

CONCESSION DE SEL GEMME DE MELECEY

MINELIS	CSME-MLY-a-1710	Version 1
Études préalables à la DADT Géologie Hydrologie et Hydrogéologie		

Version	Date	Corrections et modification
0	18/12/2017	Version provisoire
1	12/01/2018	Version 1 revue et corrigée
2	07/02/2018	Version remaniée après campagne de mesure

Concession de MELECEY - Études préalables à la DADT

Géologie

Hydrologie et Hydrogéologie

Auteurs : MINELIS Loïc MEVEL, Ingénieur géologie-environnement	Code du document : CSME-MLY-a-1710 Numéro de version : 1 Date : 07/02/2018
--	---

Identification du client : CSME – Groupe SALINS 17, rue Gabriel Péri 54 110 Varangéville Représentant : Didier CASANOVA, Ingénieur Pôle Minier	Référence du contrat : 4500610391 Responsable du projet : Loïc MEVEL, Ingénieur Géologie-Environnement
--	---

CONTROLE INTERNE		
Responsable du document : MINELIS	Nom et fonction : Loïc MEVEL, ingénieur géologie-environnement	Date et signature : 07/02/2018 
Relecture : MINELIS	Nom et fonction : Nicolas SAUZAY, directeur-général	Date et signature : 07/02/2018 
Contrôle qualité : MINELIS	Nom et fonction : Nicolas SAUZAY, directeur-général	Date et signature : 07/02/2018 

AVERTISSEMENT

Le présent rapport est rédigé à l'usage exclusif du client et est conforme à la proposition commerciale de MINELIS. Il est établi au vu des informations fournies à MINELIS et des connaissances techniques, réglementaires et scientifiques connues au jour de la commande. La responsabilité de MINELIS ne peut être engagée si le client lui a transmis des informations erronées ou incomplètes.

Toute utilisation partielle ou inappropriée des données contenues dans ce rapport, ou toute interprétation dépassant les conclusions émises, ne saurait engager la responsabilité de MINELIS.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	9
--------------------	---

CHAPITRE A : Étude géologique 11

1 Contexte géologique régional	13
1.1 Histoire géologique de la région	15
1.1.1 La transgression triasique	15
1.1.2 La transgression jurassique et l'émersion	16
1.1.3 L'orogène alpin et la formation de l'arc jurassien	17
1.2 Ressources minérales de la région	19
1.2.1 Sel gemme et sulfates	19
1.2.2 Houille	19
1.2.3 Minerai de fer	20
1.2.4 Granulats et matériaux de construction	21
1.2.5 Autres substances	21
1.3 Les gisements salifères du Keuper	22
1.3.1 Contexte tectonique général	22
1.3.2 Contexte de dépôt et stratigraphie	22
1.3.3 Exploitation des gisements salifères	23
2 Contexte géologique local	24
2.1 Stratigraphie et lithologies	24
2.2 Géologie structurale	29
3 Synthèse du contexte géologique	30

CHAPITRE B : Étude hydrologique et hydrogéologique 31

1 Contexte hydrologique	33
1.1 Éléments de climatologie	33
1.2 Bilan hydrique	33
1.3 Réseau hydrographique	36
1.3.1 A l'échelle du bassin versant de l'Ognon	36
1.3.2 A l'échelle de la zone d'étude	37
1.4 Qualité des eaux superficielles	39
1.4.1 A l'échelle du bassin versant de l'Ognon	39
1.4.2 A l'échelle de la zone d'étude	42
2 Contexte hydrogéologique	49
2.1 Principaux aquifères de la région	49
2.2 Les circulations d'eaux salées	50
2.3 Utilisation des eaux	52
3 Impact des travaux miniers et de leur arrêt sur les eaux de toutes natures	53
4 Relations et échanges avec les exploitations voisines	55

