVI DE LA NAPPE DE LA MOLASSE.....	16
4.1 Cadre du suivi.....	16
4.2 Observations - Influences	17
5 SUIVI DE LA NAPPE DES ALLUVIONS	19
6 DEBIT DE LA GALAURE - ANNEE 2023	21
6.1 Contexte général St-Uze.....	21
6.2 Suivi de la Galaure au droit du site.....	21
7 QUALITE DES EAUX DE LA MOLASSE	25

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Localisation des points de référence	9
Figure 2 : Suivi des forages M1, M2 et des puits T8 T9 et T10.....	18
Figure 3 : Evolution des puits T de la nappe alluviale.....	20
Figure 4 : Débit de la Galaure à St-Uze	22
Figure 5 : Relation pluie débit Galaure à St-Uze	23
Figure 6 : Suivi comparé du niveau puits T10 et aux stations Massetières amont et HA10/HA11 aval	24
Figure 7 : Suivi Niveau-Débit du forage M1.....	28
Figure 8 : Suivi Niveau-Débit du forage M2.....	29
Tableau 1 : Répartition interannuelle des prélèvements de la saline.....	11
Tableau 2 : Répartition mensuelle des débits pompés.....	12
Tableau 3 : Pluviométrie 2023	15
Tableau 4 : Evolution du niveau des puits T de la nappe alluviale	19

RESUME

En 2023 les prélèvements en eau douce de la saline VENCOREX à Hauterives s'élevèrent à 599 241 m³, en baisse de 13% par rapport à ceux de 2022.

Ces prélèvements de 2023 représentent seulement $\approx 33\%$ de la consommation moyenne des années 2001 à 2006 qui s'élevait à 1 800 000 m³.

La part des eaux pompées dans l'aquifère molassique miocène par les forages M1 et M2 représente $\approx 61\%$ du prélèvement sur cette année 2023 soit 367 046 m³.

Le prélèvement dans la nappe alluviale de la Galaure est de 232 195 m³ soit $\approx 39\%$ en moyenne annuelle.

Durant les mois de juillet à octobre, les prélèvements dans la nappe alluviale se sont élevés à 78 832 m³ répartis en :

- ◆ Juillet : débit prélevé dans les alluvions est de 32 482 m³, soit 12,5 l/s, et 62% de la consommation de la saline ;
- ◆ Août : débit prélevé dans les alluvions est de 14 600 m³, soit 6,3 l/s et 23% de la consommation de la saline ;
- ◆ Septembre : débit prélevé dans les alluvions est de 10 590 m³, soit 4,1 l/s et 73% de la consommation de la saline ;
- ◆ Octobre : débit prélevé dans les alluvions est de 21 152 m³, soit 8,2 l/s et 66% de la consommation de la saline.

Avec 1036 mm sur le site, la pluviométrie de l'année 2023 est 21% plus élevée que l'année normale mais avec une disparité importante :

- ◆ De janvier à avril un fort déficit de 33% laissant l'impression d'une année en déficit ;
- ◆ A partir de mai jusqu'à décembre une pluviométrie excédentaire conduisant à un total annuel de +181 mm.

Les niveaux des puits T varient peu et sont dans le haut des limites interannuelles. La période estivale montre des points bas en août septembre et un début de remontée avec les pluies de octobre.

T10 montre une baisse estivale modérée, se prolongeant jusqu'à fin octobre. La remontée correspondant aux premières pluies importantes.

Aucun indice de surexploitation n'est observable sur les alluvions.

La nappe de la molasse :

- ◆ Le niveau suivi sur M1, présente un niveau stable en début de l'année et reconstitué en décembre aucun signe de surexploitation depuis 1997 ;
- ◆ Le niveau suivi sur M2, est stable sur l'année ;
- ◆ Le niveau suivi sur T10 à partir de juillet montre une baisse estivale de moins de 1 m corrélée à la baisse de la nappe alluviale. Cette influence n'est pas imputable à l'activité industrielle, les niveaux de fin 2023 remontent avec les pluies, de plus de ≈ 1 m par rapport au niveau de début d'année.

Aucune influence de l'exploitation du forage M1 ou M2 n'est mesurable sur T10.

1

Préambule

Le présent rapport constitue la synthèse des données acquises en 2023 dans le cadre du suivi des ressources en eau douce de la saline VENCOREX de Hauterives.

Ces dispositions de contrôle résultent du respect par VENCOREX des dispositions de l'article 21 de l'Arrêté préfectoral d'autorisation n°21-27 du 26 mai 1997 autorisant la réalisation et l'exploitation du forage M1 prélevant sa ressource dans l'aquifère profond de la molasse et de l'Arrêté préfectoral d'autorisation n°10-3179 du 30 juillet 2010 autorisant la réalisation et l'exploitation du forage M2.

Ce rapport annuel clôture une année calendaire complète de janvier à décembre 2023.

En 2023 les systèmes d'acquisition ont fonctionné de manière optimale hormis pour le niveau de M2 :

Mesure du forage T10 :

Suivi numérique, année complète

Mesure station Massetières :

Suivi numérique, année complète

Mesure station HA10/HA11 :

Suivi numérique, année complète

Mesure forage M1 :

Suivi numérique, année complète

Mesure forage M2 :

Suivi numérique,

La série présente une lacune de mesures entre le 30/4 et le 28/6, suite à une panne de sonde.

Forages de la nappe alluviale T8 et T9 :

Ces ouvrages, suivi manuellement, sont maintenant inclus dans un nouveau lotissement. Ils ne peuvent plus être relevés

Prélèvement en eau douce de la saline Chloralp

2.1 Les ouvrages

En 2023 la saline de Hauterives s'est approvisionnée en eau douce à partir du forage profond M1 captant la nappe de la molasse et des puits de la nappe alluviale de la Galaure T1 à T7 et T11 à T14 et du forage M2 captant la molasse.

Les prélèvements en nappe ont été réalisés :

- ✓ Essentiellement sur le forage profond **M1** captant la nappe de la molasse ;
- ✓ **M2**, captant la molasse, fonctionne en complément ;
- ✓ Les puits de la nappe alluviale de la Galaure **T1 à T7 et T11 à T14**.

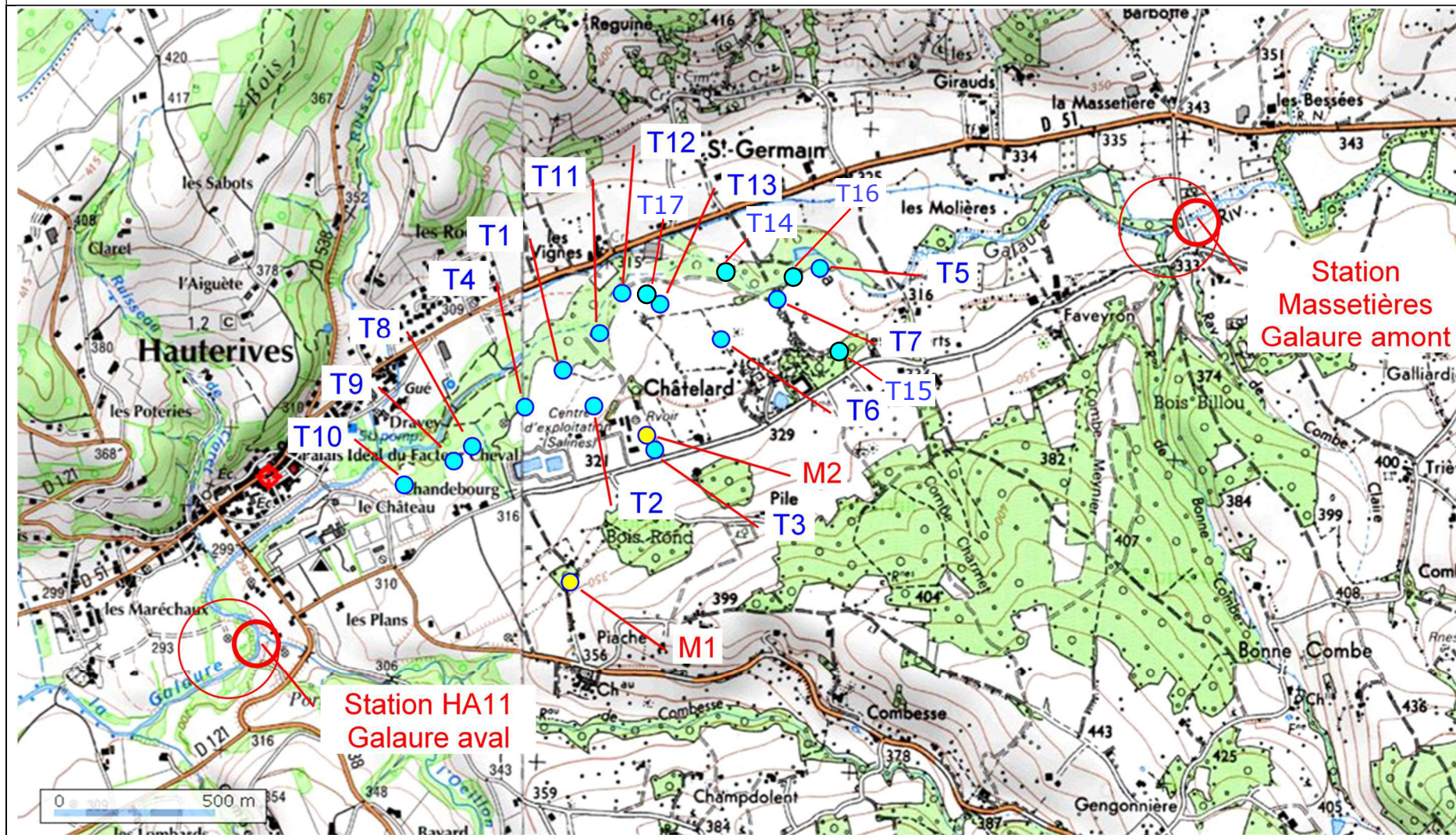
Le forage **M1**, réalisé en 1997, est exploité en 2023 en moyenne 7h18 par jour, à un débit moyen de 97 m³/h, compris entre 79 et 125 m³/h. Le rabattement est compris, en fonction du débit, entre 12 et 19 m ;

Le forage **M2**, réalisé en 2010, a été peu exploité en 2023 : 3 h 50 par jour en moyenne pour un débit moyen de 107 m³/h. L'ouvrage fonctionne à débit variable, entre un minimum à 80 m³/h et des pointes à 160 m³/h. Le rabattement varie de 7 à 10 m.

Les prélèvements dans la nappe alluviale sur les ouvrages T s'effectuent à la demande, en complément des forages M1. Les puits sont sélectionnés en fonction des besoins et de leurs potentialités. Il n'y a pas de programmation rigide.

Les ouvrages d'eau douce de la saline sont localisés sur la figure de la page suivante.

Figure 1 : Localisation des points de référence



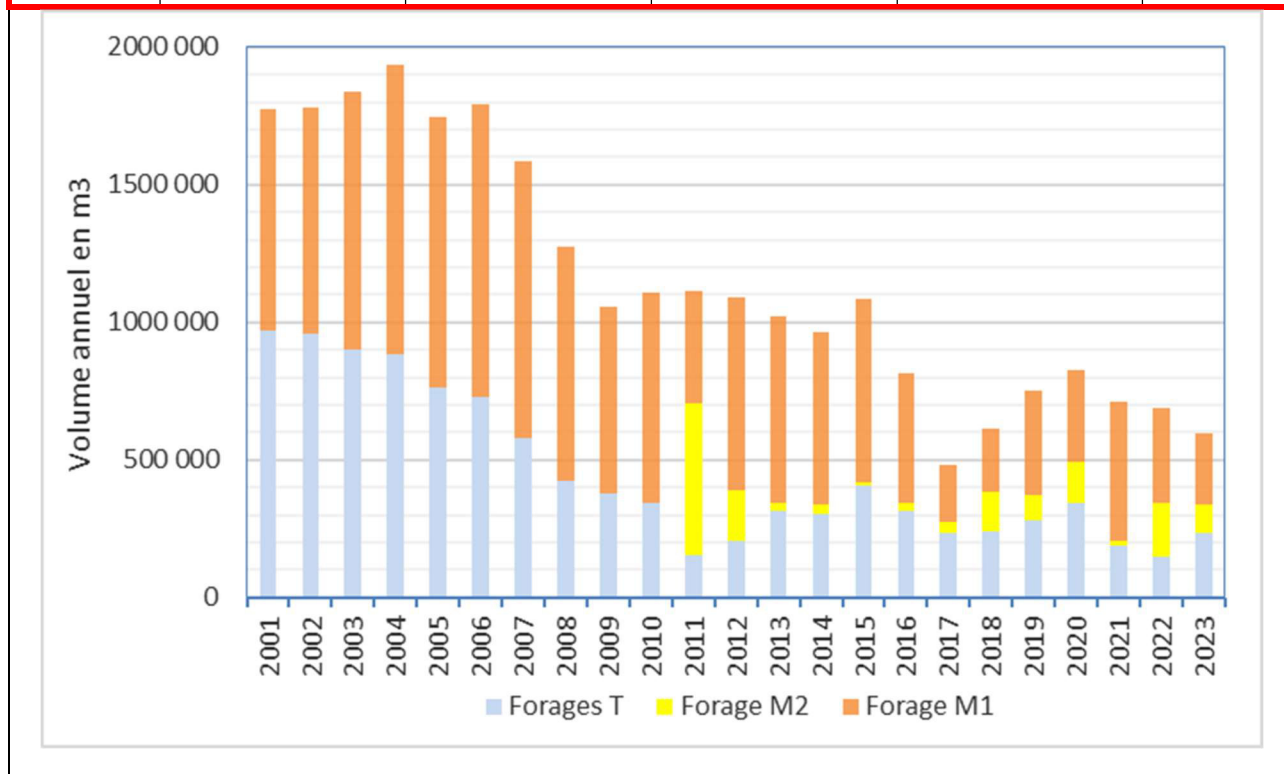
2.2 Prélèvements 2023 et historique

La production de saumure est en 2023 directement issue de la fourniture d'eau par la saline :

- ✓ La consommation en eau douce de la saline pour la confection de saumure en 2023 s'élève à 599 241 m³, en baisse marquée par rapport à l'année 2022 : -13% en raison d'une demande en baisse ;
- ✓ La consommation d'eau douce de 2023 représente maintenant environ 33% de la consommation moyenne des années 2001 à 2006 (1 800 000 m³) ;
- ✓ Pour 2023, la molasse a fourni 367 046 m³, soit 61% du débit total, à raison de 43% par le forage M1 et 18% par le forage M2 ;
- ✓ L'évolution des consommations annuelles depuis 2001 est donnée page suivante.
Ce tableau détaille la répartition des origines des eaux consommées, entre les forages à la molasse, M1, M2, et les ouvrages T de la nappe alluviale ;
- ✓ Durant les mois de juillet à octobre, les prélèvements dans la nappe alluviale se sont élevés à 78 832 m³ répartis en :
 - En juillet débit prélevé dans les alluvions est de 32 482 m³, soit 12,5 l/s, et 62% de la consommation de la saline ;
 - En août débit prélevé dans les alluvions est de 14 600 m³, soit 6,3 l/s et 23% de la consommation de la saline ;
 - En septembre débit prélevé dans les alluvions est de 10 590 m³, soit 4,1 l/s et 73% de la consommation de la saline ;
 - En octobre débit prélevé dans les alluvions est de 21 152 m³, soit 8,2 l/s et 66% de la consommation de la saline.

Tableau 1 : Répartition interannuelle des prélèvements de la saline

Années	M1	M2	Puits T	Total	Part molasse
2001	803 770 m ³	Non existant	968 215 m ³	1 771 985 m ³	45%
2002	824 720 m ³		956 992 m ³	1 781 712 m ³	46%
2003	939 291 m ³		900 030 m ³	1 839 321 m ³	51%
2004	1 047 233 m ³		886 568 m ³	1 933 801 m ³	54%
2005	980 011 m ³		765 498 m ³	1 745 509 m ³	56%
2006	1 065 330 m ³		726 801 m ³	1 792 131 m ³	59%
2007	1 008 739 m ³		577 280 m ³	1 586 019 m ³	64%
2008	855 190 m ³		421 712 m ³	1 276 902 m ³	67%
2009	679 896 m ³		378 933 m ³	1 058 827 m ³	64%
2010	763 812 m ³	En création	343 186 m ³	1 106 998 m ³	69%
2011	408 643 m ³	553 302 m ³	151 824 m ³	1 113 769 m ³	86%
2012	697 129 m ³	183 000 m ³	207 741 m ³	1 087 870 m ³	81%
2013	675 616 m ³	31 724 m ³	313 864 m ³	1 021 204 m ³	69%
2014	629 553 m ³	36 216 m ³	301 020 m ³	966 789 m ³	69%
2015	669 699 m ³	11 130 m ³	405 391 m ³	1 086 220 m ³	63%
2016	468 166 m ³	33 646 m ³	312 070 m ³	813 882 m ³	62%
2017	210 971 m ³	40 121 m ³	232 528 m ³	483 620 m ³	52%
2018	234 653 m ³	140 512 m ³	240 817 m ³	615 982 m ³	61%
2019	384 451 m ³	91 493 m ³	278 072 m ³	754 016 m ³	63%
2020	333 173 m ³	145 674 m ³	344 732 m ³	823 579 m ³	58%
2021	504 425 m ³	16 742 m ³	187 758 m ³	708 925 m ³	74%
2022	341 402 m ³	198 245 m ³	148 106 m ³	687 753 m ³	78%
2023	258 845 m ³	108 201 m ³	232 195 m ³	599 241 m ³	61%

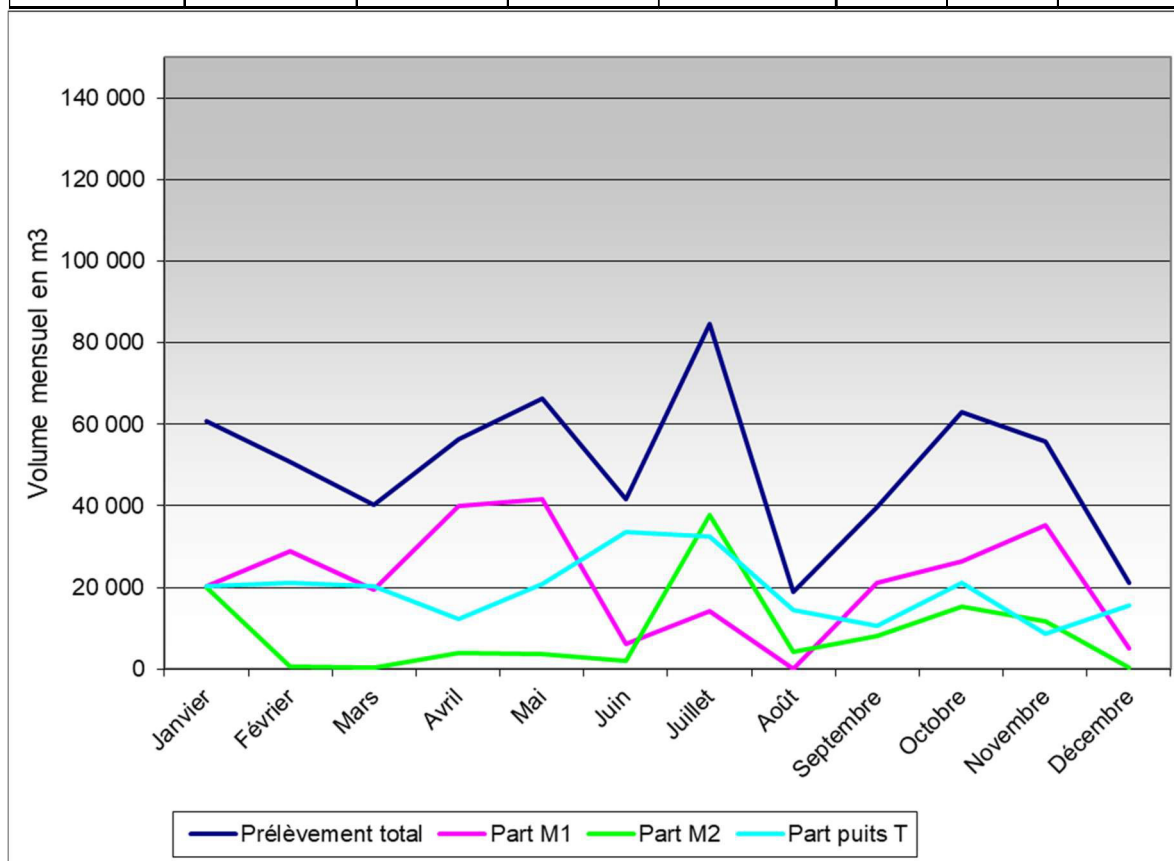


✓ Répartition des prélèvements 2023

La répartition mensuelle des consommations 2023 est la suivante :

Tableau 2 : Répartition mensuelle des débits pompés

Année 2023	Totalité	M1	M2	Total des puits T	Part M1	Part M2	Part molasse
Janvier	60 795 m ³	20 295 m ³	20 098 m ³	20 402 m ³	33%	33%	66%
Février	50 802 m ³	28 899 m ³	715 m ³	21 188 m ³	57%	1%	58%
Mars	40 260 m ³	19 564 m ³	277 m ³	20 419 m ³	49%	1%	49%
Avril	56 249 m ³	39 993 m ³	3 892 m ³	12 364 m ³	71%	7%	78%
Mai	66 289 m ³	41 739 m ³	3 614 m ³	20 936 m ³	63%	5%	68%
Juin	41 693 m ³	6 060 m ³	1 940 m ³	33 693 m ³	15%	5%	19%
Juillet	84 511 m ³	14 214 m ³	37 815 m ³	32 482 m ³	17%	45%	62%
Août	19 025 m ³	96 m ³	4 329 m ³	14 600 m ³	1%	23%	23%
Septembre	39 828 m ³	21 217 m ³	8 013 m ³	10 598 m ³	53%	20%	73%
Octobre	62 961 m ³	26 442 m ³	15 367 m ³	21 152 m ³	42%	24%	66%
Novembre	55 817 m ³	35 291 m ³	11 823 m ³	8 703 m ³	63%	21%	84%
Décembre	21 011 m ³	5 035 m ³	318 m ³	15 658 m ³	24%	2%	25%
Total 2023	599 241 m³	258 845 m³	108 201 m³	232 195 m³	43%	18%	61%



Contexte météorologique 2023

3.1 Données utilisées

VENCOREX dispose d'une chronique pluviométrique locale acquise sur son poste installé à la Saline.

La chronique a été comparée pour validation en 1999 à la chronique relevée par Météo-France à la station de St-Sorlin en Valloire. Les valeurs locales mesurées par CHLORALP étant représentatives de la pluviométrie générale, le protocole de mesure et la chronique constituée sont validés.

Les données journalières utilisées sont celles de la station de la saline.

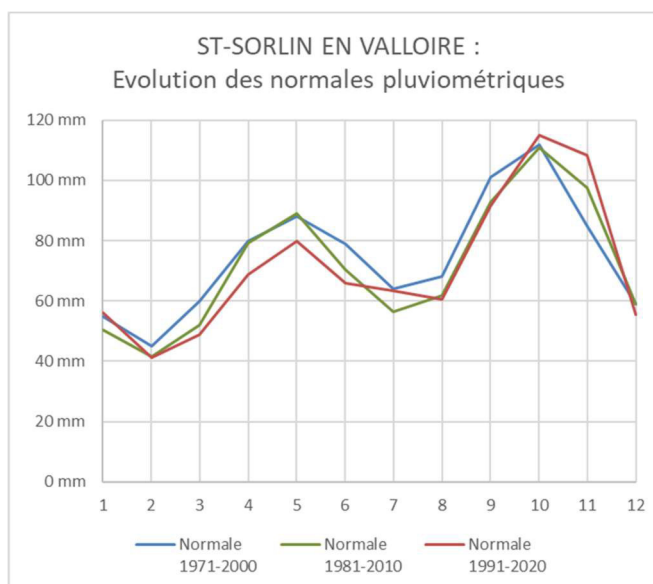
3.2 Période de référence météorologique

Pour situer la période de suivi, les relevés pluviométriques à la saline sont comparés aux normales de la station de Saint-Sorlin en Valloire.

Normales des années 1971-2000, jusqu'à présent.

Les normales sont revues chaque décennie et les normales en vigueur ont évolué, mais de manière limitée :

	Normale 1971-2000	Normale 1981-2010	Normale 1991-2020
Janvier	55.0 mm	50.4 mm	56.1 mm
Fevrier	45.0 mm	41.4 mm	41.2 mm
Mars	60.0 mm	51.9 mm	48.7 mm
Avril	80.0 mm	79.1 mm	68.8 mm
Mai	88.0 mm	88.9 mm	79.9 mm
Juin	79.0 mm	70.3 mm	66.0 mm
Juillet	64.0 mm	56.3 mm	63.3 mm
Aout	68.0 mm	61.9 mm	60.4 mm
Septembre	101.0 mm	93.0 mm	91.5 mm
Octobre	112.0 mm	110.9 mm	115.1 mm
Novembre	85.0 mm	97.5 mm	108.3 mm
Decembre	59.0 mm	59.0 mm	55.6 mm
TOTAL	896.0 mm	860.6 mm	854.9 mm



Le référentiel de comparaison du présent rapport est la normale 1991-2020.

3.3 Situation pluviométrique 2023

Les situations antérieures indiquaient :

- La période depuis 2012 a été excédentaire 6 années sur 8. L'année 2016 proche de la normale et l'année 2017 nettement déficitaire avec une pluie inférieure de 31% par rapport à la normale. ;
- L'année 2020 étaient, avec une lame de 608 mm, marquée par un fort déficit.
- L'année 2021 s'était révélée excédentaire de 18 % (1 100 mm) et 2022 déficitaire de 20% (687,5 mm) ;
- L'année 2023 se révèle excédentaire de 21% avec 1 036 mm en 3 périodes :
 - Les 2 premiers nettement déficitaires ;
 - Ensuite une évolution faiblement déficitaire avant un mois de juillet très sec ;
 - A partir d'août une pluviométrie toujours excédentaire comblant les déficits des mois précédents ;
 - Un mois d'octobre très fortement arrosé.

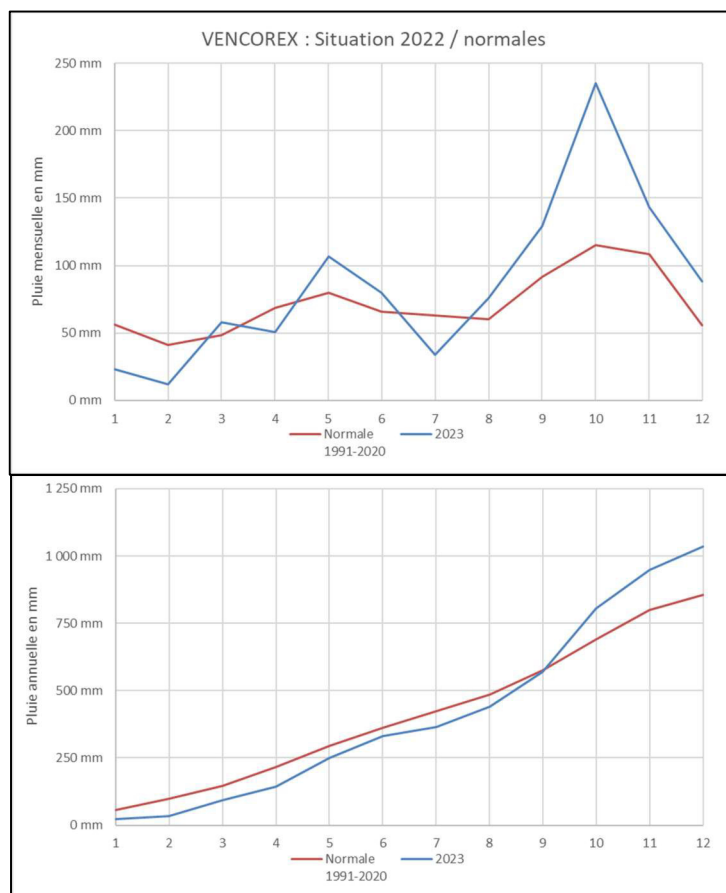


Tableau 3 : Pluviométrie 2023

	Normale 1991-2020	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Ecart
Janvier	56.1 mm	65.5 mm	148.5 mm	103.6 mm	93.0 mm	25.0 mm	133.5 mm	26.5 mm	28.0 mm	81.5 mm	31.0 mm	23.0 mm	-59.0%
Fevrier	41.2 mm	51.5 mm	145.0 mm	82.0 mm	61.0 mm	36.5 mm	36.5 mm	80.0 mm	13.0 mm	40.5 mm	23.5 mm	12.0 mm	-70.9%
Mars	48.7 mm	85.0 mm	16.0 mm	62.0 mm	79.0 mm	58.0 mm	84.5 mm	26.5 mm	51.0 mm	26.5 mm	13.0 mm	58.0 mm	+19.1%
Avril	68.8 mm	136.0 mm	32.0 mm	75.0 mm	64.0 mm	25.0 mm	68.0 mm	77.0 mm	14.0 mm	54.0 mm	48.0 mm	50.5 mm	-26.6%
Mai	79.9 mm	151.0 mm	67.5 mm	58.0 mm	126.0 mm	98.0 mm	139.0 mm	69.5 mm	67.0 mm	159.0 mm	13.0 mm	107.0 mm	+33.9%
Juin	66.0 mm	28.5 mm	34.0 mm	97.0 mm	78.0 mm	60.0 mm	99.0 mm	75.0 mm	61.5 mm	100.0 mm	51.0 mm	80.0 mm	+21.2%
Juillet	63.3 mm	50.5 mm	130.0 mm	4.0 mm	54.0 mm	28.5 mm	26.0 mm	42.0 mm	23.0 mm	123.5 mm	13.0 mm	34.0 mm	-46.3%
Aout	60.4 mm	84.0 mm	54.5 mm	37.0 mm	41.0 mm	68.0 mm	40.0 mm	49.0 mm	26.0 mm	54.5 mm	100.0 mm	76.0 mm	+25.8%
Septembre	91.5 mm	129.0 mm	104.5 mm	214.5 mm	39.0 mm	47.0 mm	8.5 mm	41.0 mm	32.5 mm	75.0 mm	69.5 mm	129.0 mm	+41.0%
Octobre	115.1 mm	242.0 mm	137.0 mm	96.5 mm	125.5 mm	8.5 mm	81.5 mm	174.5 mm	130.5 mm	105.0 mm	120.5 mm	235.0 mm	+104.2%
Novembre	108.3 mm	114.5 mm	205.5 mm	37.0 mm	101.0 mm	81.0 mm	123.5 mm	190.0 mm	26.0 mm	71.0 mm	91.5 mm	143.0 mm	+32.0%
Decembre	55.6 mm	110.0 mm	3.0 mm	27.0 mm	10.0 mm	79.0 mm	63.0 mm	76.0 mm	136.0 mm	120.0 mm	113.5 mm	88.5 mm	+59.2%
TOTAL	854.9 mm	1 247.5 mm	1 077.5 mm	893.6 mm	871.5 mm	614.5 mm	903.0 mm	927.0 mm	608.5 mm	1 010.5 mm	687.5 mm	1 036.0 mm	
		+39%	+20%	-0%	-3%	-28%	+6%	+8%	-29%	+18%	-20%	+21%	

4

Suivi de la nappe de la molasse

4.1 Cadre du suivi

Un graphe comparatif des cotes de nappe est établi avec les mesures de M1 et M2, les mesures manuelles de T8 T9 et les mesures automatiques de T10.

Les ouvrages M1, M2 et T10 sont suivis en continu.

- ✓ Sur **M1** suivi en continu, au pas de 1 mesure / 5 minutes ;
Continu, année complète

- ✓ Sur **M2** suivi en continu, au pas de 1 mesure / 5 à 6 minutes.
Continu, année complète ;

- ✓ Sur **T10** en continue, au pas de 1 mesure / 5 minutes.
Continu, année complète

- ✓ Les mesures de **T8** et **T9** sont manuelles au pas mensuel.
Les puits T8 et T9 sont inaccessibles en raison de la construction d'un lotissement.

4.2 Observations - Influences

T10, le plus superficiel, montre une année à faible variation, comprise entre 295,0 m NGF en début d'année et 294,0 m NGF en point bas initial. En fin d'année le niveau est remonté à 295,8 m NGF en décembre sous l'effet des pluies.

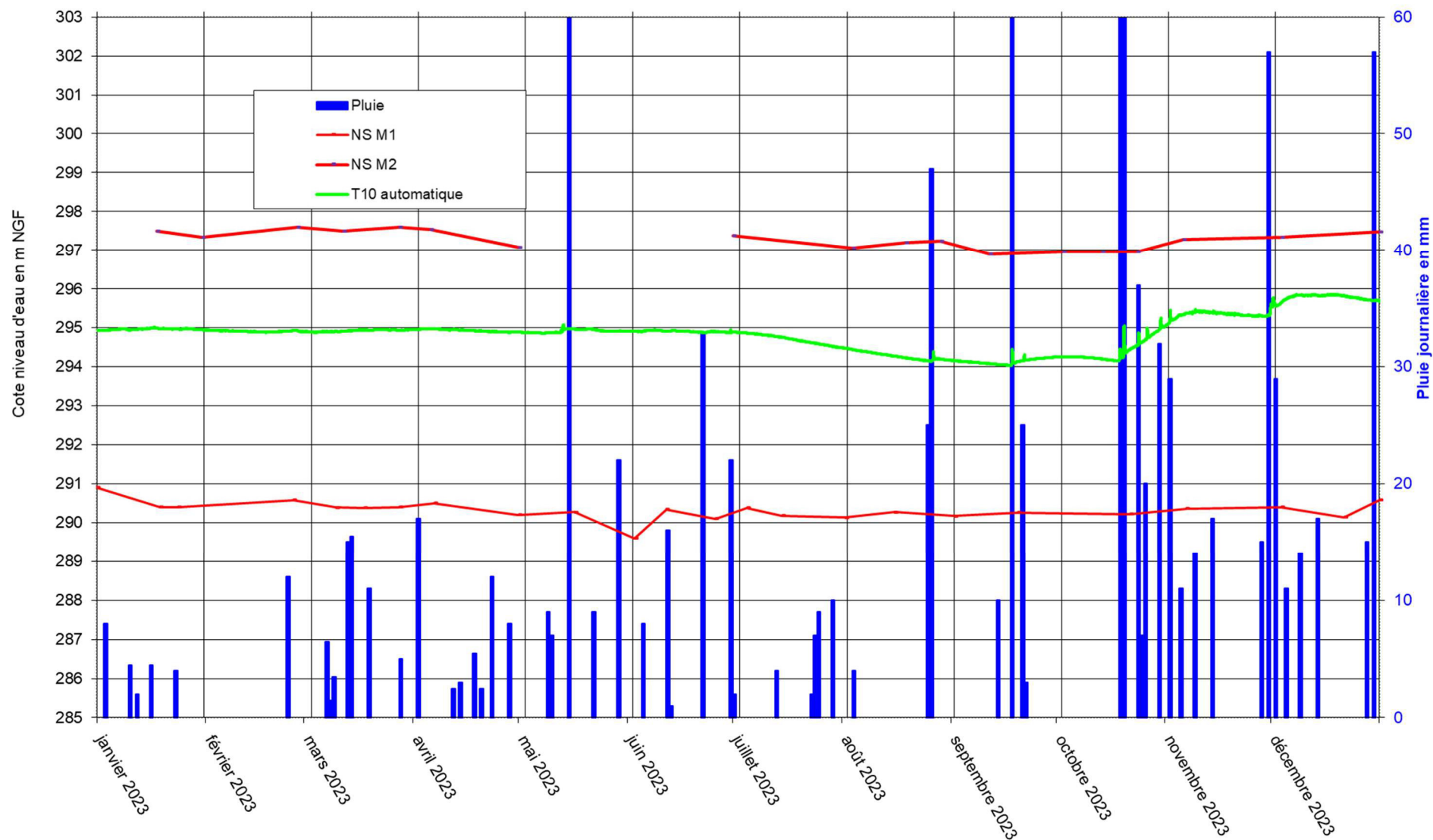
M1 a été exploité en 2023 à 258 845 m³, en baisse par rapport à 2022. Les périodes de pompage resserrées permettent quand même de constater un niveau statique compris entre 290,0 / 290,5 m NGF.

M2 a été exploité en 2023 à 108 201 m³, en baisse par rapport à 2022. Les niveaux hauts constituent un niveau statique représentatif (Figure 8). Le graphe montre un niveau statique compris entre 297,7 et 297,0 m NGF, point bas estival.

La nappe n'est pas surexploitée. Les niveaux au repos sont remarquablement stables depuis la mise en exploitation des ouvrages M1 et M2.

Aucune influence de M1/M2 n'est observable sur T10.

Figure 2 : Suivi des forages M1, M2 et des puits T8 T9 et T10



5

Suivi de la nappe des alluvions

Les données sont acquises mensuellement par VENCOREX avec une sonde électrique.

Le graphe de l'évolution des niveaux, établi avec ces valeurs, montre, pour les ouvrages non exploités, une grande stabilité de la nappe alluviale.

Les mesures sont réalisées de préférence hors pompage. Il n'y a pas de marques de remontées incomplètes.

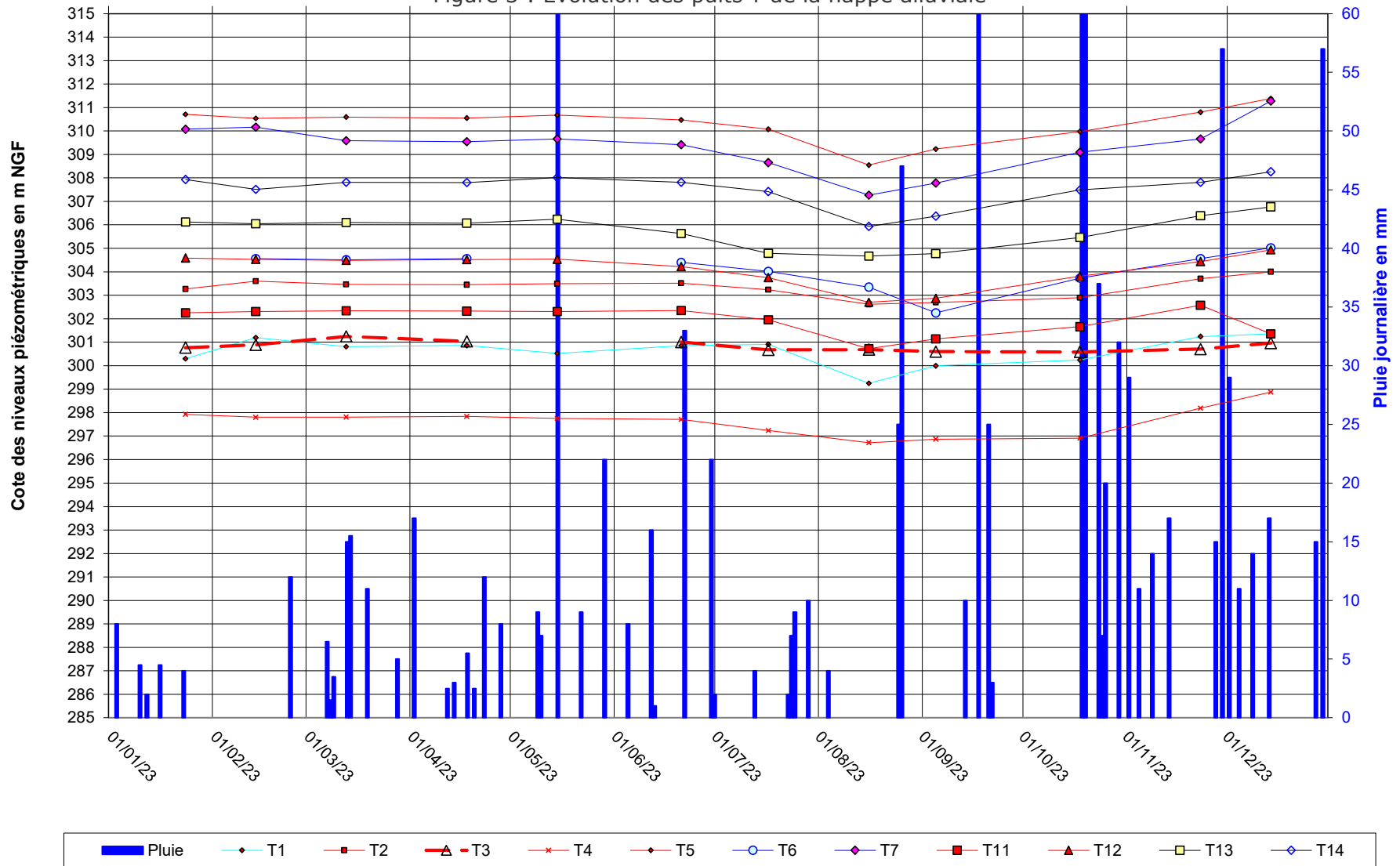
Tableau 4 : Evolution du niveau des puits T de la nappe alluviale

Ouvrage	Cote repère	Variation 2023	Variation historique	Remarques Rapport aux situations antérieures
T1	306.55 m	299.7 / 301.2 m	298.5 / 301.3 m	2023 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans les plus hauts
T2	311.57 m	302.5 / 304.0 m	302.6 / 304.7 m	2023 : Peu de variation annuelle Interannuel : Dans la plage
T3	322.87 m	300.3 / 301.4 m	300.6 / 302.0 m	2023 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans la moyenne
T4	304.15 m	296.5 / 298.4 m	296.3 / 298.5 m	2023 : Variation annuelle marquée, 2 m Interannuel : dans les plus hauts
T5	316.26 m	308.1 / 311.1 m	310.9 / 311.4 m	2023 : Variation estivale marquée Interannuel : dans les plus hauts
T6	315.35 m	303.1 / 304.7 m	303.0 / 304.9 m	2023 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans la moyenne
T7	314.76 m	307.3 / 310.8 m	306.8 / 311.2 m	2023 : Variation estivale marquée Interannuel : dans la moyenne
T11	307.88 m	300.8 / 302.5 m	300.8 / 303.7 m	2023 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans la moyenne
T12	311.20 m	302.6 / 304.6 m	302.5 / 304.8 m	2023 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans la moyenne
T13	310.73 m	304.4 / 306.3 m	304.2 / 306.7 m	2023 : Variation estivale marquée Interannuel : dans la moyenne
T14	313.21 m	305.7 / 308.0 m	304.8 / 308.2 m	2023 : Variation estivale marquée Interannuel : dans la moyenne

2023 est marqué par une stabilité en début d'année, puis un point bas estival, en août, avant une remontée franche jusqu'à fin décembre, sous l'effet des pluies.

Aucune influence des prélèvements de la Saline sur la nappe alluviale de la Galaure n'est perceptible.

Figure 3 : Evolution des puits T de la nappe alluviale



6

Débit de la Galaure - Année 2023

6.1 Contexte général St-Uze

L'année 2023 est très déficitaire par rapport aux valeurs de référence :

- ✓ Des débits plus élevés qu'en 2022 mais avec une forte variabilité saisonnière :
 - Une première partie de l'année 2023, de janvier à septembre, fortement déficitaire ;
 - Une fin d'année de septembre à décembre excédentaire, +19 à +59% ;
- ✓ Des débits moyens estivaux très faibles, de la moitié au tiers des débits de référence.

La corrélation pluie de la saline / débit de la station de St-Uze est clairement apparente sur le graphe de la Figure 5, elle confirme la validité des pluies mesurées sur le site.

6.2 Suivi de la Galaure au droit du site

En aval, sur HA10/HA11, le suivi est valide pour toute l'année. L'écoulement y a été quasi nul en période estivale 2023, de début juillet au 22 octobre.