5 Synthèse du fonctionnement hydrogéologique..... 56

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 57

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la concession et des ouvrages qui y sont rattachés	10
Figure 2 : Localisation du secteur d'étude (extrait de la carte géologique de la France au millionième, BRGM)	13
Figure 3 : Contexte géologique régional (extrait de la carte géologique de la France au millionième, BRGM)	14
Figure 4 : Contexte géologique local (extrait de la carte géologique de la France au 1/50000, BRGM)	14
Figure 5 : Colonne lithostratigraphique (d'après Bichet et Campy, 2008) et localisation des principales formations jurassiennes (lithothèque de Franche-Comté) : le cercle rouge figure le secteur d'étude.....	18
Figure 6 : Localisation, débouchés et périodes d'activité des houillères du secteur d'étude	20
Figure 7 : Périodes d'exploitation des salines de Haute-Saône (périodes de production en vert foncé et d'abandon en vert clair)	23
Figure 8 : Extrait de la carte géologique au 1/50000 du secteur d'étude (source : Infoterre, BRGM)	26
Figure 9 : Colonne lithostratigraphique interprétée du puits de la saline de Mélecey	28
Figure 10 : Schéma structural du secteur d'étude (vert : limite Norien-Rhétien ; rouge : concession de Mélecey).....	30
Figure 11 : Bilan hydroclimatique local comparé selon les méthodes de Turc et de Thornthwaite.....	35
Figure 12 : Débits spécifiques mensuels moyens estimés sur le bassin versant.....	35
Figure 13 : Hydrogrammes des débits mensuels moyens de l'Ognon pour la période 1964-2007 (source : Banque Hydro).....	36
Figure 14 : Carte du réseau hydrographique sur l'emprise de la concession	38
Figure 15 : Évolution de la conductivité et des concentrations en sulfates et chlorures d'amont en aval dans les eaux de l'Ognon entre avril 2015 et avril 2017	41
Figure 16 : Photographies de quelques points de mesure/prélèvement	43
Figure 17 : Carte de localisation des points de mesure et prélèvement d'eau.....	44
Figure 18 : Profil longitudinal de la conductivité des eaux du Grand Ru (points reportés sur la Figure 17).....	47
Figure 19 : Schéma de détail du secteur de la saline de Mélecey.....	48
Figure 20 : Schéma de fonctionnement du système hydrogéologique.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1 : Lithostratigraphie comparée des quatre feuilles géologiques concernées par la concession .	27
Tableau 2 : Données hydroclimatiques retenues à la station de Montbéliard	33
Tableau 3 : Données hydroclimatiques utilisées et calculées	34
Tableau 4 : Mesures et analyses d'eau réalisées sur l'Ognon (source : base Naïades)	39
Tableau 5 : Calcul des flux de chlorures et sulfates dans les eaux de l'Ognon à la station de Chassey-lès-Montbozon (aval du Bilbois)	40
Tableau 6 : Mesures et analyses d'eau réalisées sur la concession (points reportés sur la Figure 17)	45

INTRODUCTION

La Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est (CSME) est titulaire de la concession de mines de sel gemme dite de « MELECEY ». Celle-ci est située dans le département de la Haute-Saône, pour parties sur le territoire des communes de Mélecey, de Fallon, de Villargent et de Grammont, à environ 23 km à l'ouest de Montbéliard et 27 km au sud-est de Vesoul. Son périmètre s'étend sur une superficie de 480 ha selon l'ordonnance royale d'institution du 29 septembre 1843, mais de 498 ha si l'on se réfère aux coordonnées retenues pour définir les sommets de la concession.

L'exploitation du sel est attestée en Haute-Saône, au sein du bassin houiller keupérien, depuis le XII^{ème} siècle au niveau de la saline de Saulnot (à environ 11 km de Mélecey). A partir du XIX^{ème} siècle, les salines de Gouhenans (à environ 9 km de Mélecey) et de Mélecey entrent en exploitation. Cette dernière saline a permis de produire environ 21 000 tonnes de sel entre 1848 et 1872, dont 13 000 tonnes entre 1848 et 1862.

Un unique puits boisé de section rectangulaire (3,2×1,8 m) a été foncé jusqu'à 150 m de profondeur entre 1845 et 1848 et le gisement de sel fut rencontré à partir de 124 m de profondeur. Des galeries de 5 m de largeur pour 2 m de hauteur ont par la suite été creusées entre 1848 et 1855 sur une longueur totale d'environ 500 mètres dans le gisement salifère. Parallèlement, la construction de la saline est achevée et l'exploitation du sel à sec (sous forme de blocs transformés à la saline) s'étale de 1848 à 1862. Suite à l'ennoiement du puits en 1862, il est décidé de poursuivre l'exploitation du sel par pompage de la saumure avant d'y mettre définitivement un terme en 1872 au regard du très mauvais état de conservation du puits. Une ultime tentative de remise en état du puits et de la saline échoue durant la Première guerre mondiale du fait de l'instabilité des parois du puits.

Si le puits est parfaitement localisé à l'intérieur du bâtiment de la saline (cf. **Figure 1**), l'on ne dispose que d'un relevé des travaux miniers souterrains réalisé à la main et daté de 1855, alors que l'exploitation du sel gemme a perduré jusqu'en 1862. Il est donc impossible de localiser avec précision les travaux miniers souterrains (anciennes galeries) qui ne sont plus accessibles depuis la surface.

Un rapport des ingénieurs des mines suite à une visite le 28 octobre 1925 mentionne : « *il n'existe même plus, à la surface aucune trace de puits ou galeries. Mais à l'intérieur de la saline de Mélecey, on voit encore un ancien puits de 35 m de profondeur et d'une section carrée de 1,20 m de côté. Pendant la guerre de 1914-1918, on a essayé mais sans succès de l'utiliser pour l'extraction de l'eau salée. Il est à moitié éboulé et remblayé mais il est recouvert d'épais madriers. Il n'y a donc qu'à le remblayer rapidement* ».

Les investigations de terrain entreprises en janvier 2018 ont permis de préciser que l'ouvrage est aujourd'hui totalement remblayé et les travaux du fond ne sont par conséquent pas accessibles.

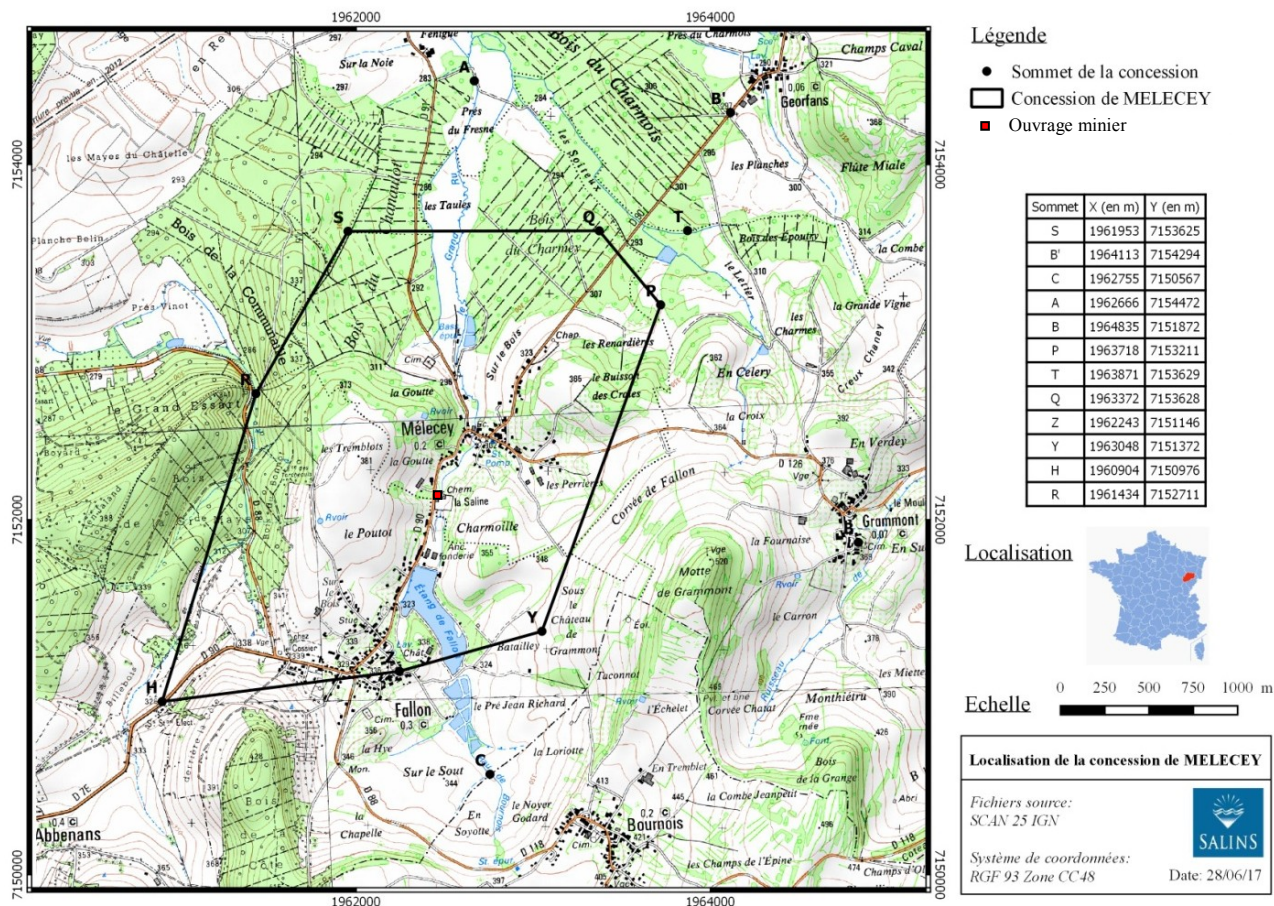


Figure 1 : Localisation de la concession et des ouvrages qui y sont rattachés

Attendu que CSME n'envisage pas de reprendre l'exploitation du sel dans cette concession sur laquelle toute exploitation a cessé depuis 1873, et conformément aux obligations du code minier, notamment aux directives fixées par le décret n°2006-649 du 2 juin 2006 modifié, une procédure de Déclaration d'Arrêt Définitif des Travaux miniers et d'utilisation des installations associées (DADT) est envisagée pour la concession de mines de sel gemme de MELECEY.

Dans ce cadre, CSME a confié à MINELIS l'élaboration de certaines études techniques préalables sur lesquelles s'appuiera la Déclaration d'Arrêt Définitif des Travaux. Ces études comprennent les volets suivants :

- Étude géologique ;
- Étude hydrologique et hydrogéologique.