Données de débit de la Galaure 2023 à St-Uze,
En m³/s :

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Moyenne mensuelle	% moyenn
Janvier	3.55 m ³ /s	2.40 m ³ /s	8.65 m ³ /s	4.71 m ³ /s	2.36 m ³ /s	1.18 m ³ /s	3.81 m ³ /s	1.29 m ³ /s	1.36 m ³ /s	2.75 m ³ /s	2.38 m ³ /s	1.12 m ³ /s	2.76 m ³ /s	-146%
Février	1.40 m ³ /s	2.73 m ³ /s	7.98 m ³ /s	4.78 m ³ /s	2.34 m ³ /s	1.93 m ³ /s	2.58 m ³ /s	3.51 m ³ /s	1.21 m ³ /s	2.36 m ³ /s	1.42 m ³ /s	0.80 m ³ /s	2.61 m ³ /s	-225%
Mars	1.43 m ³ /s	3.91 m ³ /s	3.45 m ³ /s	3.54 m ³ /s	2.77 m ³ /s	1.48 m ³ /s	3.16 m ³ /s	1.38 m ³ /s	1.76 m ³ /s	1.11 m ³ /s	1.04 m ³ /s	1.24 m ³ /s	2.49 m ³ /s	-101%
Avril	3.47 m ³ /s	3.92 m ³ /s	1.63 m ³ /s	2.92 m ³ /s	1.82 m ³ /s	1.14 m ³ /s	1.78 m ³ /s	1.59 m ³ /s	0.78 m ³ /s	0.93 m ³ /s	1.34 m ³ /s	1.05 m ³ /s	2.60 m ³ /s	-148%
Mai	2.32 m ³ /s	5.90 m ³ /s	1.75 m ³ /s	2.21 m ³ /s	2.40 m ³ /s	1.66 m ³ /s	1.82 m ³ /s	1.21 m ³ /s	1.08 m ³ /s	3.56 m ³ /s	0.59 m ³ /s	1.16 m ³ /s	2.29 m ³ /s	-97%
Juin	1.26 m ³ /s	1.70 m ³ /s	0.87 m ³ /s	2.25 m ³ /s	2.24 m ³ /s	0.72 m ³ /s	2.76 m ³ /s	0.97 m ³ /s	0.87 m ³ /s	1.74 m ³ /s	0.42 m ³ /s	1.07 m ³ /s	1.50 m ³ /s	-40%
Juillet	0.71 m ³ /s	0.79 m ³ /s	2.15 m ³ /s	0.49 m ³ /s	0.79 m ³ /s	0.47 m ³ /s	0.45 m ³ /s	0.40 m ³ /s	0.35 m ³ /s	2.65 m ³ /s	0.30 m ³ /s	0.36 m ³ /s	0.94 m ³ /s	-160%
Août	0.48 m ³ /s	0.67 m ³ /s	1.23 m ³ /s	0.49 m ³ /s	0.63 m ³ /s	0.45 m ³ /s	0.47 m ³ /s	0.41 m ³ /s	0.33 m ³ /s	0.89 m ³ /s	0.37 m ³ /s	0.37 m ³ /s	0.66 m ³ /s	-79%
Septembre	0.79 m ³ /s	0.80 m ³ /s	1.35 m ³ /s	2.35 m ³ /s	0.66 m ³ /s	0.56 m ³ /s	0.50 m ³ /s	0.45 m ³ /s	0.42 m ³ /s	0.66 m ³ /s	0.50 m ³ /s	1.82 m ³ /s	1.31 m ³ /s	+28%
Octobre	0.89 m ³ /s	5.79 m ³ /s	3.31 m ³ /s	1.65 m ³ /s	1.21 m ³ /s	0.66 m ³ /s	0.60 m ³ /s	1.15 m ³ /s	0.83 m ³ /s	2.36 m ³ /s	0.71 m ³ /s	4.52 m ³ /s	2.27 m ³ /s	+50%
Novembre	4.45 m ³ /s	4.70 m ³ /s	7.46 m ³ /s	1.60 m ³ /s	2.08 m ³ /s	0.90 m ³ /s	1.75 m ³ /s	3.32 m ³ /s	0.69 m ³ /s	1.27 m ³ /s	1.16 m ³ /s	3.23 m ³ /s	2.60 m ³ /s	+20%
Décembre	2.80 m ³ /s	4.59 m ³ /s	2.59 m ³ /s	1.33 m ³ /s	1.29 m ³ /s	2.05 m ³ /s	2.14 m ³ /s	4.00 m ³ /s	2.06 m ³ /s	4.78 m ³ /s	2.97 m ³ /s	6.24 m ³ /s	2.63 m ³ /s	+58%

Référence : débit moyen mensuel donné par la Banque Hydro à début 2023

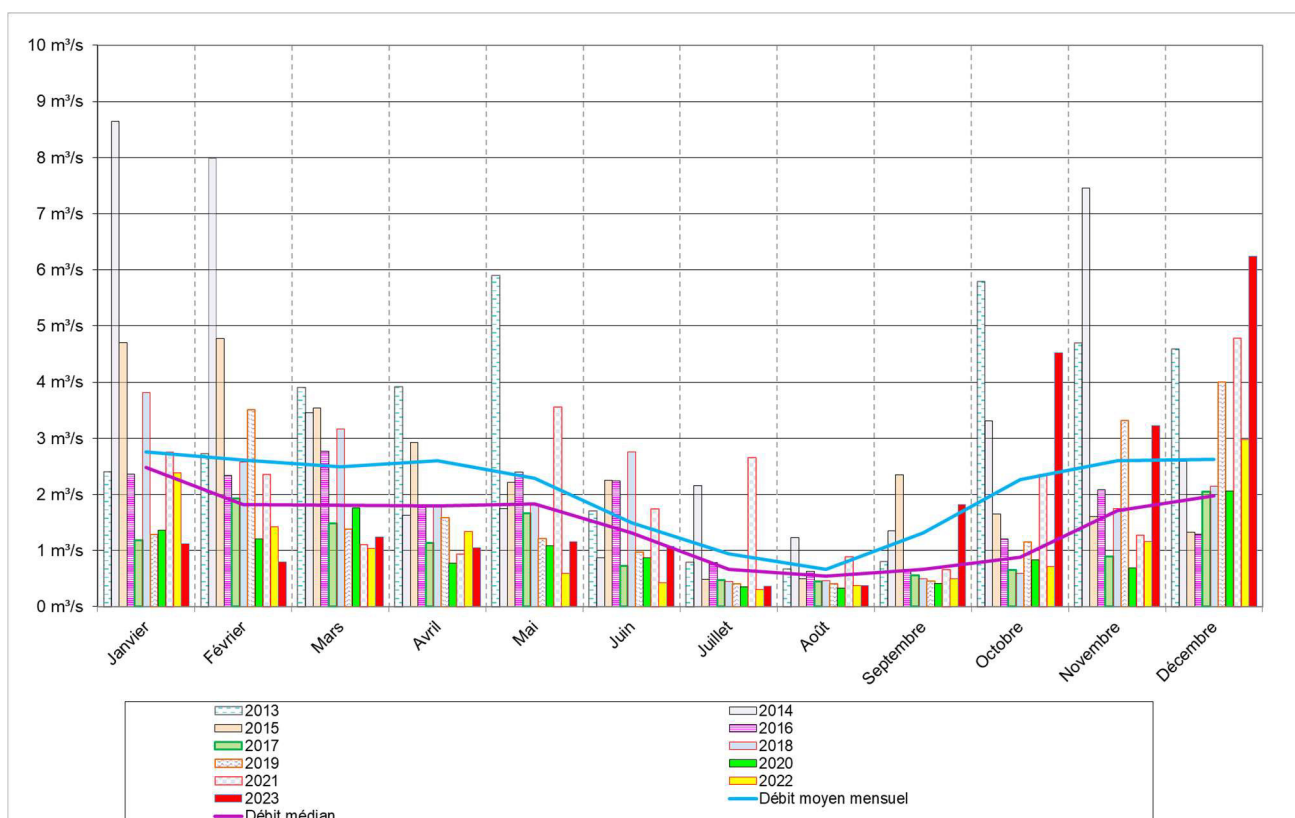


Figure 4 : Débit de la Galaure à St-Uze

Figure 5 : Relation pluie débit Galaure à St-Uze

CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
EVOLUTION DU DEBIT DE LA GALAURE A ST-UZE

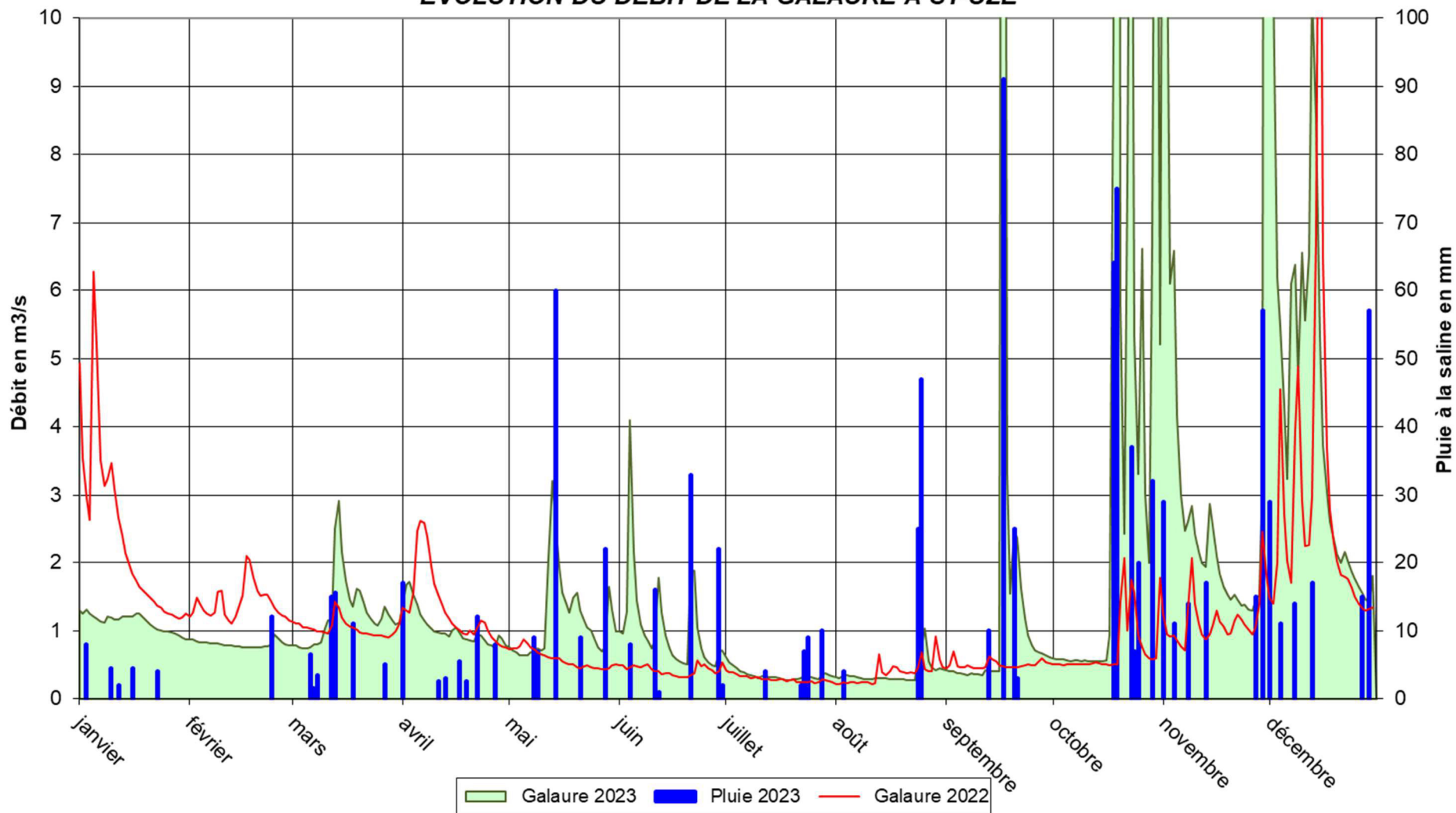
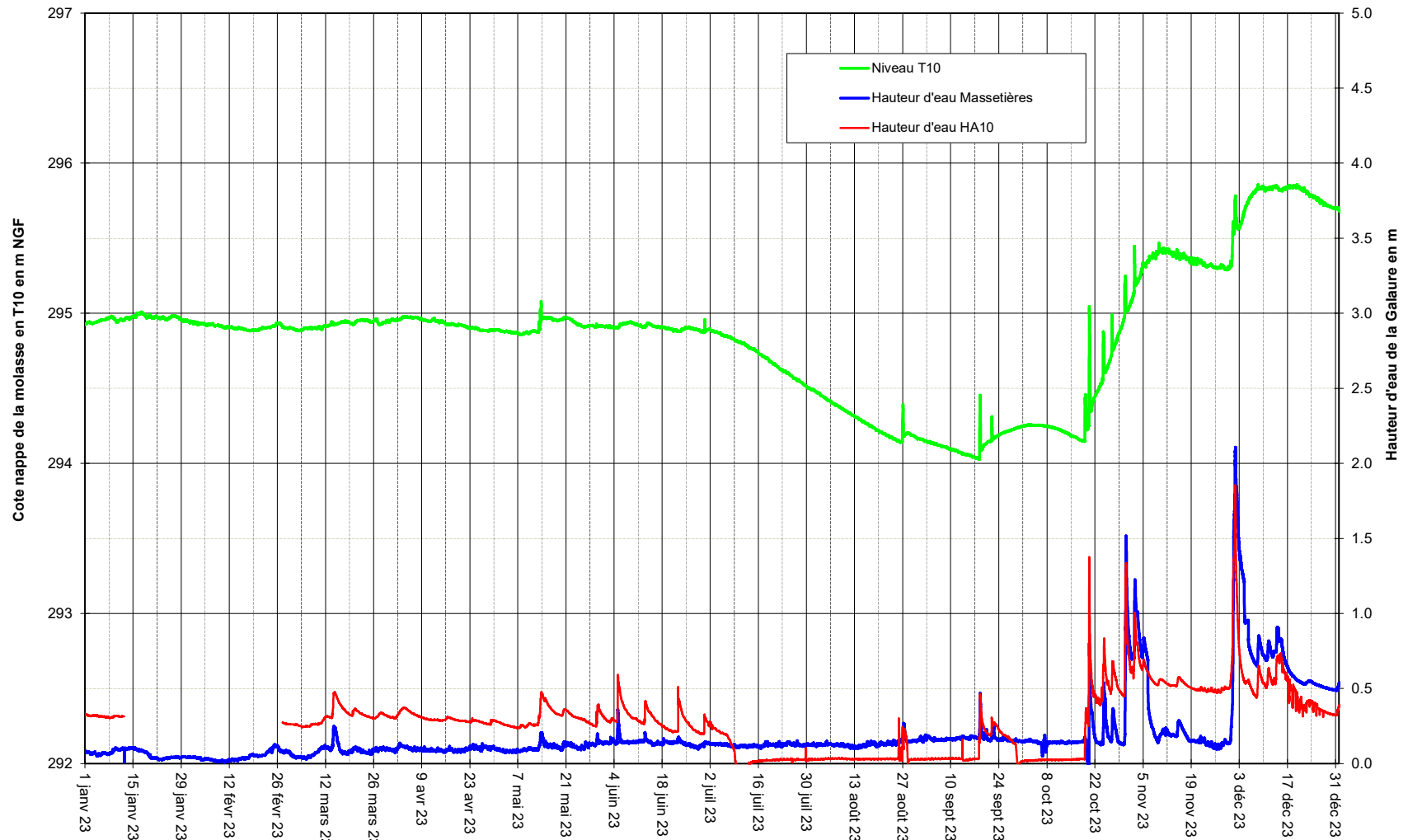


Figure 6 : Suivi comparé du niveau puits T10 et aux stations Massetières amont et HA10/HA11 aval

CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
EVOLUTION DU NIVEAU DE LA GALAURE



7

Qualité des eaux de la molasse

Les prélèvements d'eau pour analyse ont été réalisés le 22 novembre 2023 sur chacun des forages M1 et M2.

Les résultats d'analyses par le laboratoire EUROFINs sont les suivants :

- ✓ L'eau captée par M2 est de bonne qualité, peu minéralisée et à faible teneur en nitrates et chlorures. Les hydrocarbures sont absents.
- ✓ L'eau captée par M1 en exploitation est de bonne qualité. L'eau est exempte de nitrates. Les hydrocarbures sont absents.
L'eau captée sur M1 est de minéralisation élevée en chlorures, sodium et calcium. Ces concentrations sont globalement stables en exploitation depuis 2019.

Paramètres	Forage M1													Unité de mesure
Date	20/1 2011	28/03 2012	17/12 2012	13/1/ 2014	12/12 2014	12/02 2016	05/12 2017	24/01/ 2019	12/12/ 2019	05/02/ 2022	03/12/ 2021	17/02/ 2023	22/11/ 2023	
Conductivité		1 010	960		1 310	1 250	1 180	1 300	1 210	1 350	1 370	1 360	1430	µS/cm
Calcium soluble	125	156	145	142	149	142	121	158	140	152	140	142	145	mg/l
Magnésium soluble	11,5	11,9	12,1	11,9	11,2	11,3	8,86	11.4	10.8	8.84	10.7	9.93	10.1	mg/l
Sodium soluble	19,3	32,1	38,5	44,9	50,8	59,5	51,5	36.1	74.8	111	105	116	132	mg/l
Potassium soluble	1,07	1,05	0,88	1,09	1,11	0,85	0,99	1.32	1.24	1.22	1.35	1.59	1.66	mg/l
Hydrogéo-carbonates	183	179	184	223,3	189,1	186,7	192,8	196.4	201.3	217.2	203.7	208.3	222.0	mg/l HCO3
Chlorures	202	232	239	258	277	245	282	323	297	310	323	333	344	mg/l
Sulfates	5,88	6,45	7,03	11,1	12,5	8,97	9,29	11.1	10.4	12.4	12.4	14.2	15.1	mg/l SO4
Nitrates	3,15	3,46	3,23	3,72	2,4	3,44	3,06	2.66	3.20	3.96	2.02	4.7	5.32	mg/l NO3
Hydrocarbures C10-C40	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,057	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	mg/l

Tableau 5 : Suivi de la qualité du forage M1

Paramètres	Forage M2													Unité de mesure
Date	20/1 2011	28/03 2012	17/12 2012	13/1/ 2014	12/12 2014	12/02 2016	05/12 2017	24/01/ 2019	12/12/ 2019	05/02/ 2021	03/12/ 2021	17/02/ 2023	22/11/ 2023	
Conductivité		300	340		410	410	340		362	379	470	400	337	μS/cm
Calcium soluble	53	56,4	59,7	60,5	62,5	68,5	51,9	67,9	69,3	70,9	79,1	76,6	62	mg/l
Magnésium soluble	7,36	3,73	3,33	2,74	2,76	1,79	2,58	1,9	1,64	2,65	1,95	1,82	3,7	mg/l
Sodium soluble	2,65	3,05	3,61	2,74	4,12	5,19	4,28	2,27	4,33	3,39	3,95	6,49	4,1	mg/l
Potassium soluble	0,64	0,73	0,51	0,64	0,71	0,60	0,67	0,58	0,55	0,54	0,67	0,72	0,73	mg/l
Hydrogéo-carbonates	184	178	181	208,6	192,8	186,7	187,9	190,3	198,9	197,6	190,3	191,0	180,6	mg/l HCO3
Chlorures	6,34	5,73	9,59	14,1	12,9	12,1	9,24	13,2	12,7	23,7	31,6	24,3	11,1	mg/l
Sulfates	<5	5,39	5,48	10,4	11,7	8,19	5,51	6,8	7,40	5,21	6,41	7,16	5,5	mg/l SO4
Nitrates	2,54	4,5	5,66	8,32	7,25	8,34	7,06	11,2	8,24	7,22	5,41	9,00	4,82	mg/l NO3
Hydrocarbures C10-C40	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,134	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	mg/l

Tableau 6 : Suivi de la qualité du forage M2

Figure 7 : Suivi Niveau-Débit du forage M1

CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
NAPPE DE LA MOLASSE AU FORAGE M1

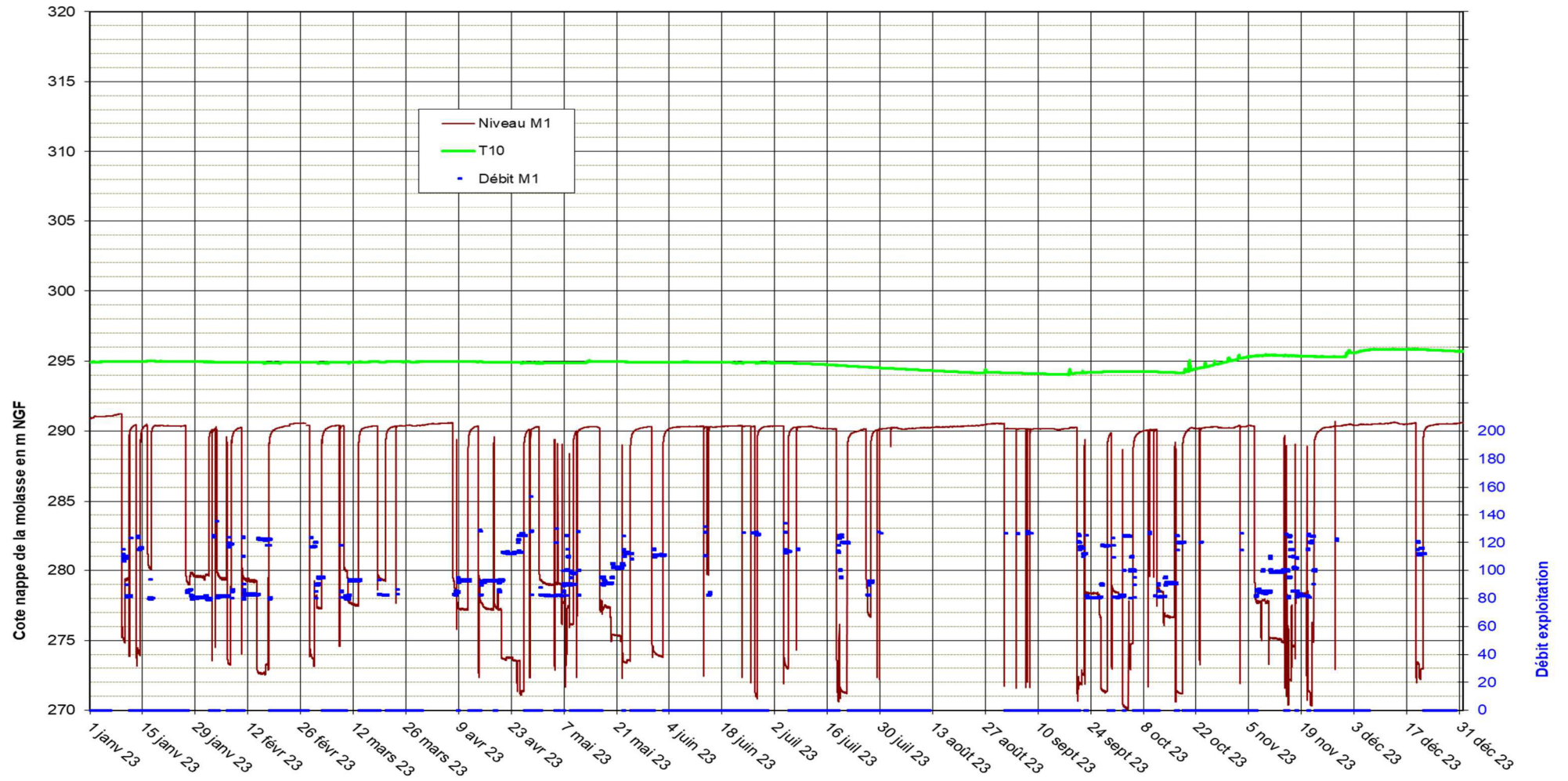
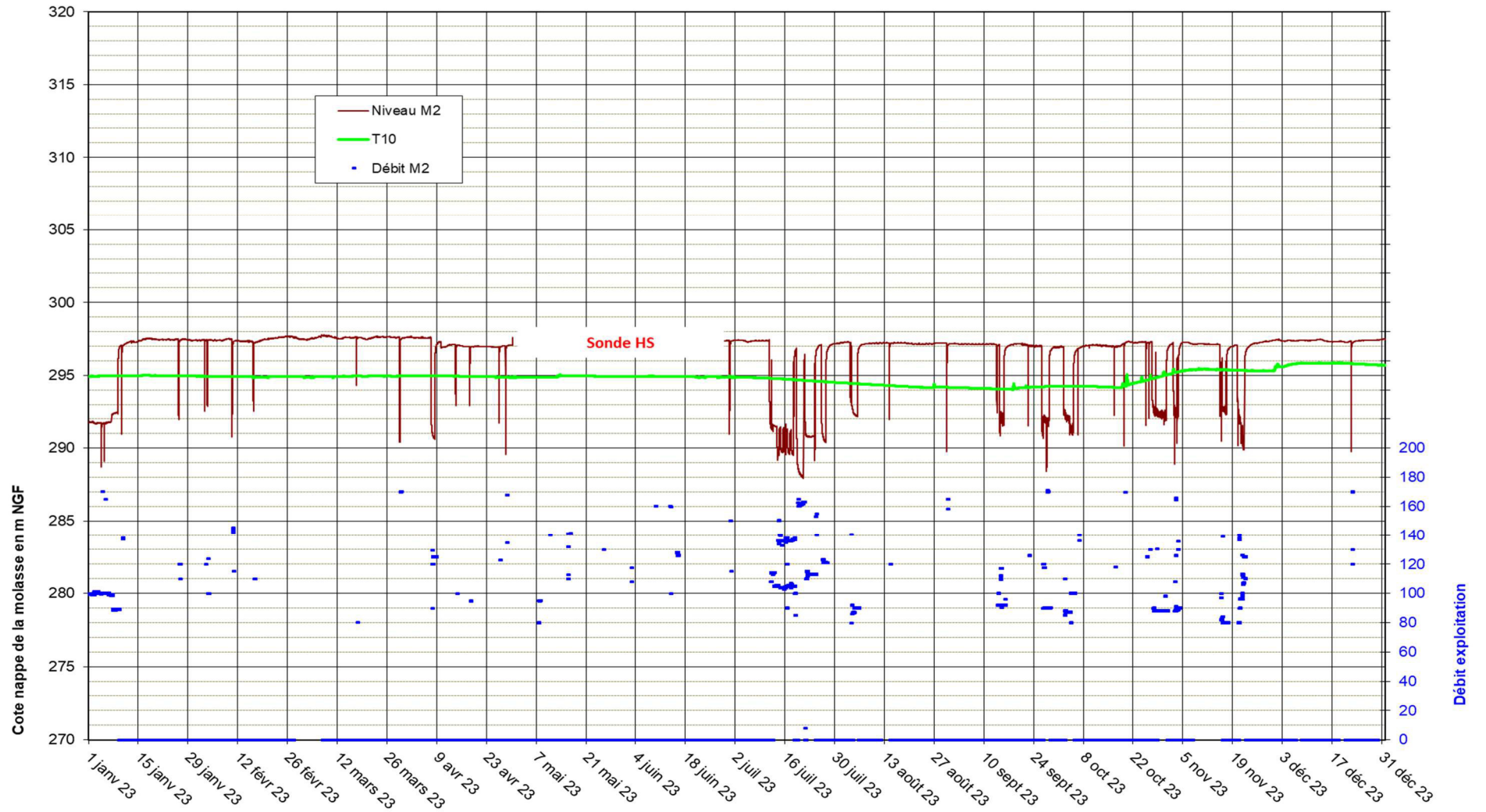


Figure 8 : Suivi Niveau-Débit du forage M2
CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
NAPPE DE LA MOLASSE AU FORAGE M2



CONSULTING

**Agence d'Aix-en-Provence
Aix Métropole – Bât. D30
Avenue Henri Malacrida
13 100 AIX-EN-PROVENCE
Tel. : + 33 4 42 93 65 10**

www.suez.com/fr/consulting-conseil-et-ingenierie





SALINE DE HAUTERIVES

Surveillance de la Galaure
Surveillance de la
nappe de la molasse

RAPPORT ANNUEL 2024

TABLE DES MATIERES

1 PREAMBULE	7
2 PRELEVEMENT EN EAU DOUCE DE LA SALINE CHLORALP	8
2.1 Les ouvrages	8
2.2 Prélèvements 2024 et historique	10
3 CONTEXTE METEOROLOGIQUE 2024	13
3.1 Données utilisées	13
3.2 Période de référence météorologique	13
3.3 Situation pluviométrique 2024	14
4 SUIVI DE LA NAPPE DE LA MOLASSE.....	17
4.1 Cadre du suivi.....	17
4.2 Observations - Influences	18
5 SUIVI DE LA NAPPE DES ALLUVIONS	20
6 DEBIT DE LA GALAURE - ANNEE 2024	22
6.1 Contexte général St-Uze.....	22
6.2 Suivi de la Galaure au droit du site.....	22
7 QUALITE DES EAUX DE LA MOLASSE	26

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Localisation des points de référence	9
Figure 2 : Suivi des forages M1, M2 et des puits T8 T9 et T10.....	19
Figure 3 : Evolution des puits T de la nappe alluviale.....	21
Figure 4 : Débit de la Galaure à St-Uze.....	23
Figure 5 : Relation pluie débit Galaure à St-Uze	24
Figure 6 : Suivi comparé du niveau puits T10 et aux stations Massetières amont et HA10/HA11 aval	25
Figure 7 : Suivi Niveau-Débit du forage M1.....	27
Figure 8 : Suivi Niveau-Débit du forage M2.....	28
Tableau 1 : Répartition interannuelle des prélèvements de la saline.....	11
Tableau 2 : Répartition mensuelle des débits pompés en 2024.....	12
Tableau 3 : Pluviométrie 2024	16
Tableau 4 : Evolution du niveau des puits T de la nappe alluviale	20

RESUME

En 2024 les prélèvements en eau douce de la saline VENCOREX à Hauterives s'élevaient à 613 804 m³, en augmentation de 2.43% par rapport à ceux de 2023.

Ces prélèvements de 2024 représentent seulement $\approx 30\%$ de la consommation moyenne des années 2001 à 2006 qui s'élevait à 1 800 000 m³.

La part des eaux pompées dans l'aquifère molassique miocène par les forages M1 et M2 représente $\approx 76\%$ du prélèvement sur cette année 2024 soit 467 804 m³.

Le prélèvement dans la nappe alluviale de la Galaure est de 146 092 m³ soit $\approx 34\%$ en moyenne annuelle.

Durant les mois de juillet à octobre, les prélèvements dans la nappe alluviale se sont élevés à 38 477 m³ répartis en :

- ◆ Juillet : débit prélevé dans les alluvions est de 9 716 m³, soit 3,7 l/s, et 18% de la consommation de la saline ;
- ◆ Août : débit prélevé dans les alluvions est de 14 613 m³, soit 5,6 l/s et 21% de la consommation de la saline ;
- ◆ Septembre : débit prélevé dans les alluvions est de 6 376 m³, soit 2,5 l/s et 17% de la consommation de la saline ;
- ◆ Octobre : débit prélevé dans les alluvions est de 7 772 m³, soit 3,0 l/s et 12% de la consommation de la saline.

Avec 938.3 mm sur le site, la pluviométrie de l'année 2024 est 10% plus élevée que l'année normale mais avec une disparité importante :

- ◆ De janvier à février un faible déficit de quelques pourcents ;
- ◆ De mars à juin une pluviométrie nettement excédentaire ;
- ◆ En juillet et août une pluviométrie à nouveau déficitaire ;
- ◆ En septembre et octobre, un retour de la pluviométrie à des valeurs un peu supérieures à la normale ;
- ◆ Un mois de novembre très déficitaire par rapport à la normale (-77%/normale) ;
- ◆ Un mois de décembre supérieur à la normale (+41 %).

Les niveaux des puits T varient peu et sont dans le haut des limites interannuelles. Le suivi 2024 des puits T ne montre pas de variation estivale contrairement à l'année 2023.

Aucun indice de surexploitation n'est observable sur les alluvions.

La nappe de la molasse :

- ◆ Le niveau suivi sur M1, présente un niveau stable au cours de l'année 2024 et ne montre aucun signe de surexploitation depuis 1997 ;
- ◆ Le niveau suivi sur M2, est également stable sur l'année ;
- ◆ Le niveau suivi sur T10 à partir de juin montre une baisse estivale de l'ordre de 0,5m corrélée à la baisse de la nappe alluviale.
Cette influence n'est pas imputable à l'activité industrielle, les niveaux de fin 2024 remontent avec la pluviométrie enregistrée en fin d'année.

Aucune influence de l'exploitation du forage M1 ou M2 n'est mesurable sur T10.

1

Préambule

Le présent rapport constitue la synthèse des données acquises en 2024 dans le cadre du suivi des ressources en eau douce de la saline VENCOREX de Hauterives.

Ces dispositions de contrôle résultent du respect par VENCOREX des dispositions de l'article 21 de l'Arrêté préfectoral d'autorisation n°21-27 du 26 mai 1997 autorisant la réalisation et l'exploitation du forage M1 prélevant sa ressource dans l'aquifère profond de la molasse et de l'Arrêté préfectoral d'autorisation n°10-3179 du 30 juillet 2010 autorisant la réalisation et l'exploitation du forage M2.

Ce rapport annuel clôture une année calendaire complète de janvier à décembre 2024.

En 2024 les systèmes d'acquisition ont fonctionné de manière optimale :

Mesure du forage T10 :

Suivi numérique, année complète

Mesure station Massetières :

Suivi numérique, année complète

Mesure station HA10/HA11 :

Suivi numérique, année complète

Mesure forage M1 :

Suivi numérique, année complète

Mesure forage M2 :

Suivi numérique,

Forages de la nappe alluviale T8 et T9 :

Ces ouvrages, suivi manuellement, sont maintenant inclus dans un nouveau lotissement. Ils ne peuvent plus être relevés

Prélèvement en eau douce de la saline Chloralp

2.1 Les ouvrages

En 2024 la saline de Hauterives s'est approvisionnée en eau douce à partir du forage profond M1 captant la nappe de la molasse et des puits de la nappe alluviale de la Galaure T1 à T7 et T11 à T14 et du forage M2 captant la molasse.

Les prélèvements en nappe ont été réalisés :

- ✓ Essentiellement sur le forage profond **M1** captant la nappe de la molasse ;
- ✓ **M2**, captant la molasse, fonctionne en complément ;
- ✓ Les puits de la nappe alluviale de la Galaure **T1 à T7 et T11 à T14**.

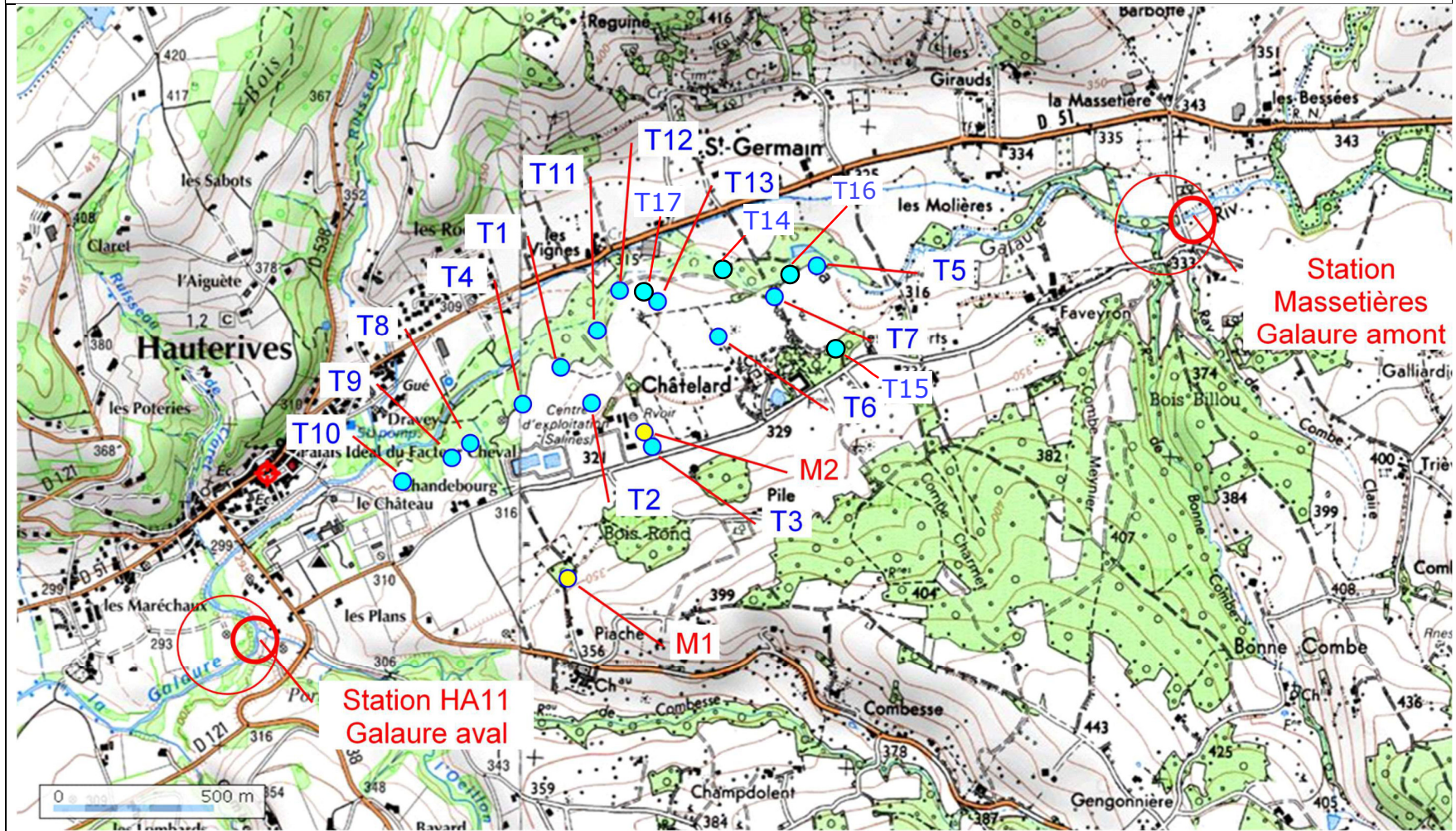
Le forage **M1**, réalisé en 1997, est exploité en 2024 en moyenne 7h17min par jour, à un débit moyen de 100.9 m³/h, compris entre 79 et 138 m³/h. Le rabattement est compris, en fonction du débit, entre 11.50 et 19,50 m ;

Le forage **M2**, réalisé en 2010, a été peu exploité en 2024 : 5h25min par jour en moyenne pour un débit moyen de 100.3 m³/h. L'ouvrage fonctionne à débit variable, entre un minimum à 54 m³/h et des pointes à 170 m³/h. Le rabattement varie de 4.60 à 9.35 m.

Les prélèvements dans la nappe alluviale sur les ouvrages T s'effectuent à la demande, en complément des forages M1. Les puits sont sélectionnés en fonction des besoins et de leurs potentialités. Il n'y a pas de programmation rigide.

Les ouvrages d'eau douce de la saline sont localisés sur la figure de la page suivante.

Figure 1 : Localisation des points de référence



2.2 Prélèvements 2024 et historique

La production de saumure est en 2024 directement issue de la fourniture d'eau par la saline :

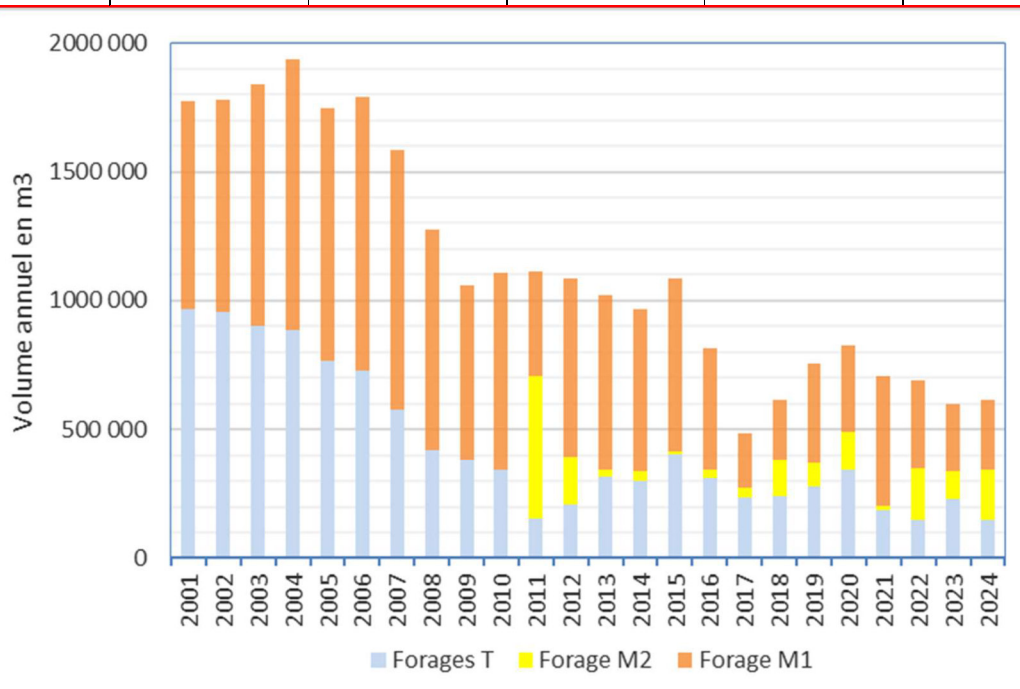
- ✓ La consommation en eau douce de la saline pour la confection de saumure en 2024 s'élève à 613 804m³, en légère augmentation par rapport à l'année 2023 : + 2.43 %;
- ✓ La consommation d'eau douce de 2024 représente maintenant environ 30% de la consommation moyenne des années 2001 à 2006 (1 800 000 m³) ;
- ✓ Pour 2024, la molasse a fourni 467 712 m³, soit 76% du débit total, à raison de 44% par le forage M1 et 32% par le forage M2 ;
- ✓ L'évolution des consommations annuelles depuis 2001 est donnée page suivante.
Ce tableau détaille la répartition des origines des eaux consommées, entre les forages à la molasse, M1, M2, et les ouvrages T de la nappe alluviale.

Durant les mois de juillet à octobre, les prélèvements dans la nappe alluviale se sont élevés à 38 477 m³ répartis en :

- Juillet : débit prélevé dans les alluvions est de 9 716 m³, soit 3,7 l/s, et 18% de la consommation de la saline ;
- Août : débit prélevé dans les alluvions est de 14 613 m³, soit 5,6 l/s et 21% de la consommation de la saline ;
- Septembre : débit prélevé dans les alluvions est de 6 376 m³, soit 2,5 l/s et 17% de la consommation de la saline ;
- Octobre : débit prélevé dans les alluvions est de 7 772 m³, soit 3,0 l/s et 12% de la consommation de la saline.