Les données utilisées dans ce dossier sont issues d'archives détenues et compilées par CSME (données internes CSME, relevés de terrain, photographies aériennes), d'archives départementales, de données publiques accessibles en ligne (cadastre, données du BRGM, notices des cartes géologiques, Banque Hydro, ADES, Géoportail, etc.).

CHAPITRE A : Étude géologique

1 Contexte géologique régional

La concession de mines de sel gemme de MELECEY est située sur la marge nord-ouest de l'arc jurassien (Avants-monts jurassiens), à environ 23 km à l'est de Montbéliard et 27 km au sud-est de Vesoul à vol d'oiseau, dans la vallée du Grand ru (affluent du ruisseau de Beveuge, du Rognon, de l'Ognon puis de la Saône). Sur le plan géologique, ce territoire correspond à la transition entre plusieurs entités régionales :

- **L'arc jurassien** au sud, constitué de massifs montagneux formant un croissant de plus de 340 km de long globalement orienté nord-est / sud-ouest, résultant de la poussée de l'Apulie et de la surrection consécutive des Alpes (orogénèse alpine). Ce massif se caractérise par des dépôts sédimentaires du Mésozoïque très largement plissés et faillés. Le territoire d'étude s'inscrit sur sa bordure nord-ouest (Avants-monts jurassiens) ;
- Les dépôts sédimentaires triasiques de l'est du **Bassin Parisien**, redressés et en connexion avec l'arc jurassien dans le secteur d'étude ;
- Le **fossé bressan** au sud-ouest, d'origine tectonique, s'est progressivement emplit de sédiments plus récents (dépôts tertiaire et alluvions quaternaires des vallées du Doubs et de la Saône notamment) ;
- Le **fossé rhénan** au nord-est, également d'origine tectonique, qui s'est progressivement emplit de sédiments plus récents (dépôts tertiaires et alluvions quaternaires de la vallée du Rhin) ;
- Le **massif cristallin des Vosges** au nord, dominé par des granites, granodiorites et des terrains métasédimentaires déformés du Paléozoïque (Dévonien, Carbonifère et Permien).

Les cartes suivantes illustrent le contexte géologique général du secteur étudié.



Figure 2 : Localisation du secteur d'étude (extrait de la carte géologique de la France au millionième, BRGM)

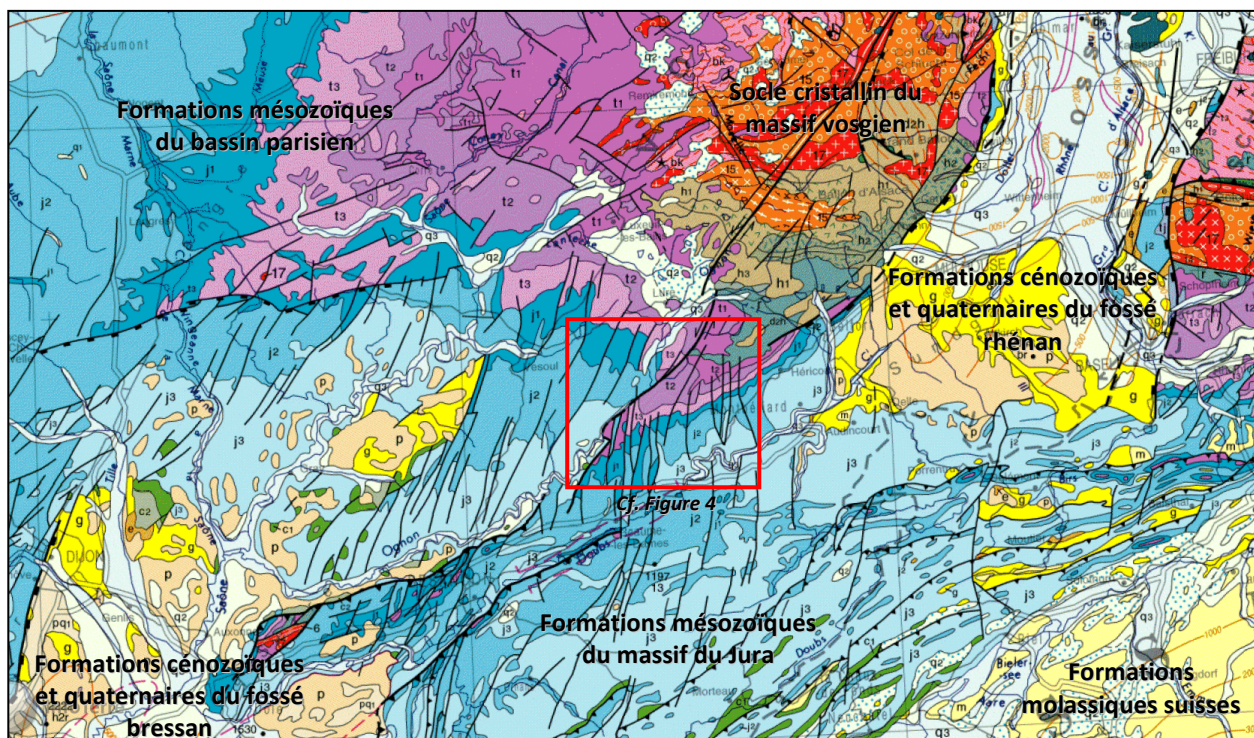


Figure 3 : Contexte géologique régional (extrait de la carte géologique de la France au millionième, BRGM)