Tableau 1 : Répartition interannuelle des prélèvements de la saline

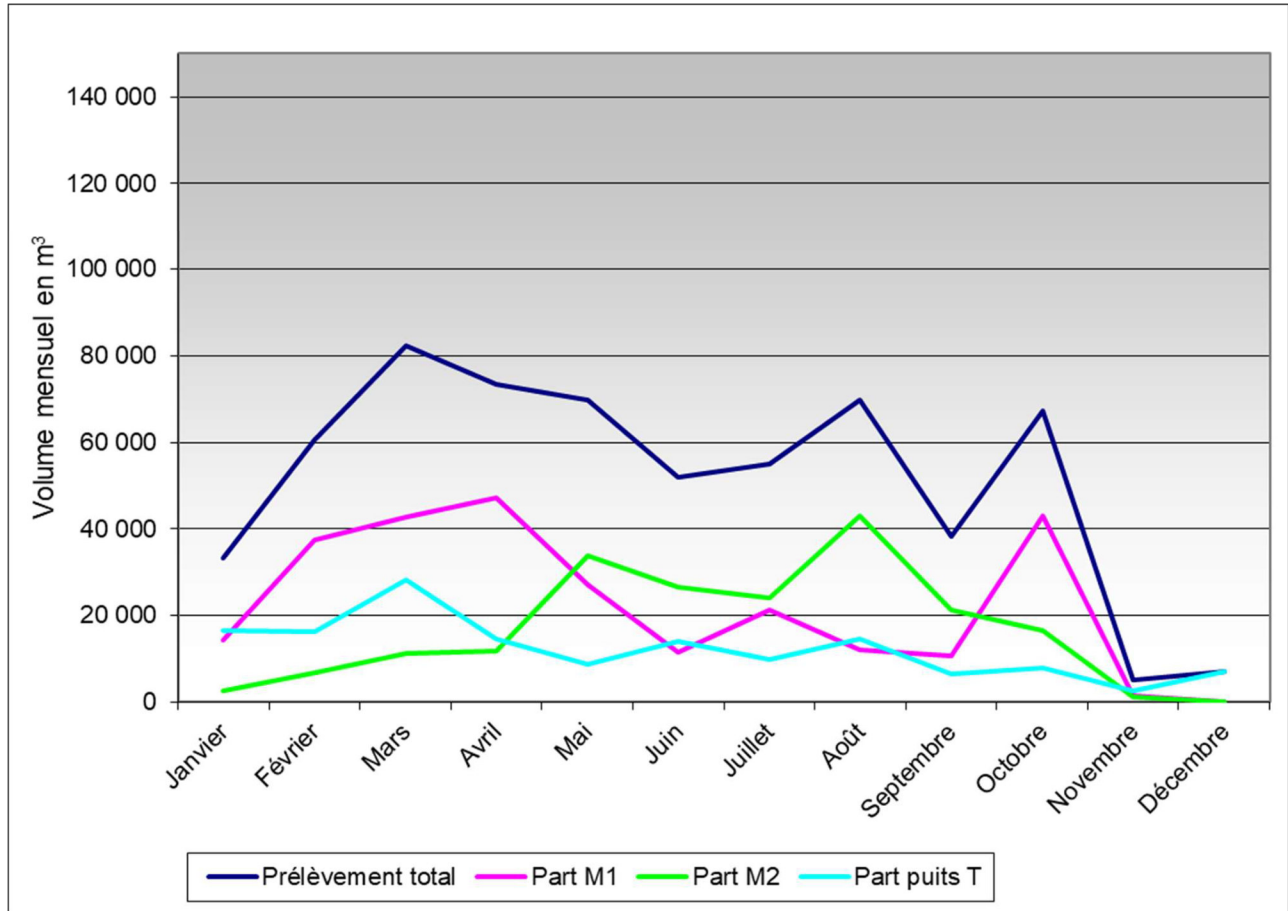
Années	M1	M2	Autres ouvrages	Total	Part molasse
2001	803 770 m ³	Non existant	968 215 m ³	1 771 985 m ³	
2002	824 720 m ³		956 992 m ³	1 781 712 m ³	
2003	939 291 m ³		900 030 m ³	1 839 321 m ³	
2004	1 047 233 m ³		886 568 m ³	1 933 801 m ³	
2005	980 011 m ³		765 498 m ³	1 745 509 m ³	
2006	1 065 330 m ³		726 801 m ³	1 792 131 m ³	
2007	1 008 739 m ³		577 280 m ³	1 586 019 m ³	
2008	855 190 m ³		421 712 m ³	1 276 902 m ³	
2009	679 896 m ³		378 933 m ³	1 058 829 m ³	
2010	763 812 m ³	En création	343 186 m ³	1 106 998 m ³	
2011	408 643 m ³	553 302 m ³	151 824 m ³	1 113 769 m ³	86%
2012	697 129 m ³	183 000 m ³	207 741 m ³	1 087 870 m ³	81%
2013	675 616 m ³	31 724 m ³	313 864 m ³	1 021 204 m ³	69%
2014	629 553 m ³	36 216 m ³	301 020 m ³	966 789 m ³	69%
2015	669 699 m ³	11 130 m ³	405 391 m ³	1 086 220 m ³	63%
2016	468 166 m ³	33 646 m ³	312 070 m ³	813 882 m ³	62%
2017	210 971 m ³	40 121 m ³	232 528 m ³	483 620 m ³	52%
2018	234 653 m ³	140 512 m ³	240 817 m ³	615 982 m ³	61%
2019	384 451 m ³	91 493 m ³	278 072 m ³	754 016 m ³	63%
2020	333 173 m ³	145 674 m ³	344 732 m ³	823 579 m ³	58%
2021	504 425 m ³	16 742 m ³	187 758 m ³	708 925 m ³	74%
2022	341 402 m ³	198 245 m ³	148 106 m ³	687 753 m ³	78%
2023	258 845 m ³	108 201 m ³	232 195 m ³	599 241 m ³	61%
2024	268 761 m ³	198 951 m ³	146 092 m ³	613 804 m ³	76%



- ✓ Répartition des prélèvements 2024, on note une diminution très importante des débits pompés en novembre et décembre 2024.

La répartition mensuelle des consommations 2024 est la suivante :

Tableau 2 : Répartition mensuelle des débits pompés en 2024



Contexte météorologique 2024

3.1 Données utilisées

VENCOREX dispose d'une chronique pluviométrique locale acquise sur son poste installé à la Saline.

La chronique a été comparée pour validation en 1999 à la chronique relevée par Météo-France à la station de St-Sorlin en Valloire. Les valeurs locales mesurées par CHLORALP étant représentatives de la pluviométrie générale, le protocole de mesure et la chronique constituée sont validés.

Les données journalières utilisées sont celles de la station de la Saline.

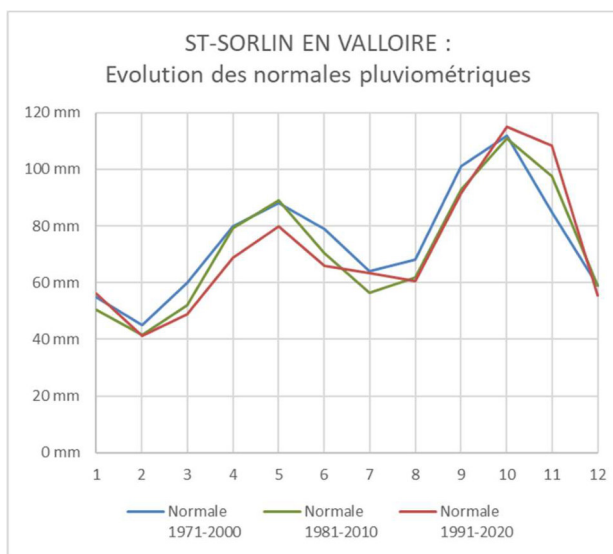
3.2 Période de référence météorologique

Pour situer la période de suivi, les relevés pluviométriques à la Saline sont comparés aux normales de la station de Saint-Sorlin en Valloire.

Normales des années 1971-2000, jusqu'à présent.

Les normales sont revues chaque décennie et les normales en vigueur ont évolué, mais de manière limitée :

	Normale 1971-2000	Normale 1981-2010	Normale 1991-2020
Janvier	55.0 mm	50.4 mm	56.1 mm
Fevrier	45.0 mm	41.4 mm	41.2 mm
Mars	60.0 mm	51.9 mm	48.7 mm
Avril	80.0 mm	79.1 mm	68.8 mm
Mai	88.0 mm	88.9 mm	79.9 mm
Juin	79.0 mm	70.3 mm	66.0 mm
Juillet	64.0 mm	56.3 mm	63.3 mm
Aout	68.0 mm	61.9 mm	60.4 mm
Septembre	101.0 mm	93.0 mm	91.5 mm
Octobre	112.0 mm	110.9 mm	115.1 mm
Novembre	85.0 mm	97.5 mm	108.3 mm
Decembre	59.0 mm	59.0 mm	55.6 mm
TOTAL	896.0 mm	860.6 mm	854.9 mm



Le référentiel de comparaison du présent rapport est la normale 1991-2020.

3.3 Situation pluviométrique 2024

Les situations antérieures indiquaient :

- La période depuis 2012 a été excédentaire 6 années sur 8. L'années 2016 proche de la normale et l'année 2017 nettement déficitaire avec une pluie inférieure de 31% par rapport à la normale. ;
- L'année 2020 était, avec une lame de 608 mm, marquée par un fort déficit.
- L'année 2021 s'était révélée excédentaire de 18 % (1 100 mm) et 2022 déficitaire de 20% (687,5 mm) ;
- L'année 2023 était également excédentaire de 21% avec 1 036 mm ;

Avec 938.3 mm enregistré sur le site, la pluviométrie de l'année 2024 est 10% plus élevée que l'année normale mais avec une forte disparité :

- ◆ De janvier à février on note une pluviométrie proche de la normale ;
- ◆ De mars à juin la pluviométrie est nettement excédentaire par rapport à la normale ;
- ◆ En juillet et août la pluviométrie est à nouveau déficitaire ;
- ◆ En septembre et octobre, la pluviométrie a des valeurs un peu supérieures à la normale ;
- ◆ Le mois de novembre est très déficitaire par rapport à la normale (-77%/normale) ;
- ◆ Le mois de décembre apparaît supérieur à la normale (+41 %).

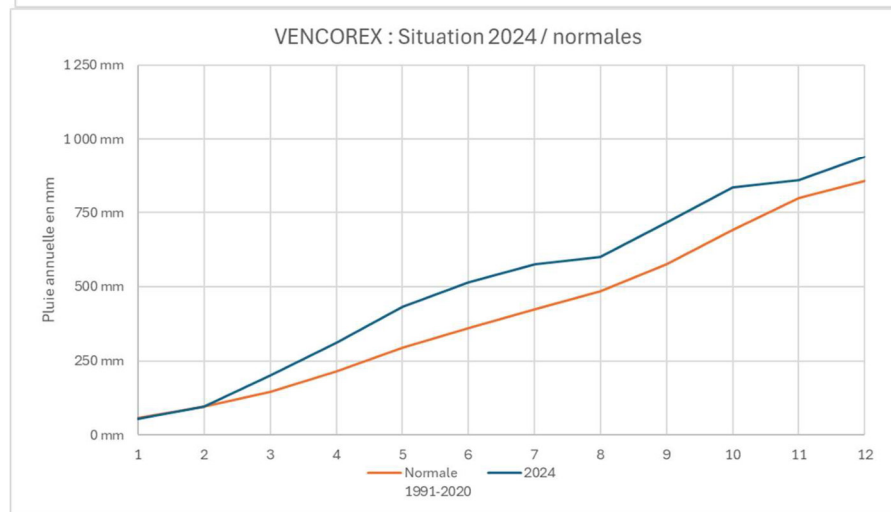
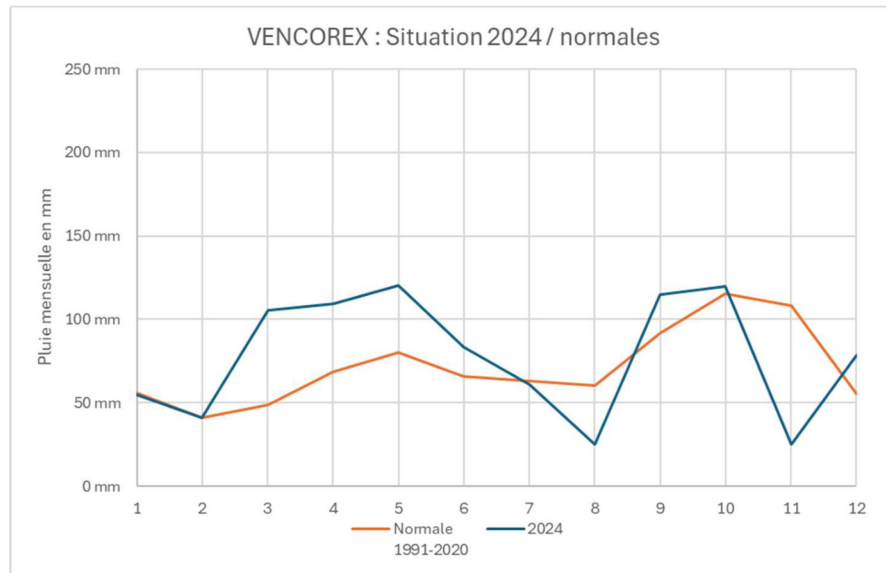


Tableau 3 : Pluviométrie 2024

	Normale 1991-2020	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart
Janvier	56.1 mm	65.5 mm	148.5 mm	103.6 mm	93.0 mm	25.0 mm	133.5 mm	26.5 mm	28.0 mm	81.5 mm	31.0 mm	23.0 mm	54.6 mm	-2.7%
Fevrier	41.2 mm	51.5 mm	145.0 mm	82.0 mm	61.0 mm	36.5 mm	36.5 mm	80.0 mm	13.0 mm	40.5 mm	23.5 mm	12.0 mm	41.0 mm	-0.5%
Mars	48.7 mm	85.0 mm	16.0 mm	62.0 mm	79.0 mm	58.0 mm	84.5 mm	26.5 mm	51.0 mm	26.5 mm	13.0 mm	58.0 mm	105.2 mm	+116.0%
Avril	68.8 mm	136.0 mm	32.0 mm	75.0 mm	64.0 mm	25.0 mm	68.0 mm	77.0 mm	14.0 mm	54.0 mm	48.0 mm	50.5 mm	109.5 mm	+59.2%
Mai	79.9 mm	151.0 mm	67.5 mm	58.0 mm	126.0 mm	98.0 mm	139.0 mm	69.5 mm	67.0 mm	159.0 mm	13.0 mm	107.0 mm	120.5 mm	+50.8%
Juin	66.0 mm	28.5 mm	34.0 mm	97.0 mm	78.0 mm	60.0 mm	99.0 mm	75.0 mm	61.5 mm	100.0 mm	51.0 mm	80.0 mm	83.5 mm	+26.5%
Juillet	63.3 mm	50.5 mm	130.0 mm	4.0 mm	54.0 mm	28.5 mm	26.0 mm	42.0 mm	23.0 mm	123.5 mm	13.0 mm	34.0 mm	61.0 mm	-3.6%
Aout	60.4 mm	84.0 mm	54.5 mm	37.0 mm	41.0 mm	68.0 mm	40.0 mm	49.0 mm	26.0 mm	54.5 mm	100.0 mm	76.0 mm	25.0 mm	-58.6%
Septembre	91.5 mm	129.0 mm	104.5 mm	214.5 mm	39.0 mm	47.0 mm	8.5 mm	41.0 mm	32.5 mm	75.0 mm	69.5 mm	129.0 mm	115.0 mm	+25.7%
Octobre	115.1 mm	242.0 mm	137.0 mm	96.5 mm	125.5 mm	8.5 mm	81.5 mm	174.5 mm	130.5 mm	105.0 mm	120.5 mm	235.0 mm	119.5 mm	+3.8%
Novembre	108.3 mm	114.5 mm	205.5 mm	37.0 mm	101.0 mm	81.0 mm	123.5 mm	190.0 mm	26.0 mm	71.0 mm	91.5 mm	143.0 mm	25.0 mm	-76.9%
Decembre	55.6 mm	110.0 mm	3.0 mm	27.0 mm	10.0 mm	79.0 mm	63.0 mm	76.0 mm	136.0 mm	120.0 mm	113.5 mm	88.5 mm	78.5 mm	+41.2%
TOTAL	854.9 mm	1 247.5 mm	1 077.5 mm	893.6 mm	871.5 mm	614.5 mm	903.0 mm	927.0 mm	608.5 mm	1 010.5 mm	687.5 mm	1 036.0 mm	938.3 mm	
		+39%	+20%	-0%	-3%	-28%	+6%	+8%	-29%	+18%	-20%	+21%	+10%	

4

Suivi de la nappe de la molasse

4.1 Cadre du suivi

Un graphe comparatif des cotes de nappe est établi avec les mesures de M1 et M2, les mesures manuelles de T8 T9 et les mesures automatiques de T10.

Les ouvrages M1, M2 et T10 sont suivis en continu.

- ✓ Sur **M1** suivi en continu, au pas de 1 mesure / 5 minutes ;
Continu, année complète

- ✓ Sur **M2** suivi en continu, au pas de 1 mesure / 5 à 6 minutes.
Continu, année complète ;

- ✓ Sur **T10** en continue, au pas de 1 mesure / 5 minutes.
Continu, année complète

- ✓ Les mesures de **T8** et **T9** sont manuelles au pas mensuel.
Les puits T8 et T9 sont inaccessibles en raison de la construction d'un lotissement.

4.2 Observations - Influences

T10, montre une année à faible variation, comprise entre 295,0 m NGF et 296,0 m NGF. On observe un minima annuel en période estival autour de 295.03 m NGF début septembre. En fin d'année le niveau est remonté vers 295,50 m NGF fin décembre sous l'effet des pluies.

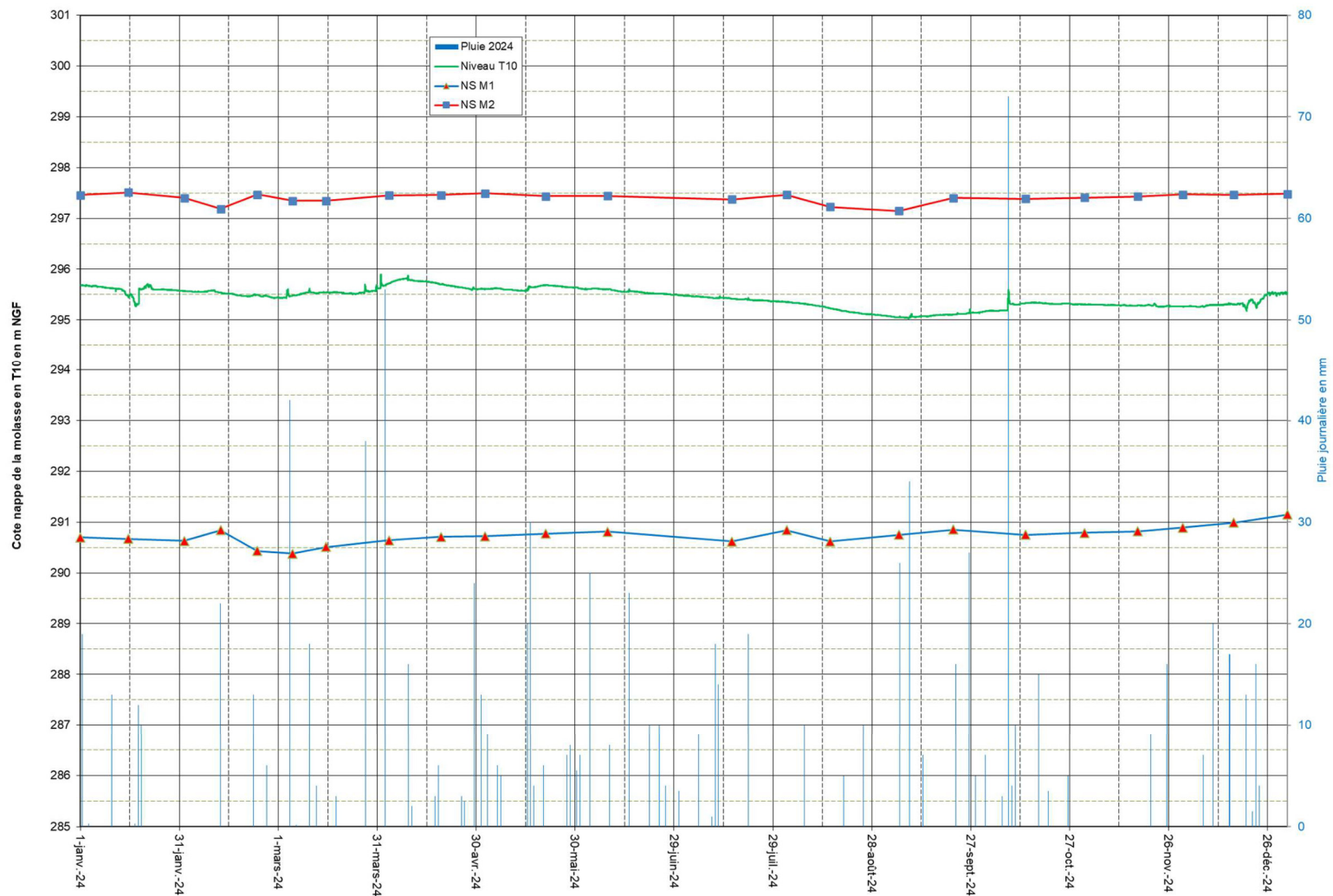
M1 a été exploité en 2024 à 268 761 m³, en hausse par rapport à 2023. Les périodes de pompage resserrées permettent quand même de constater un niveau statique compris entre 290,5 / 291,2 m NGF.

M2 a été exploité en 2024 à 198 951 m³, en nette hausse par rapport à 2023. Les niveaux hauts constituent un niveau statique représentatif (Figure 8). Le graphe montre un niveau statique compris entre 297,0 et 298,0 m NGF.

La nappe n'est pas surexploitée. Les niveaux au repos sont remarquablement stables depuis la mise en exploitation des ouvrages M1 et M2.

Aucune influence de M1/M2 n'est observable sur T10.

Figure 2 : Suivi des forages M1, M2 et du puits T10



5

Suivi de la nappe des alluvions

Les données sont acquises mensuellement par VENCOREX avec une sonde électrique.

Le graphe de l'évolution des niveaux, établi avec ces valeurs, montre, pour les ouvrages non exploités, une grande stabilité de la nappe alluviale.

Les mesures sont réalisées de préférence hors pompage.

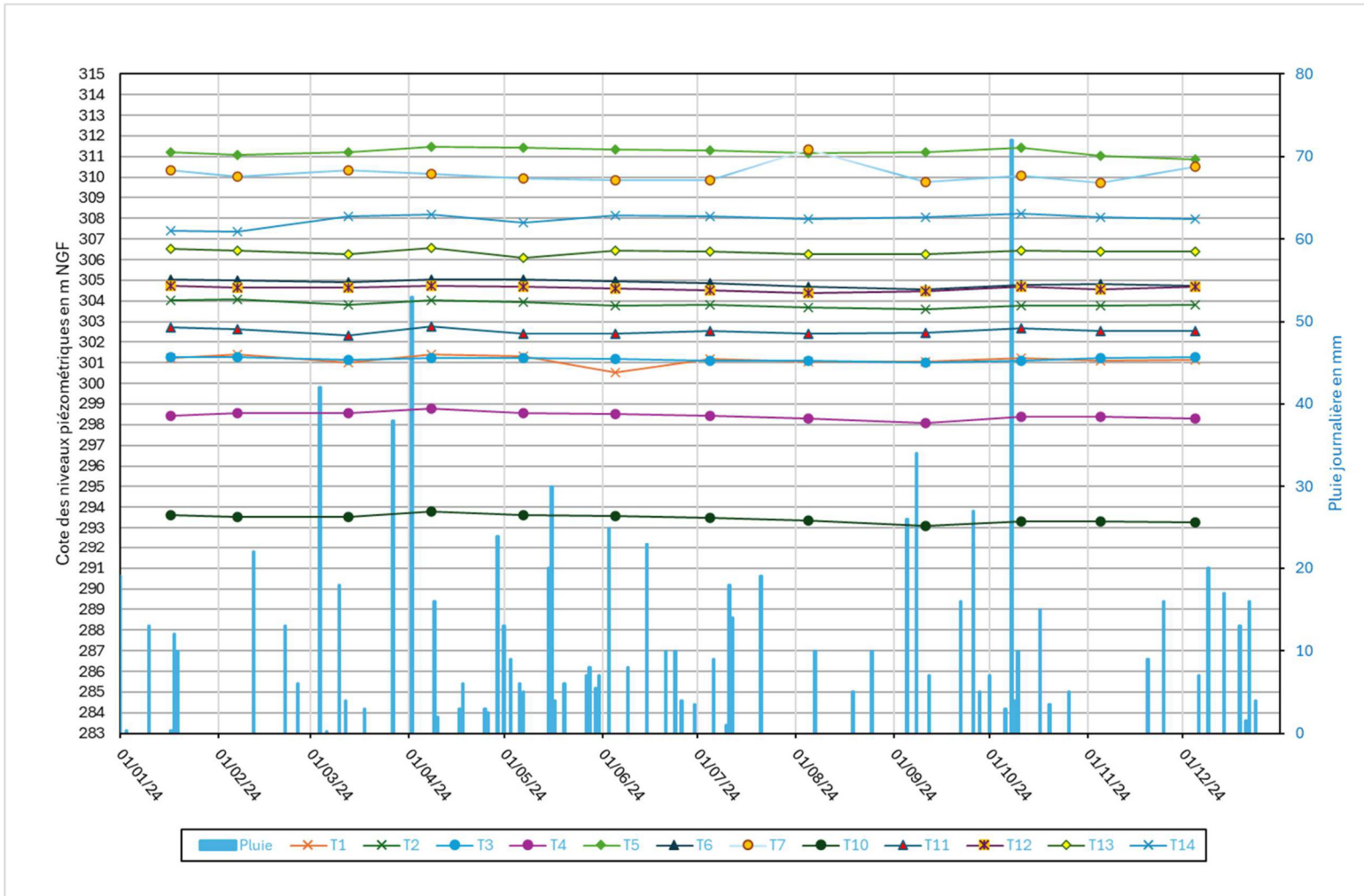
Tableau 4 : Evolution du niveau des puits T de la nappe alluviale

Ouvrage	Cote repère	Variation 2024	Variation historique	Remarques Rapport aux situations antérieures
T1	306.55 m	300.52 / 301.41 m	298.5 / 301.41 m	2024 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans les plus hauts
T2	311.57 m	303.59 / 304.09 m	302.6 / 304.7 m	2024 : Peu de variation annuelle Interannuel : Dans la plage
T3	322.87 m	301.01 / 301.29 m	300.6 / 302.0 m	2024 : Peu de variation annuelle Interannuel : Dans la plage
T4	304.15 m	298.07/ 298.77 m	296.3 / 298.77 m	2024 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans les plus hauts
T5	316.26 m	310.85 / 311.46 m	308.1 / 311.46 m	2024 : Variation estivale marquée Interannuel : dans les plus hauts
T6	315.35 m	304.57 / 305.06 m	303.0 / 305.06 m	2024 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans les plus hauts
T7	314.76 m	309.73 / 311.35 m	306.8 / 311.35 m	2024 : Variation estivale marquée Interannuel : dans les plus hauts
T11	307.88 m	302.34 / 302.75 m	300.8 / 303.7 m	2024 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans la moyenne
T12	311.20 m	304.38 / 304.74 m	302.5 / 304.8 m	2024 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans les plus hauts
T13	310.73 m	306.10 / 306.55 m	304.2 / 306.7 m	2024 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans la moyenne
T14	313.21 m	307.35 / 308.24 m	304.8 / 308.24 m	2024 : Peu de variation annuelle Interannuel : dans les plus hauts

L'année 2024 est marquée par une stabilité des niveaux sur l'ensemble des ouvrages T. On n'observe peu de variation annuelle : seul l'ouvrage T7 présente une variation annuelle supérieur à 1 m. En 2024 aucune baisse de niveau estival n'a été enregistrée.

Aucune influence des prélèvements de la Saline sur la nappe alluviale de la Galaure n'est perceptible.

Figure 3 : Evolution des puits T de la nappe alluviale



6

Débit de la Galaure - Année 2024

6.1 Contexte général St-Uze

L'année 2024 est déficitaire par rapport aux valeurs de référence :

- ✓ Les débits 2024 sont un peu supérieurs aux débits enregistrés en 2023 mais avec des disparités selon la période :
 - De janvier à août 2024, les débits sont nettement supérieurs à ceux de 2023 ;
 - De septembre à décembre 2024 les débits sont bien inférieurs à ceux de 2023 ;

La corrélation pluie de la saline / débit de la station de St-Uze est clairement apparente sur le graphe de la Figure 5, elle confirme la validité des pluies mesurées sur le site.

6.2 Suivi de la Galaure au droit du site

En aval, sur HA10/HA11, le suivi est valide pour toute l'année. L'écoulement y a été quasi nul en période estivale 2024, notamment durant le mois d'août.

Données de débit de la Galaure 2015 à 2024 à St-Uze,
En m³/s :

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Moyenne mensuelle	% moyenne
Janvier	4.71 m ³ /s	2.36 m ³ /s	1.18 m ³ /s	3.81 m ³ /s	1.29 m ³ /s	1.36 m ³ /s	2.75 m ³ /s	2.38 m ³ /s	1.12 m ³ /s	2.98 m ³ /s	2.39 m ³ /s	+20%
Février	4.78 m ³ /s	2.34 m ³ /s	1.93 m ³ /s	2.58 m ³ /s	3.51 m ³ /s	1.21 m ³ /s	2.36 m ³ /s	1.42 m ³ /s	0.80 m ³ /s	1.60 m ³ /s	2.25 m ³ /s	-41%
Mars	3.54 m ³ /s	2.77 m ³ /s	1.48 m ³ /s	3.16 m ³ /s	1.38 m ³ /s	1.76 m ³ /s	1.11 m ³ /s	1.04 m ³ /s	1.24 m ³ /s	3.19 m ³ /s	2.07 m ³ /s	+35%
Avril	2.92 m ³ /s	1.82 m ³ /s	1.14 m ³ /s	1.78 m ³ /s	1.59 m ³ /s	0.78 m ³ /s	0.93 m ³ /s	1.34 m ³ /s	1.05 m ³ /s	2.83 m ³ /s	1.62 m ³ /s	+43%
Mai	2.21 m ³ /s	2.40 m ³ /s	1.66 m ³ /s	1.82 m ³ /s	1.21 m ³ /s	1.08 m ³ /s	3.56 m ³ /s	0.59 m ³ /s	1.16 m ³ /s	3.43 m ³ /s	1.91 m ³ /s	+44%
Juin	2.25 m ³ /s	2.24 m ³ /s	0.72 m ³ /s	2.76 m ³ /s	0.97 m ³ /s	0.87 m ³ /s	1.74 m ³ /s	0.42 m ³ /s	1.07 m ³ /s	1.79 m ³ /s	1.48 m ³ /s	+17%
Juillet	0.49 m ³ /s	0.79 m ³ /s	0.47 m ³ /s	0.45 m ³ /s	0.40 m ³ /s	0.35 m ³ /s	2.65 m ³ /s	0.30 m ³ /s	0.36 m ³ /s	0.90 m ³ /s	0.72 m ³ /s	+20%
Août	0.49 m ³ /s	0.63 m ³ /s	0.45 m ³ /s	0.47 m ³ /s	0.41 m ³ /s	0.33 m ³ /s	0.89 m ³ /s	0.37 m ³ /s	0.37 m ³ /s	0.39 m ³ /s	0.48 m ³ /s	-23%
Septembre	2.35 m ³ /s	0.66 m ³ /s	0.56 m ³ /s	0.50 m ³ /s	0.45 m ³ /s	0.42 m ³ /s	0.66 m ³ /s	0.50 m ³ /s	1.82 m ³ /s	0.84 m ³ /s	0.88 m ³ /s	-4%
Octobre	1.65 m ³ /s	1.21 m ³ /s	0.66 m ³ /s	0.60 m ³ /s	1.15 m ³ /s	0.83 m ³ /s	2.36 m ³ /s	0.71 m ³ /s	4.52 m ³ /s	2.24 m ³ /s	1.59 m ³ /s	+29%
Novembre	1.60 m ³ /s	2.08 m ³ /s	0.90 m ³ /s	1.75 m ³ /s	3.32 m ³ /s	0.69 m ³ /s	1.27 m ³ /s	1.16 m ³ /s	3.23 m ³ /s	1.04 m ³ /s	1.70 m ³ /s	-64%
Décembre	1.33 m ³ /s	1.29 m ³ /s	2.05 m ³ /s	2.14 m ³ /s	4.00 m ³ /s	2.06 m ³ /s	4.78 m ³ /s	2.97 m ³ /s	6.24 m ³ /s	2.37 m ³ /s	2.92 m ³ /s	-23%

Référence : débit moyen mensuel donné par la Banque Hydro 2015 à 2024

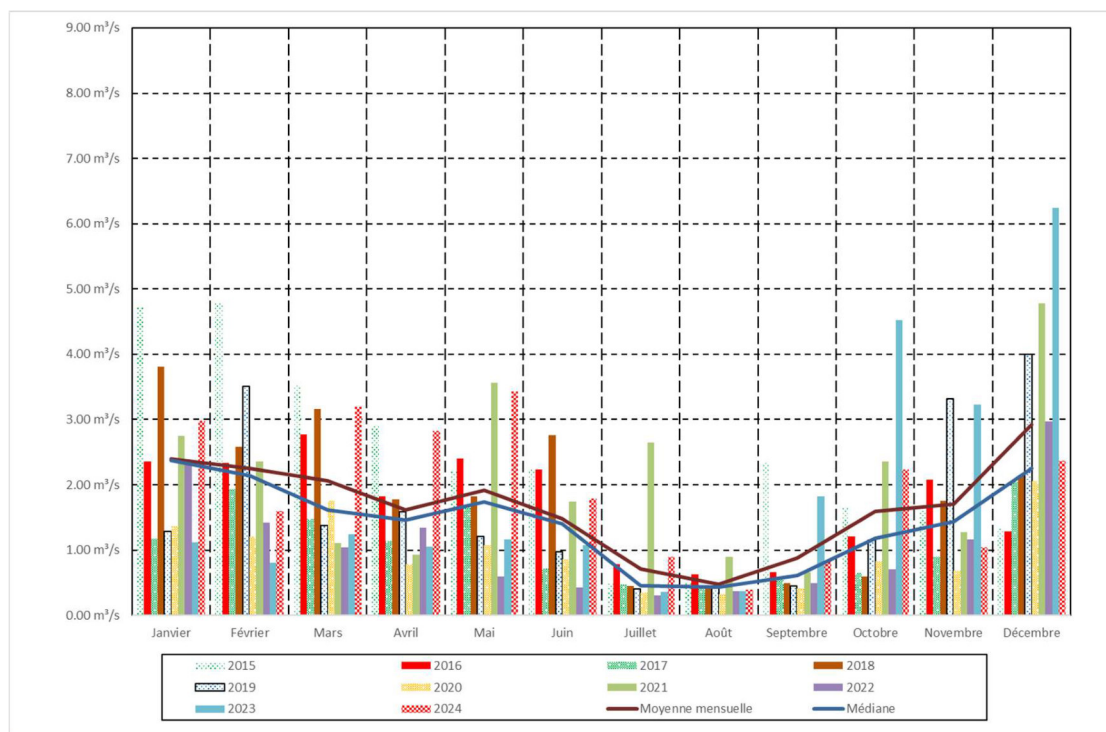


Figure 4 : Débit de la Galaure à St-Uze de 2015 à 2024

Figure 5 : Relation pluie débit Galaure à St-Uze

CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
EVOLUTION DU DEBIT DE LA GALAURE A ST-UZE

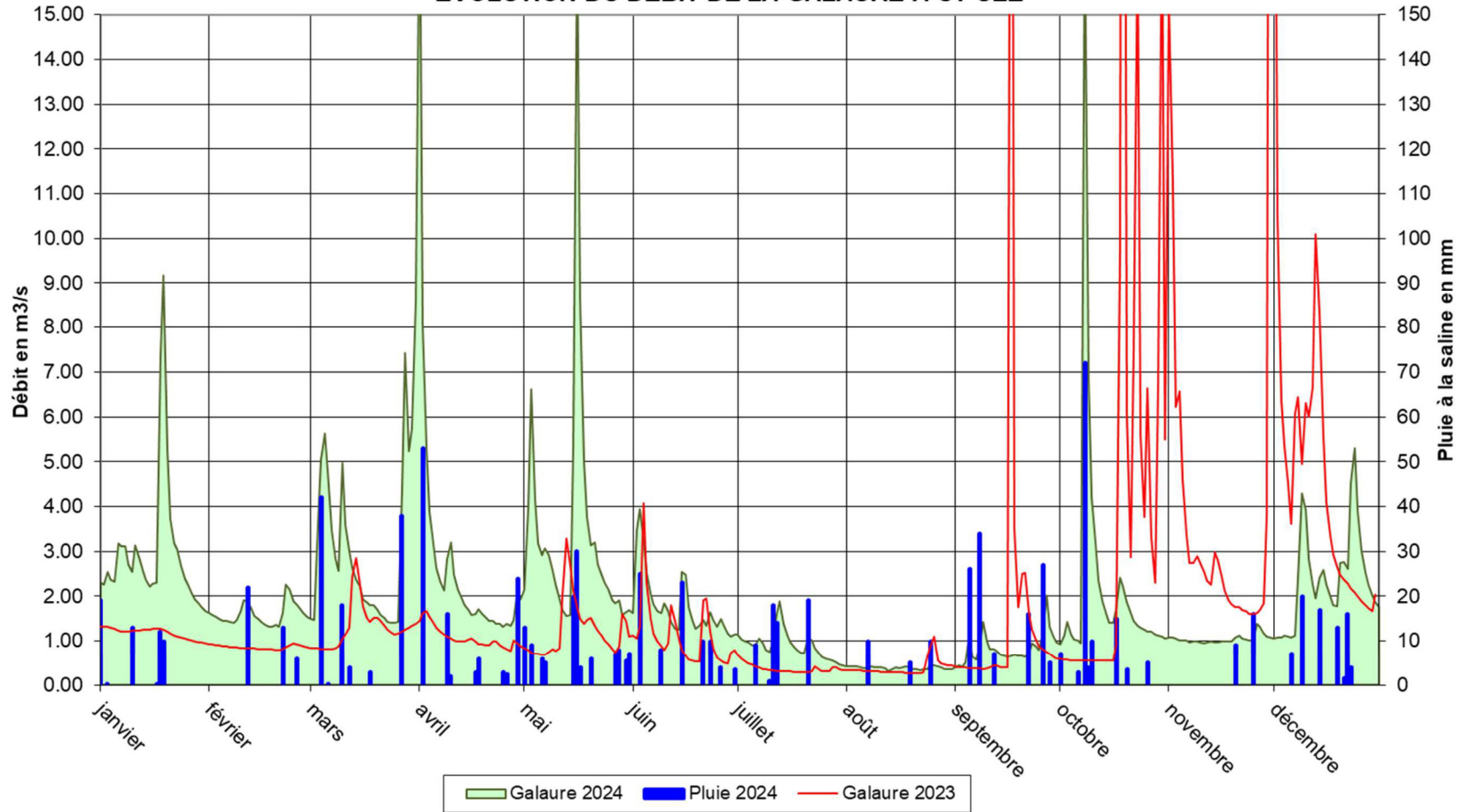
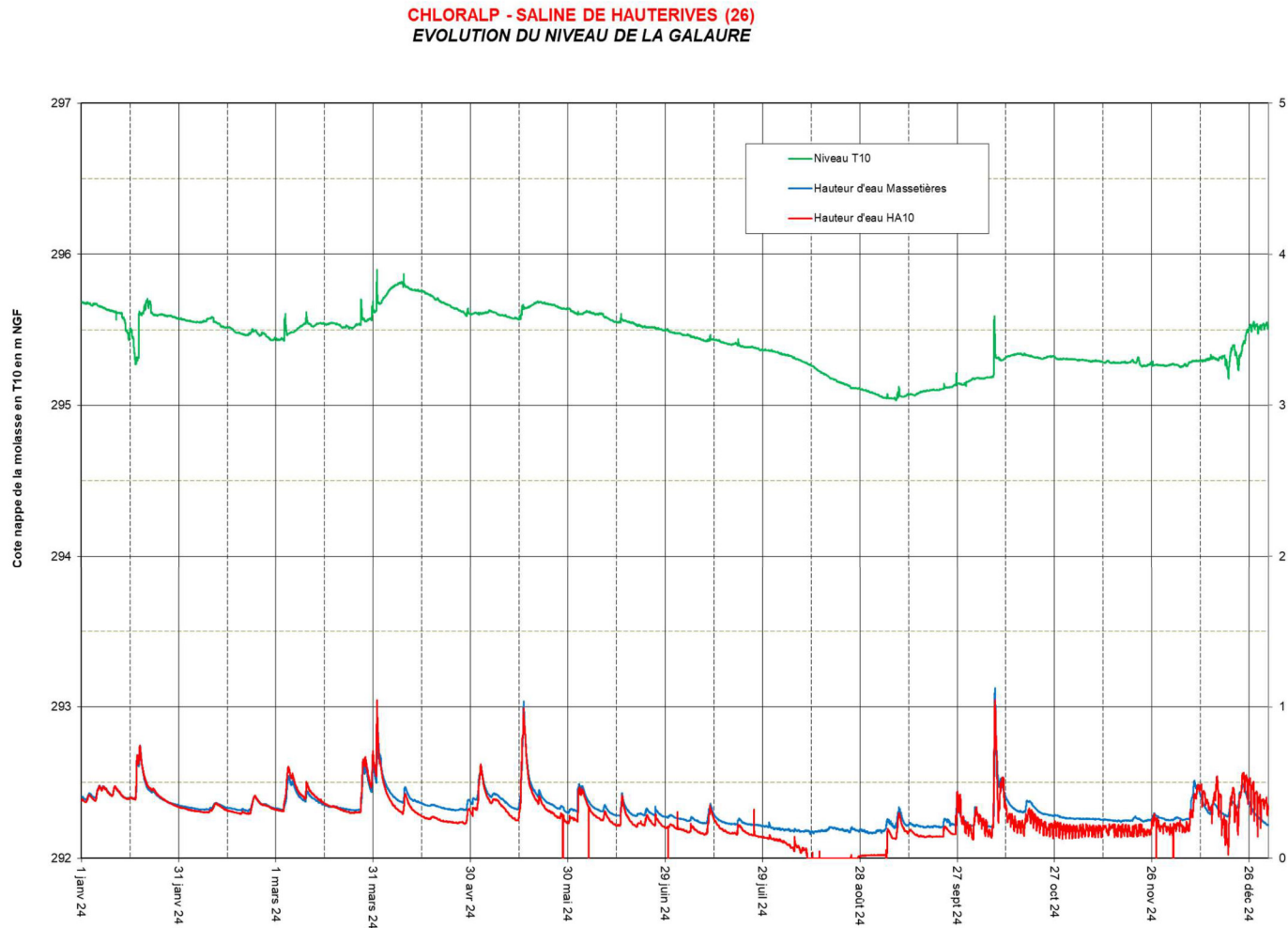


Figure 6 : Suivi comparé du niveau puits T10 et aux stations Massetières amont et HA10/HA11 aval



7

Qualité des eaux de la molasse

Aucun prélèvement d'eau pour analyse n'a été réalisé en 2024 sur les forages M1 et M2 du fait de la baisse d'activité.

Figure 7 : Suivi Niveau-Débit du forage M1

CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
NAPPE DE LA MOLASSE AU FORAGE M1

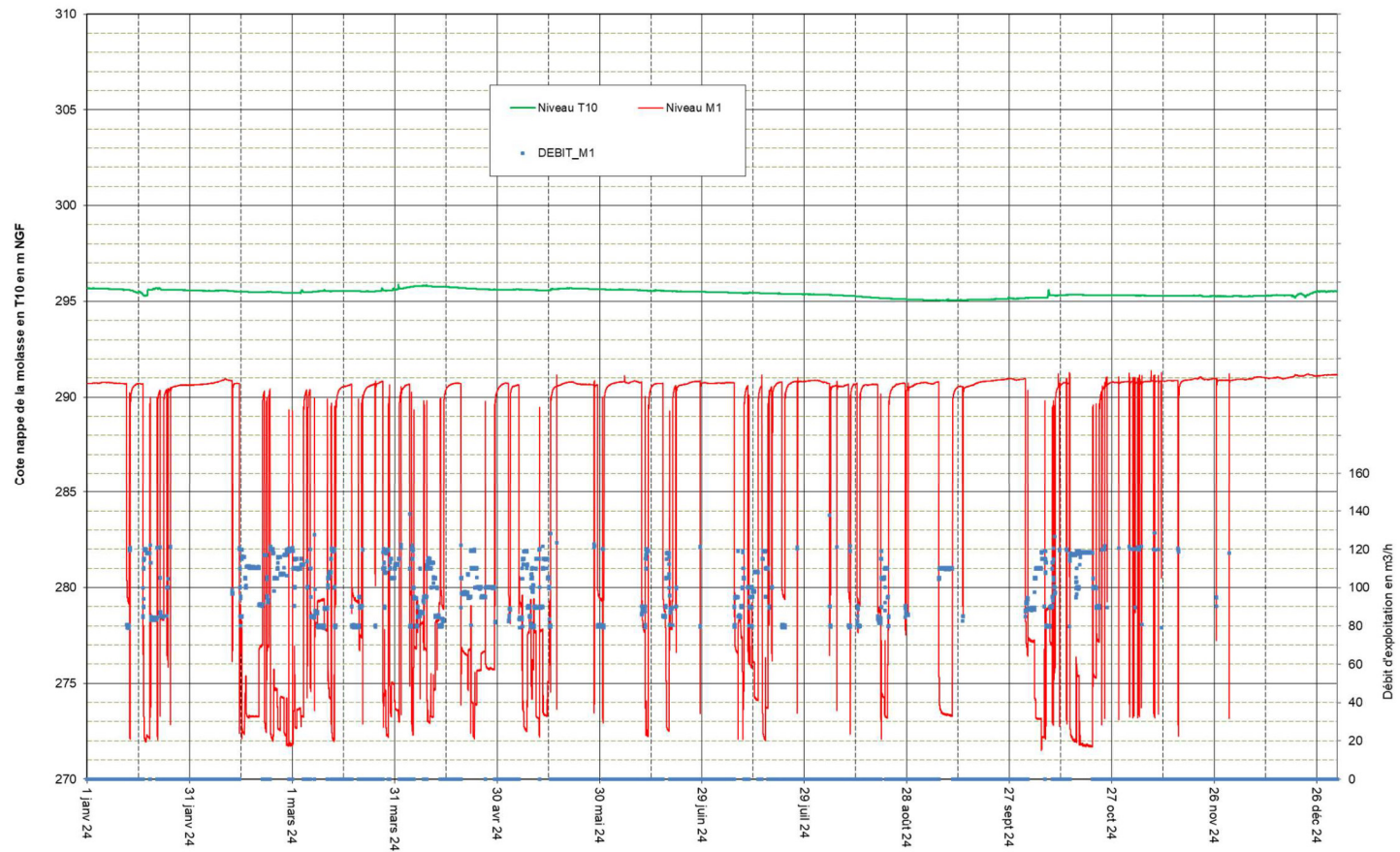
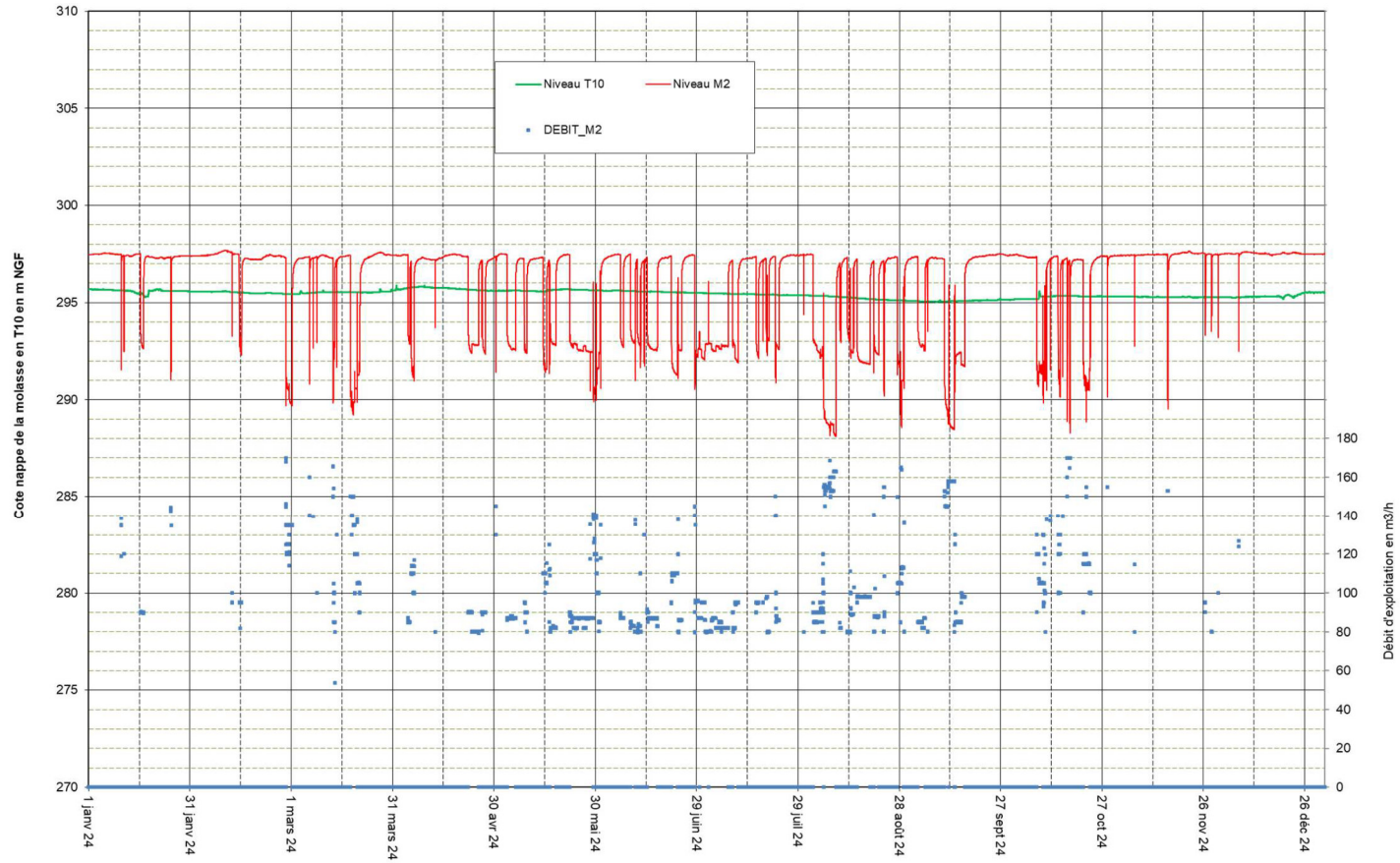


Figure 8 : Suivi Niveau-Débit du forage M2

CHLORALP - SALINE DE HAUTERIVES (26)
NAPPE DE LA MOLASSE AU FORAGE M2



CONSULTING

**Agence d'Aix-en-Provence
Aix Métropole – Bât. D30
Avenue Henri Malacrida
13 100 AIX-EN-PROVENCE
Tel. : + 33 4 42 93 65 10**

www.suez.com/fr/consulting-conseil-et-ingenierie



ANNEXE 2 : RAPPORT DE CONTROLE DE SUBSIDENCE, IGN, 2022

Compte rendu de travaux de l'IGN pour
VENCOREX
Contrôle de subsidence du site Chloralp de Hauterives
Opération n° 21



Octobre 2022

Réf : IGN / SGM / 220878

Contacts IGN

Interlocuteur commercial :

Frédéric Bonniot

DP / Service appui aux politiques publiques

Tél. : 01 43 98 84 88

Mél : Frederic.Bonniot@ign.fr

Interlocuteur technique :

François L'Écu

Direction des opérations et des territoires

Service de géodésie et de métrologie

Responsable du département des Travaux spéciaux

Tél. : 01 43 98 83 31

Mél : travaux.speciaux@ign.fr

Compte rendu de travaux

Contrôle de subsidence du site Chloralp de Hauterives Opération n°21	
	
Client : VENCOREX	N° IGN/SGM/départ : 220878
Dossier OGS : 922053	Date : 12 décembre 2022
Procédure : OGS-PPAQ-1402	Nombre de pages : 28
	

Veillez trouver ci-joint notre rapport de mesure pour les travaux cités en objet, réalisés du 10 au 28 octobre 2022.

Suivi du document

Date	Version	Auteur	Action
12 décembre 2022	1.0	L.Haltz	Rédaction
13 décembre 2022	1.1	P. Prézat	Vérification
15 décembre 2022	1.2	G. Mathey	Relecture
16 décembre 2022	1.2	F. L'Écu	Validation chef de département
31/12/2022	1.3	B. Garayt	Validation chef de service

SOMMAIRE

1 - Contexte	4
2 - Plan de situation	5
3 - Équipement et numérotation	6
3.1 - Matérialisation	6
3.1.1 - Les tiges	6
3.1.2 - Les autres repères	7
3.1.3 - Les bornes	8
3.2 - Description des réseaux	8
3.2.1 - Carte du réseau de contrôle de subsidence	8
3.2.2 - Réseau de stabilité	10
3.2.3 - Plateformes	11
3.2.4 - Points intermédiaires	11
3.2.5 - Réseau Storengy	11
3.3 - Entretien des réseaux	11
3.3.1 - Entretien	11
3.3.2 - Extension des réseaux	12
4 - Observations	13
4.1 - Modes d'observation et matériel	13
4.2 - Validation quotidienne des observations	14
5 - Traitements	15
5.1 - Systèmes de références	15
5.2 - Principe des compensations	16
5.3 - Étude des réseaux de stabilité	17
5.4 - Calcul final	17
6 - Résultats	18
6.1 - Tableaux des résultats dans le système de référence commun	18
6.2 - Représentation graphique des déplacements entre 2019 et 2022	22
7 - Démarche qualité	23
- Annexes	24
- Annexe 1 : schéma général du réseau Storengy	24
- Annexe 2 : schémas détaillés des cheminements	25
- Annexe 3 : Historique des opérations	26
- Annexe 4 : représentation graphique établie sur l'ensemble du chantier commun	28

1 CONTEXTE

Depuis 2016, le département des Travaux spéciaux de l'IGN réalise des campagnes communes de mesures de nivellement pour les sociétés Vencorex et Storengy dans le but d'établir un contrôle de subsidence cohérent autour de l'exploitation saline Chloralp d'une part, et de stockage de gaz Storengy d'autre part.

Ces mesures visent à déterminer les altitudes de repères scellés sur les plateformes d'exploitation, ainsi que sur les cheminements les reliant, pour les comparer aux valeurs déterminées lors de l'opération précédente, les variations constituant les déplacements altimétriques de ces repères. Les altitudes sont déterminées dans un système local d'altitudes normales, proche du système légal NGF-IGN69 (NGF pour Nivellement Général de la France).

Auparavant, les mesures sur le site Chloralp étaient réalisées indépendamment par la société Sétis, sur un réseau de repères devenus pour la plupart inexploitables. En 2016, une grande partie du réseau a donc été remplacée, et par ailleurs, c'est le système de référence altimétrique Storengy qui a été choisi, sensiblement différent du système « Sétis ». Ainsi, 2016 devant être considérée comme une nouvelle opération origine, les résultats des campagnes antérieures sont à trouver dans les rapports inhérents à ces campagnes. L'opération d'octobre 2022 est néanmoins numérotée 21 suivant l'incrémentation des opérations passées.

Ce document présente les travaux réalisés par l'IGN dans le cadre de l'entretien du réseau de repères (suivant les constatations émises après la mission de reconnaissance de juillet 2022, voir le document référencé IGN / SGM / 220523) ainsi que des observations de nivellement, de leurs traitements, et de l'analyse des résultats.

Les travaux effectués pour le compte de Storengy, et leurs résultats, font l'objet d'un rapport à part, référencé IGN / SGM / 220877.

2 PLAN DE SITUATION

Les sites de stockage de Storengy se trouvent sur les communes de Tersanne et de Hauterives. Les puits de salines de Chloralp se trouvent sur la commune de Hauterives.

Les cheminements de nivellement effectués pour les mesures de subsidence passent également sur les communes de Châteauneuf-de-Galaure, Saint-Martin-d'Août, Saint-Avit et Bathernay.

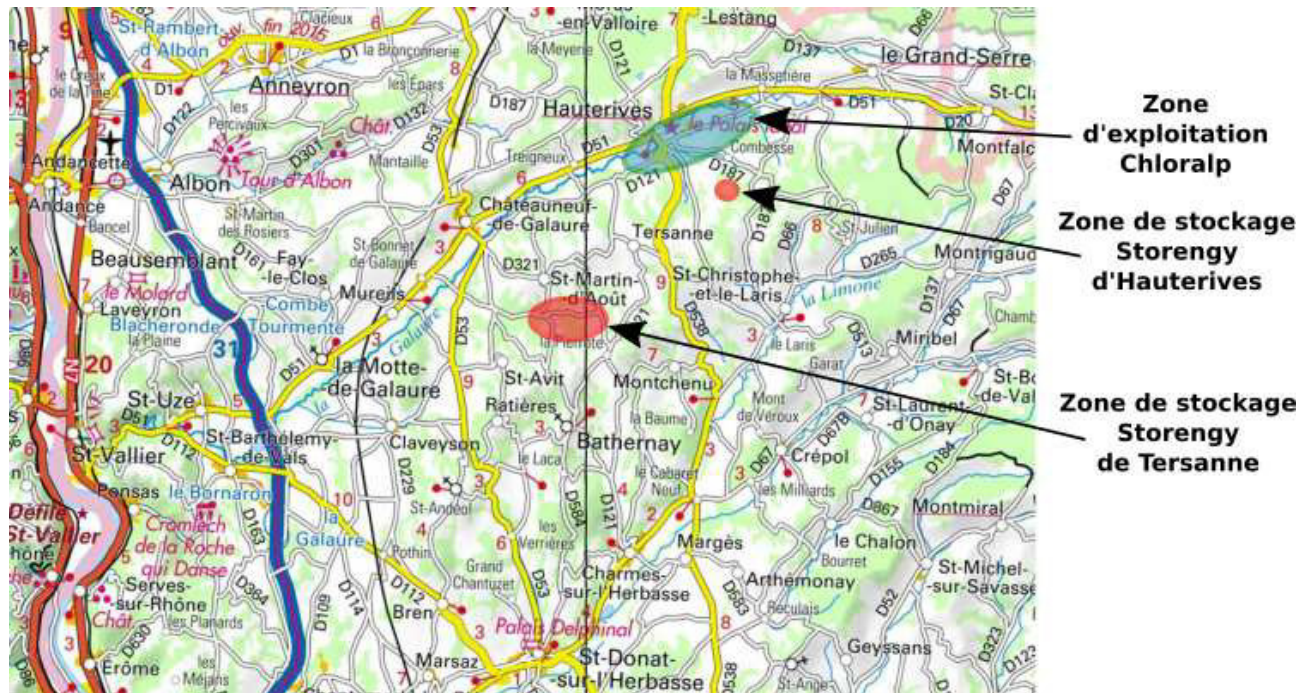


Fig. 1 : plan de situation du chantier. Extrait du Géoportail-IGN.

3 ÉQUIPEMENT ET NUMÉROTATION

3.1 Matérialisation

Les repères sont des tiges, des trains de tiges, des rivets ou des repères de nivellement en laiton scellés dans des constructions existantes.

La partie du repère ayant fait l'objet des déterminations précises de positionnement vertical est en général le sommet de la partie visible.

3.1.1 Les tiges

Elles sont longues de trois mètres, protégées par un tube en duralumin de cinquante centimètres de hauteur et de quinze centimètres de diamètre, lui-même noyé dans un massif de béton coulé au ras du sol. Le fourreau est muni d'un couvercle qui a volontairement été recouvert de gravier ou de terre pour soustraire le repère à l'attention des non utilisateurs et limiter les déprédations malveillantes éventuelles.

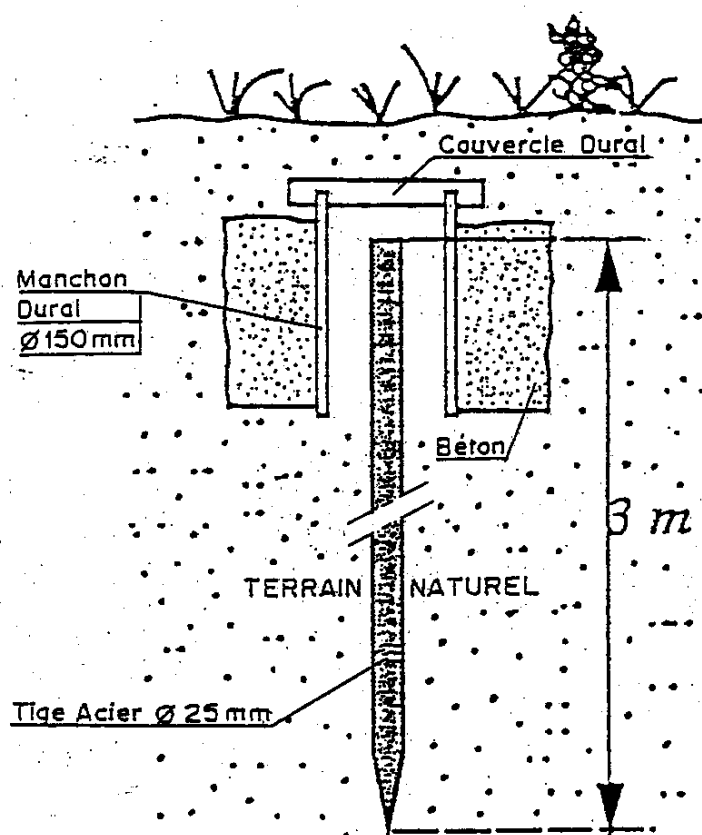


Fig. 2 Description des tiges mises en place sur le chantier.

Sur les propriétés de Vencorex, elles ont été enfoncées sur les indications d'un responsable de l'usine Chloralp sur des emplacements exempts d'installations ou d'obstacles souterrains.

Depuis l'opération de 2013, elles sont mises en place après une déclaration d'intention de commencement de travaux (DICT).

3.1.2 Les autres repères

Les autres repères sont des éléments métalliques dont la partie visible comporte un support hémisphérique servant d'appui aux mires. Ils sont scellés à la verticale ou à l'horizontale dans des ouvrages considérés comme stables et pérennes (bâtiments, ponts, dalles, etc.).



Repère scellé à la verticale



Repère (rivet) scellé à la verticale



Repère scellé à l'horizontale

Certains repères font partie du réseau du nivellement général de la France (NGF), et n'ont donc pas été mis en place spécifiquement pour ce chantier. Ils sont généralement matérialisés par des repères dits « macarons », dont un exemple est présenté ci-contre.



La position de chaque point est repérée par rapport à des détails environnants caractéristiques. Ces repèvements sont reportés sur les fiches signalétiques dressées pour chaque point intermédiaire et pour chaque plateforme.

3.1.3 Les bornes

Parmi les équipements existants mesurés jusqu'ici par la société Sétis, des bornes en béton sur lesquelles sont scellés des repères à tête hémisphérique sont en état d'être observées dans de bonnes conditions, et sont conservées dans le réseau de nivellement.

Exemple ci-contre : la borne C28, dans l'enceinte de la plate-forme HA13.



3.2 Description des réseaux

3.2.1 Carte du réseau de contrôle de subsidence

Sur la carte suivante, les cheminements effectués pour le compte de la société Storengy ne figurent que partiellement.

Tous les repères liés aux observations effectuées pour Chloralp sont préfixés d'un C afin d'éviter les confusions de numérotation entre les deux réseaux pré-existants, à l'exception des repères du réseau NGF qui conservent leur matricule IGN (R'.E.xxx-xx).

À titre indicatif, une carte présentant l'ensemble des cheminements Storengy est fournie en **annexe 1**.

Les schémas détaillés des cheminements autour de l'usine Chloralp et autour de HA06 et HA07 sont fournis en **annexe 2**.

3.2.2 Réseau de stabilité

Le réseau de stabilité correspond aux repères permettant de cheminer depuis les zones d'auscultation jusqu'aux zones supposées stables dans lesquelles on peut fixer les altitudes de certains repères. Dans le cadre des observations communes des réseaux de Chloralp et de Storengy, ce réseau de stabilité est constitué essentiellement de cheminements Storengy.

- **Tersanne**

À l'origine, la stabilité était constituée par un "cheminement directeur" empruntant la route D321 entre Châteauneuf-de-Galaure et Tersanne, permettant d'atteindre le site de stockage à partir de Saint-Martin-d'Août. L'équipement comprenait des repères de type "boule" scellés dans des supports supposés stables (édifices, aqueducs, ponts...).

En novembre 1985, une "ceinture" de contrôle, distante de 1500 mètres environ de la zone de stockage, a été réalisée sur des itinéraires de routes. Elle comportait vingt-et-une tiges ou repères et incluait les repères du réseau du NGF référencés R'.E.N3-121 et R'.E.N3-122.

En novembre 1992, le réseau a été rationalisé en "boucles" et densifié par huit tiges.

- **Hauterives**

Pour Storengy, la stabilité a été constituée de manière à ceinturer la zone de stockage de gaz. Elle était limitée au nord-est par la D187 et au sud sud-ouest par diverses routes communales. Les repères, au nombre de seize en octobre 2004, ont été scellés dans des supports supposés stables.

L'extension du chantier pour la réalisation de la campagne commune d'observations avec Chloralp permet de prolonger ce réseau de stabilité vers le nord-est sur la D51, et notamment jusqu'au repère NGF R'.E.P3-42.

- **Liaison Tersanne – Hauterives**

Deux liaisons avaient été créées pour unifier les réseaux Storengy de Tersanne et de Hauterives : l'une part du village de Tersanne pour rejoindre vers l'est l'autre réseau en traversant la D538, l'autre joint Châteauneuf-de-Galaure à Hauterives par la D51, et inclut les repères du réseau NGF.

En 2016, une nouvelle liaison a été ajoutée, empruntant la D121 au nord du village de Tersanne, et employant elle aussi les repères existants du réseau NGF.

3.2.3 Plateformes

Chaque plateforme est dotée de deux repères scellés sur les dalles en béton à proximité du centre du puits. Les nouveaux repères mis en place en 2016 reprennent le numéro des anciens, suivi d'un indice « b » et de nouveaux repères ont été monumentés en 2019.

Il s'agit des repères C1000b à C1029.

Certaines enceintes de plateformes abritent en outre une ou deux bornes.

La plateforme HA12, loin de toute cavité, est la seule qui ne soit pas équipée.

3.2.4 Points intermédiaires

Afin de contrôler les réactions du terrain dans l'emprise du site, des points intermédiaires sont observés entre les plateformes. Ils sont constitués de bornes existantes, de tiges, ou de repères scellés dans des supports pérennes mis en place en 2016.

Leur numérotation commence en général par «C» pour Chloralp, mais certains repères existants pour les cheminements de Storengy se trouvent dans l'environnement des installations Chloralp.

Les repères nommés A à Q observés jusqu'ici par Sétis ont été remplacés par de nouveaux repères nommés CAb à CQb.

3.2.5 Réseau Storengy

Certains repères du réseau Storengy complètent les cheminements effectués autour des installations Chloralp. Ils sont matérialisés selon les mêmes principes que ceux présentés en sections 3.1.1 et 3.1.2.

3.3 Entretien des réseaux

3.3.1 Entretien

De manière générale, tous les réseaux sont entretenus de telle sorte que chaque repère non retrouvé, ou trouvé en mauvais état durant les missions de reconnaissance ou d'observations, soit remplacé par un nouveau repère mis en place selon les mêmes critères.

Ainsi, le repère R'EN3P3-19 constaté détruit, a été remplacé par un nouveau repère **C319**, il s'agit d'un rivet sur un socle en béton.

3.3.2 Extension des réseaux

Lors de cette opération d'octobre 2022, grâce aux très bonnes conditions météorologiques et au peu de reprise à effectuer, nous avons eu le temps de densifier le réseau en équipant 3 nouvelles portions :

- 4 repères sur la route de la Vermeille, du repère 14 sur la D121 (lieu-dit « Les Ferlais » au sud de Tersanne) au repère T118 sur la D321 (lieu-dit « Les Massiers »)
- 3 repères sur la D321, de la plateforme TE12 au repère 139b sur la D362 (lieu-dit « les Gentons »)
- 7 repères du repère C105 (réseau Chloralp) sur la route de la Seite au repère R'EN3-133 sur la mairie de Saint-Martin-d'Août, en passant pas le repère R'EN3-22 sur la D51 (lieu-dit « les Belliers »)

Ces portions « bonus » ont permis d'améliorer le calcul global du réseau, mais il est à noter qu'elles ne seront pas forcément mesurées lors des prochaines opérations, notamment si les conditions et le déroulement des observations ne le permettent pas.

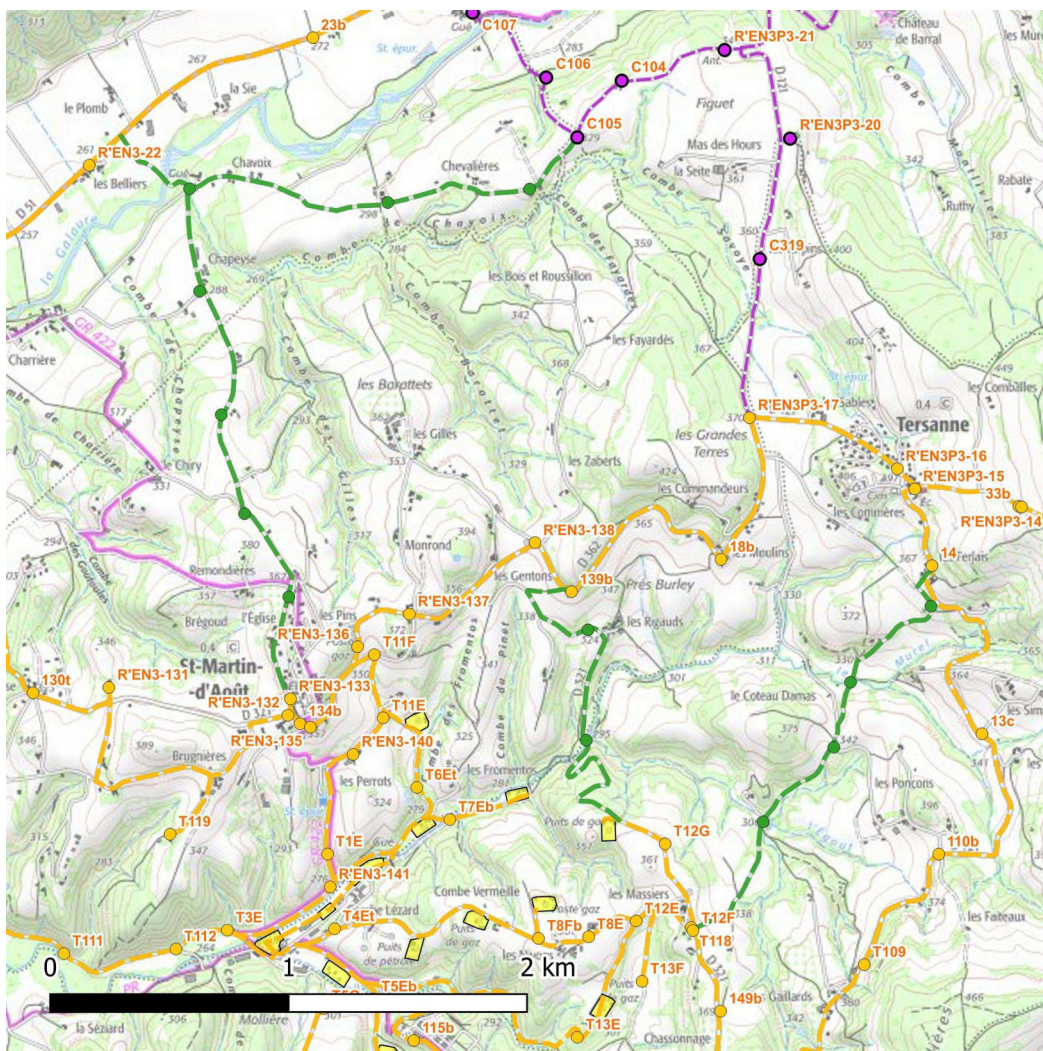


Figure 4 : schéma de l'extension du réseau équipé en 2022, en vert. Extrait du Scan25® IGN.

4 OBSERVATIONS

Un historique du déroulement des opérations précédentes est à trouver en **annexe 3**.

4.1 Modes d'observation et matériel

Lors de cette campagne, toutes les observations de nivellement direct de précision ont été effectuées à pied.

Les antennes, le cheminement de stabilité situé sur la D51 ainsi que le cheminement menant vers les repères 61 à 64 (l'un de ces repères étant destiné à intégrer le système de référence) ont été observés en aller-retour. Les boucles ont été observées en aller simple.

Les cheminements effectués sur la D51 et la D53 furent accompagnés par un véhicule équipé des moyens de signalisation conformes aux réglementations en vigueur pour les travaux routiers.

Les observations ont été réalisées avec des niveaux Leica DNA03 associés à leurs mires invar de trois mètres à code-barres.



Fig.5 : observations de nivellement près de Hauterives en 2022

L'ensemble de ce matériel est vérifié annuellement sur les installations de l'IGN à Saint-Mandé selon des procédures validées par une certification ISO9001.

Les niveaux sont par ailleurs calibrés quotidiennement avant le début des observations.

4.2 Validation quotidienne des observations

Les observations ont été validées quotidiennement par contrôle de fermeture des boucles et des allers-retours, sur la base d'un écart-type de 0,1 mm par portée de nivellement. Lorsque les tolérances de fermeture n'étaient pas respectées, les portions impliquées étaient reprises.

11 dénivelées ont été reprises lors de cette opération d'octobre 2022.

Le schéma suivant présente les fermetures calculées pour les principales boucles à l'issue de la campagne 2022. La fermeture de l'aller-retour de la D51 est de 0,9 mm, et celle de la nouvelle antenne (du centre de Hauterives au repère 1) est de 5,5 mm.

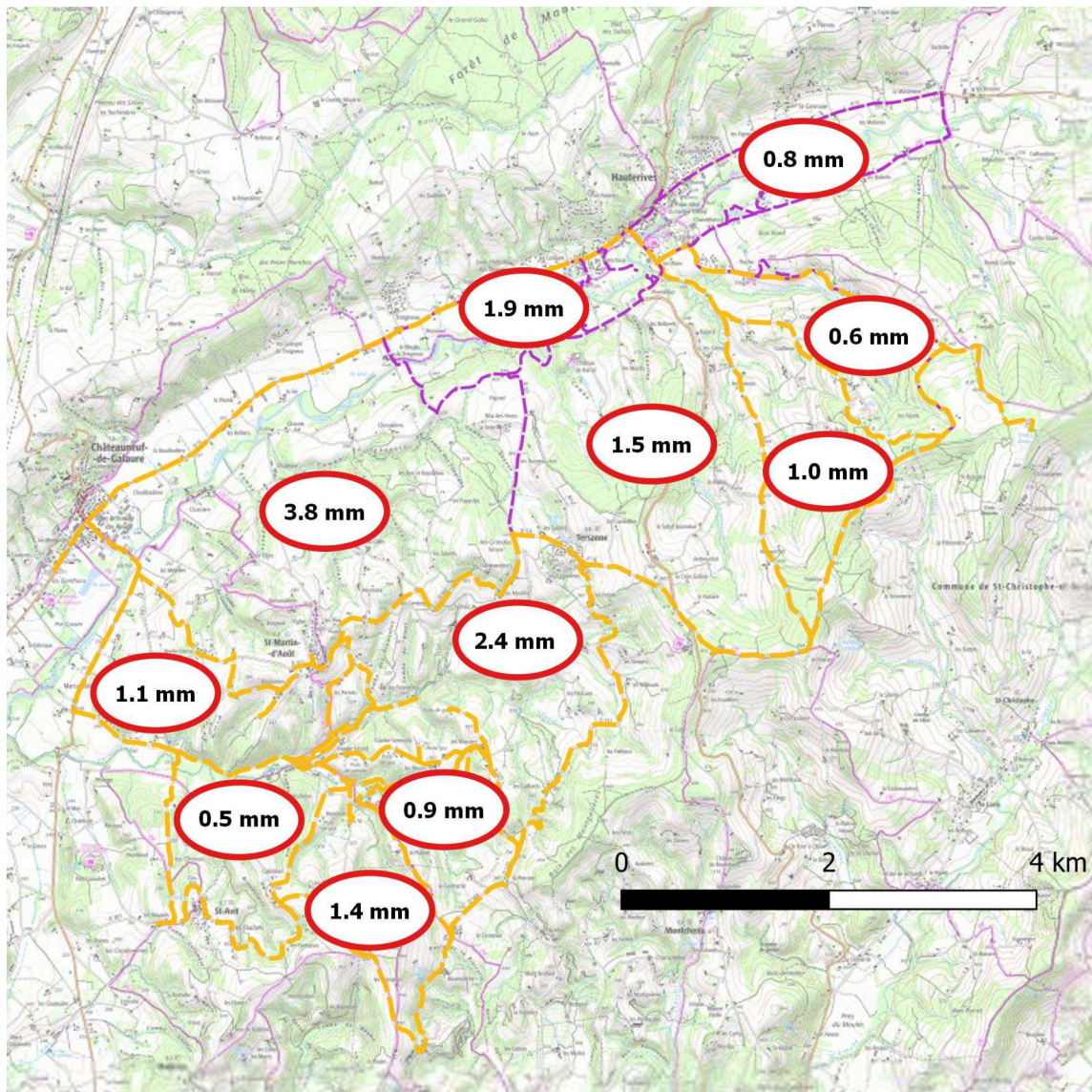


Fig. 6 : fermetures des boucles principales de l'opération 2022

5 TRAITEMENTS

5.1 Systèmes de références

Le système de référence altimétrique légal sur le territoire de la France métropolitaine est le **NGF-IGN69**, système d'altitudes normales, matérialisé par le réseau de repères du NGF.

Jusqu'en 2016, le système de référence du chantier était défini par les valeurs d'altitudes fixées dans les calculs de compensation des observations des quatre repères **R'.E.N3-20** à Châteauneuf-de-Galaure, **R'.E.N3-121** à Saint-Avit, **148** à l'extrême sud du chantier, et **8** à l'extrême est.

Ces repères avaient été choisis après étude des résultats des opérations successives et en faisant l'hypothèse de leur stabilité. Les valeurs fixées ont été calculées de telle sorte d'assurer la continuité du suivi des plateformes de Tersanne au fur et à mesure de l'extension des cheminements.

En 2016, le repère **8** présentant une incohérence de l'ordre du centimètre entre les observations de nivellement et son altitude habituellement fixée, il n'a pas été employé comme référence.

En 2019, le repère NGF **R'.E.P3-42**, observé pour la première fois, se montrait en revanche relativement stable par rapport à sa détermination de 1980. Il était alors envisagé de l'intégrer au système de référence.

Pour pallier le retrait du repère **8**, en 2019, nous avons équipé un nouveau cheminement, des repères **62** à **64**, et après avoir analysé les résultats de cette opération avec ceux de 2019, nous avons choisi d'utiliser le repère **62** comme nouveau repère de référence.

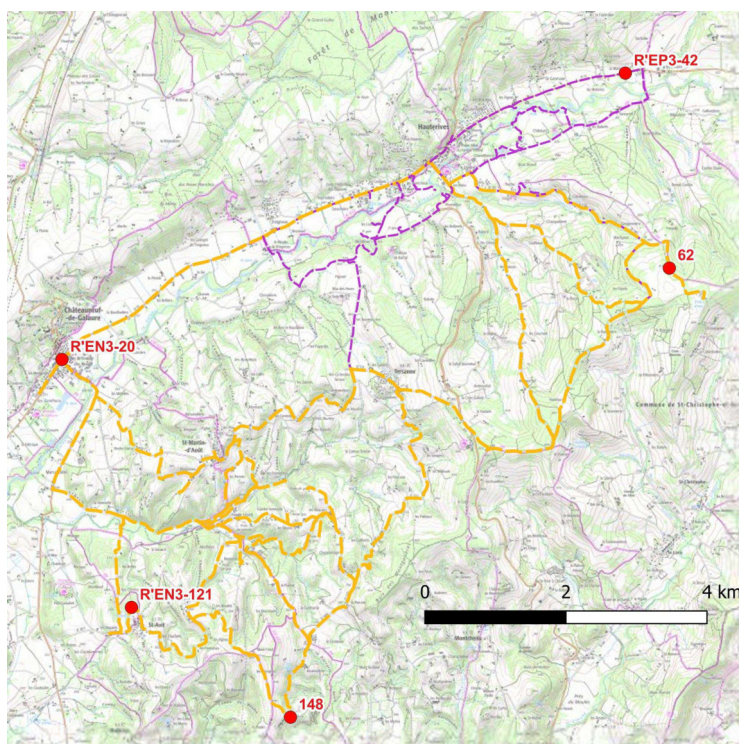


Fig. 7 : repères déterminant le système de référence altimétrique du chantier

Un historique des systèmes de référence et des modes de calcul du chantier depuis l'origine est présenté en **annexe 3**.

Ainsi, les observations de nivellement direct effectuées pour ce chantier s'appuient bien sur certains repères du NGF mais leurs altitudes ne sont pas fixées à la valeur exacte d'altitude publiée par l'IGN dans le système NGF-IGN69 (voir <https://www.geodesie.ign.fr> ou <https://www.geoportail.gouv.fr>).

Repères	Altitudes officielles NGF-IGN69	Altitudes fixées
R'.E.N3 - 20	256,103 m	256,1036 m
R'.E.P3 - 42	335,583 m	335,5728 m
R'.E.N3 - 121	340,421 m	340,4190 m
148	Non publiée	383,3613 m
62	Non publiée	483,0534 m

On peut donc qualifier le système de référence altimétrique du chantier de **système local proche du NGF-IGN69**.

5.2 Principe des compensations

L'ensemble des observations validées (tel que présenté en section 4.2) est compensé par la méthode dite des moindres carrés.

L'outil de compensation employé est le logiciel Comp3D version 5, développé à l'IGN. Il associe à chaque altitude calculée un indicateur de précision tenant compte des écarts-types a priori des observations, de leurs résidus calculés, et du facteur de variance issu de la compensation. Cet indicateur est exprimé sous forme d'intervalles de confiance à 68 % (soit 1σ).

Un premier calcul est mené en contraintes minimales, c'est-à-dire en ne fixant l'altitude que d'un seul repère. Il permet d'une part d'affiner la pondération des observations, et d'autre part de réaliser une étude de stabilité, c'est-à-dire d'étudier le comportement des différents repères fixés habituellement les uns par rapport aux autres.

Le calcul final est enfin mené dans le système de référence du chantier, c'est-à-dire en fixant les altitudes des repères présentés ci-dessus, après validation de leur stabilité.

Dans un souci d'homogénéité des résultats entre les zones Storengy et Chloralpe, tous les cheminements ont été traités en un seul bloc.

5.3 Étude des réseaux de stabilité

Le premier calcul, en contraintes minimales, a été mené en fixant l'altitude de **R'.E.N3 - 20** seul à sa valeur habituellement fixée.

Repères	Altitudes 2022 calculées	Demi-intervalles de confiance à 68 %	Altitudes fixées (altitude 2016 pour 42 et 2019 pour 62)	écarts
R'.E.N3 - 20	256,1036 m	-	256,1036 m	-
R'.E.N3- 121	340,4235 m	0,9 mm	340,4190 m	+ 4,5 mm
R'.E.P3 - 42	335,5756 m	0,8 mm	335,5728 m	+ 2,8 mm
148	383,3624 m	0,8 mm	383,3613 m	+ 1,1 mm
62	483,0544 m	0,8 mm	483,0534 m	+ 1,0 mm

Les altitudes issues de cette compensation sont cohérentes avec celles habituellement fixées pour les repères R'.E.N3-121, R'.E.P-42 et 148. Elles présentent respectivement des écarts de 4,5 mm, 1,3 mm et 1,1 mm. Pour mémoire, ces écarts étaient en 2019 de 3,0 mm, 2,3 mm et 1,3 mm. On peut donc conclure à leur relative stabilité.

De même, le repère 62 présente un écart de - 0,1 mm par rapport au même calcul effectué en 2019 et peut donc être intégré au système de référence, avec pour valeur d'altitude celle déterminée lors du calcul final de 2019.

5.4 Calcul final

La compensation finale a donc été menée en fixant les altitudes des repères **R'.E.N3-20, R'.E.N3-121, R'.E.P3-42, 148** et **68** à leurs valeurs d'origine.

Le facteur de variance résultant de la compensation est de 1,12 donc proche de 1, valeur idéale recherchée.

Les demi-intervalles de confiance à 68 % associés à chaque valeur d'altitude sont tous inférieurs à 0,7 mm, la moyenne étant de 0,5 mm.

6 RÉSULTATS

6.1 Tableaux des résultats dans le système de référence commun

Dans les tableaux suivants, les valeurs d'altitudes déterminées en 2016 (Altitude origine) et 2022 sont présentées en mètres. Les écarts calculés entre les valeurs des deux opérations sont présentés en millimètres. L'altitude du repère R'.E.P3-42 étant fixée, il apparaît bleuté.

La précision des déterminations étant de l'ordre du millimètre, le dixième de millimètre est fourni à titre indicatif.

Points	Altitude origine	2019	2022	Altitude 2022	Écart 2022-2019
		Écart altimétrique depuis l'opération origine			
C1	317,8418	-11,0	-18,0	317,8238	-7,0
C2	318,3229	-11,1	-17,9	318,3050	-6,7
C3	319,5817	-10,8	-18,2	319,5635	-7,4
C4	320,0792	-10,6	-17,8	320,0614	-7,2
C5	319,9155	-10,4	-18,0	319,8975	-7,6
C7	332,7396	-3,5	-8,0	332,7316	-4,5
C8	316,6900	-3,6	-5,7	316,6843	-2,1
C9	315,1422	-5,0	-17,1	315,1251	-12,2
C10	371,5662	-10,2	-15,0	371,5512	-4,8
C11	370,5621	-10,8	-17,2	370,5450	-6,3
C12	375,9310	-11,9	-20,6	375,9104	-8,7
C13	375,4504	-11,6	-19,3	375,4311	-7,7
C16	307,7144	-7,5	-12,3	307,7021	-4,9
C17	293,2624	-14,4	-27,0	293,2354	-12,6
C18	296,0214	-12,9	-25,2	295,9962	-12,3
C19	296,0146	-13,1	-25,4	295,9892	-12,2
C20	311,8723	-12,1	-21,5	311,8508	-9,5
C21	317,0936	-14,0	-24,4	317,0692	-10,3
C22	374,5918	non observé	-9,5	374,5823	-9,5
C24	369,0896	-10,0	-17,1	369,0725	-7,1
C25	368,4671	-8,6	-15,4	368,4517	-6,7
C26	324,6976	-11,8	-20,5	324,6771	-8,7
C28	295,5296	-8,6	-23,5	295,5061	-14,9
C29	297,0485	-9,2	-24,4	297,0241	-15,2

Points	Altitude origine	2019	2022	Altitude 2022	Écart 2022-2019
		Écart altimétrique depuis l'opération origine			
C30	302,0895	-13,9	-30,7	302,0588	-16,8
C31	307,5635	-11,3	-26,1	307,5374	-14,8
C208	334,8364	-12,9	-28,1	334,8083	-15,2
C223b	309,8115	-5,4	-8,7	309,8028	-3,2
C101	314,3377	-12,7	-25,3	314,3124	-12,6
C102	294,5424	-9,3	-25,4	294,5170	-16,1
C103	289,7838	-13,9	-28,9	289,7549	-15,0
C104	330,5312	-2,0	-7,6	330,5236	-5,6
C105	329,7177	-0,3	-3,3	329,7144	-3,0
C106	297,3575	-0,3	-3,3	297,3542	-3,0
C107	269,4771	-1,5	-3,1	269,4740	-1,6
C108	320,0317	-5,2	-8,9	320,0228	-3,7
C109	326,3317	-4,2	-5,0	326,3267	-0,8
C110	342,2177	-0,5	-2,8	342,2149	-2,3
C111	326,0762	-0,5	0,7	326,0769	1,2
C112	333,3634	-0,5	1,0	333,3644	1,4
C113	336,1151	-0,6	1,7	336,1168	2,3
C114	310,5088	-7,0	-11,0	310,4978	-4,1
C115	306,2168	-7,3	-13,5	306,2033	-6,2
C2010	298,2829	-12,2	-24,6	298,2583	-12,4
C2012	343,9511	-9,7	-20,6	343,9305	-10,9
C205b	321,5172	-11,5	-21,5	321,4957	-10,0
C215b	321,0317	-10,4	-18,1	321,0136	-7,7
CAB	310,0483	-6,4	-10,9	310,0374	-4,5
CBB	312,5246	-4,7	-7,4	312,5172	-2,6
CDB	331,9117	-5,0	-14,1	331,8976	-9,1
CGB	322,4655	-10,6	-18,3	322,4472	-7,7
CHB	316,1329	-11,8	-19,4	316,1135	-7,6
CHC	315,8017	-11,8	-19,7	315,7820	-7,9
CJB	314,3460	-14,5	-26,3	314,3197	-11,8
CPB	310,4540	-8,1	-14,6	310,4394	-6,5
CQB	306,1477	-8,2	-14,7	306,1330	-6,4
TFC	294,7679	-12,3	-26,6	294,7413	-14,4

Points	Altitude origine	2019	2022	Altitude 2022	Écart 2022-2019
		Écart altimétrique depuis l'opération origine			
C1000b	317,9551	-11,1	-18,1	317,9371	-7,0
C1001b	317,8993	-12,4	-19,3	317,8800	-6,8
C1002b	320,7707	-11,0	-20,2	320,7505	-9,2
C1003b	320,7880	-10,5	-18,1	320,7700	-7,5
C1004b	319,0270	-11,8	-20,5	319,0065	-8,7
C1005b	318,9502	-11,4	-19,0	318,9312	-7,6
C1006b	331,3600	-4,6	-7,8	331,3522	-3,2
C1007b	331,3683	-4,3	-11,2	331,3571	-6,8
C1008b	315,7604	-3,1	-5,6	315,7548	-2,5
C1009b	315,7431	-3,2	-6,5	315,7366	-3,3
C1010b	370,9200	-8,4	-14,7	370,9053	-6,3
C1011b	370,9110	-8,9	-16,0	370,8950	-7,1
C1012b	375,6982	-9,6	-16,0	375,6822	-6,4
C1013b	375,8161	-10,6	-17,5	375,7986	-6,8
C1014b	309,8383	-5,4	-9,4	309,8289	-4,0
C1015b	307,5736	-7,8	-14,4	307,5592	-6,6
C1016b	307,5525	-8,2	-13,1	307,5394	-4,9
C1017b	293,2329	-14,9	-28,4	293,2045	-13,6
C1018b	293,2307	-15,2	-30,3	293,2005	-15,0
C1019b	295,8978	-13,7	-25,9	295,8719	-12,2
C1020b	295,9019	-13,7	-26,0	295,8759	-12,3
C1023b	295,2123	-8,3	-22,5	295,1898	-14,2
C1024b	295,1971	-8,5	-23,4	295,1737	-14,9
C1026b	301,6067	-	Détruit		
C1026c	301,6051	Nouveau	-15,1	301,5900	-15,1
C1027b	301,6208	-	Détruit		
C1027c	301,5891	Nouveau	-15,1	301,5741	-15,1
C1028	288,5423	Nouveau	-16,0	288,5263	-16,0
C1029	288,5505	Nouveau	-15,9	288,5346	-15,9

Points	Altitude origine	2019	2022	Altitude 2022	Écart 2022-2019
		Écart altimétrique depuis l'opération origine			
R'EN3P3-17	369,1169	-0,2	-0,9	369,1161	-0,7
R'EN3P3-19	348,8197	-1,6	Détruit		
C319	356,0177		Nouveau	356,0177	-
R'EN3P3-20	367,8747	-3,1	-10,9	367,8639	-7,8
R'EN3P3-21	346,0651	-4,0	-14,4	346,0507	-10,4
R'EN3P3-22	302,3546	-12,9	-30,0	302,3246	-17,0
R'EN3P3-23	310,4667	-10,1	-26,3	310,4404	-16,1
R'EN3P3-26	299,0514	-11,2	-23,1	299,0283	-11,9
R'EN3P3-27	314,5806	-8,1	-15,1	314,5655	-7,0
R'EP3-42	335,5728	-	-	335,5728	-
R'EP3-44	315,4435	-7,3	-10,9	315,4326	-3,6
R'EP3-45	308,0997	-7,8	-8,7	308,0910	-0,9

6.2 Représentation graphique des déplacements entre 2019 et 2022

La représentation suivante a été obtenue avec le logiciel QGIS.