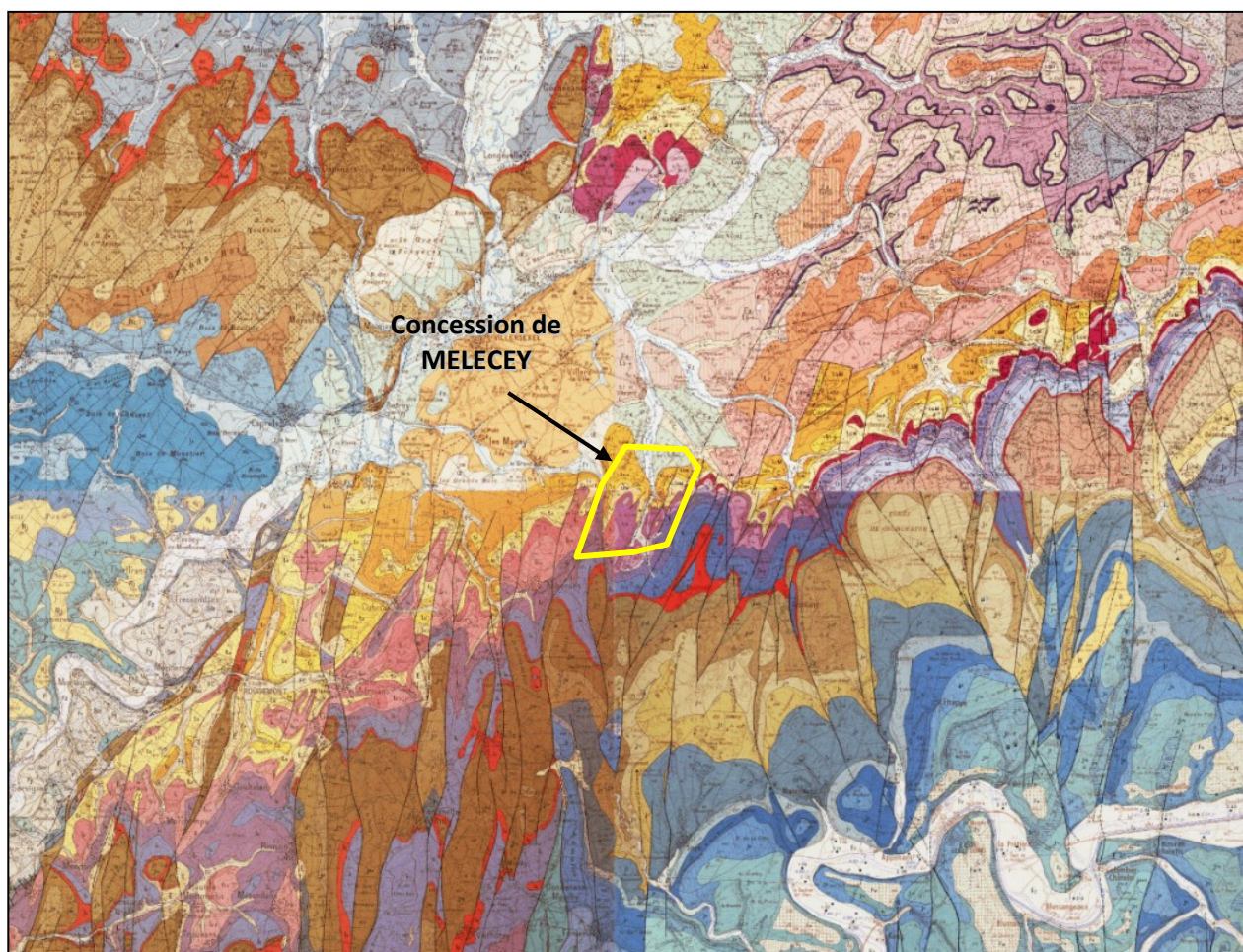


Figure 4 : Contexte géologique local (extrait de la carte géologique de la France au 1/50000, BRGM)

1.1 Histoire géologique de la région

Le dépôt des formations sédimentaires du Jura et de l'est du bassin parisien est lié à deux épisodes majeurs de transgression marine :

- L'immersion du socle hercynien largement érodé par la mer germanique au Trias ;
- L'immersion des dépôts triasiques par la mer jurassique (jusqu'au Crétacé).