L'interpolation employée est de type IDW (pondération inverse à la distance), avec un pas d'échantillonnage de 10 m, et un coefficient de pondération inverse de 5.

Les repères Storengy ont été également employés.

Il est à noter que les courbes extrapolées, notamment au nord de la D51, sont non significatives.

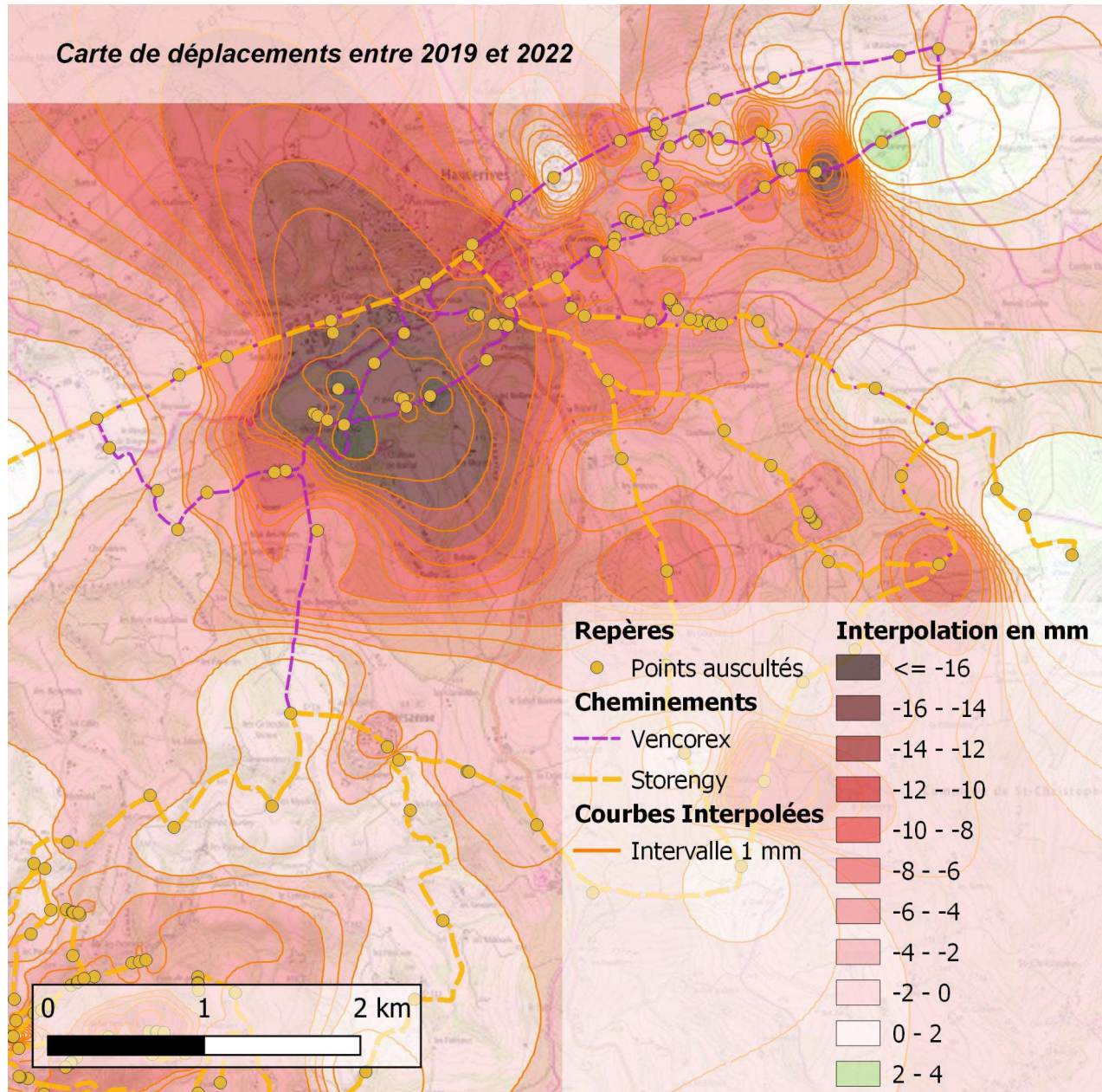


Fig. 8 : représentation des déplacements autour des installations Chloralp entre 2019 et 2022

À titre indicatif, la représentation réalisée sur l'ensemble du chantier commun Vencorex-Storengy figure en **annexe 4**.

7 DÉMARCHE QUALITÉ

Dans le cadre de notre certification ISO9001, le département des Travaux spéciaux vous invite à compléter une fiche de satisfaction en ligne en cliquant sur l'hyperlien ci-dessous (enquête hébergée par Sphinxonline.com) :

[Répondre à l'enquête de satisfaction sur une prestation des Travaux Spéciaux de l'IGN](#)

Vos commentaires sur notre prestation sont exclusivement consultés par notre équipe et participent à l'amélioration de notre processus qualité.

ANNEXES

Annexe 1 : schéma général du réseau Storengy

Les cheminements effectués pour Storengy apparaissent en orange, ceux effectués pour Vencorex, en violet.

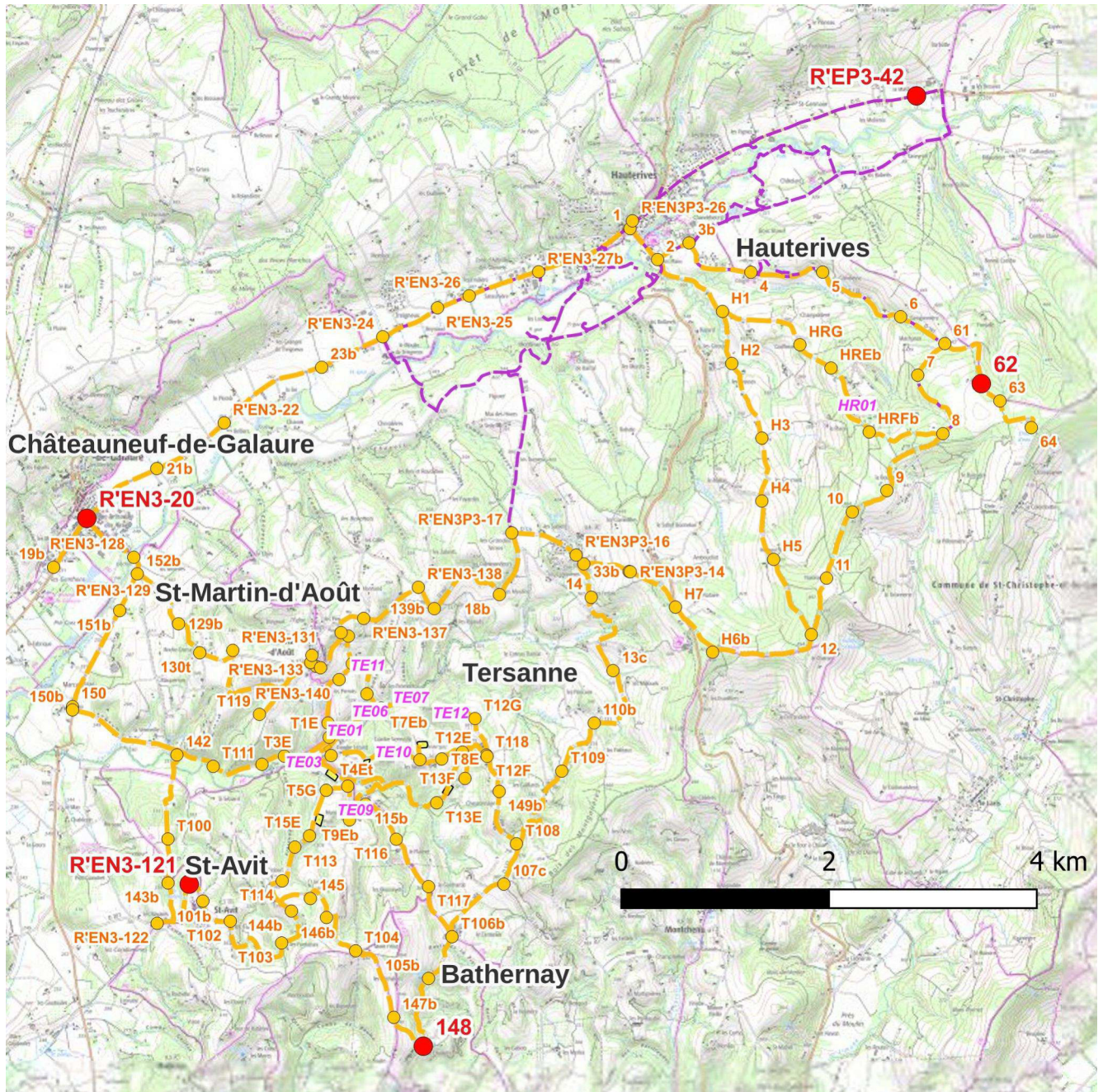


Fig. 9 : schéma du réseau Storengy. Extrait du Scan25® IGN.

Annexe 2 : schémas détaillés des cheminements



Fig. 10 : schéma des cheminements autour de HA06 et HA07

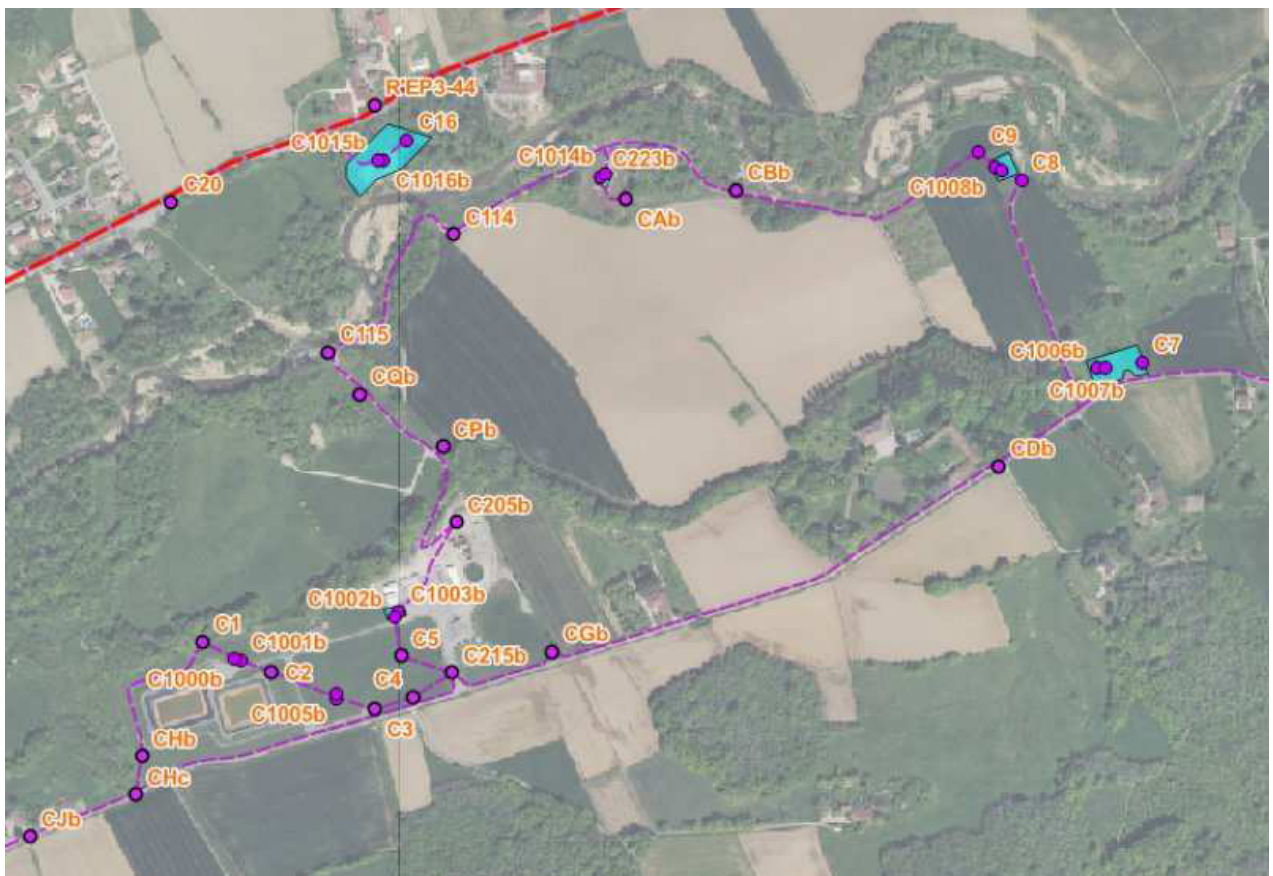


Fig. 11 : schéma du cheminement Usine - HA04

Annexe 3 : Historique des opérations

- **Opérations 0 à 18 (de 1990 à 2014)**

Ces opérations ont été effectuées par la société Sétis (basée à Grenoble).

Les détails et les résultats les concernant sont à trouver dans les rapports dressés par Sétis.

Jusqu'à l'opération numéro 15, en 2008, le système de référence altimétrique était un système local basé sur des altitudes orthométriques.

Depuis l'opération numéro 16, en 2010, les observations se sont appuyées sur des repères du réseau NGF, le système de référence changeant alors pour celui des altitudes normales IGN69 de trois repères (R'.E.N3P3-23, R'.E.N3P3-26, et R'.E.N3P3-27) sans toutefois que leur stabilité soit vérifiée.

- **Opération 19 (automne 2016)**

L'opération numéro 19 est la première de l'IGN, effectuée communément avec l'opération numéro 15 du chantier Storengy.

Les observations de nivellement direct de précision, ont été effectuées en motorisé sur les voies assez plates et suffisamment larges, et à pied sur les voies plus étroites et tortueuses, ainsi que sur les plateformes.

Les antennes ont été observées en aller-retour, de même que le cheminement de stabilité situé sur la D51. Les boucles ont été observées en aller simple.

Les observations motorisées sont effectuées au moyen de trois véhicules, l'un équipé d'un niveau électronique de précision Trimble Dini, les deux autres équipés chacun d'une mire à code-barres. Les observations à pied ont été effectuées avec des niveaux Leica DNA03 associés à leurs mires invar de trois mètres à code-barres.

Afin de compléter le réseau existant et établir des connexions avec le réseau Storengy, de nouveaux repères ont été construits. Par ailleurs, tous les repères des plateformes ont été remplacés.

Les anciens repères des plateformes encore exploitables ont été mesurés conjointement aux nouveaux repères. Leurs altitudes dans le système de référence Sétis (repères R'.E.N3P3-23 et R'.E.N3P3-26 fixés) ont été calculées afin de réaliser les comparaisons avec l'opération précédente. Ces anciens repères ne devraient plus être observés lors des opérations suivantes.

Les altitudes des repères appelés à être observés lors des prochaines opérations ont été calculées dans le système de référence Storengy (repères R'.E.N3-20, R'.E.N3-121 et 148 fixés).

- **Opération 20 (octobre 2019)**

Le mode opératoire utilisé durant cette opération est exactement le même qu'en 2016, mais pour les mesures effectuées en motorisé, le niveau utilisé fut un Leica DNA03 associé à ses mires invar de trois mètres à code-barres.

Suite à la mission de reconnaissance de l'été 2019, plusieurs repères non retrouvés, ou trouvés en mauvais état ont été changés :

Ainsi, sur la plateforme HA14, les deux repères C1026b et C1027b, écrasés par un engin lourd, ont été remplacés par les repères **C1026c** et **C1027c**, mis en place à proximité des anciens.

Par ailleurs, la nouvelle plateforme HA15 a été équipée de deux nouveaux repères C1028 et C1029, positionnés suivant les mêmes principes que sur les autres plateformes.

Enfin, des repères intermédiaires, dits « de confort », visant à faciliter les observations de nivellement, ont également été ajoutés, mais leurs données n'ont pas vocation à être publiées. En effet, ils ont été mis en place en des lieux les plus pratiques ou accessibles, sans souci de leur pérennité ou stabilité.

Annexe 4 : représentation graphique établie sur l'ensemble du chantier commun

La représentation suivante a été obtenue avec le logiciel QGIS.

L'interpolation employée est de type IDW (pondération inverse à la distance), avec un pas d'échantillonnage de 10 m et un coefficient inverse de 5.

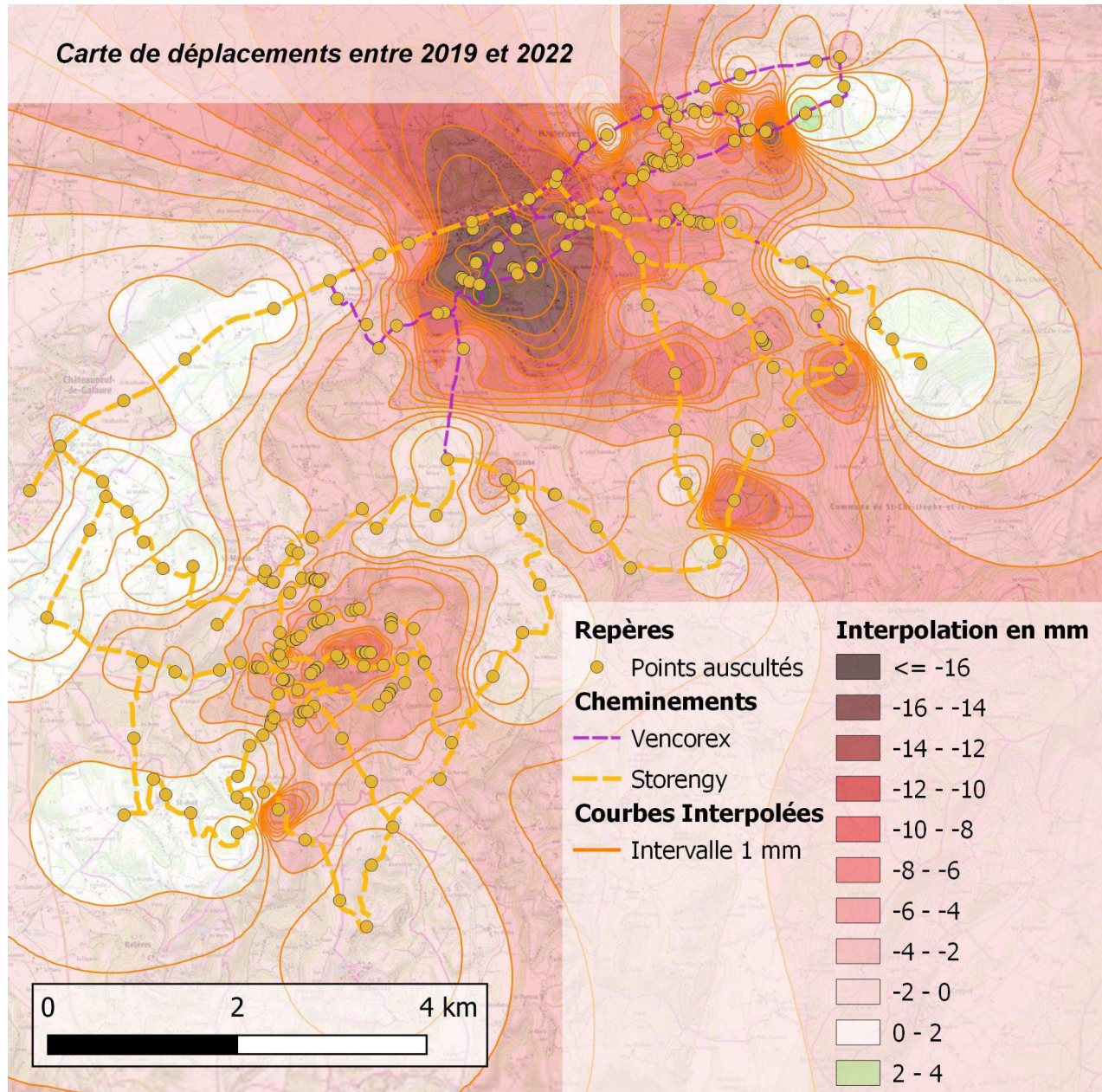
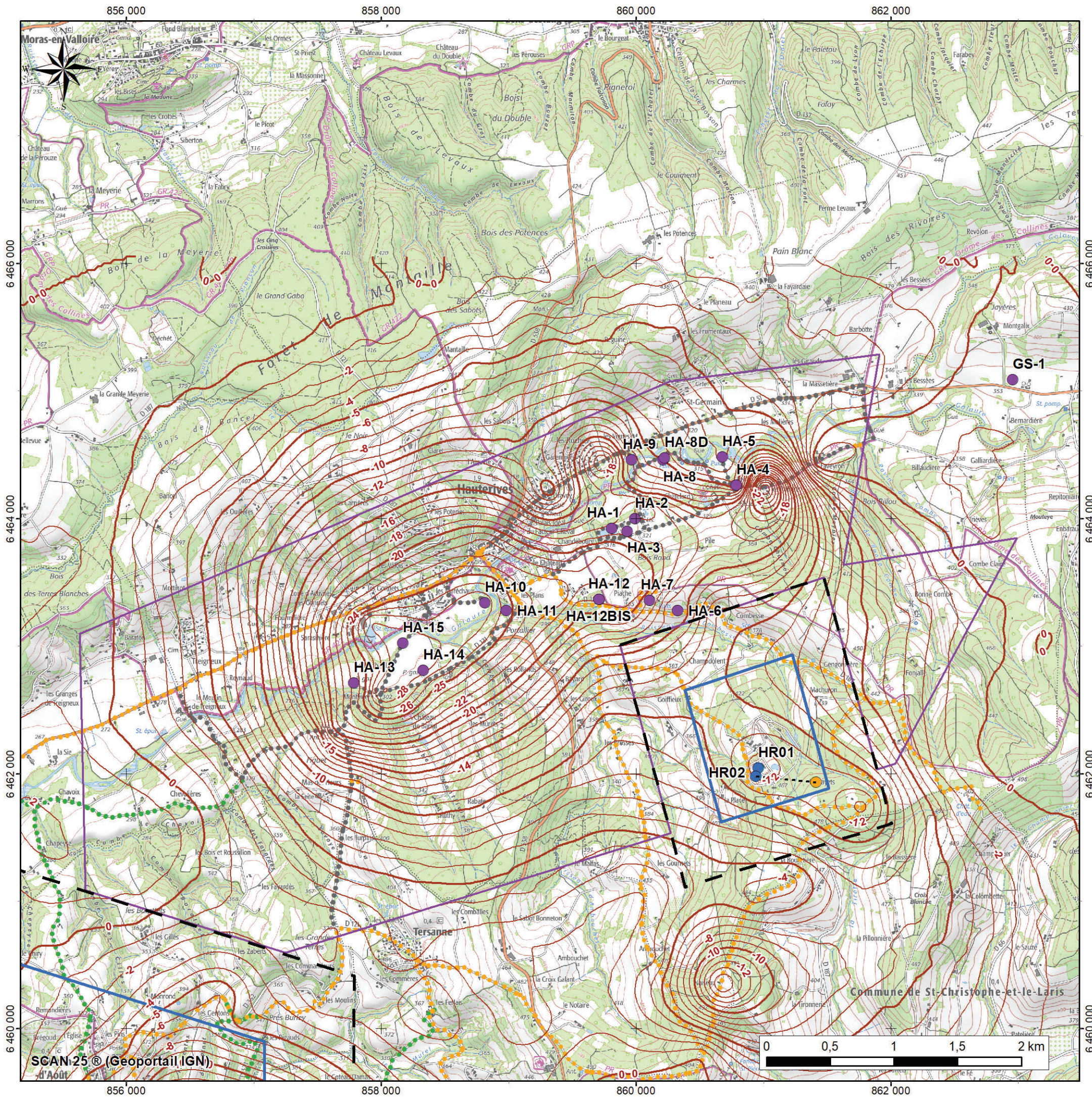


Fig. 12 : représentation des déplacements sur l'ensemble du chantier Vencorex-Storengy entre 2019 et 2022



SITE DE HAUTERIVES
Subsidence différentielle entre 2016 et 2022
(Données de Storengy et Chloralp)

Date : 20/06/2023	Echelle: 1/30 000
STO_DGSM/DM_SOT_062023	RGF 1993 Lambert 93

Concessions Storengy

- Puits Storengy
- Déviation de puits
- Cavité déviée
- Périmètre de stockage
- Périmètre de protection
- Parcours des mesures Storengy
- Parcours des mesures (extension 2022)

Concession Vencorex

- Périmètre de concession
- Puits Vencorex
- Parcours des mesures Vencorex
- Parcours des mesures (extension 2022)

Subsidence

- Isovaleurs de subsidence relative 2016-2022
- Equidistance 1 mm
- Krigeage simple sphérique
- Sources : mesures IGN 2022



**ANNEXE 3 : RAPPORT DE CONTROLE DE LA STABILITE DES
CAVITES, F. HADJ-HADSSSEN, 2016**

VENCOREX France – CHLORALP

Stabilité des cavités de dissolution dans la saline de Hauterives

Faouzi HADJ-HASSEN
Michel TIJANI
Ahmed ROUABHI

Juillet 2016

Référence 160722FHAD

SOMMAIRE

1. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE.....	1
2. DONNEES DE L'EXPLOITATION	1
2.1 Contexte géologique	1
2.2 Exploitation actuelle	3
2.3 Nouvelle cavité HA15.....	3
2.4 Etudes antérieures de dimensionnement	6
3. ANALYSE DES MESURES DE SUBSIDENCE	8
3.1 Reconstruction de la subsidence au niveau de la saline.....	11
3.2 Représentation graphique de la subsidence.....	11
4. DIMENSIONNEMENT DE LA CAVITE HA15	13
4.1 Modèle numérique.....	14
4.2 Interprétation des résultats	16
5. ANALYSE DE LA STABILITE A LONG TERME DE LA SALINE.....	20
5.1 Evaluation de la stabilité actuelle.....	20
5.2 Comportement à long terme et fermeture des cavités	22
5.3 Effet de la sismicité sur la stabilité des cavités	24
6. CONCLUSIONS GENERALES.....	26

ANNEXES

Annexe I : Données des cavités

Annexe II : Mesures de nivellement

1. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

La société CHLORALP exploite sur la commune de Hauterives depuis les années soixante le sel par cavités de dissolution. Le champ d'exploitation comprend actuellement quatorze cavités et se trouve bordé au sud-est par le site de stockage de gaz naturel de STORENGY.

Le sel exploité est constitué d'une alternance de couches de sel et d'insolubles avec un faible pendage vers le sud-ouest. Le toit de la formation salifère au niveau des cavités exploitées se situe à une profondeur voisine de 1150 m, et son épaisseur moyenne est de l'ordre de 600 m. Les diamètres des cavités varient en fonction de la profondeur et des formations traversées. Au stade actuel de l'exploitation, les gardes de sel conservées au toit ont des épaisseurs suffisamment importantes.

L'exploitation est organisée par groupes de cavités rassemblant chacun deux ou trois cavités. Les écartements entre les axes des sondages d'un même groupe de cavités ont été définis de manière à garantir la stabilité et de limiter les mouvements en surface.

Les cavités font l'objet d'un suivi très régulier comprenant notamment l'échométrie sonar pour reconstituer la géométrie au fur et à mesure de la progression du lessivage et le nivellement de repères au sol implantés dans un périmètre élargi autour des puits.

La société prévoit la création d'une nouvelle cavité HA15 à l'ouest du champ (groupe des cavités HA13 et HA14). L'emplacement de cette cavité a été défini en respectant les règles préconisées. Dans le but de vérifier les conditions géologiques des terrains dans la zone de développement de cette nouvelle cavité, une campagne sismique 2D haute résolution a été effectuée et interprétée en 2015 par la société EOSYS.

La présente étude a pour objectif d'évaluer la stabilité générale de la saline et de confirmer le dimensionnement de la nouvelle cavité en s'appuyant sur les travaux de reconnaissance géologique et sur l'analyse des mesures de subsidence effectuées. Cette étude abordera également le comportement de l'exploitation à long terme et les éventuels risques liés à l'activité sismique.

2. DONNEES DE L'EXPLOITATION

2.1 Contexte géologique

Comme le montre la Figure 1 qui donne le log stratigraphique du sondage HA1, la formation salifère exploitée est constituée de deux masses de sel plus ou moins pur séparées par des marnes, du calcaire et de l'anhydrite. Selon ce log, les terrains sont constitués depuis la surface par la séquence suivante :

- le Quaternaire formé par des alluvions sur une épaisseur de l'ordre de 16 m ;
- le Tortonien formé de sables, des grès et d'argiles sur une épaisseur de l'ordre de 300 m ;
- le Chattien à Aquitaniien formé de sables et d'argiles sur une épaisseur de l'ordre de 190 m ;
- le Chattien formé d'argiles calcaires et dolomitiques sur une épaisseur de l'ordre de 315 m ;
- le Rupélien qui comprend dans sa partie supérieure des argiles calcaires, dolomitiques, anhydritiques et gréseuses sur une épaisseur de 250 m ; les deux masses de sel ont respectivement des épaisseurs de l'ordre de 260 et de 175 m avec un intercalaire de 185 m ;
- le mur de la formation salifère est formé par des marnes avec une présence rare de sel.

Les travaux de reconnaissance géophysique effectués par la société EOSYS en 2015 dans le but de vérifier les conditions géologiques des terrains dans la zone de développement de la nouvelle cavité, ont consisté en une campagne sismique 2D haute résolution. La modélisation fine de la formation salifère à partir des données du log gamma-ray a montré que sur l'ensemble de l'épaisseur, les couches de sel représentent en moyenne 72 % et les niveaux argileux 28 %. La série salifère inférieure présente 70 % de sel contre 30 % d'argile. Dans la série de sel intermédiaire, les épaisseurs cumulées des niveaux salifères et argileux sont pratiquement équivalents. La série salifère supérieure atteint 88 % de sel contre 12 % d'argile (Figure 2).

CHLORALP – Stabilité des cavités de dissolution dans la saline de Hauterives

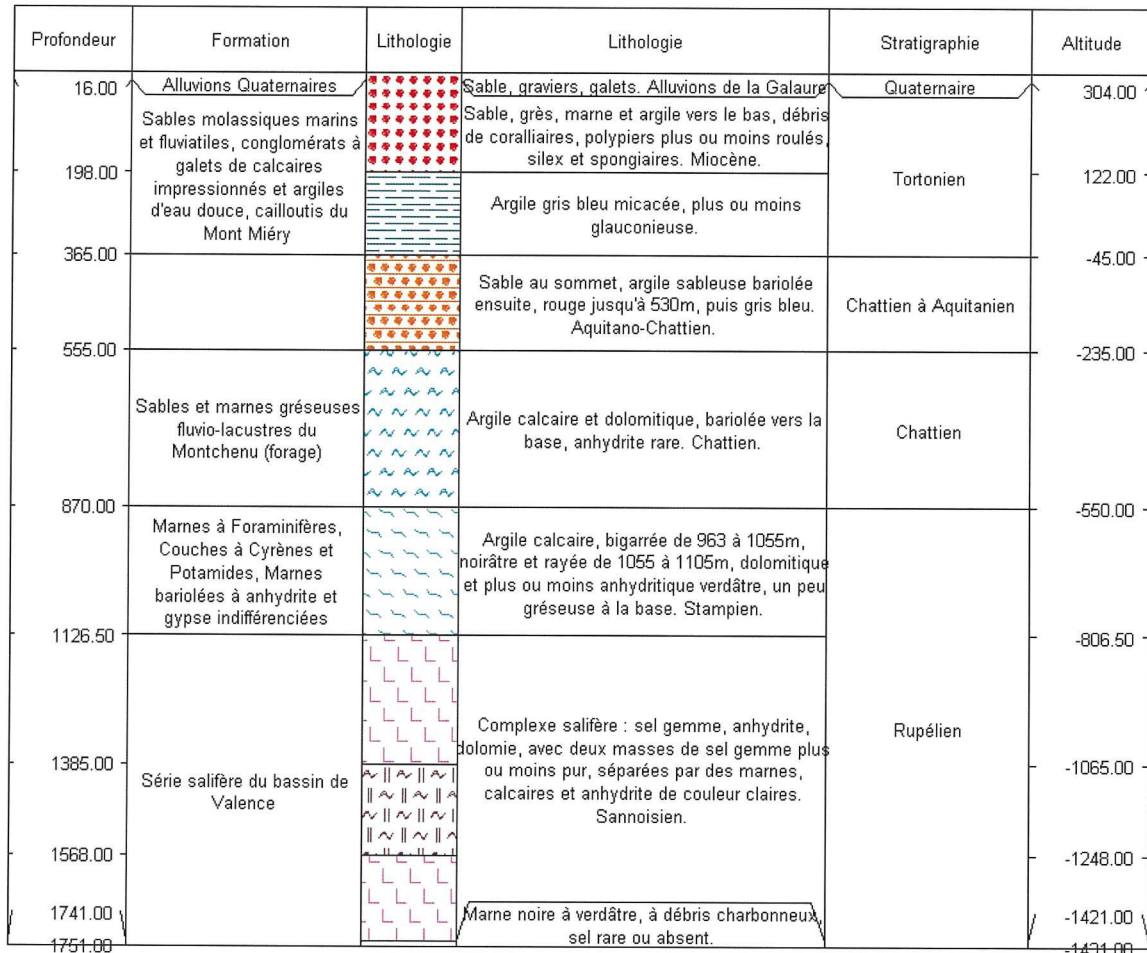


Figure 1 : Log stratigraphique du sondage HA1 (BRGM, Infoterre)

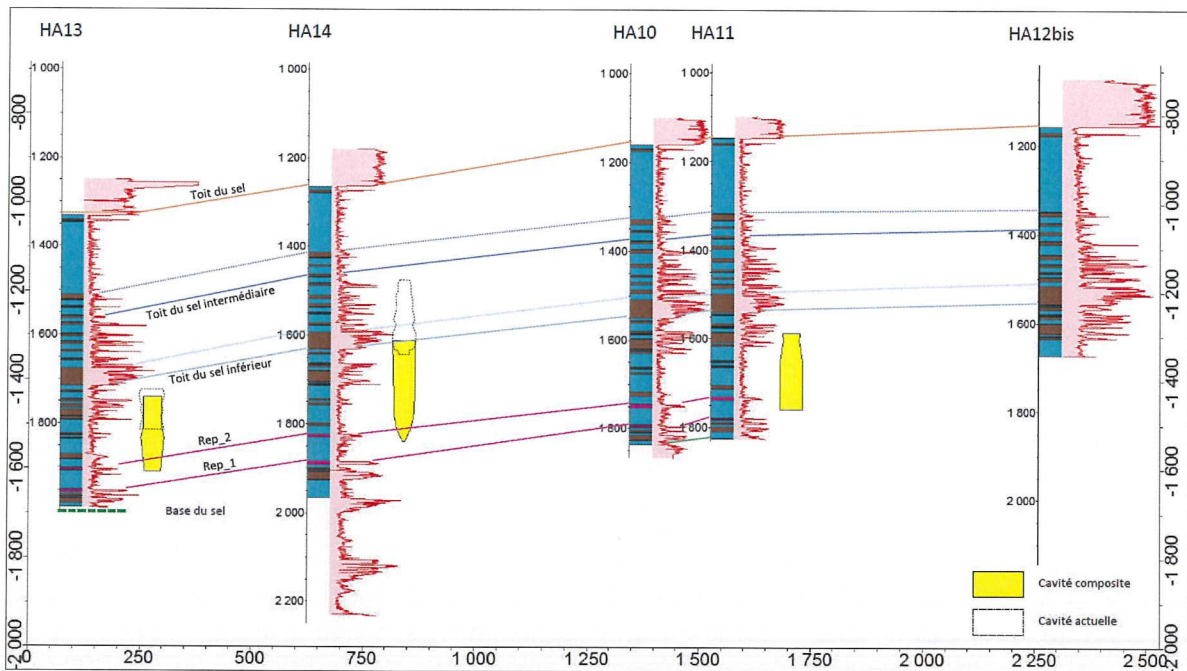


Figure 2 : Structure fine de la série salifère établie à partir des données du log gamma-ray au niveau des sondages HA13, HA14, HA10, HA11 et HA12bis (EOSYS, 2015)

2.2 Exploitation actuelle

L'installation type d'exploitation est constituée de deux forages appelés "doublet" réalisés dans la couche inférieure de sel et reliés par fracturation hydraulique. De l'eau sous pression est envoyée dans un des deux forages pour dissoudre le sel dans la cavité d'injection. La saumure est récupérée dans la deuxième cavité (cavité d'éjection) puis stockée dans des bacs en surface avant expédition. A l'origine, les puits étaient forés à la verticale, mais les techniques évoluant, il est maintenant possible de les faire avec des forages déviés.

Les cavités font l'objet d'un suivi très régulier comprenant notamment l'échométrie par mesures sonar pour reconstituer la géométrie au fur et à mesure de la progression du lessivage et le nivellement de repères au sol implantés au niveau des puits et dans un périmètre élargi de l'exploitation.

Comme le montre la Figure 3, le champ d'exploitation comprend actuellement quatorze cavités (HA01 à HA14) et se trouve bordé au sud-est par le site de stockage de gaz naturel de STORENGY. La cavité HRO1 de ce site se situe à une distance de l'ordre de 1400 m de la cavité la plus proche du champ d'exploitation (HA06).

L'exploitation est organisée par groupes de cavités. En tout, il y a six groupes rassemblant chacun deux ou trois cavités. Le toit de la formation salifère se situe à une profondeur moyenne de l'ordre de 1150 m, et le mur, à environ 1700 m. Compte tenu du pendage des couches vers le sud-ouest (de l'ordre de 8°), le toit du sel au niveau des cavités situées à l'ouest (HA13 par exemple) se trouve à une profondeur plus importante (1312 m), et le mur, au-delà de 1918 m.

Les diamètres des cavités varient en fonction de la profondeur et des formations traversées. La valeur maximale peut atteindre localement 160 m (cas de la cavité HA06 entre les profondeurs 1410 et 1443 m). Au stade actuel de l'exploitation, les gardes de sel conservées au toit ont des épaisseurs suffisamment importantes, la valeur la plus faible étant celle de la cavité HA02 (63 m). Le mur des cavités les plus profondes se situe sous le second niveau repère d'anhydrite conduisant ainsi à une planche de sel au moins d'une trentaine de mètres.

Le Tableau 1 donne les caractéristiques géométriques des 14 cavités. Le volume de chaque cavité est calculé à partir du volume du sel dissous fourni à la date du 31 décembre 2014 en admettant un taux d'insolubles moyen de 28 %. Le diamètre moyen est déterminé à partir du volume en considérant une forme cylindrique de la cavité ; le diamètre maximal est une donnée relevée par les mesures sonar. On trouvera dans l'Annexe 1, les données des cavités et des illustrations de leurs profils géométriques ainsi que leurs écartements.

Le Tableau 2 donne les écartements entre sondages ainsi que les épaisseurs moyennes et minimales du pilier entre deux cavités adjacentes d'un même groupe. L'épaisseur moyenne du pilier est calculée à partir des diamètres moyens des cavités en admettant que les sondages sont verticaux et passent par les axes de celles-ci. L'épaisseur minimale a été déterminée à partir de la numérisation des cavités et l'établissement de leurs profils.

Les distances séparant les cavités les plus proches de deux groupes d'exploitation sont suffisamment importantes pour pouvoir écarter toute interaction significative entre ces groupes (Figure 3).

2.3 Nouvelle cavité HA15

La trajectoire du sondage HA15 a été définie en fonction des recommandations suivantes (Figure 4) :

- déplacement de la tête du sondage vers le sud-est pour s'éloigner d'une quarantaine de mètres de la Galaure ;
- la nouvelle cavité HA15 devrait se situer à 430 m de la cavité HA13 et à 400 m de HA14 ;
- le diamètre maximal de la cavité HA15 est fixé à 120 m.

CHLORALP – Stabilité des cavités de dissolution dans la saline de Hauterives

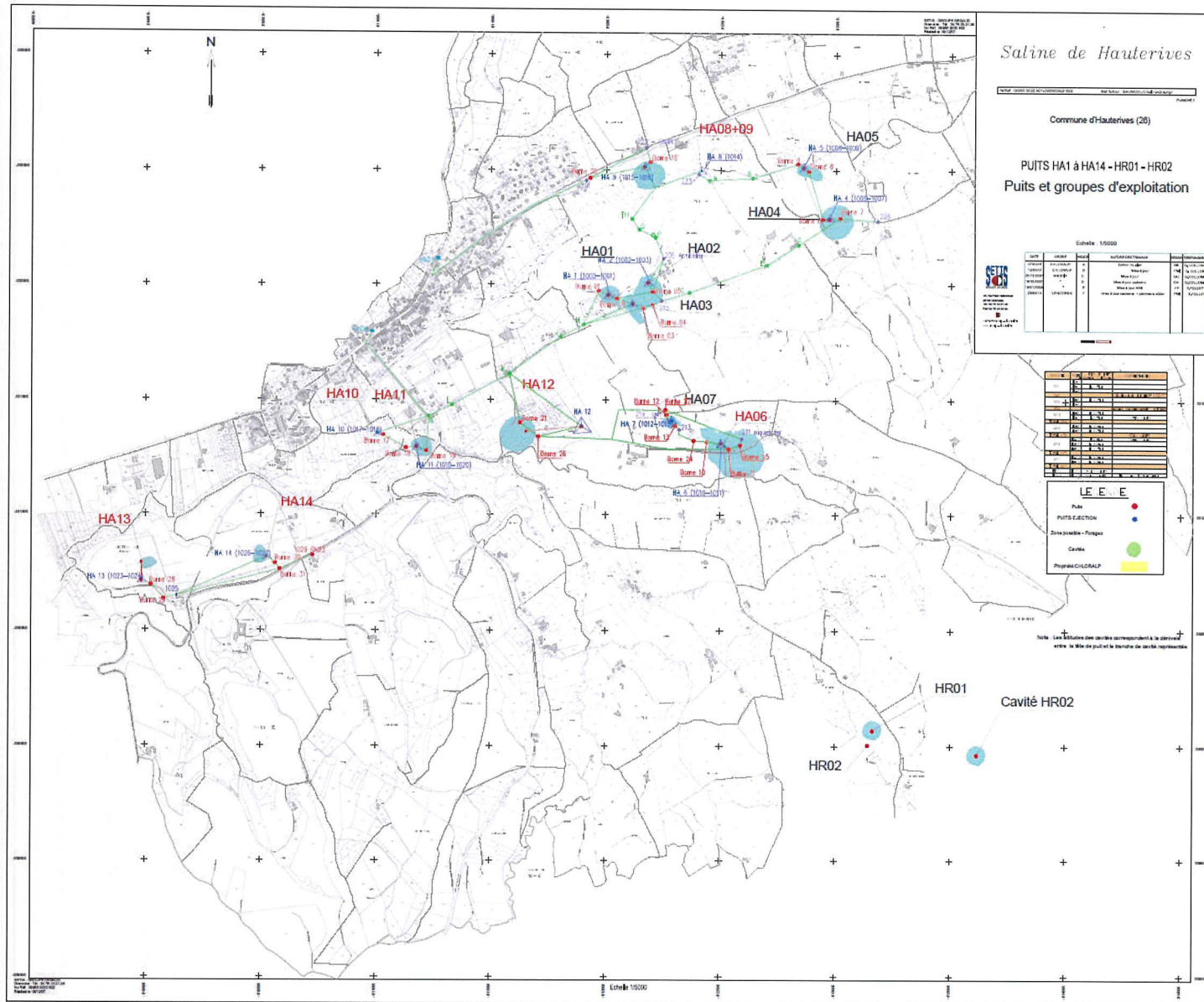


Figure 3 : Plan des cavités et des groupes d'exploitation

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques des cavités

Groupe	Période d'exploitation	Cavité	Toit sel (m)	Toit cavité (m)	Garde de sel au toit (m)	Mur cavité (m)	Hauteur cavité (m)	Volume cavité (m ³)	Diamètres Moyen Maximal (m)
1	1965 - 2006 Arrêt en 2007	HA1	1126	1548	422	1660	112	613285	83 101
		HA2	1122	1185	63	1645	460	1307415	60 123
		HA3	1122	1517	395	1645	128	321483	57 95
2	1967 - 2001 Arrêt en 2005	HA4	1114	1270	156	1575	305	1377135	76 143
		HA5	1106	1466	360	1608	142	603428	74 95
3	1970 En cours	HA6	1139	1218	79	1665	447	1508690	66 160
		HA7	1157	1612	455	1686	74	352303	78 82
4	1987 En cours	HA8	1110	1505	395	1620	238	1253022*	82 126
		HA9	1123	1382	259				
5	1987 En cours	HA10	1159	1691	532	1774	83	115057	42 ?
		HA11	1149	1548	399	1776	228	1230406	83 107
		HA12 (1992)	1148	1303	155	1649	346	2738225	100 156
7	1998 En cours	HA13	1332	1712	380	1918	206	715194	66 92
		HA14	1265	1456	191	1868	412	1440488	67 98

* HA8 et HA9 débouchent dans la même cavité
? échométrie non concluante

Tableau 2 : Ecartements et épaisseurs des piliers entre les cavités des différents groupes

Groupe	Cavités		Distance entre têtes de puits avec forages verticaux (m)	Pilier moyen entre cavités adjacentes (m)	Pilier minimum entre cavités adjacentes (m)
1	HA1	HA2	180.0	108.5	96.5
	HA2	HA3	115.0	56.5	23.6
	HA3	HA1	115.0	45.0	28.0
2	HA4	HA5	270.0	195.0	110.9
3	HA6	HA7	190.0	118.0	78.5
4	HA8	HA9	Mono cavité		
5	HA10	HA11	214	151.5	137.9
	HA11	HA12	500	408.5	299.3
	HA12	HA10	661	590	544.2
7	HA13	HA14	535	468.5	398.2

Le début de la cavité HA15 est prévu sous le second niveau de la couche repère d'anhydrite comme les cavités HA13 et HA14 avec une profondeur estimée de 1900 m (Figure 5). L'extrémité du sondage HA15 atteint l'axe du sondage HA13 sous la base de la cavité de ce dernier. Au final, la distance entre la tête du sondage HA14 et l'axe de la cavité HA15 est de l'ordre de 120 m.

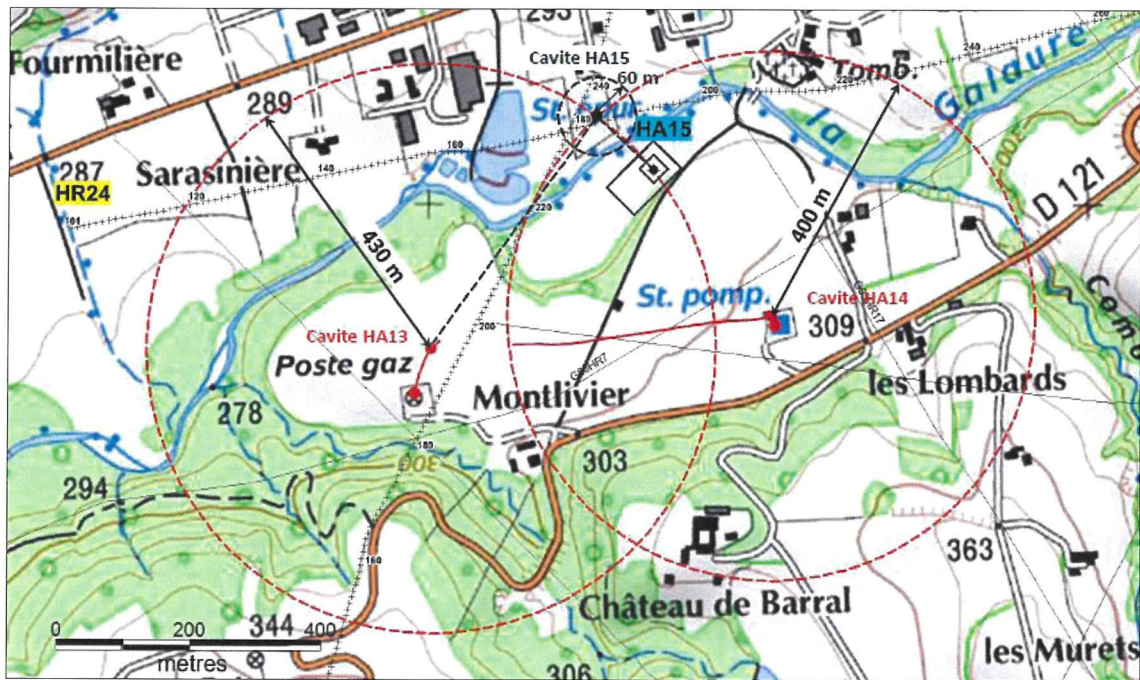


Figure 4 : Localisation de la nouvelle cavité HA15 (EOSYS, 2015)

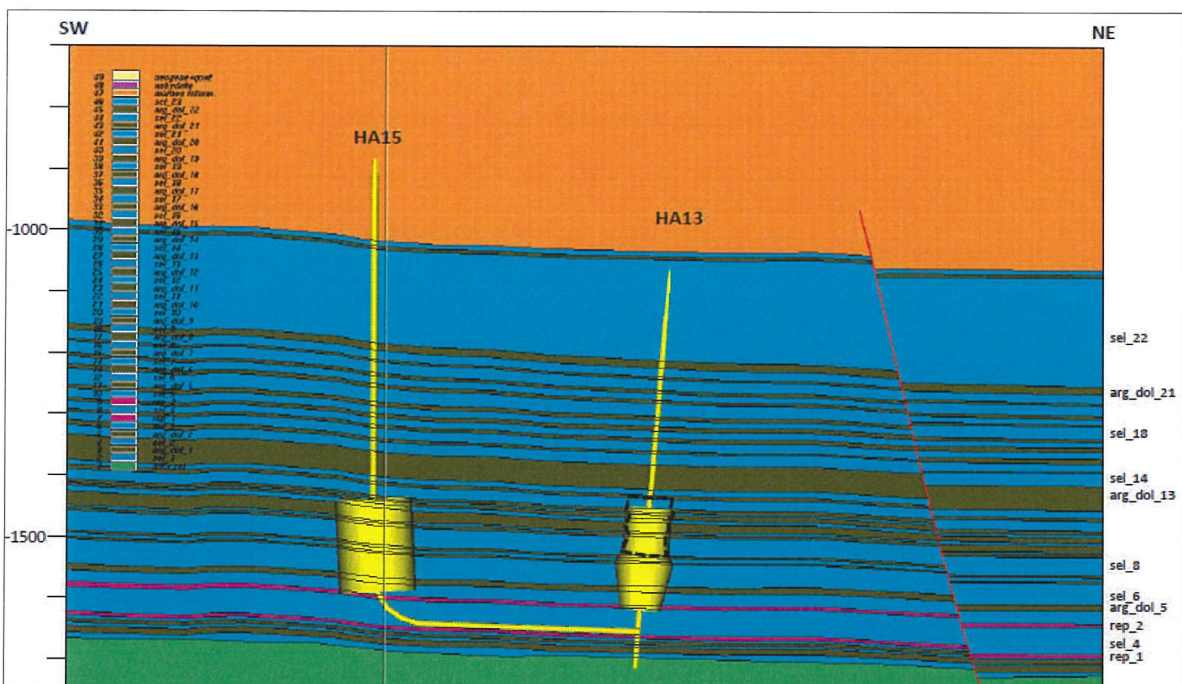


Figure 5 : Projet d'exploitation de la nouvelle cavité HA15
(la hauteur de la cavité dans cette illustration est fixée arbitrairement à 150m, EOSYS 2015)

2.4 Etudes antérieures de dimensionnement

La première étude effectuée pour le dimensionnement des cavités salines de Hauterives remonte à 1977 et a été réalisée par le centre de Géosciences de MINES ParisTech (ARMINES). Elle s'intitule "Etude du comportement mécanique d'une cavité souterraine de Hauterives" (Réf. R77/16, B. Humbert). En utilisant la même démarche, une nouvelle étude a été conduite par GEOSTOCK en 1978 sous le titre "Stabilité des cavités de Hauterives" (Réf. GK/EC/78/382). Cette dernière étude a considéré que l'ensemble des terrains se comportait élastiquement et a cherché à étudier la stabilité du groupe 2 de cavités (HA4/HA5). Les conclusions obtenues ont permis d'établir les règles de

dimensionnement et d'appliquer la méthode d'exploitation à des cas particuliers notamment le groupe 1 (HA1/HA2/HA3).

A la lumière des connaissances acquises sur la rhéologie du sel et son caractère viscoplastique, SOFREGAS a mené une nouvelle étude en 1994 pour examiner la possibilité de modifier le dimensionnement préconisé en vue d'améliorer le rendement de l'exploitation tout en préservant la stabilité d'ensemble (Etude géomécanique des cavités de Hauterives, Réf. 740.1.O.RA.000.0001). Les trois principaux paramètres qui ont fait l'objet de cette étude sont : la distance entre cavités (espacement), la garde de sel au toit (stot) et le diamètre maximum des cavités.

Le point de départ était une distance entre doublets de l'ordre de 540 m, un écartement entre deux puits d'un même doublet d'environ 250 m, un diamètre de cavité maximum de 120 m et une épaisseur de la couverture de sel au toit de la cavité supérieure au diamètre de celle-ci (120 m).

Des modèles 2D par éléments finis utilisant le code numérique VIPLEF d'ARMINES et basés sur les hypothèses de l'axisymétrie (pour un réseau de cavités hexagonales) et de déformations planes (pour les doublets de cavités) ont été mis en œuvre. Dans tous ces modèles, les terrains de couverture ont été considérés homogènes et présentant un comportement élastique avec les propriétés mécaniques suivantes :

- masse volumique = 2300 kg/m³
- module de Young = 30 GPa
- coefficient de Poisson = 0.25

Pour le sel, deux formations principales ont été identifiées en se basant sur la description géologique : le sel des horizons supérieur et inférieur considéré homogène et équivalent, et le banc intermédiaire considéré comme des insolubles.

Le fluage du sel est décrit par le modèle de Lemaître qui est une loi puissance du déviateur et du temps. En effet, sous un déviateur de contraintes donné¹, une éprouvette cylindrique de sel soumise à un essai triaxial de fluage voit sa hauteur subir une diminution relative (déformation axiale) qui augmente avec le temps selon une loi puissance (exposant α positif et inférieur à 1). Le facteur multiplicatif de cette loi est une fonction puissance du déviateur (exposant β positif et supérieur à 1).

Ainsi, sous un déviateur σ imposé instantanément puis maintenu constant, la déformation axiale ε s'écrit comme la somme d'une déformation élastique (fonction du module de Young E) et d'une déformation viscoplastique (fluage décrit par la loi de Lemaître) :

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 10^{-6} \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{\beta} t^{\alpha}$$

STORENGY exploitant un stockage de gaz naturel voisin à Tersanne, le sel a fait donc l'objet de nombreuses études en laboratoire et in-situ pour caractériser le phénomène de fluage et pour prévoir la convergence des cavités. Les valeurs suivantes ont été obtenues pour les paramètres de fluage de la loi de Lemaître :

- $\alpha = 0.5$
- $\beta = 3.63$
- $K = 0.889$ MPa

D'un point de vue géologique, les sels de Hauterives et de Tersanne appartiennent au même bassin de sel de Valence. Les cavités salines de Tersanne étant situées à une profondeur comparable à celle des cavités de Hauterives, l'étude de dimensionnement de SOFREGAZ a alors admis les mêmes paramètres de fluage pour les deux sels.

¹ Le déviateur correspond à l'écart entre l'état de contraintes et un état de pression hydrostatique. Lors d'un essai triaxial, le déviateur est la différence entre la contrainte axiale et la pression de confinement

Les paramètres retenus de la loi de Lemaître conduisent à un indice de fluage de 12.5 % témoignant d'un sel très fluant².

En vue d'étudier le comportement en bordure d'un réseau de cavités ou au niveau d'un doublet, un modèle tridimensionnel a été réalisé en élasticité. Dans ce modèle, un horizon unique de sel a été considéré.

Deux critères importants ont été retenus lors du dimensionnement des ouvrages : la stabilité des terrains et les vitesses annuelles de convergence des cavités et de subsidence de la surface. Pour le premier critère de stabilité, aucune traction n'a été tolérée. De même, un seuil de 25 MPa a été retenu pour le déviateur des contraintes. Rappelons que ce seuil dit déviateur dilatant est mesuré au cours d'un essai triaxial au moment où la variation volumique de l'éprouvette passe d'un état de contraction à un état de dilatance. Ce changement de tendance est interprété par l'endommagement du sel par développement de micro-fractures et pourrait être préjudiciable à sa stabilité et à son étanchéité. En ce qui concerne le second critère en déformation, la perte de volume annuelle des cavités doit être plus faible que 1 % et la vitesse de subsidence doit être inférieure à 2 cm/an.

L'analyse des résultats des différentes simulations conduites en faisant varier l'espacement des cavités, leur diamètre et l'épaisseur de la garde de sel abandonnée au toit a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- le maintien de l'écartement entre les axes des cavités à 540 m en raison de la forte fluabilité du sel et aux risques de convergence et de subsidence ;
- le passage d'un stot de sel au toit des cavités d'épaisseur 90 m à la place des 120 m initialement préconisés ;
- la possibilité d'étendre le diamètre des cavités de 120 à 140 m.

Les derniers travaux d'ARMINES sur la saline de Hauterives ont été effectués par M. Tijani et remontent à 2007 et 2008 (réf. L070918MTIJ et L080506MTIJ). Ils portaient sur l'évaluation de la zone d'influence des cavités et la détermination de l'écartement entre deux cavités adjacentes. En considérant que la zone d'influence d'une cavité s'étend sur une épaisseur de l'ordre de 1.3 fois son diamètre maximal, il s'en suit que la distance E entre deux cavités de diamètres D₁ et D₂ situées sur le même horizon doit vérifier la condition suivante :

$$E \geq 1.8 (D_1 + D_2)$$

Dans le cas d'une petite cavité (en couche basse, de diamètre D₁) et d'une grande (de diamètre D₂), le lessivage de la grande cavité peut se poursuivre à condition que sa zone d'influence ne touche pas celle de la petite. Lorsque la cavité 2 (grande) est exploitée et la cavité 1 (petite) ne reçoit plus que de la saumure (donc ne s'étend plus), la règle suivante a été proposée pour l'écartement entre les axes des cavités :

$$E \geq 0.5D_1 + 1.8D_2$$

avec D₂, la valeur maximale du diamètre de la partie de la grande cavité qui est vis-à-vis de la petite cavité (c.à.d. entre les mêmes côtes).

3. ANALYSE DES MESURES DE SUBSIDENCE

Outre le suivi régulier des cavités par échométrie sonar pour reconstituer leur géométrie au fur et à mesure de la progression de l'exploitation, des repères au sol ont été implantés dans un périmètre élargi autour des puits pour faire l'objet de mesures de nivellement dans le but de suivre les mouvements de surface. Les stations de mesure comprennent les points suivants (Figure 6) :

- les bornes 1 à 31 et 1029-RN23 installées depuis mars 1990 et dont certaines ont disparu (14, 15, 23 et 27) ;

² L'indice de fluage correspond à la déformation en % obtenue au bout d'une année sous un déviateur de 10 MPa et à la température étudiée. Il est couramment utilisé pour décrire la fluabilité du sel.

- les repères anciens 201 à 223 datant de 1975 ainsi que les repères B1 à B19 datant de 1988 et dont plusieurs ont également disparu ;
- les nouveaux repères datant de mai 1991 et composés, d'une part, des points 1000 à 1028 implantés essentiellement au niveau des têtes de puits, et d'autre part, des points A à Q installés entre les puits pour couvrir la surface du champ d'exploitation.

Les dernières mesures mises à notre disposition (base de données SETIS) datent du mois de novembre 2014. Depuis 2010, le nivellement des différents puits et secteurs de puits sont rattachés entre eux et aux repères NGF RN26, RN27 et RN23 (repères supposés fixes). Les altitudes mesurées sont exprimées en altitude normale IGN69 depuis 2010 (altitude orthométrique pour les opérations précédentes).

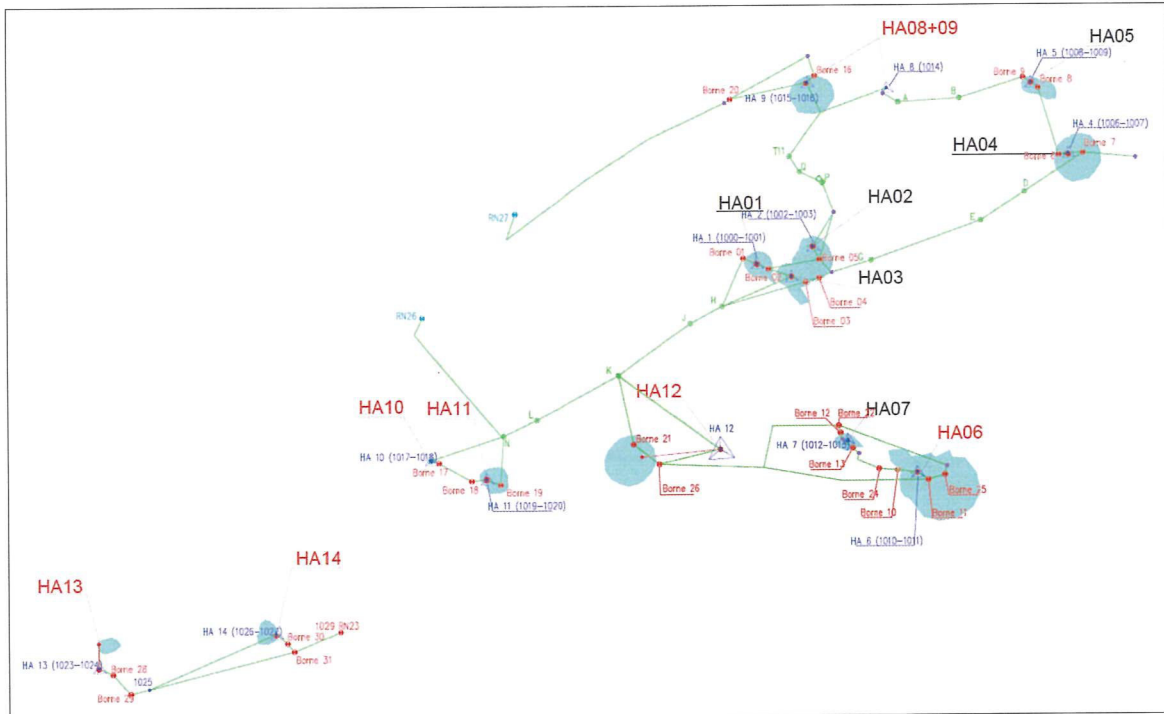


Figure 6 : Tracé des mesures de subsidence indiquant les puits et les différents repères implantés

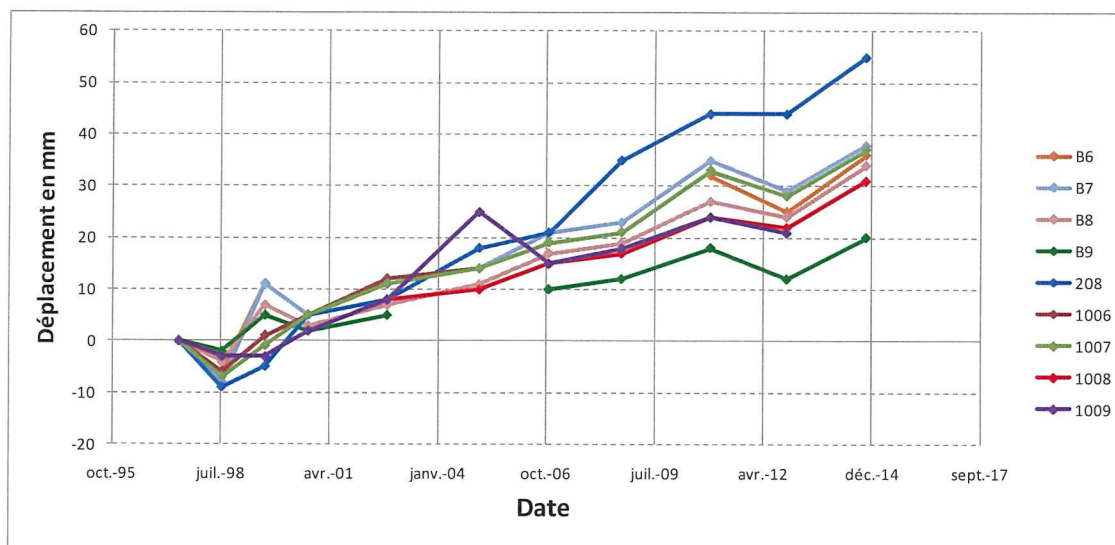
L'examen des résultats de cette base de mesures a mis en évidence des anomalies sous forme de soulèvement de la surface de forte amplitude au droit même de certaines cavités en exploitation. Une illustration de ces résultats est montrée par la Figure 7. Les mouvements de soulèvement n'ont pas lieu d'être et peuvent résulter des phénomènes suivants :

- une mauvaise qualité des repères utilisés,
- un raccordement à des points supposés fixes,
- des boucles de raccordements trop petites avec l'absence d'une boucle globale sur tout le site.

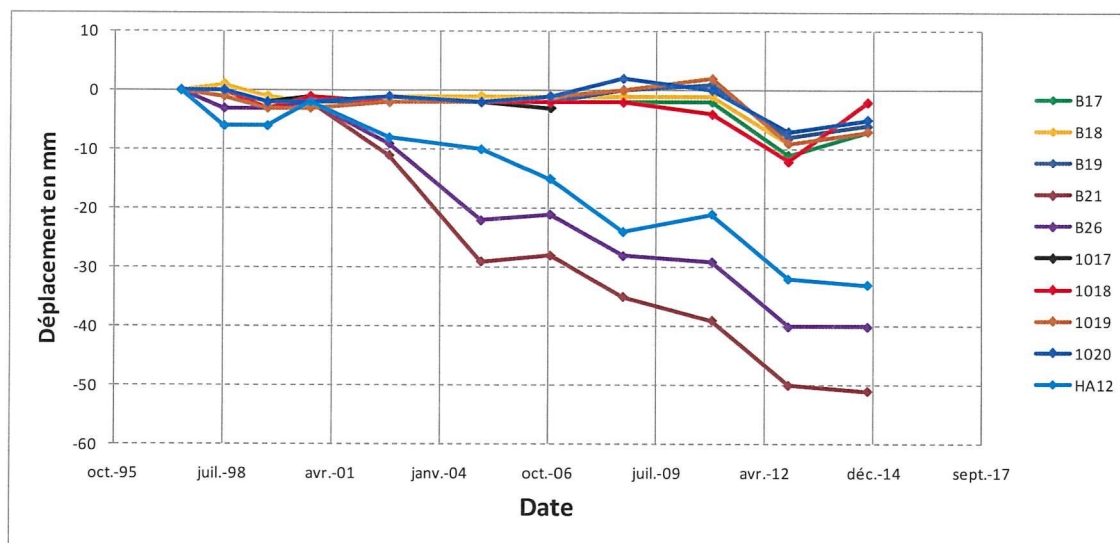
Face à la difficulté d'interprétation de ces mesures, il a été décidé de mener un travail important pour corriger la base de données et accéder au comportement réel de la surface. Ce travail a été réalisé en collaboration avec la société et a consisté, d'une part, à reprendre les mesures antérieures à 1990 et utilisant les repères anciens 201 à 223 et B1 à B19, et d'autre part, à essayer d'exploiter les mesures de STORENGY qui surveille le site de stockage de Tersanne depuis 1982 et la partie sud-est de Hauterives depuis 2004 où deux nouveaux puits de stockage de gaz ont été implantés. Le rapport rédigé par P. Audouard au mois de juin 2016 donne plus de détail sur le contenu de ce travail.

Les mesures anciennes couvraient la période 1975-1990 et avaient fait l'objet d'un rapport rédigé par Ph. Chevalier en 1990 (Nivellement Hauterives – Interprétation des mesures de mars 1990, Réf. CIM/EM PHC/MM 90/25). Ce rapport mettait en évidence la présence de cuvettes de subsidence aux

alentours immédiats des puits et évaluait les vitesses de subsidence pour chaque groupe d'exploitation. On trouvera dans l'Annexe 2 une illustration des résultats obtenus.



a) Soulèvement de la surface au niveau du groupe 2 (HA4 et HA5)



b) Subsidence de la surface au niveau du groupe 5 (HA10, HA11 et HA12)

Figure 7 : Illustrations des anomalies de mesures de nivellement de surface (Base de données SETIS)

Les principales conclusions du rapport de 1990 sont les suivantes :

- hormis quelques exceptions, les vitesses de subsidence sont faibles et uniformes : moins du millimètre par an ;
- les cuvettes de subsidence se développent autour d'un axe reliant les puits constitutifs d'un même groupe ;
- les cuvettes des groupes d'exploitation sont déconnectées les unes des autres, ce qui implique que l'espacement latéral entre les différents groupes est suffisant et permet de minimiser l'impact de l'activité d'extraction en surface.

Les mesures de STORENGY portent uniquement sur un petit secteur sud-ouest de la saline de Hauterives. Peu de points ont pu être donc utilisés pour corréler ces mesures à la base de données de l'exploitation entre 2004 et 2013.

3.1 Reconstruction de la subsidence au niveau de la saline

En s'appuyant sur les données présentées ci-dessus, une relation empirique a été établie entre la subsidence et la quantité de saumure extraite pendant la phase de mesures inconsistantes de 1990 à 2014. Cette relation est déterminée par périodes car la réponse de la surface dépend de la position de la cavité par rapport aux trois couches de sel exploitées.

Les analyses effectuées sur les données disponibles ont montré que ce sont les mesures des deux cavités HA12 et HA3 qui conduisent aux résultats les plus cohérents. En effet, la cavité HA12 présente la particularité d'avoir été exploitée de façon continue dans les trois horizons de sel et aussi d'être couverte par des points de la base de données de la saline (mesures SETIS) ainsi que par des points de la base de données de STORENGY (mesures IGN). Ces points indiquent tous des mouvements de subsidence, mais avec des amplitudes différentes. La base de données de la saline a pu alors être corrigée avec le facteur de corrélation établi. A l'inverse de HA12, la cavité HA3 a été exploitée de manière intensive lors de sa création, puis elle est restée au repos pendant toute la phase de mesure. Ainsi, HA12 représente le cas de subsidence liée à une cavité en pleine activité, tandis que HA3 représente le cas de subsidence d'une cavité au repos.

La reconstruction de la subsidence s'est donc faite selon les étapes suivantes :

- détermination de la relation entre la subsidence et le tonnage de saumure extraite pour la cavité HA12 dans chacun des trois cas possibles (cavité dans les couches de sel inférieure, intermédiaire ou supérieure) et application du facteur correctif déduit des mesures IGN ;
- détermination d'une valeur constante de vitesse de subsidence lorsqu'une cavité n'est plus en production à partir de l'historique de subsidence de la cavité HA3 ;
- pour chaque puits, détermination de la période de production ou de non-production de la cavité ;
- application des relations établies à partir de HA12 et HA3 pour chaque cavité ;
- sommation de la subsidence trouvée lors d'une période d'activité et d'inactivité de la cavité ;
- calcul de la vitesse de subsidence moyenne pour chaque cavité en fonction de sa date de création.

Les résultats obtenus sont donnés par le Tableau 3.

Tableau 3 : Vitesses de subsidence calculées à partir des cavités HA12 et HA3

Cavité	HA1	HA2	HA3	HA4	HA5	HA6	HA7	HA8- HA9	HA10	HA11	HA12	HA13	HA14
Vitesse de subsidence (mm/an)	0.40	0.68	0.25	0.64	0.40	1.42	0.29	0.85	0.26	1.00	3.20	0.98	2.43

Les valeurs de ces vitesses de subsidence sont acceptables et sont de même ordre de grandeur que celles déterminées à partir des mesures effectuées entre 1975 et 1990.

3.2 Représentation graphique de la subsidence

Deux représentations graphiques de la subsidence ont été effectuées. La première a consisté à reprendre les mesures de la période 1975-1990 pour tracer les lignes iso-valeurs et vérifier ainsi l'analyse manuelle effectuée par Chevalier en 1990. Les mesures jugées non cohérentes n'ont pas été prises en compte dans cette représentation. Le résultat obtenu est fourni dans l'Annexe 2.

Contrairement aux conclusions du rapport de 1990, les résultats mettent en évidence une interaction entre les cuvettes de subsidence des groupes d'exploitation 1, 2 et 3 avec une ligne de subsidence commune voisine de 5 mm. Toutefois, ces mouvements sont d'ordre millimétrique et restent très faibles.

La seconde représentation graphique donne les contours de subsidence durant la période 2004-2013. Les données utilisées ici sont les subsidences calculées au niveau de chaque cavité ainsi que les

mesures de STORENGY couvrant le site de stockage de Tersanne ainsi que le secteur sud de la saline. De la même façon, la figure correspondant à ce résultat est donnée dans l'Annexe 2.

Une fois le modèle de subsidence établi et vérifié, il a pu être utilisé pour reproduire le mouvement induit par la création de toutes les cavités de la saline de Hauterives à la date de 2013. Cette prédiction a été une nouvelle fois contrainte par les mesures de STORENGY. La Figure 8 montre les iso-valeurs de subsidence simulée au niveau de la saline et du site de stockage de Tersanne. On trouvera dans l'Annexe 2, le même résultat uniquement pour la saline de Hauterives.

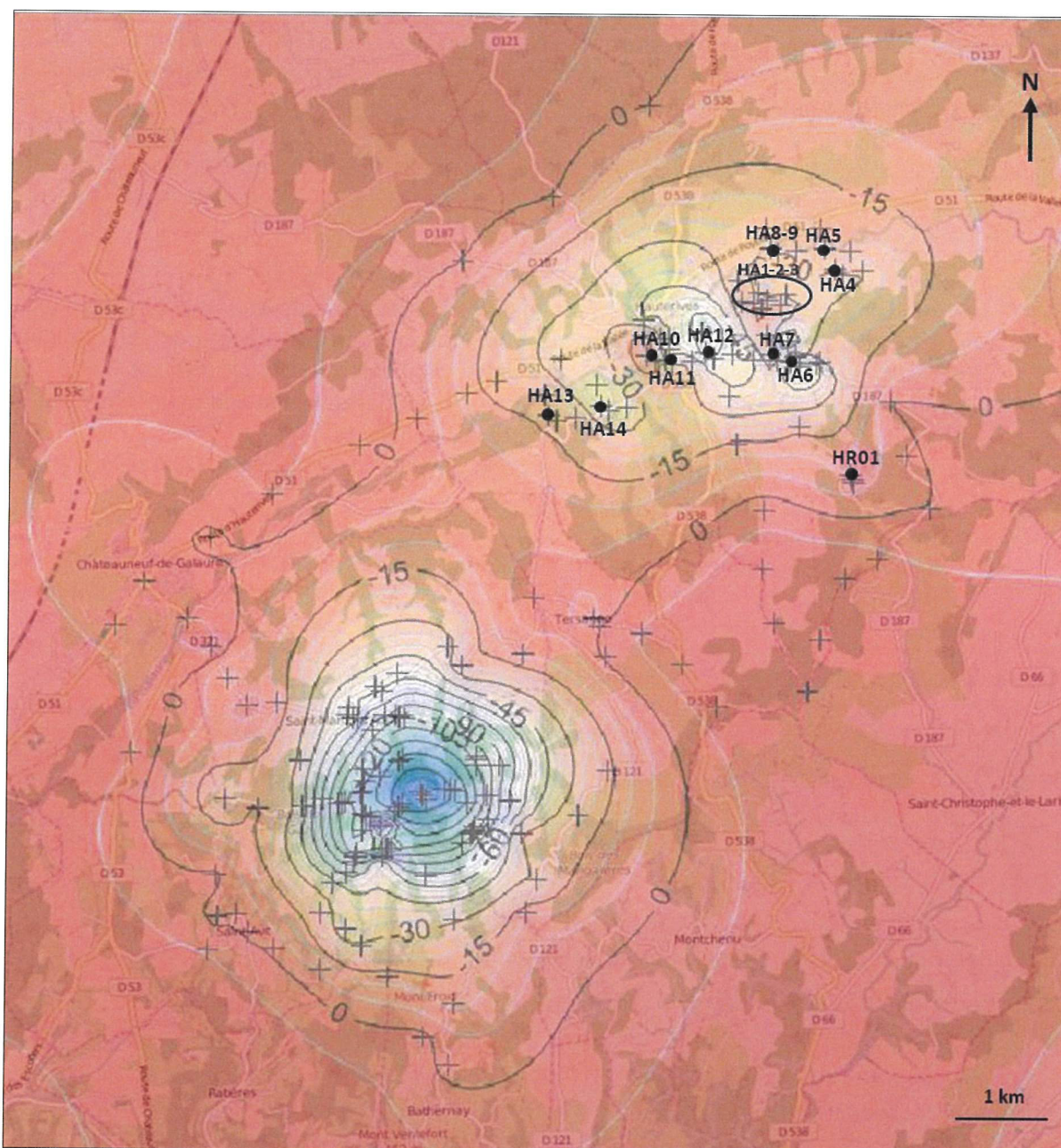


Figure 8 : Subsidence de la saline de Hauterives et du site de stockage de Tersanne depuis la création des cavités jusqu'à la date 2013 (Audouard, 2016).

(Les teintes chaudes indiquent une subsidence quasi nulle, et les froides, la subsidence effective ; l'espacement entre les lignes est de 5 mm)

Le maximum de subsidence se trouve au centre du site de stockage de Tersanne avec une amplitude de 181 mm. A Hauterives, ce maximum est atteint au niveau de la cavité la plus grande HA12 avec une valeur de 74 mm.

Comme signalé ci-dessus, les vitesses de subsidence de la saline sont très faibles (de l'ordre du mm par an) et restent donc acceptables. La cavité HA12, exploitée de façon intensive et continue, présente la plus forte vitesse avec une valeur seulement de 3.2 mm/an.

La subsidence au niveau des deux sites de Tersanne et de Hauterives, y compris les cavités de stockage de STORENGY HR01 et HR02, se rejoint avec une ligne commune de 5 mm. Cette faible valeur est souvent utilisée comme limite à partir de laquelle le mouvement devient non significatif.

En conclusion, les mouvements de surface de la saline de Hauterives et leurs vitesses sont de faibles amplitudes et témoignent de la stabilité de l'exploitation. Ainsi, le dimensionnement des ouvrages et sa mise en œuvre (diamètres et hauteur des cavités, gardes de sel au mur et au toit, écartement entre sondages et répartition des groupes d'exploitation) permettent de garantir cette stabilité à la fois au niveau des cavités et de la surface.

4. DIMENSIONNEMENT DE LA CAVITE HA15

La dernière étude de dimensionnement de la saline de Hauterives préconisait des diamètres moyens de cavités pouvant atteindre 120 à 140 m (SOFREGAZ, 1994). Cependant, la réalisation pratique conduisait à des diamètres plus faibles (entre 42 et 100 m). De la même façon, la hauteur des cavités au stade actuel de l'exploitation est faible, la moyenne variant entre 74 à 460 m (Tableau 1 et Figure 9).

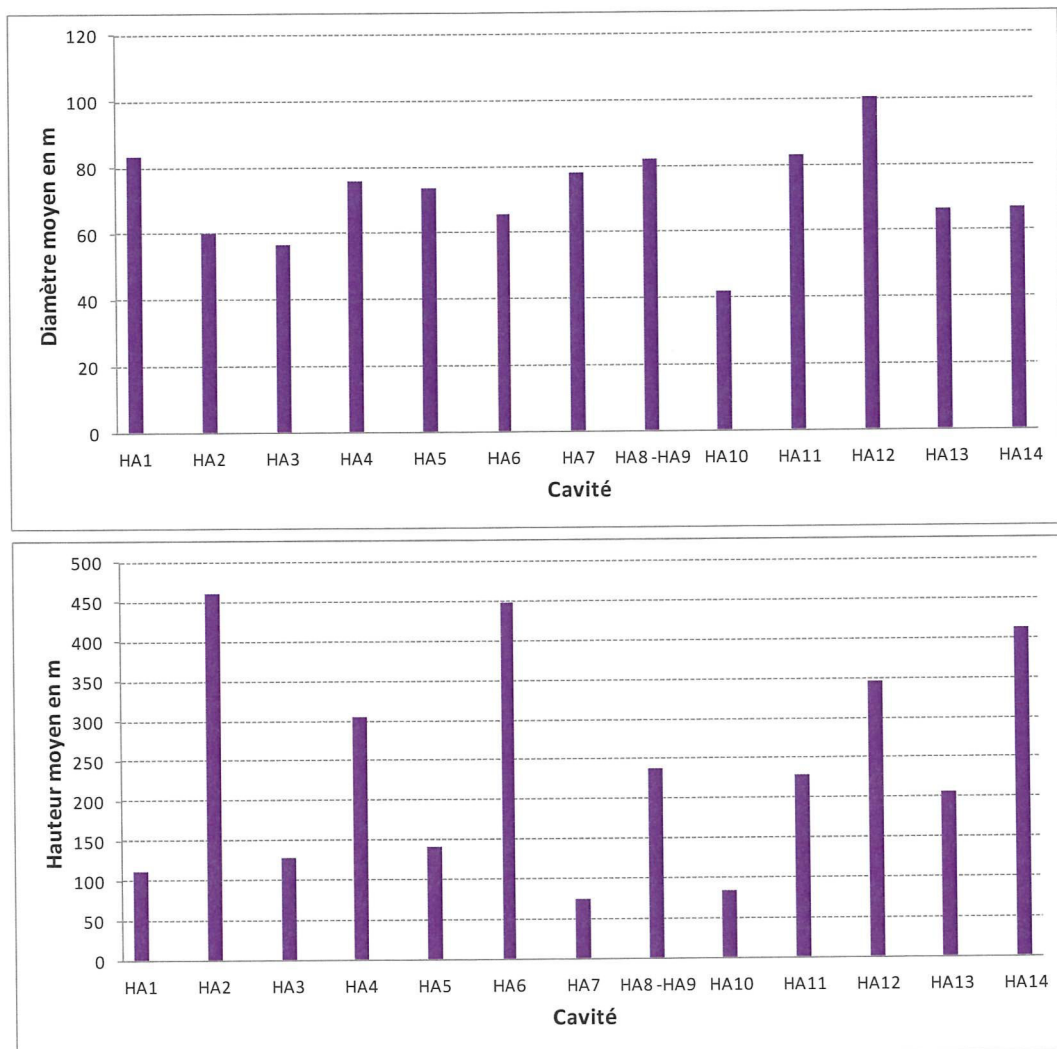


Figure 9 : Diamètres et Hauteurs moyens des cavités actuelles

Pour l'étude de la stabilité de la cavité HA15, nous avons admis les conditions suivantes d'exploitation :

- une couche supérieure de sel d'épaisseur 330 m, celle du sel intermédiaire, 120 m, et celle du sel inférieur, 225 m ;
- un diamètre constant de la cavité de 120 m avec une forme voûtée du toit et du mur (forme géométrique inspirée de la cavité HA14) ;
- le fond de la cavité se trouve à 1900 m de profondeur avec une garde de sel de 40 m, le reste de l'horizon salifère étant considéré argileux comme le mur ;
- le toit du sel se situe à la profondeur 1265 m et le toit de la cavité à 1335 m, soit une garde de sel de 70 m ;
- avec un diamètre de 120 m et une hauteur de 565 m, le volume total de la cavité est de 5.9 Mm³ ;
- la durée d'exploitation de la cavité est de 22 ans.

La géométrie de la cavité modélisée est illustrée par la Figure 10.

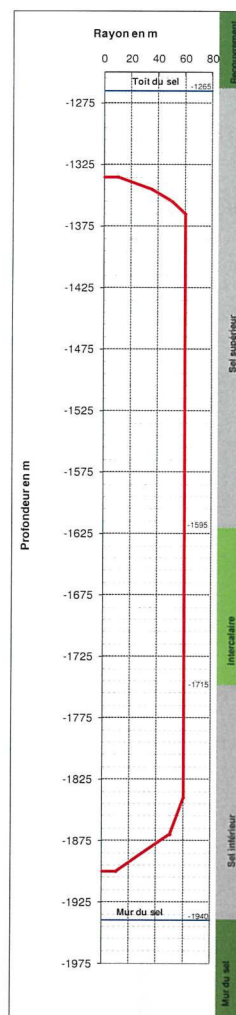


Figure 10 : Géométrie considérée de la cavité HA15

4.1 Modèle numérique

Un modèle numérique basé sur la méthode des éléments finis a été établi pour la cavité HA15 avec le logiciel VIPLEF d'ARMINES. La cavité est supposée isolée et présente un axe de symétrie de révolution (modèle 2D avec l'hypothèse de l'axisymétrie). Le massif est constitué par un recouvrement homogène argileux, les deux couches de sel, l'intercalaire argileux et un mur également argileux.

Afin de s'affranchir des perturbations induites par le creusement de la cavité, les limites latérale et inférieure du modèle ont été placées suffisamment loin de la cavité, respectivement à 2500 m et à 3000 m de profondeur, la limite supérieure étant constituée par la surface. La Figure 11 montre le maillage du modèle et ses conditions aux limites.

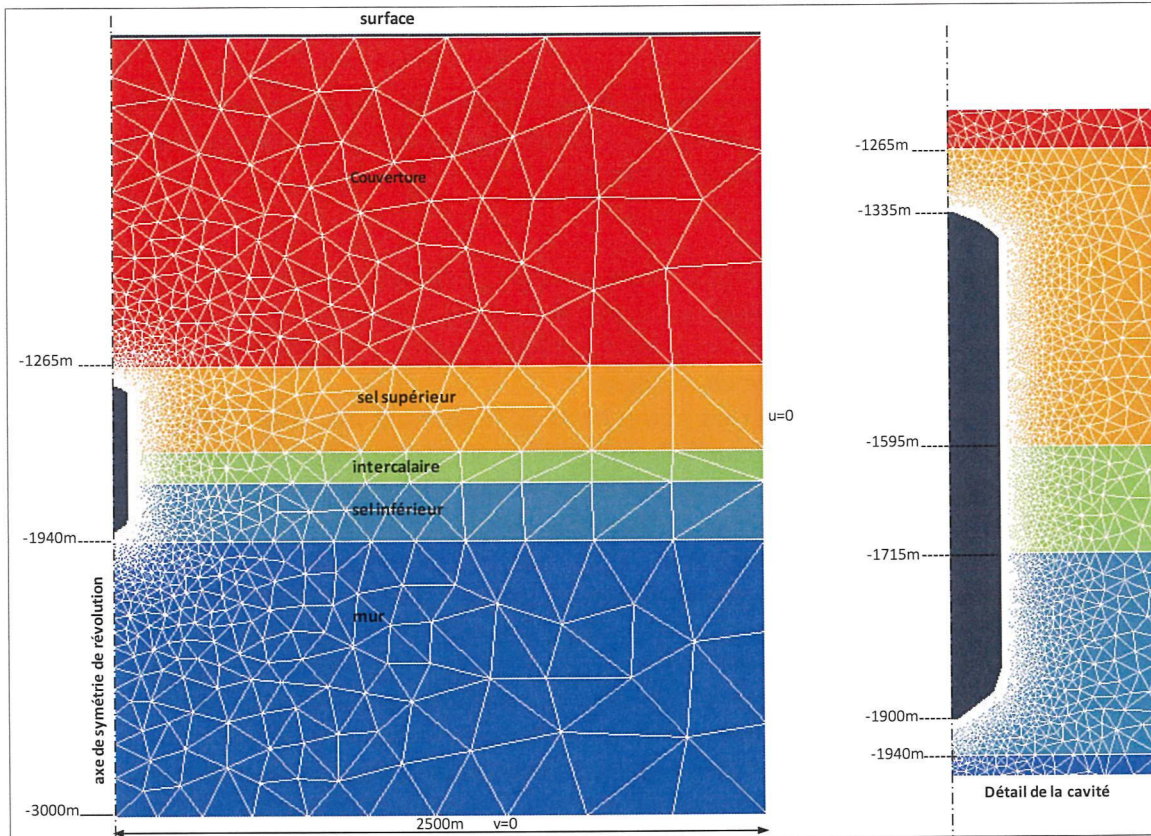


Figure 11 : Modèle numérique de la cavité HA15 et conditions aux limites appliquées

Les terrains argileux constitués par le recouvrement, le mur et l'intercalaire ont été tous considérés élastiques et présentant les mêmes caractéristiques mécaniques ; les deux couches de sel supérieure et inférieure ont un comportement viscoplastique obéissant à la loi de Lemaitre. Le Tableau 4 résume les propriétés retenues.