Ces mers vont permettre l'ensemble des dépôts sédimentaires qui façonnent aujourd'hui la chaîne jurassienne, en connexion avec l'auréole orientale du Bassin Parisien. Dès la fin du Crétacé inférieur, la surrection des Alpes engendre le soulèvement et le plissement du Jura, tandis que s'ouvrent les fossés bressan et rhénan et que le bassin parisien poursuit sa lente subsidence. La mer se retire alors définitivement de la région dès cette époque.

1.1.1 La transgression triasique

Dès le Trias inférieur (251 Millions d'années), la mer germanique transgresse par l'est sur ce qui deviendra notamment le Bassin Parisien, jusqu'à une limite Dijon – Saint-Dizier – Verdun. Plus au sud, cette mer s'étale davantage vers l'ouest jusque sur une partie de l'actuel massif central. Cette mer peu profonde et peu ouverte forme de vastes golfes qui présentent une tendance au confinement et à la sursaturation des eaux en sels sous un climat plutôt chaud.

Les dépôts sont tout d'abord franchement gréseux et constituent les puissances séries détritiques du **Buntsandstein**. Les intercalations marneuses sont assez fréquentes selon les épisodes transgressifs et régressifs de haute fréquence et de faible amplitude.

Durant le **Muschelkalk inférieur à moyen**, les formations évaporitiques dominent avec des dépôts dolomitiques et gréseux à la base puis progressivement plus argileux et contenant du gypse et de l'anhydrite vers le sommet.

Au **Muschelkalk supérieur**, la sédimentation carbonatée (calcaires dolomitiques à entroques et brachiopodes notamment) traduit un approfondissement de la mer.

Durant la **Lettenkohle**, les faciès sont dominés par la dolomie et des dépôts marneux noirâtres à lignite et débris de poissons. Ces lithologies attestent d'une diminution de la tranche d'eau et de la proximité du littoral.

Au **Keuper inférieur**, le niveau marin baisse sensiblement et l'on retrouve une configuration littorale sous climat chaud caractérisée par des faciès lagunaires, les dépôts sédimentaires ayant lieu dans une tranche d'eau peu épaisse et riche en sels. Les marnes irisées en sont caractéristiques (argilites de différentes couleurs alternant avec des lits de gypse et d'anhydrite). Elles sont associées à la dolomie, à des sulfates et à du sel gemme, qui forment le gisement exploité à Mélecey. Le comportement plastique de ces formations

salifères et gypseuses provoque le glissement et le décollement des couches sus-jacentes (tectonique salifère).

Au **Keuper moyen**, la mer se retire davantage encore et laisse place à une vaste bande côtière façonnée par des fleuves, deltas et estuaires. Les dépôts sont donc essentiellement fluviatiles et correspondent à la formation des Grès à roseaux renfermant localement du lignite. La faune et la flore retrouvées dans cette formation marquent très clairement ces apports terrestres. A ces faciès fluviatiles succèdent des faciès lagunaires caractérisés par des dépôts de marnes versicolores et rouges à anhydrite et d'un niveau dolomitique localement exploité comme matériau de construction et servant de repère stratigraphique : la Dolomie-Moellon.

Au **Keuper supérieur**, un nouvel épisode lagunaire favorise le dépôt de faciès évaporitiques marneux (formation des Marnes irisées supérieures) contenant de la dolomie, du gypse et de l'anhydrite.

Pour l'ensemble des dépôts du Keuper, l'abondance des formations dolomitiques est liée à un apport important en magnésium dans le milieu de sédimentation. Ces apports proviennent de l'érosion massive de la chaîne hercynienne dont les produits détritiques sont drainés d'ouest en est par le réseau hydrographique triasique vers les bassins littoraux et les lagunes. L'environnement de dépôt tend ainsi à s'enrichir en magnésium et à favoriser la précipitation de la dolomie.

La fin du Trias est marquée, au **Rhétien**, par le dépôt de grès, dolomies et marnes schistoïdes noires, présentant un faciès arénitique riche en débris de bois et faune littorale. Les dépôts deviennent de plus en plus fins et argileux au sommet des grès et laissent place aux Argiles (ou Marnes) de Levallois qui marquent le Trias terminal.

Remarque : Le Trias à l'affleurement sur les cartes des **Figure 2** et **Figure 3** est noté *t* et apparaît en violet. Il correspond essentiellement aux formations du Keuper supérieur et du Rhétien.

1.1.2 La transgression jurassique et l'émersion

Les dépôts jurassiques, et plus précisément les dépôts liasiques (Jurassique inférieur, environ 200 Ma) recouvrent les dépôts salifères et gréseux du Trias. Ils sont associés à un nouvel événement géologique : la mer s'installe durablement et s'approfondit progressivement à la faveur d'un épisode transgressif et de l'ouverture de la Téthys. Les dépôts y sont dès lors franchement marins, d'abord dominés par des faciès argileux et marno-calcaires de l'ordre de 120 à 165 m de puissance (Lias), puis par des dépôts plus carbonatés au Jurassique moyen et supérieur.