Tableau 4 : Propriétés mécaniques retenues pour les différentes formations

Formation	Masse volumique (kg/m ³)	Module de Young (MPa)	Coefficient de Poisson	α	β	K (MPa)
Recouvrement	2300	15000	0.25	comportement élastique		
Sel supérieur	2180	26000	0.3	0.5	3.63	0.889
Intercalaire	2300	15000	0.2	comportement élastique		
Sel inférieur	2180	26000	0.3	0.5	3.63	0.889
mur						

- Les caractéristiques du sel supérieur et du sel inférieur proviennent de l'étude SOFREGAZ de 1994
 - Les caractéristiques des terrains de couverture, du mur et de l'intercalaire ont été évaluées à partir de notre expérience

L'état de référence (état initial à $t = 0$) est tel que le champ des contraintes est isotrope et correspond à une pression géostatique qui augmente linéairement avec la profondeur.

Le bord de la cavité, dans son état final après création par lessivage progressif, est soumis à des forces connues à l'instant initial (forces dues à la pression géostatique) et à la fin de la phase de

lessivage (forces dues à la pression de saumure de masse volumique 1200 Kg/m^3 et sans pression en tête de puits). Durant la phase de lessivage, les forces agissant sur le bord final de la cavité vont évoluer progressivement entre les deux états connus. Les études menées ont montré qu'une progression linéaire dans le temps est une bonne approximation de la réalité d'un lessivage progressif. C'est donc cette approche qui a été adoptée en admettant un lessivage en 22 ans puis un maintien en pression de saumure durant une période de 100 ans pour décrire le comportement de la cavité à long terme.

Compte tenu du fluage du sel et de la longue durée simulée, les calculs ont été réalisés en grandes déformations en réactualisant la géométrie du maillage chaque fois que la distance entre le sommet et la base de la cavité subit une variation relative de 0.1 %.

4.2 Interprétation des résultats

Les résultats de la modélisation numérique sont analysés en termes de déplacements, contraintes et déformations non élastiques. L'intérêt que présente l'étude temporelle de la convergence et de la subsidence est relativement évident. En revanche, l'intérêt porté à des grandeurs physiques un peu plus abstraites mérite d'être brièvement rappelé.

- *Contrainte mineure* : Le sel et les autres terrains supportent mal d'être sollicités en traction. Par ailleurs, une zone dans laquelle la contrainte mineure est une contrainte de compression mais proche de zéro présente également des risques à long terme car les contraintes dans le massif se relâchent avec le temps (phénomène de relaxation), des zones en traction localisées peuvent alors apparaître à terme.

La deuxième raison pour laquelle la contrainte mineure doit être examinée réside dans le fait que le sel est un matériau ductile. Pourvu que la contrainte mineure de compression dépasse un certain seuil (généralement entre 1 et 3 MPa), il est apte à encaisser de grandes déformations sans rupture par compression ou cisaillement. Il faut donc rechercher les zones où la contrainte mineure est inférieure à ce seuil pour y examiner ce risque.

- *Déviateur de contraintes* : Les zones dans lesquelles le déviateur dépasse un seuil critique sont susceptibles d'un endommagement diffus mais néanmoins préjudiciable à la stabilité et à la perméabilité du massif (notion de dilatance expliquée ci-dessus). Ce seuil critique dépend du sel. Les essais en laboratoire effectués sur le sel de Hauterives par STORENGY ont donné un déviateur moyen de l'ordre de 25 MPa.

Compte tenu du phénomène de relaxation, le déviateur de contraintes baisse dans le temps et le critère de dépassement du seuil doit être contrôlé juste à la fin de la création de la cavité.

- *Déformations viscoplastiques* : Certains spécialistes considèrent que les seuils des critères précédemment évoqués dépendent de la manière dont on réalise les essais en laboratoire sur le sel, et donc ne suffisent pas à écarter totalement le risque d'un endommagement du massif salin. Ils suggèrent donc d'étudier les déformations viscoplastiques irréversibles du massif et d'identifier les zones à risque dans lesquelles la norme dépasse un certain seuil. Ce seuil varie généralement entre un dixième de pourcent et plusieurs pourcents selon la fluabilité du sel et la durée envisagée.

Compte tenu du fort indice de fluage du sel de Hauterives (12.5%) et compte tenu de la durée simulée (122 ans, 22 années de lessivage suivies de 100 ans), nous retenons le seuil de 4 % à ne pas dépasser pour limiter la dégradation des piliers entre cavités ou pour éviter d'atteindre des niveaux géologiques particuliers.

Les résultats des simulations sont illustrés par les figures ci-dessous qui donnent respectivement :

- la déformée de la cavité pour les deux dates correspondant à la fin du lessivage et à la fin de la période envisagée ;
- la variation volumique de la cavité en fonction du temps ;
- la subsidence de la surface pour les deux dates considérées ;
- la répartition de la contrainte principale mineure pour ces deux dates ;

- la répartition du déviateur de contraintes pour les deux dates qui illustre parfaitement le phénomène de relaxation ;
- la norme du tenseur des déformations viscoplastiques pour les deux dates.

La déformée de la cavité est marquée par l'extrusion des couches de sel supérieure et inférieure par rapport à l'intercalaire argileux (Figure 12). Ce comportement est dû à la différence de rhéologie entre le sel qui flue considérablement et les argiles qui ne se déforment qu'élastiquement.

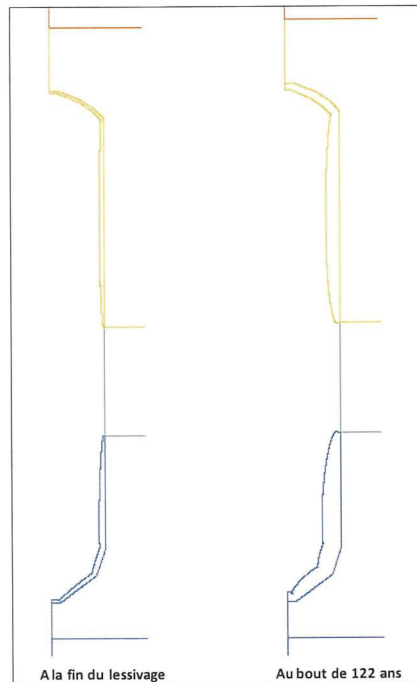


Figure 12 : Déformée de la cavité à la fin du lessivage et au bout de 122 ans (amplification 5 fois)

La perte de volume de la cavité est de 6.7 % à la fin du lessivage et atteint 19.8 % au bout de 122 ans (Figure 13). La subsidence de la surface au droit de la cavité est de 50 mm à la fin du lessivage (Figure 14), ce qui donne une vitesse moyenne de 2.3 mm/an. Cette valeur est de même ordre de grandeur que les meures enregistrées au niveau des cavités HA12 et HA14 (Tableau 3). Cette subsidence monte à 172 mm à la fin de la période simulée, soit une vitesse moyenne de 1.21 mm/an.

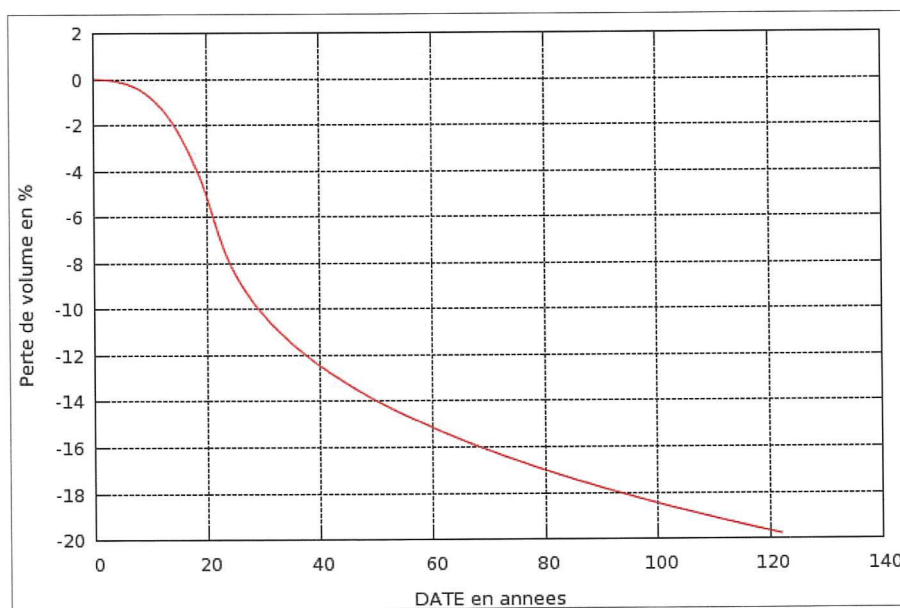
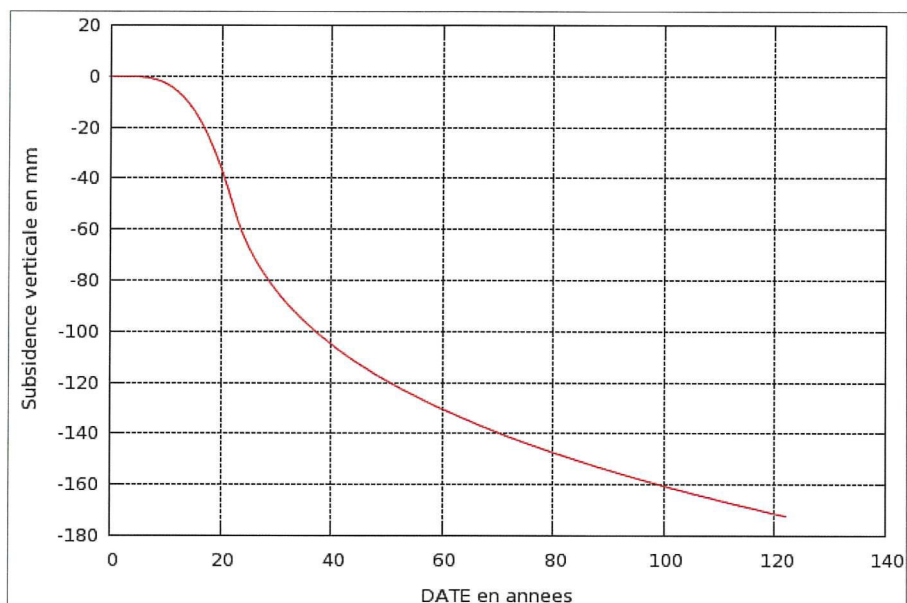
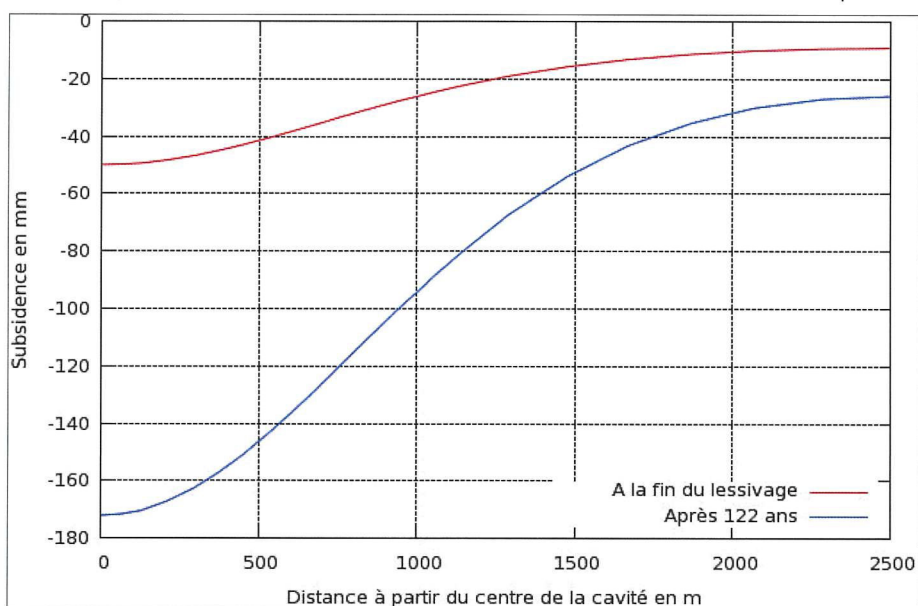


Figure 13 : Perte de volume de la cavité en fonction du temps



a) Subsidence de la surface au droit de la cavité en fonction du temps



b) Cuvette de subsidence à la fin de lessivage et au bout de 122 ans

Figure 14 : Subsidence de la surface liée à l'exploitation de la cavité HA15

Le régime de contraintes dans les parois de la cavité est donc fortement perturbé par le phénomène d'extrusion évoqué ci-dessus. Le fluage du sel conduit au développement de contraintes de traction dans l'intercalaire argileux ainsi que de forts déviateurs. Cette configuration a été retenue car elle constitue le cas le plus critique. En réalité, l'intercalaire comprend, d'une part, des passées de sel qui fluent, et d'autre part, des joints de stratification qui, tous les deux, permettent de libérer ces concentrations de contraintes.

La stabilité de la cavité est donc assurée car, à l'exception des interfaces entre le sel et l'intercalaire argileux, aucune traction n'apparaît dans le massif et le régime de contraintes reste toujours un régime de compression triaxiale ; la contrainte mineure la plus faible est supérieure à 10 MPa en valeur absolue (Figure 15). Le déviateur de contraintes, en particulier à la fin de la phase de lessivage, reste largement inférieur au seuil du déviateur dilatant de 25 MPa mesuré en laboratoire (Figure 16).

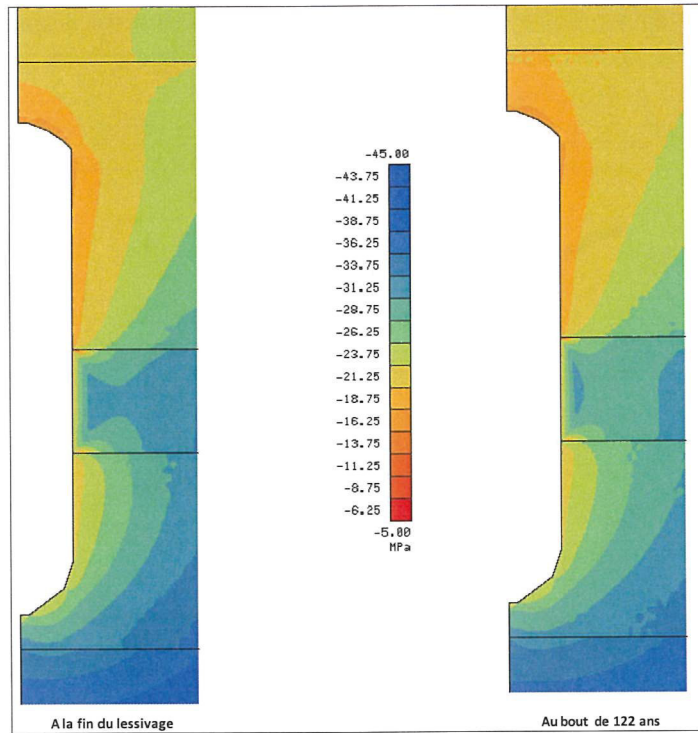


Figure 15 : Contrainte principale mineure à la fin du lessivage et au bout de 122 ans (le signe négatif indique une compression)

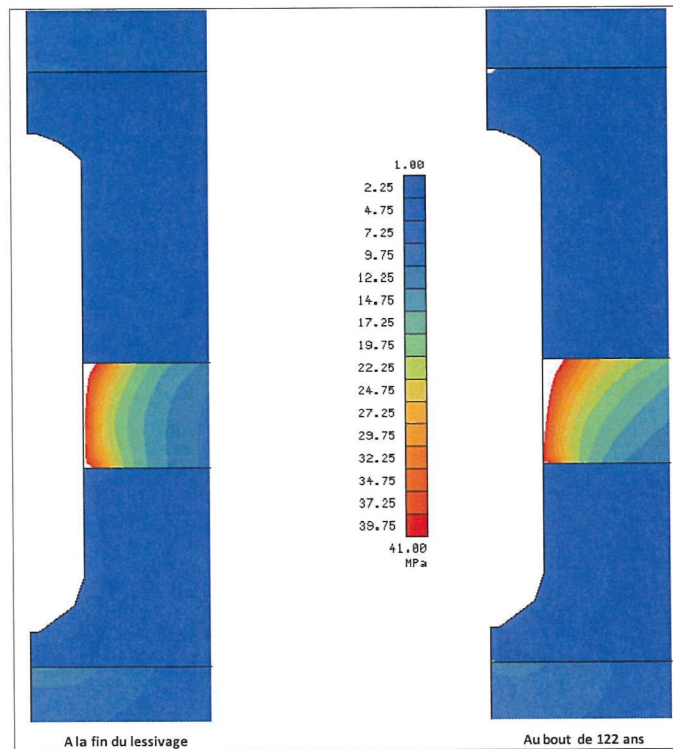


Figure 16 : Déviateur de contraintes à la fin du lessivage et au bout de 122 ans

La répartition de la norme du tenseur des déformations viscoplastiques correspondant au seuil de 4 % à la fin de la période considérée de 122 ans a une extension relativement réduite verticalement et horizontalement (Figure 17). Ainsi, la garde de sel au toit de la cavité conserve une épaisseur "saine" importante et la zone d'influence latérale de la cavité s'étend sur une distance de l'ordre de 85 m, soit une zone d'influence égale à 0.7 fois le diamètre de la cavité. Dans ces conditions, l'épaisseur du pilier à conserver entre deux cavités adjacentes de même diamètre pour éviter toute

interaction possible serait au moins de l'ordre de 170 m. Ce critère est largement respecté pour la cavité HA15 et ses deux cavités voisines H13 et HA14 où les piliers prévus sont respectivement de 335 m et de 305 m.

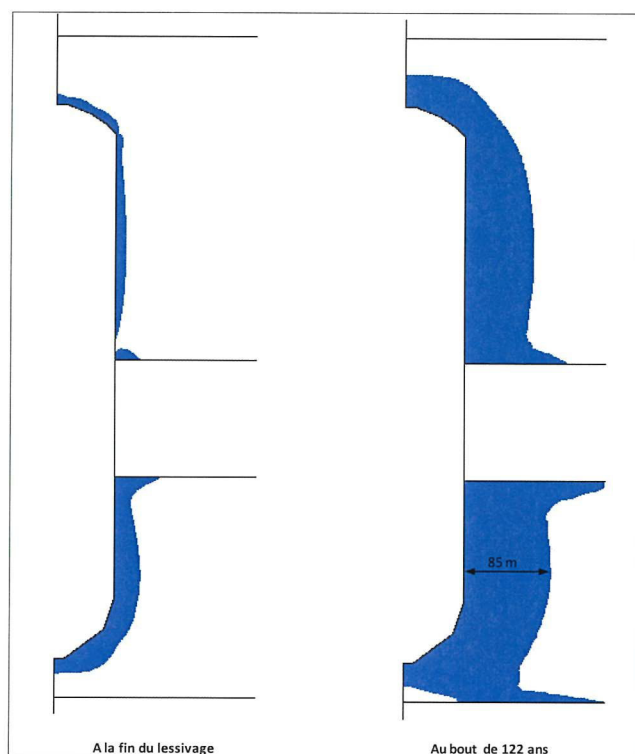


Figure 17 : Norme du tenseur des déformations viscoplastiques à la fin du lessivage et au bout de 142 ans (seuil de 4 %)

5. ANALYSE DE LA STABILITE A LONG TERME DE LA SALINE

L'évaluation de la stabilité de l'exploitation est conduite en examinant successivement les trois points suivants :

- la stabilité actuelle de la saline,
- le comportement à long terme et la fermeture des cavités,
- l'effet de la sismicité sur la stabilité.

5.1 Evaluation de la stabilité actuelle

Pour pouvoir se prononcer sur la stabilité actuelle de la saline, nous nous sommes basés sur les éléments présentés dans la première partie de ce rapport et qui concernent :

- la géométrie des cavités et leurs écartements,
- la méthode de dimensionnement des cavités,
- les mesures de subsidence de la surface au fur et à mesure du développement de l'exploitation
- la modélisation numérique de la stabilité de la cavité HA15.

La première remarque à mettre en évidence est que les distances séparant les groupes d'exploitation sont suffisamment importantes et permettent de réduire les interactions possibles entre les cavités de ces groupes. Les mesures de subsidence indiquent en effet que les cuvettes associées aux différents groupes se rejoignent avec une très faible amplitude (de l'ordre de 20 mm).

Les profils des cavités montrent qu'après un début d'exploitation où le lessivage était relativement mal contrôlé (irrégularité des géométries des premières cavités et dépassement du diamètre autorisé amenant ainsi à des piliers d'épaisseurs variables), les dernières cavités (HA11, HA12, HA13 et HA14) ont des géométries beaucoup plus régulières. Dans une optique d'évaluation de stabilité, il est

raisonnable de retenir les valeurs moyennes déterminées pour les diamètres et les hauteurs des cavités ainsi que pour les épaisseurs de leurs piliers.

Le mur des cavités les plus profondes se situe sous le second niveau repère d'anhydrite, les gardes de sel abandonnées seraient alors au moins d'une trentaine de mètres. Cette épaisseur est jugée suffisante pour se protéger des argiles inférieures. En ce qui concerne les gardes de sel conservées au toit, elles ont toutes des épaisseurs importantes au stade actuel de l'exploitation, la valeur la plus faible étant celle de la cavité HA02 et vaut 63 m. Cette épaisseur est aussi jugée suffisante pour garantir la stabilité de cette cavité et l'on pourrait dans l'avenir se fixer 70 m comme épaisseur minimale pour la garde de sel au toit (dimensionnement confirmé pour la cavité HA15 qui présente de grandes dimensions).

Les diamètres moyens des cavités y compris les deux dernières HA13 et HA14 sont plus faibles que les valeurs préconisées par le dimensionnement (une moyenne de 72 m par rapport au diamètre de 120, voire 140 m recommandé par l'étude SOFREGAZ de 1994). Quant à l'entraxe des cavités, la Figure 18 donne les épaisseurs moyennes des piliers entre deux cavités adjacentes et les valeurs préconisées par ARMINES et SOFREGAZ. Rappelons que l'étude de SOFREGAZ de 1994 proposait un entraxe pour les cavités d'un même doublet de 250 m (cavités d'injection et de déjection) et de 540 m pour les cavités d'injection appartenant à des doublets différents. Pour ARMINES, nous avons retenu uniquement la règle de $1.8*(D_1+D_2)$. Dans ce graphique, nous avons admis que les cavités HA1, HA3, HA5, HA7 et HA10 sont des cavités d'éjection.

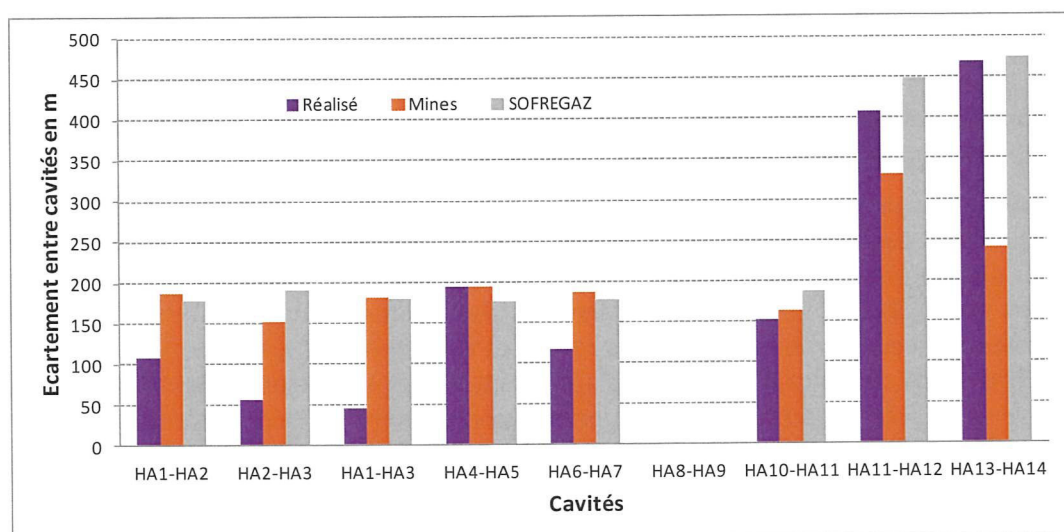


Figure 18 : Epaisseurs des piliers séparant les cavités adjacentes

Ce graphique montre que pour les premiers groupes de travail (1, 2 et 3), les écartements réalisés entre cavités étaient généralement plus faibles que les deux recommandations qui ont été formulées après la création de ces cavités. En revanche, les derniers groupes (5 et 7) respectent largement la règle proposée par ARMINES et quasiment celle de SOFREGAZ.

Bien que les écartements entre cavités au niveau des premiers groupes d'exploitation soient plus faibles que les recommandations préconisées, nous considérons que les conditions de stabilité à l'échelle des cavités et à l'échelle de toute la saline sont assurées. Cette conclusion est surtout appuyée par les résultats des mesures de subsidence qui montrent que les mouvements de surface sont très limités (vitesses de l'ordre du mm/an, cuvette maximale d'amplitude 74 mm au niveau de la plus grosse cavité HA12, interaction réduite entre les groupes d'exploitation).

La saline étant bordée vers le sud par les stockages de gaz naturel de STORENGY de Tersanne et de Hauterives, les mesures de subsidence sur l'ensemble de la zone couvrant ces trois sites indiquent une interférence très limitée. La ligne commune de subsidence est seulement de 5 mm et reste donc très faible.

La modélisation numérique effectuée au niveau de la cavité HA15 a permis de montrer que le dimensionnement envisagé est très sécuritaire et permet de garantir la stabilité de la cavité et de la surface. Ce dimensionnement est défini par un diamètre constant de 120 m, un toit de cavité et un mur en forme de dôme, une hauteur de 565 m couvrant les trois couches de sel, une garde de sel au mur de 40 m et une garde au toit de 70 m et enfin des écartements respectifs par rapport aux cavités voisines HA13 et HA14 de 430 et 400 m. Il est important de signaler ici que ces écartements sont largement supérieures aux recommandations d'ARMINES de 2007 qui proposaient la règle suivante : $1.8*[D_1+D_2]$.

Les mouvements de surface obtenus par la modélisation numérique de la cavité HA15 sont de même ordre de grandeur que les valeurs mesurées au niveau des cavités HA12 et HA14 qui lui sont équivalentes de point de vue dimensions (vitesse de 2.3 mm/an pendant la phase de lessivage). Ce résultat confirme la pertinence à la fois des mesures de subsidence reconstituées et du modèle numérique développé.

5.2 Comportement à long terme et fermeture des cavités

L'analyse décrite ci-dessus s'est intéressée à la stabilité des cavités dans leur état actuel en se basant sur les résultats des mesures de subsidence à la date de 2013. Par ailleurs, la modélisation numérique de la cavité HA15 avait pour objectif l'étude de la stabilité de cette cavité jusqu'à la fin de son exploitation ainsi que l'étude de son comportement à long terme (100 ans après la fin du lessivage). Cette dernière phase a été abordée en admettant que la cavité reste à puits ouvert et donc à pression de saumure constante. En conséquence, la modélisation effectuée n'a pas intégré les phénomènes thermiques (dilatations, effet de la variation de la température sur le fluage du sel), la diffusion de la saumure dans le sel (micro-perméabilité) et les aspects physico-chimiques de dissolution et de recristallisation. Moyennant ces hypothèses et avec un système de contrôle régulier (échométrie sonar et mesure de subsidence), nous avons conclu à la stabilité de l'exploitation.

Les derniers travaux de recherche et les expérimentations effectués en France et à l'étranger montrent qu'il est possible d'envisager la fermeture des cavités par remplissage intégral ou partiel du puits avec un bouchon à base de ciment. Pour plus de détails sur ce sujet, nous renvoyons le lecteur au rapport de l'INERIS de 2012 intitulé "L'abandon des cavités de stockage lessivées dans le sel : stratégies envisagées pour la fermeture des cavités et la maîtrise des aléas à long terme", Réf. DRS-11-118134-02433A. Le concept développé s'appuie sur la prévision selon laquelle la cavité, une fois fermée, verra sa pression augmenter vers une pression d'équilibre située entre la pression exercée par le poids de la colonne de saumure et la pression exercée par le poids des terrains.

Les phénomènes qui gouvernent le comportement d'une cavité de sel abandonnée en saumure sont les suivants :

1. Le réchauffement de la saumure : une fois le lessivage arrêté, la saumure dans la cavité va se réchauffer au contact du massif de sel plus chaud et va donc subir une dilatation thermique. Cette dilatation va se traduire, selon que la cavité est ouverte ou fermée, par un débit de saumure sortant du puits (dans le premier cas) ou par une augmentation de la pression dans la cavité (dans le deuxième cas).
2. La convergence de la cavité par fluage du sel : la moindre différence de pression entre la cavité et le massif environnant va entraîner une déformation de la cavité par fluage du sel, qui va prendre la forme d'une convergence (la pression interne étant en principe inférieure à la pression des terrains).
3. La perméation de la saumure à travers le massif de sel : bien que très faible (typiquement entre 10^{-17} et 10^{-21} m²), la perméabilité du massif sel n'est pas nulle, ce qui permet une migration très lente de la saumure vers l'extérieur de la cavité. Cette perméation tend à contrarier l'augmentation de pression liée au fluage du sel et au réchauffement de la saumure.
4. La fuite de saumure par l'intermédiaire du puits : un bouchon de ciment, quelle que soit sa qualité, ne peut garantir une étanchéité parfaite. Par ailleurs, à très long terme, le

vieillessement du ciment peut mener à ce que des fuites de saumure apparaissent à l'interface entre le ciment et le terrain ou à travers le ciment lui-même. Ces fuites vont contribuer, comme la perméation à travers le sel, à réduire la pression en cavité.

Si la cavité est fermée, le réchauffement de la saumure au contact du massif de sel va entraîner une augmentation rapide de la pression induite par la dilatation thermique de la saumure réchauffée qui peut, dans certaines conditions, dépasser la pression de fracturation de la cavité ou la pression d'endommagement du cuvelage, de l'annulaire cimenté ou du bouchon du puits. Il est donc nécessaire, dans la plupart des cas, avant de boucher définitivement la cavité, d'observer un temps d'attente pendant lequel on laisse la saumure se réchauffer, en purgeant régulièrement la cavité sur dépassement d'un seuil de pression. Ce temps d'attente peut être long dans le cas de grandes cavités.

En pratique, il n'est pas nécessaire d'attendre que l'équilibre thermique soit atteint pour que la cavité puisse être fermée définitivement. Il convient simplement d'attendre que la saumure ait atteint une valeur de température suffisante (température appelée « critique » ou « de sécurité ») pour que la cavité puisse être fermée sans risque de dépassement de la pression de fracturation de la cavité ou d'endommagement du cuvelage.

Une fois la période transitoire de réchauffement de la saumure passée, la cavité est gouvernée essentiellement par deux phénomènes : le fluage du sel, qui engendre une convergence des parois de la cavité et qui tend par conséquent à faire augmenter la pression en cavité, et la perméation de la saumure à travers le massif de sel (ainsi que le long du puits), qui tend au contraire à relaxer la pression en cavité. La pression va donc se stabiliser, à terme, autour d'une valeur d'équilibre où le débit de saumure sortant de la cavité équivaut exactement à la perte de volume liée à la convergence de la cavité.

La Figure 19 donne un exemple de fermeture avec rupture car la pression à l'intérieure de la cavité a dépassé la pression d'équilibre.

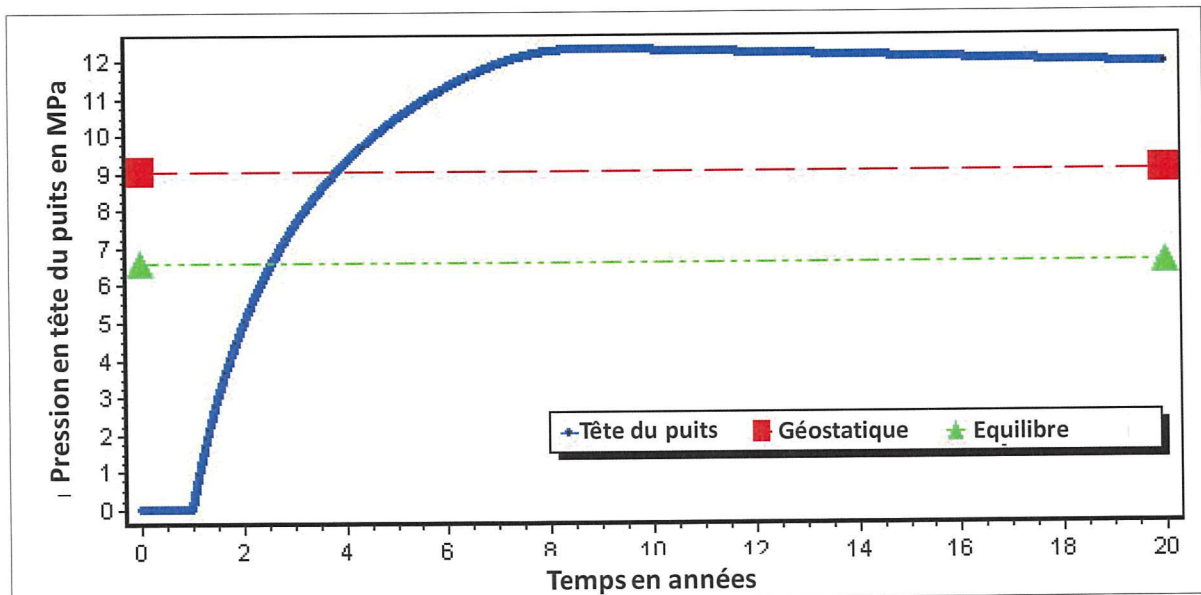


Figure 19 : Exemple d'une fermeture conduisant à une rupture de la cavité

A la saline de Hauterives, les groupes de cavités en arrêt d'exploitation font l'objet de surveillance dans une optique de fermeture. Les pressions en tête de puits des cavités HA1/HA2/HA3 du groupe 1 sont contrôlées depuis 2007. Le groupe 2 (cavités HA4/HA5), en arrêt depuis 2007, fait l'objet également d'une étude de caractérisation pour définir la durée de surveillance avant d'arriver à une stabilité pression/température. Les pressions de décompression sont enregistrées et leur évolution est suivie.

5.3 Effet de la sismicité sur la stabilité des cavités

Un séisme provient de mouvements tectoniques le long de fractures ou de plans de failles suite à l'accumulation d'une grande énergie qui se libère en créant ou en faisant rejouer des failles lorsque le seuil de rupture mécanique est atteint. Il se traduit en surface par des vibrations du sol plus ou moins violentes et destructrices. Les dégâts observés en surface sont fonction de l'amplitude, de la fréquence et de la durée de ces vibrations.

Reposant sur une analyse probabiliste de l'aléa, le zonage sismique français divise la France en cinq zones de sismicité (Figure 20).

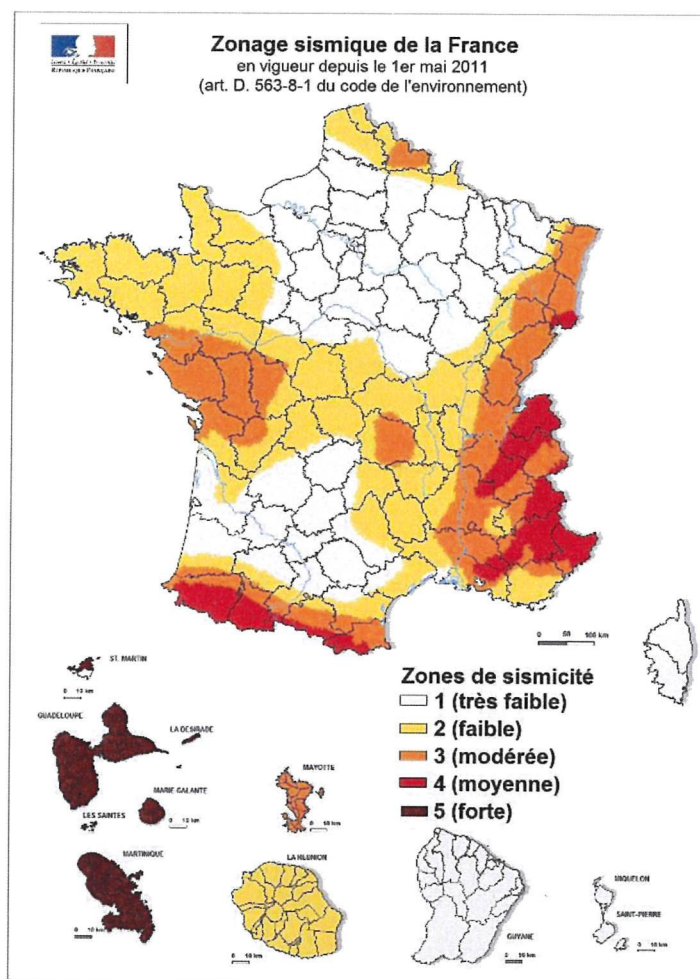


Figure 20 : Zonage sismique de la France

Le site de Hauterives est localisé en zone 3 qui correspond à une sismicité modérée. D'après la base de données SisFrance, plusieurs séismes ont été enregistrés au niveau de la commune de Hauterives. Les caractéristiques des séismes mesurés depuis 1878 sont détaillées dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Historique des séismes ressentis sur la commune de Hauterives

Date	Localisation Epicentre	Intensité épiscopentrale	Intensité dans la commune
13 juillet 1996	Avant-Pays savoyard (Epagny-Annecy)	7	3
1 janvier 1937	Bas-Plateaux Dauphinois (St-Sorlin-en-V.)	5	
24 juin 1878	Bas-Plateaux Dauphinois (Moras-en-Valloire)	6	5.5

Contrairement aux structures de surface, les structures souterraines sont moins vulnérables aux dommages des séismes en raison du caractère confiné du milieu. Plusieurs exemples ont été rapportés en Chine, au Chili et dans d'autres pays miniers marqués par une forte sismicité où la surface subit des dégâts très graves avec des villes et des villages totalement rasés pendant qu'en même temps les exploitations souterraines situées à des profondeurs de 200 à 300 m n'enregistrent aucun signe d'instabilité.

Les dommages causés par un séisme sont surtout liés aux ondes à basse fréquence (de l'ordre du Hz) et à forte vitesse particulaire (de l'ordre de 1 m/s). La présence de vides souterrains présentant des parois verticales de grande hauteur génère, à la rencontre de ces ondes, des mouvements horizontaux qui peuvent être d'ordre centimétrique selon l'intensité du séisme et la hauteur découverte. A très faible profondeur, les vides souterrains renforcent les ondes à basse fréquence (donc augmentent les déplacements) et amplifient par conséquent les dommages en surface.

Dans le cas de la saline de Hauterives, toutes les cavités se trouvent à une profondeur au delà de 1100 m. Par ailleurs, en dépit d'une hauteur importante, toutes les cavités restent toujours pleines de saumure. Ces deux facteurs (profondeur importante et absence de vide) constituent des paramètres favorables à la stabilité des ouvrages souterrains et à l'atténuation des phénomènes en surface. Ce constat est confirmé par le dernier séisme de 1996 qui a été ressenti à l'échelle de la commune avec une intensité de 3. Aucun incident n'a été relevé au niveau de la saline pendant et après l'occurrence de cet évènement.

6. CONCLUSIONS GENERALES

Les principales conclusions à retenir au terme de ce rapport consacré à l'étude de la stabilité des cavités et de la surface au niveau de la saline de Hauterives peuvent être résumées comme suit :

- L'évaluation de la stabilité s'est appuyée sur deux éléments importants : la géométrie des cavités actuelles et les mesures de subsidence. Pour le premier élément, les données nécessaires concernaient les dimensions des cavités, leurs profondeurs et les épaisseurs des piliers les séparant. Ces données ont pu être acquises à partir des échométries sonars ainsi que des profils numérisés des cavités même s'il a fallu faire cette opération pour les premiers groupes d'exploitation qui ne l'étaient pas. Quant aux mesures de subsidence, les premières analyses effectuées ont mis en évidence des comportements douteux de la surface qui mettaient en cause la crédibilité des mesures. Un travail conséquent a été alors mené pour reconstruire une nouvelle base de données crédible depuis le démarrage de l'exploitation. Ce travail a consisté à utiliser les premières mesures réalisées entre 1975 et 1990 et jugées cohérentes ainsi que les mesures effectuées par STORENGY au niveau du site voisin de Tersanne et du secteur sud de la saline où deux nouveaux puits de stockage de gaz ont été implantés à Hauterives.
- Les profils des cavités montrent que contrairement aux premiers groupes d'exploitation où le lessivage était relativement mal contrôlé et conduisait à des géométries irrégulières avec des dépassements de diamètres et des piliers localement de faibles épaisseurs, les cavités des derniers groupes ont des géométries beaucoup plus régulières.
- Les irrégularités et les dépassements de diamètres restent très localisés, il est donc raisonnable, dans une optique d'évaluation de stabilité, d'admettre des valeurs moyennes pour le diamètre, la hauteur et les piliers des cavités.
- Le fond des cavités les plus profondes étant situé sous le second niveau repère d'anhydrite, les gardes de sel abandonnées au mur seraient d'une trentaine de mètres. Cette épaisseur est jugée suffisante pour se protéger des argiles inférieures. En ce qui concerne les gardes de sel conservées au toit, elles ont toutes des épaisseurs suffisamment importantes au stade actuel de l'exploitation qui permettrait aussi de garantir cette stabilité.
- Les diamètres moyens des cavités y compris les deux dernières HA13 et HA14 sont plus faibles que les valeurs préconisées par le dimensionnement (une moyenne de 72 m par rapport au diamètre de 120, voire 140 m recommandé par l'étude SOFREGAZ de 1994).
- Les distances séparant les différents groupes d'exploitation sont suffisamment importantes et permettent de limiter les interactions possibles entre les cavités de ces groupes. Ce résultat est confirmé par les mesures de subsidence qui indiquent que les cuvettes associées aux différents groupes se rejoignent avec une très faible amplitude (de l'ordre de 20 mm).
- Les distances entraxes des cavités des premiers groupes d'exploitation qui constituent des véritables doublets sont généralement plus faibles que les recommandations d'ARMINES et de SOFREGAZ formulées après la création de ces cavités. En revanche, celles des deux derniers groupes qui correspondent à des cavités d'injection respectent largement la première recommandation et quasiment la seconde. En dépit de cette différence, nous considérons que les conditions de stabilité à l'échelle des cavités et à l'échelle de toute la saline sont assurées. Cette conclusion est surtout appuyée par les résultats des mesures de subsidence qui montrent que les mouvements de surface sont très limités (vitesses de l'ordre du mm/an, cuvette maximale d'amplitude 74 mm au niveau de la plus grosse cavité HA12, interaction réduite entre les groupes d'exploitation).
- Les travaux géophysiques effectués pour la reconnaissance géologique dans le secteur où sera implantée la future cavité HA15 ont confirmé la continuité des formations et l'homogénéité de leurs conditions géomécaniques.
- La modélisation numérique de la cavité HA15 a permis de montrer que le dimensionnement envisagé est sécuritaire et permet de garantir la stabilité de la cavité et de la surface. Ce dimensionnement est défini par un diamètre constant de 120 m, un toit de cavité et un mur en

forme de dôme, une hauteur de 565 m couvrant les trois couches de sel, une garde de sel au mur de 40 m et une garde au toit de 70 m et enfin des écartements respectifs par rapport aux cavités voisines HA13 et HA14 de 430 et 400 m. Ces écartements sont largement supérieures aux recommandations d'ARMINES de 2007 qui proposaient la règle suivante : $1.8*[D_1+D_2]$.

- Les mouvements de surface donnés par la modélisation numérique de la cavité HA15 sont de même ordre de grandeur que les valeurs mesurées au niveau des cavités HA12 et HA14 qui lui sont équivalentes de point de vue dimensions. Ce résultat confirme la pertinence à la fois des mesures de subsidence reconstituées et du modèle numérique développé.
- La saline étant bordée vers le sud par les stockages de gaz naturel de STORENGY de Tersanne et de Hauterives, les mesures de subsidence sur l'ensemble de la zone couvrant ces trois sites indiquent une interférence très limitée. La ligne commune de subsidence est seulement de 5 mm et reste donc très faible.
- Le comportement à long terme de l'exploitation a été abordé dans cette étude à travers la modélisation de la cavité HA15 en admettant que pendant la période examinée de 100 ans après la fin du lessivage, le puits reste ouvert et la pression de saumure constante. Dans de telles conditions, la stabilité à long terme est assurée. Les règles de fermeture des cavités ont été rappelées dans ce rapport et la saline a commencé à les appliquer pour les deux premiers groupes dont l'exploitation a été arrêtée.
- Le zonage sismique en France situe la commune de Hauterives en zone 3 qui correspond à une sismicité modérée. Depuis 1878, la commune a été soumise à trois événements sismiques. Contrairement aux structures de surface, les cavités souterraines sont moins vulnérables aux dommages des séismes en raison du caractère confiné du milieu. Les cavités de la saline se trouvant à grande profondeur et pleines de saumure, ces deux facteurs constituent des paramètres favorables à la stabilité et à l'atténuation des phénomènes en surface. Ce constat est confirmé par le dernier séisme de 1996 d'intensité 3 qui n'a induit aucun incident au niveau de l'exploitation.