Le **cycle liasique** (bleu foncé noté *j1* sur la carte de la **Figure 3**), caractérisé par des dépôts argileux et marno-calcaires, s'achève par un épisode régressif débutant au **Toarcien**, suivi des dépôts de calcaires oolithiques ferrugineux de l'**Aalénien** (petits gisements de fer

autrefois exploités). La mer épicontinentale est très peu profonde et certains secteurs sont émergés à cette occasion.

Au **Jurassique moyen et supérieur** (bleu moyen et clair notés *j2 et j3* sur la carte de la **Figure 3**), la mer envahit de nouveau le bassin jurassien par pulsations transgressives successives. L'ensemble de la région jurassienne correspond alors à une vaste plateforme carbonatée peu profonde au sein de laquelle des hauts-fonds favorisent l'émersion d'îles et de récifs coralliaires sous climat tropical. Une phase régressive plus marquée provoque l'émersion d'une large partie de la région au Callovien.

Préservés en fond de synclinaux dans la haute chaîne du Jura et au nord du bassin bressan, les dépôts du **Crétacé inférieur** sont dominés par des alternances marno-calcaires sur des épaisseurs inférieures à 200 m. La surrection des Alpes au sud-est sous l'effet de la poussée des plaques apulienne et africaine provoque une nette déformation de la pile sédimentaire dès le Crétacé inférieur (plissements et failles). Le massif jurassien se façonne en un arc plissé et l'émersion définitive du Jura implique l'absence de dépôts sédimentaires dès le Crétacé supérieur (érodés puis absents par la suite).

1.1.3 L'orogène alpin et la formation de l'arc jurassien

Durant tout le **Cénozoïque**, la région est émergée et soumise à une érosion intense. Seuls quelques dépôts détritiques aux faciès continentaux (lacustres, fluviaux, molassiques) s'accumulent dans les dépressions liées aux mouvements tectoniques (fossé rhénan au nord-est, fossé bressan à l'ouest, bassins molassiques suisses au sud-est).

Enfin, le **Quaternaire** est dominé par des formations glaciaires de type moraines, et par des alluvions d'origine lacustre ou fluviale.

La surrection alpine se poursuivant encore aujourd'hui, le Jura et ses bordures sont toujours soumis à d'intenses déformations dont le style est largement influencé par la nature des couches du Trias. En effet, le gypse et le sel sont des matériaux particulièrement ductiles, contrairement aux carbonates et aux grès. Le comportement de la pile sédimentaire face aux contraintes tectoniques est donc très variable selon la nature des couches. Ainsi, carbonates et grès auront tendance à se fracturer et à développer un réseau de failles, tandis que les formations salifères réagiront de manière souple (comportement ductile). Les formations salifères du Keuper étant situées à la base de la pile sédimentaire, elles favorisent le glissement de l'ensemble des formations sus-jacentes plus rigides (Jurassique) qui vont se fracturer et former des écaïlles ou lambeaux tectoniques. L'ensemble du massif jurassien est ainsi façonné par ce type de processus géologique particulier.