Compte tenu de tous ces éléments, nous concluons à la stabilité de l'exploitation. Pour les futures cavités, le dimensionnement adopté pour HA15 et décrit dans ce rapport constitue un modèle optimum qui permet de garantir à la fois le rendement et la sécurité de l'exploitation. Nous insistons sur l'importance du contrôle de l'exploitation pendant la phase de création des cavités (régularité du lessivage, forme en dôme notamment au niveau du toit, échométrie sonar, numérisation) ainsi que le suivi régulier et complet des mouvements de surface. Dans le cadre de cette étude, un rapprochement a été initié entre la saline et STORENGY pour effectuer des mesures communes sur les trois sites : stockage de Tersanne, stockage de Hauterives et saline de Hauterives. Nous encourageons cette opération car elle ne peut qu'être propice à des mesures consistantes.

A N N E X E S

Annexe 1 : Données des cavités

Annexe 2 : Mesures de nivellement

CHLORALP – Stabilité des cavités de dissolution dans la saline de Hauterives
Annexe1 : Données des cavités

GROUPE 1 : exploités entre 1965/2006 - arrêt d'exploitation depuis 2007 - surveillance des pressions en tête de puits

HA1

Toit du sel : 1 126 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014: 441 565 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1982	1580	1572	1615	954	62	

HA 2

Toit du sel : 1 122 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014: 941 339 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1991	1365	1427	1435	243	122,60	
1993						Accrochage sonde 1353
1994						Accrochage sonde 1353
1996	1312	1315	1342		23	
1997	1303	1306	1330	181	53	
2007	1185	1196	1234	63	35	

HA 3

Toit du sel : 1 122 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014: 231 468 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1982	1520	1539	1620	398	95	

CHLORALP – Stabilité des cavités de dissolution dans la saline de Hauterives
Annexe1 : Données des cavités

GROUPE 2 : exploité entre 1965/2005 - plus d'exploitation depuis 2005 - surveillance des pressions en tête de puits

HA 4

Toit du sel : 1 114 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014 : 991 537 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1996	1274	1296	1364	160	142	
1997	1272	1296	1365	158	142	
2001	1270	1296	1365	156	143	668 112 m ³

HA 5

Toit du sel : 1 106 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014 : 434 468 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1987	1466	?	1578	360	95	

Le groupe HA4/HA5 a fait l'objet d'une étude de caractérisation pour définir la durée de surveillance avant d'arriver à une stabilité de pression / température permettant de le remettre à l'administration. Les caractéristiques des décompressions sont enregistrées pour en suivre l'évolution.

CHLORALP – Stabilité des cavités de dissolution dans la saline de Hauterives
Annexe1 : Données des cavités

GROUPE 3 : exploité depuis 1970

HA 6

Toit du sel : 1 139 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014: 1 086 257 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1973	1560	1578	1650	421	83	
1989						Outil bloqué 1494 m
1990	1468 Gamma-Ray					Outil bloqué 1468 m
1993						Outil bloqué 1442 m
1994						Outil bloqué 1430 m
1995	1410	1431	1443	271	160	
1996			1430 (top fond)			Accrochage 1419 m
1998	1370 Gamma-Ray					Accrochage 1376 m
30/09/99						Tentative couper tubing (COPGO) Gamma-Ray bloqué 1353 m Charge explosive bloquée 1309.7 m (dans le sel)
09/12/99	1329	1332	1355	190	62	
2006						Débit de saumure trop important sortie HA6
2007						Débit sur HA6
09/2007	1320		1348	181	58.6	
2012	1317	1322	1335	178	76	
2013	1301	1311	1323	162	74.5	
2014	1218	1232	1243	79	30.6	

HA 7

Toit du sel : 1 157 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014 : 253 658 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1992	1612	1638	1660	455	82	
1995	1612	1628	1664	455	68	

CHLORALP – Stabilité des cavités de dissolution dans la saline de Hauterives
Annexe1 : Données des cavités

GROUPE 4 : exploité depuis 1987

Volume de sel dissous au 31.12.2014 dans HA8/HA9 = 902 176 m³

HA 8

Toit du sel : 1110 m

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1988	1584	1621	1638	474	50	
1992	1562	1571	1685	452	80	
1993	1544	1558	1644	434	94	
1994	1505	1533	1601	395	119	
1995						Accrochage sonde 1506 m
1996						Accrochage sonde 1494 m
2000						Accrochage sonde 1494 m

HA 9

Toit du sel : 1123 m

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1991	1525	1580	1622	402	75	
1992	1513	1568	1618	390	85	
1993	1480	1556	1584	357	101	
1994						Accrochage sonde 1521 m
1995						Accrochage sonde 1467 m
1996	1391	1440	1463	268	113	
2000						Accrochage sonde 1431 m
2007	1382	1421	1441	258	126	

Le groupe HA8/HA9 est formé de deux cavités superposées qui sont rejointes pour former une mono cavité. Le puits HA8 a été creusé avec une déviation et débouche sous la cavité développée par HA9.

CHLORALP – Stabilité des cavités de dissolution dans la saline de Hauterives
Annexe1 : Données des cavités

GROUPE 5 : exploité depuis 1987

HA10

Toit du sel : 1 159 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014 : 82 841 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1989	1762 (gamma-Ray)					Sabot pas trouvé
1994						Sonde bloquée à 1521 m
1995	1714	1724	1733	555	14	
06/2008	1702	1702	1728	542	19,6	
2013	1691	1702	1726	532	19	

HA11

Toit du sel : 1 149 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014 : 885 892 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1989	1749	1824	1776 (sous sonde)	600	82	
1990	1678	1692	1773	499	107	
1991	1629	1669	1771	480	99	
2008	1580			431		Sonde posée à 1617 m
2014	1576	1592	1697	427	83	
2015	1548	1578	1677	399	96,4	

CHLORALP – Stabilité des cavités de dissolution dans la saline de Hauterives
Annexe1 : Données des cavités

HA 12

Toit du sel : 1 148 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014 : 1 971 522 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1992	1648	1675	1719	500	46	
02/1993	1637	1675	1709	489	56	
11/1993						Blocage à 1617 m
04/1994	1621	1634	1710	473	71	
12/1994	1613	1634	1697	465	78	
1995	1605	1634	1684	486	80	
1996		1634				Sonde bloquée à 1634 m
1997						Sonde bloquée à 1571 m
1999	1480	1531	1560	332	120	
2000						Sonde bloquée à 1505 m
2001						Sonde bloquée à 1486 m
2002	1442	1484	1519	294	152	
2004						Sonde bloquée à 1424 m
2005	1402	1414	1507	254	156	
2006						Sonde bloquée à 1378 m
04/2007						Sonde bloquée à 1378 m
09/2007	1350			200		Sonde bloquée à 1397 m
2008	1340			192		Sonde bloquée à 1379m
2009	1340			192		Idem
2010	1340			192		Idem
2011	1340			192		Sonde posée 1368
2012	1331	1340	1495	183	153	
2013	1303	1314	1494	155	147	

Ce groupe était initialement formé de deux cavités (HA10/HA11) forées en 1986 : HA10 est une cavité d'éjection qui sert à évacuer la saumure, HA11 étant la cavité d'injection. Le puits HA12 a été foré en 1992 dans le cadre du projet de création du groupe 6. Suite à des problèmes de forage, HA12 a finalement été dévié et connecté sur HA11 pour compléter le Groupe 5 (le projet groupe 6 a été alors abandonné).

CHLORALP – Stabilité des cavités de dissolution dans la saline de Hauterives
Annexe1 : Données des cavités

GROUPE 7 : exploité depuis 1998

HA 13

Toit du sel : 1 332 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014 : 514 940 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1998	1873	1888	1918	541	64	57 274 m ³
1999	1792	1798	1892	460	92	255 661 m ³
2000	1759	1777	1884	427	92	291 384 m ³
2004	1755	1777	1872	423	89	230 838 m ³
2013	1725	1741	1828	393	74,1	49 516 m ³
2014	1716	1733	1816	384	73,7	64 242 m ³
2015	1712	1733	1818	380	76,8	157 400 m ³

HA 14

Toit du sel : 1 265 m

Volume de sel dissous au 31.12.2014 : 1 037 151 m³

	Toit cavité	Sabot	Pt le plus bas	STOT	ØMax	Commentaires
1998	1832	1837	1866	567	9	1 943 m ³
1999	1827	1837	1871	562	16	3 838 m ³
2000	1773	1785	1853	508	63	123 253 m ³
2001	1749	1785	1824	484	81	238 397 m ³
2002	1692	1714	1813	427	88	337 706 m ³
2004	1659	1692	1773	394	67	405 381 m ³
2007	1613	1652	1782	348	88	451 677 m ³
2008	1565	1612	1727	299	90,7	468 043 m ³
2009	1555	1575	1701	290	90,8	446 614 m ³
2010	1540			275		Sonde posée 1561 m
2011	1540			275		Sonde posée 1557 m
2012	1527	1536	1678	262	91,8	463 551 m ³
2013	1492	1511	1657	227	92,3	508 621 m ³
2014	1473	1495	1645	208	97	535 599 m ³
2015	1456	1495	1642	191	98	590 200 m ³

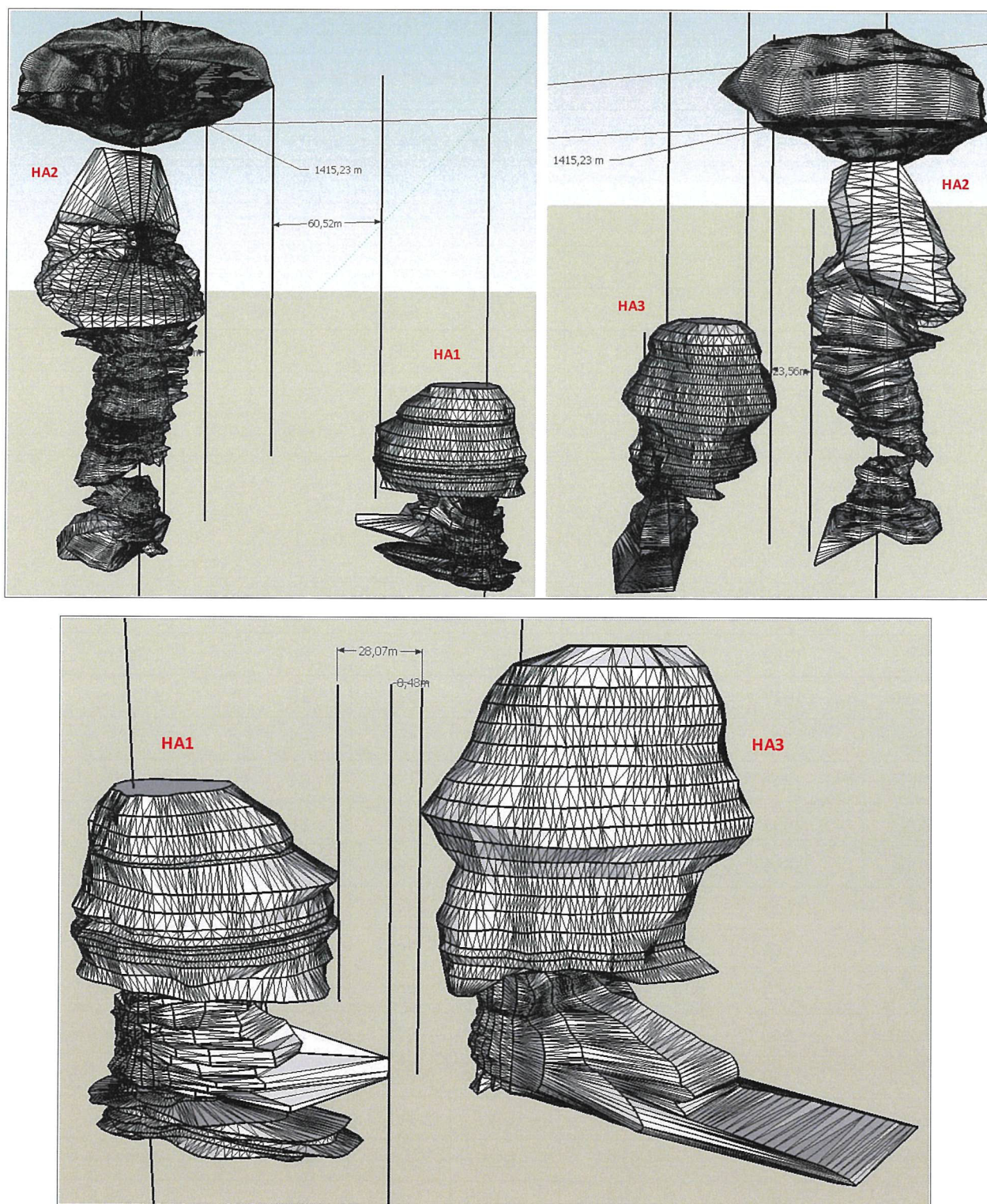


Figure A1.1 : Profils et écartements des cavités du groupe 1 - HA1/HA2/HA3

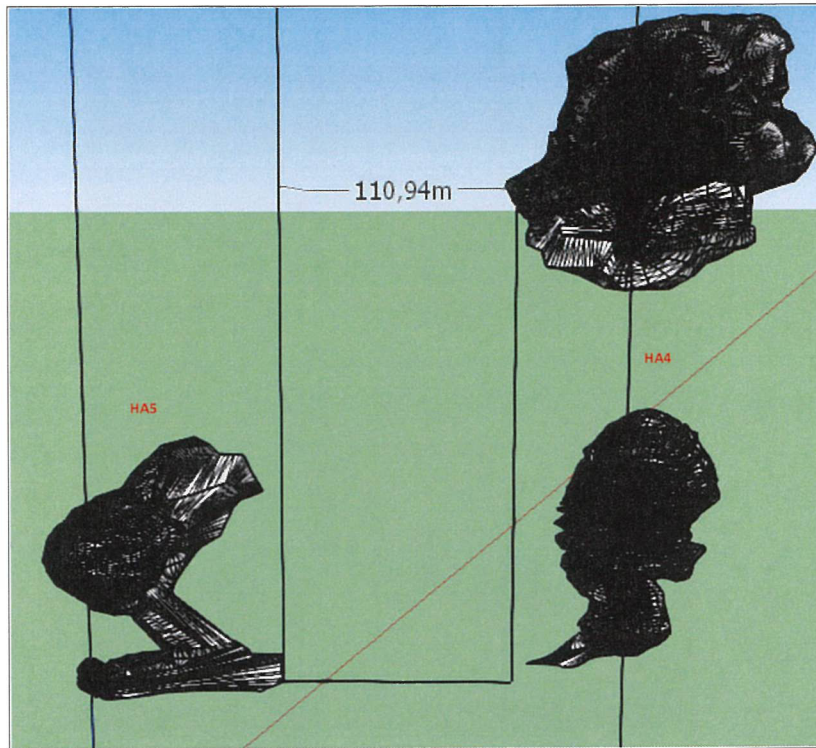


Figure A1.2 : Profils et écartement des cavités du groupe 2 – HA4/HA5

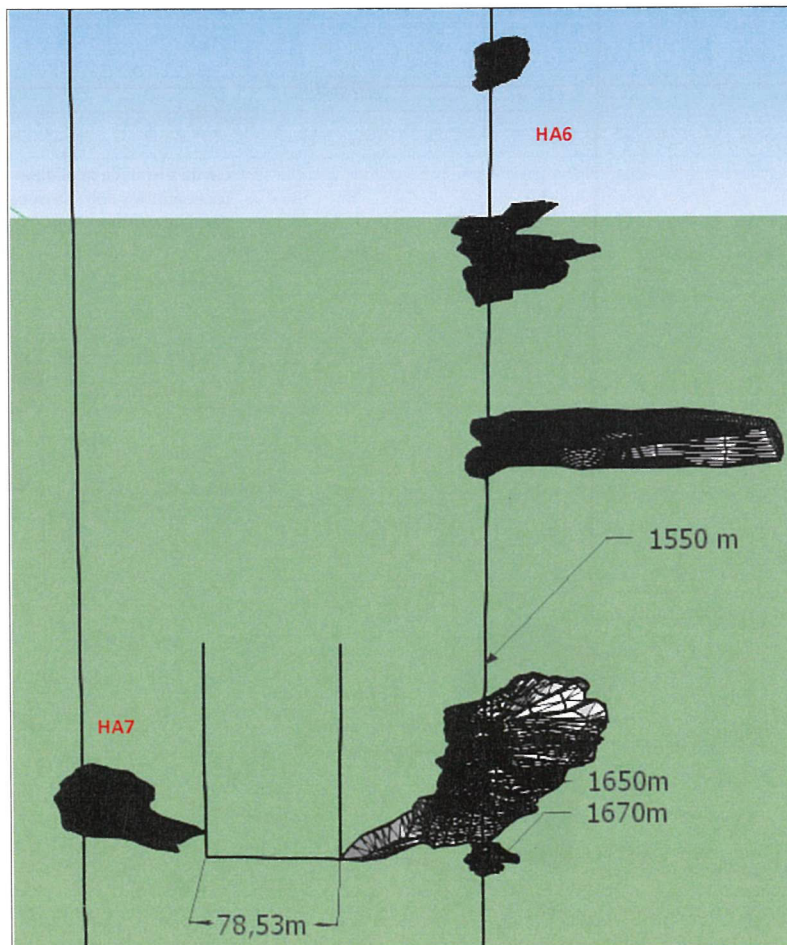


Figure A1.3 : Profils et écartement des cavités du groupe 3 – HA6/HA7

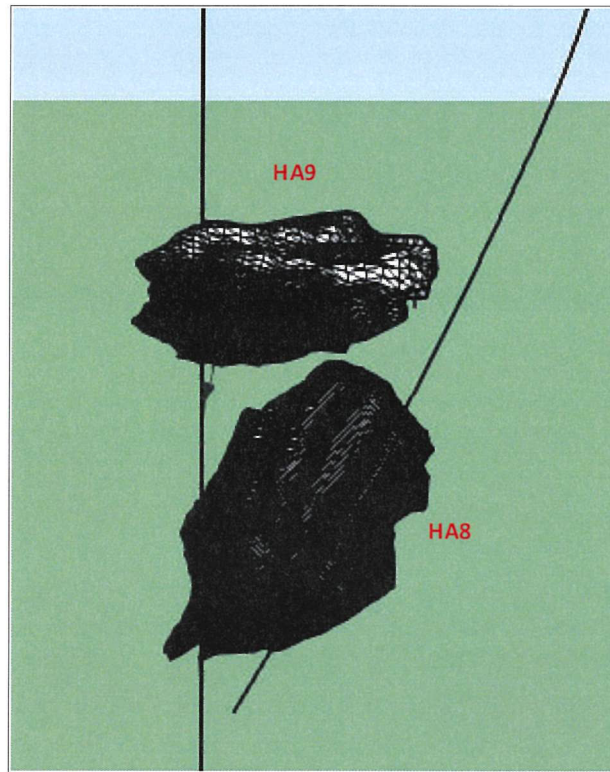


Figure A1.4 : Profils des cavités du groupe 4 – HA8/HA9

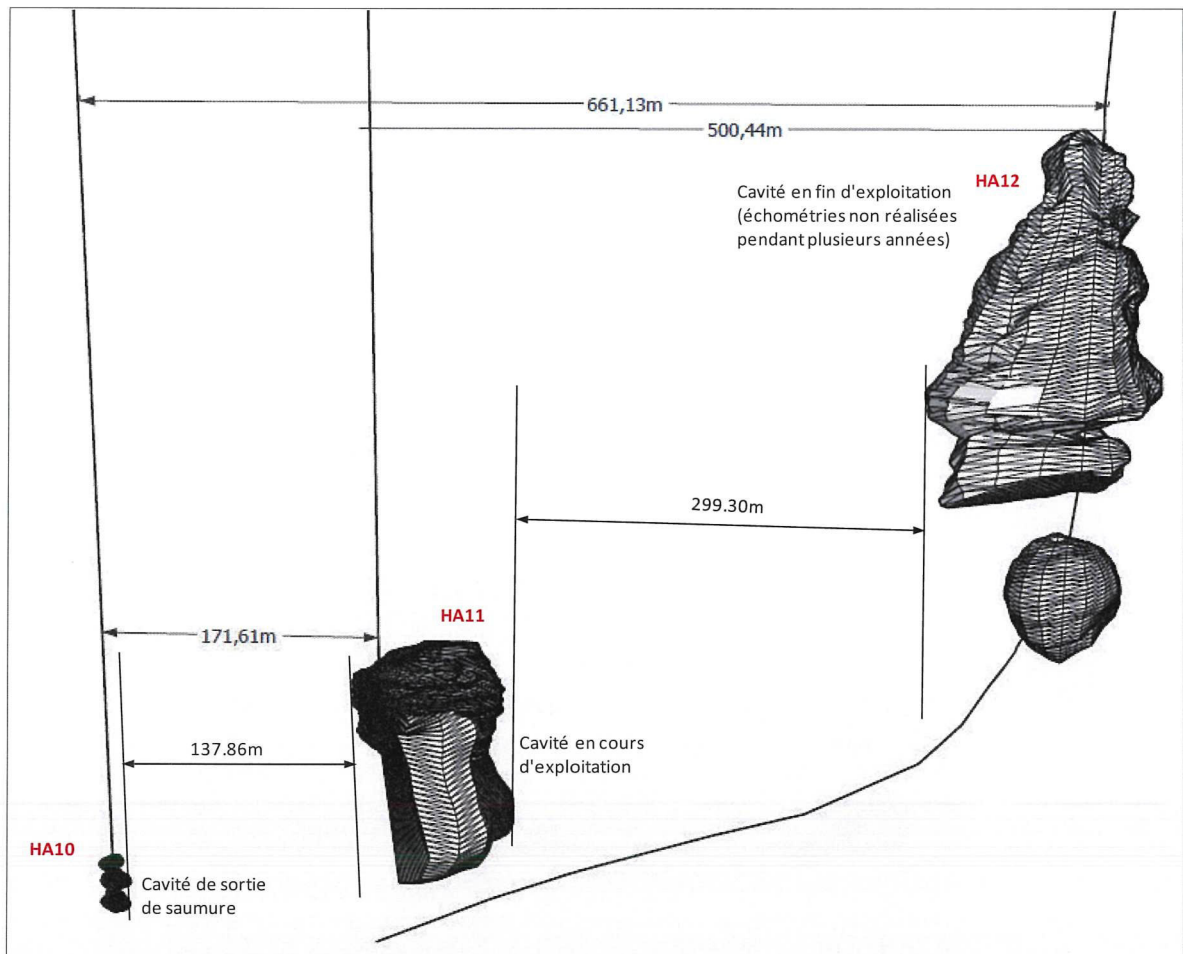


Figure A1.5 : Profils et écartement des cavités du groupe 5 - HA10/HA11/HA12

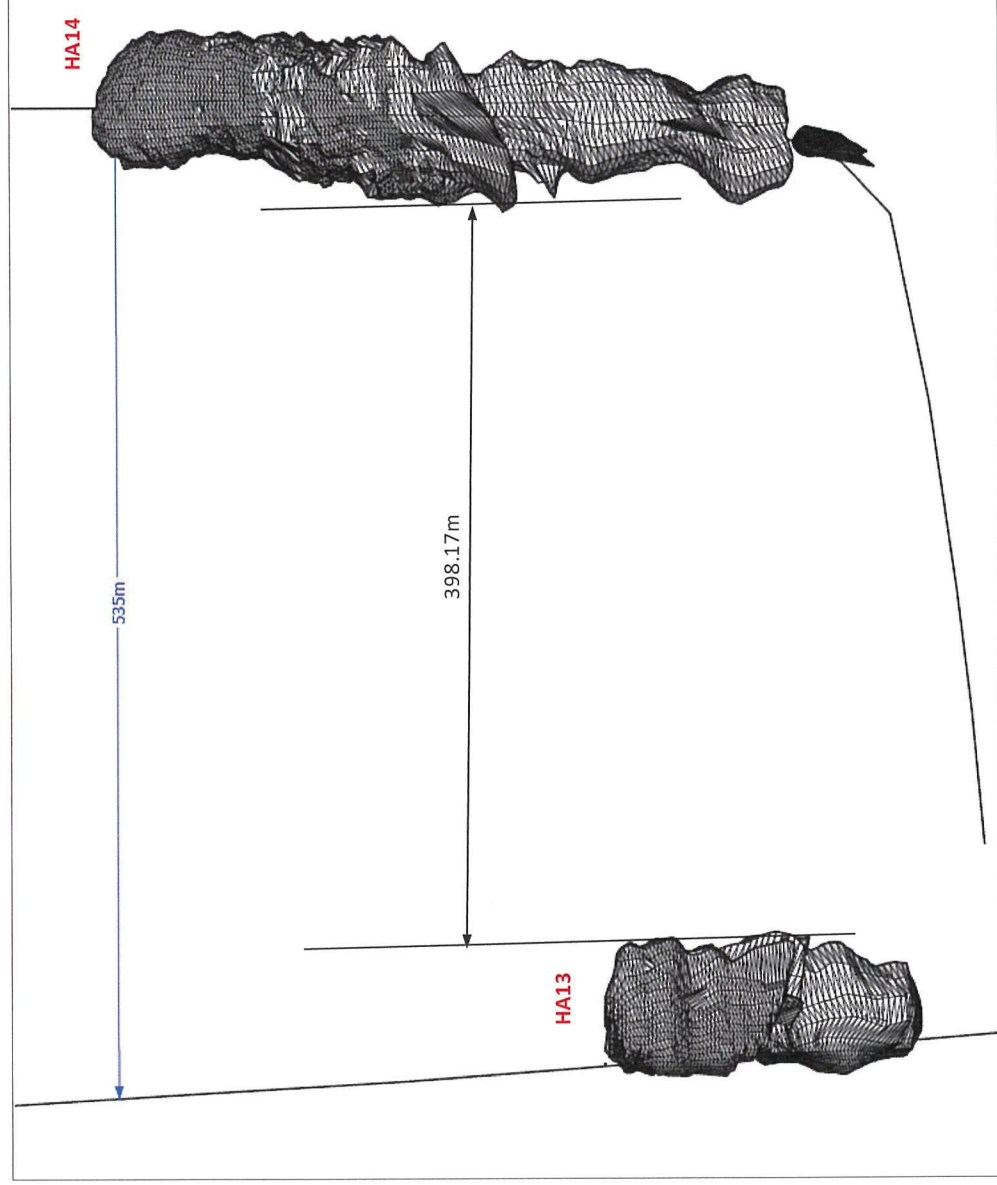


Figure A1.6 : Profils des cavités du groupe 7 - HA13/HA14

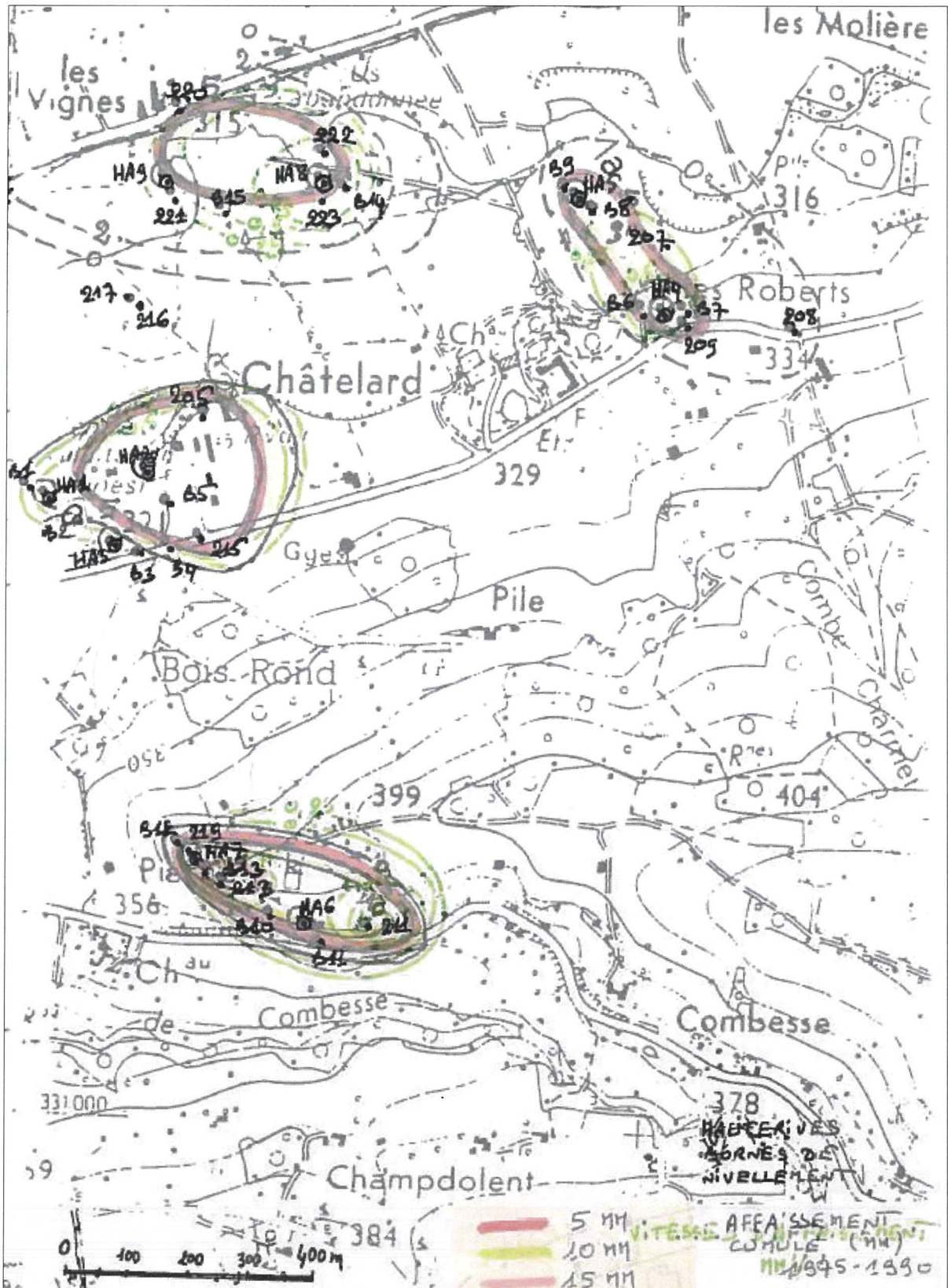


Figure A2.1 : Cuvettes de Subsidence établies en 1990 (Chevalier)

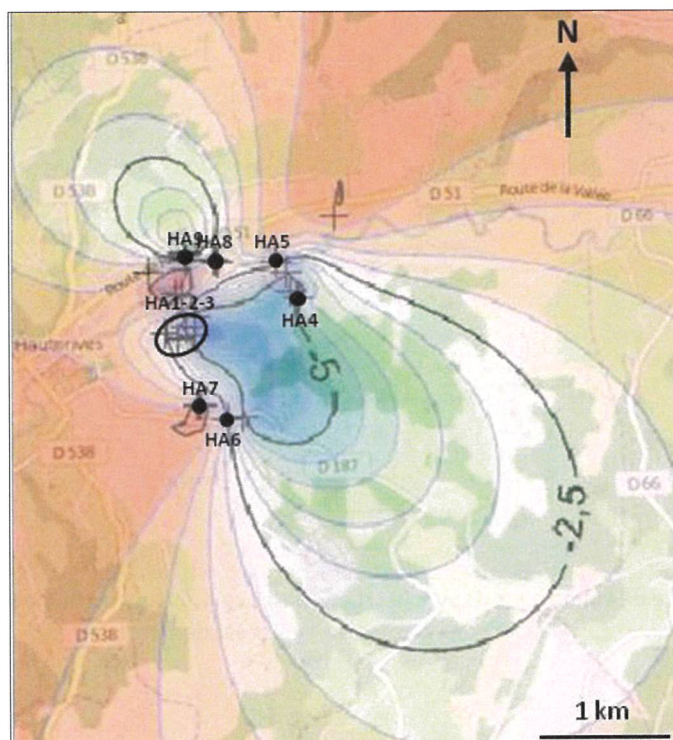


Figure A2.2 : Subsidence de la saline de Hauterives entre 1975 et 1990 (Audouard 2016).
Les teintes chaudes indiquent une subsidence quasi nulle, et les froides une subsidence effective ;
l'espacement entre les lignes est de 0.5 mm

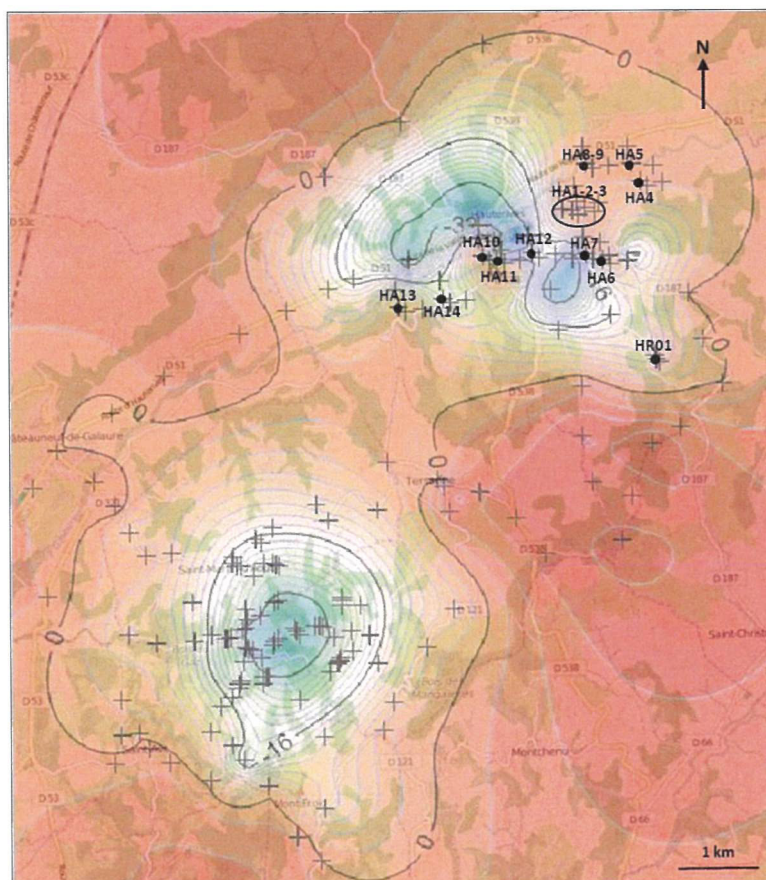


Figure A2.3 : Simulation de la subsidence de la saline de Hauterives entre 2004 et 2013 (Audouard 2016).
Les trois points situés au Nord-Ouest de la saline de Hauterives ont été fixés arbitrairement afin d'éviter une
expansion irréaliste de la cuvette dans cette direction ; le maximum de subsidence est atteint au nord de HA12
avec une valeur de 59 mm en 9 ans ; l'espacement entre les lignes est de 2 mm.

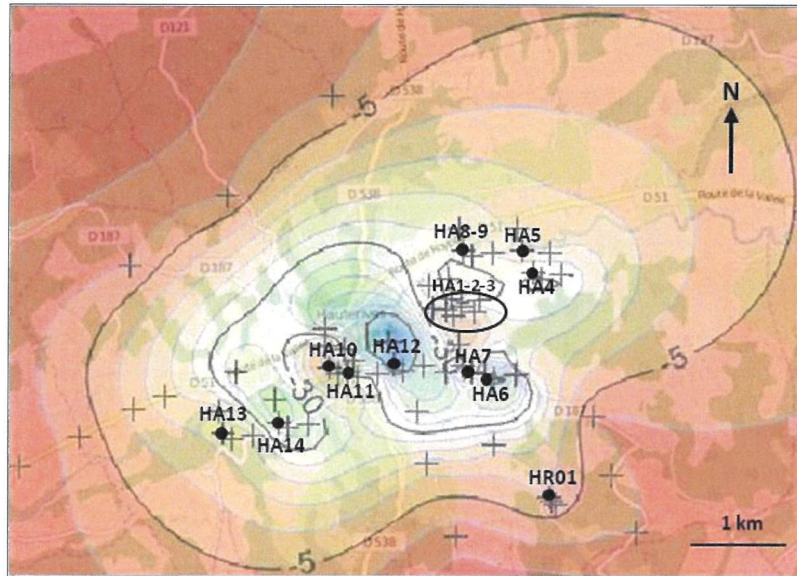


Figure A2.4 : Subsidence de Hauterives depuis la création des cavités entre 2004 et 2013 (Audouard 2016).
L'espacement entre les lignes est de 5 mm.

ANNEXE 5 : NOTE TECHNIQUE, STORENGY, 2026

(Annexée dès réception)

**ANNEXE 6 : COURRIER DU 20/01/2026 DE PTT GC A
L'ATTENTION DU MINISTERE DE L'ECONOMIE, DES FINANCES ET
DE LA SOUVERAINETE INDUSTRIELLE, ENERGETIQUE ET
NUMERIQUE**



PTT Global Chemical Public Company Limited

Head Office : 555/1 Energy Complex, Building A, 18th Floor, Vibhavadi Rangsit Road, Chatuchak, Chatuchak, Bangkok 10900 Thailand. Tel : +66(0)2265-8400 Fax : +66(0)2265-8500

Rayong Office : 59 Ratniyom Road, Noenphra, Mueang Rayong, Rayong 21150 Thailand. Tel : +66(0)3899-4000 Fax : +66(0)3899-4111

Registration No. 0107554000267

(same legal entity as the 2012 legal entity)

Ref. No. 38 – 0001 / 2026

20 January 2026

Ministère de l'Economie, des Finances et de la
Souveraineté industrielle, énergétique et numérique
Hôtel des Ministres – 3ème étage – Télédod 136
139 rue de Bercy
F - 75012 Paris

A l'attention du Ministre de l'Industrie, en charge des Mines

Monsieur le Ministre,

Le 25 mai 2012, PTT Global Chemical Public Company Limited (« GC/Nous ») s'est engagée, via une caution financière, en qualité de caution solidaire et indivisible (« Caution Financière ») de la société Chloralp, Société par actions simplifiée, immatriculée au RCS de Lyon sous le numéro 411 129 612 (« Chloralp »), titulaire des titres miniers portant sur la mine de sel et de sodium du Châtelard.

Nous vous informons que notre filiale Vencorex Holding a pris la décision de se désengager totalement de la gestion de la mine de Hauterives soit par la cession de sa filiale Chloralp à un tiers, soit par la renonciation à la Concession minière du Châtelard située à Hauterives (Drôme) et sa rétrocession par la suite à l'Etat.

Dès lors, nous vous saurions gré de bien vouloir nous confirmer le mécanisme de levée de cette Caution Financière pour donner suite à notre décision de désengagement de la concession minière.

Nous avons compris des discussions de Chloralp avec les services de l'Etat que notre désengagement serait acté par vos services dès présentation de la preuve du dépôt en compte séquestre au bénéfice de l'Etat, suivant des conditions d'appel et de levée à définir, d'un montant maximum de € 17 millions venant ainsi se substituer entièrement et sans équivoque à la Caution Financière.

Ainsi, GC sera complètement et inconditionnellement libérée des termes et engagements de la Caution Financière.

WLP

Nous tenons à préciser que dans l'hypothèse où la reprise par un tiers ne prospère pas, la Société Chloralp reste liée par son courrier du 09 décembre 2025 à la Préfète de la Région Auvergne Rhône-Alpes par lequel en particulier le processus de renonciation à concession se soldera par le versement d'une soulte d'un montant maximum de 17M€ et dont le montant définitif reste à définir suivant les dispositions du Code minier.

Nous vous prions d'agréer, Monsieur le Ministre, l'expression de notre profond respect.

Wanlapa S.

Wanlapa Sophiskhuankhant
Senior Vice President

Business Transformation PMO
E-mail: wanlapa.s@pttgcgroup.com

**ANNEXE 7 : COURRIER DU 20/02/2026 DU MINISTERE CHARGE DE
L'INDUSTRIE A L'ATTENTION DE PTT GC**



MINISTÈRE CHARGÉ DE L'INDUSTRIE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

LE MINISTRE DÉLÉGUÉ

Paris, le 20 février 2026

Madame la Senior Vice-Présidente,

Par courrier en date du 25 mai 2012, votre société PTT Global Chemical Public Company Limited (« PTTGC ») s'est engagée à donner à la société Chloralp les moyens lui permettant de remplir les obligations lui incombant en tant que titulaire des titres miniers portant sur la mine de sel de sodium d'Hauterives (concession minière du Châtelard), et s'est constituée caution solidaire et indivisible de la société pour l'exécution des mesures de police des mines qui pourraient lui être prescrites, notamment lors de l'arrêt des travaux ainsi que pour la réparation de dommages causés par son activité dont elle serait responsable en application de l'article L. 155-3 du Code minier.

Par courrier en date du 20 janvier 2026, vous nous informez de votre décision de vous désengager totalement de la gestion de la mine de Hauterives soit par la cession de votre filiale Chloralp à un tiers, soit par la renonciation à la concession minière du Châtelard et sa rétrocession par la suite à l'Etat.

Dans ce cadre, vous nous sollicitez pour confirmer le mécanisme de levée de l'engagement pris au titre de votre courrier du 25 mai 2012.

Par le présent courrier, nous vous confirmons que la société PTTGC sera libérée de son engagement de caution solidaire et indivisible pour la société Chloralp concernant la procédure d'arrêt des travaux miniers et les obligations afférentes prévues par les articles L. 163-1 et suivants du code minier, en tant qu'elle résulte du courrier du 25 mai 2012.

Cette libération sera effective dès lors que les conditions suivantes auront été constatées :

- Mise en place, par PTTGC, d'un compte séquestre à la caisse des dépôts et consignations d'un montant de 17M€. Ce compte séquestre devant être à usage exclusif de l'arrêt des travaux miniers de la concession du Châtelard. L'ensemble des autres modalités nécessaires à la mise en place de ce compte séquestre devront avoir été préalablement discutées et validées avec l'Etat.

Madame Wanlapa Sophiskhuankhant
Wanlapa.s@pttgroup.com
Senior Vice-President- PTT Global Chemical Public
Company Limited
55/1 Energy Complex, Building A, 18th Floor,
Vibhavadi Rangdsit Road, Chatuchak
Bangkok 10900 Thailand

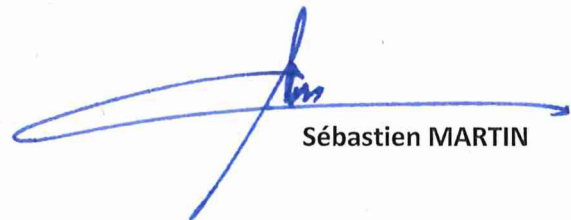
139 rue de Bercy
75572 Paris Cedex 12

Le Bureau des cabinets des ministères économiques et financiers met en œuvre un traitement automatisé des données à caractère personnel dans le cadre de la prise en charge de la correspondance à laquelle fait suite le présent courrier. Conformément au Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, vous disposez de droits sur les données vous concernant que vous pouvez exercer par courrier aux ministères économiques et financiers - Bureau des cabinets PCS - Télédoc 181 - 139 rue de Bercy 75572

- Dans l'hypothèse d'un transfert vers un porteur de projet :
 - Les éléments démontrant le changement de contrôle de la société Chloralp au profit de ce porteur de projet :
- Dans l'hypothèse, alternative, où vous renonceriez à la concession minière du Châtelard et procéderiez à sa rétrocession à l'Etat :
 - Constitution du dossier d'arrêt définitif des travaux miniers,
 - Validation du dossier d'arrêt définitif des travaux miniers par les services instructeurs de l'Etat,

Il nous paraît toutefois important de vous souligner que les dispositions de l'article L.155-3 du code minier continueront à s'appliquer à l'encontre de PTTGC et que ce courrier ne constitue en aucun cas une libération des engagements de PTTGC au titre de cet article.

Je vous prie d'agréer, Madame la Senior Vice-Présidente, l'assurance de ma considération distinguée.



Sébastien MARTIN

Copie :

Jean-jacques.gillot@holding.vencorex.com

Jean-luc.beal@holding.vencorex.com