CHAPITRE A : Étude géologique

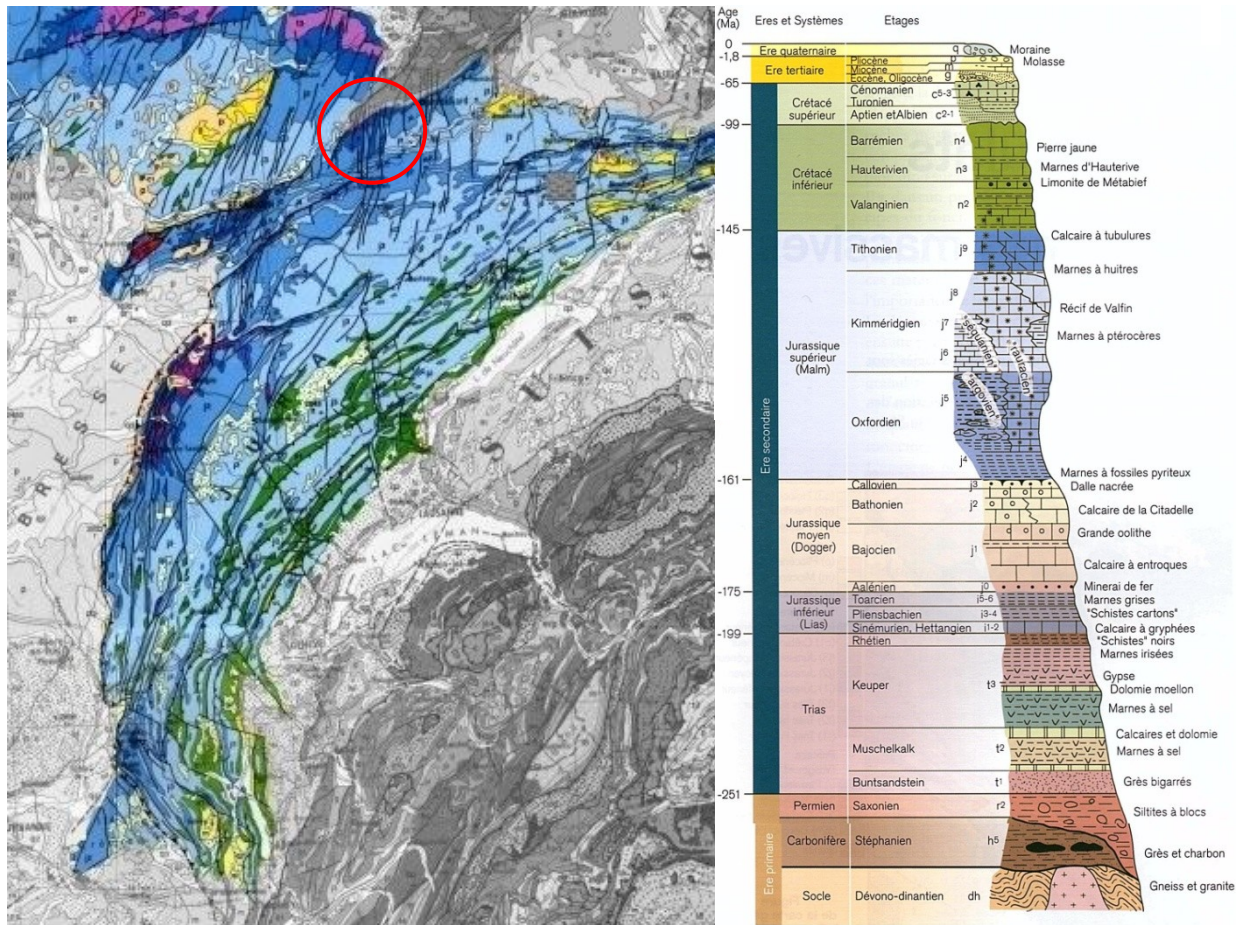


Figure 5 : Colonne lithostratigraphique (d'après Bichet et Campy, 2008) et localisation des principales formations jurassiennes (lithothèque de Franche-Comté) : le cercle rouge figure le secteur d'étude

1.2 Ressources minérales de la région

1.2.1 Sel gemme et sulfates

Dans la région, le **sel gemme** fut exploité dès le Moyen-Âge à Saulnot-Corcelles (environ 10 km au nord-est). Plus tardivement, les gisements de Mélecey et Gouhenans (environ 9 km au nord) sont découverts et leur exploitation débute durant le XIX^{ème} siècle. Cette exploitation fut pratiquée soit par galerie (extraction à sec), soit par dissolution et pompage des saumures. L'exploitation du sel n'est aujourd'hui plus pratiquée dans la région et les dernières salines ont fermé durant le XX^{ème} siècle.

Généralement associés au sel, les sulfates de calcium que sont le **gypse et l'anhydrite** sont présents en quantité dans les formations du Keuper. Ils furent notamment exploités à Vellechevreux-et-Courbenans par la société Holcim jusqu'en 2004 et à Corcelles au nord-est de Mélecey.

L'exploitation des évaporites (sel, gypse, anhydrite) est souvent associée à celle de la houille dans la mesure où ces ressources sont contenues dans des formations très proches sur le plan stratigraphique (marnes irisées pour les évaporites et grès à roseaux pour la houille). Par ailleurs, la houille servait à alimenter les salines qui étaient très consommatrices d'énergie.

1.2.2 Houille

Plusieurs gisements de houille de dimensions modestes ont été découverts dans la région. Il en existe de deux origines distinctes qui furent exploités de manière artisanale pour certains d'entre-eux :

- *Gisements permo-carbonifères*
Ces gisements sont localisés essentiellement sur la feuille de Lure, sur le flanc sud du massif vosgien où la houille se trouve à faible profondeur et affleure. L'exploitation de ces gisements fut progressivement abandonnée jusqu'en 1954.
- *Gisements keupérien de Haute-Saône (Trias)*
Bien que d'extension et de puissance relativement limitées, la houille triasique est exploitée par galeries dès la fin du XVI^{ème} siècle jusqu'au début du XX^{ème} siècle dans le sud-est de la Haute-Saône, le nord du Doubs et du Jura. C'est ce type de gisement qui est exploité dans le secteur d'étude, et en particulier à Mélecey entre 1778 et 1865.

La découverte des gisements houillers triasiques fut souvent fortuite et liée à la recherche de gisements de sel gemme. Ces deux ressources minérales sont en effet contenues dans des formations très proches sur le plan stratigraphique (marnes irisées pour les évaporites et grès à roseaux pour la houille). La **Figure 6** illustre la répartition des sites d'extraction de la houille dans le sud de la Haute-Saône et les interactions avec l'exploitation du sel. Les salines étaient en effet très consommatrices d'énergie et la houille extraite localement servait à alimenter les chaudières.

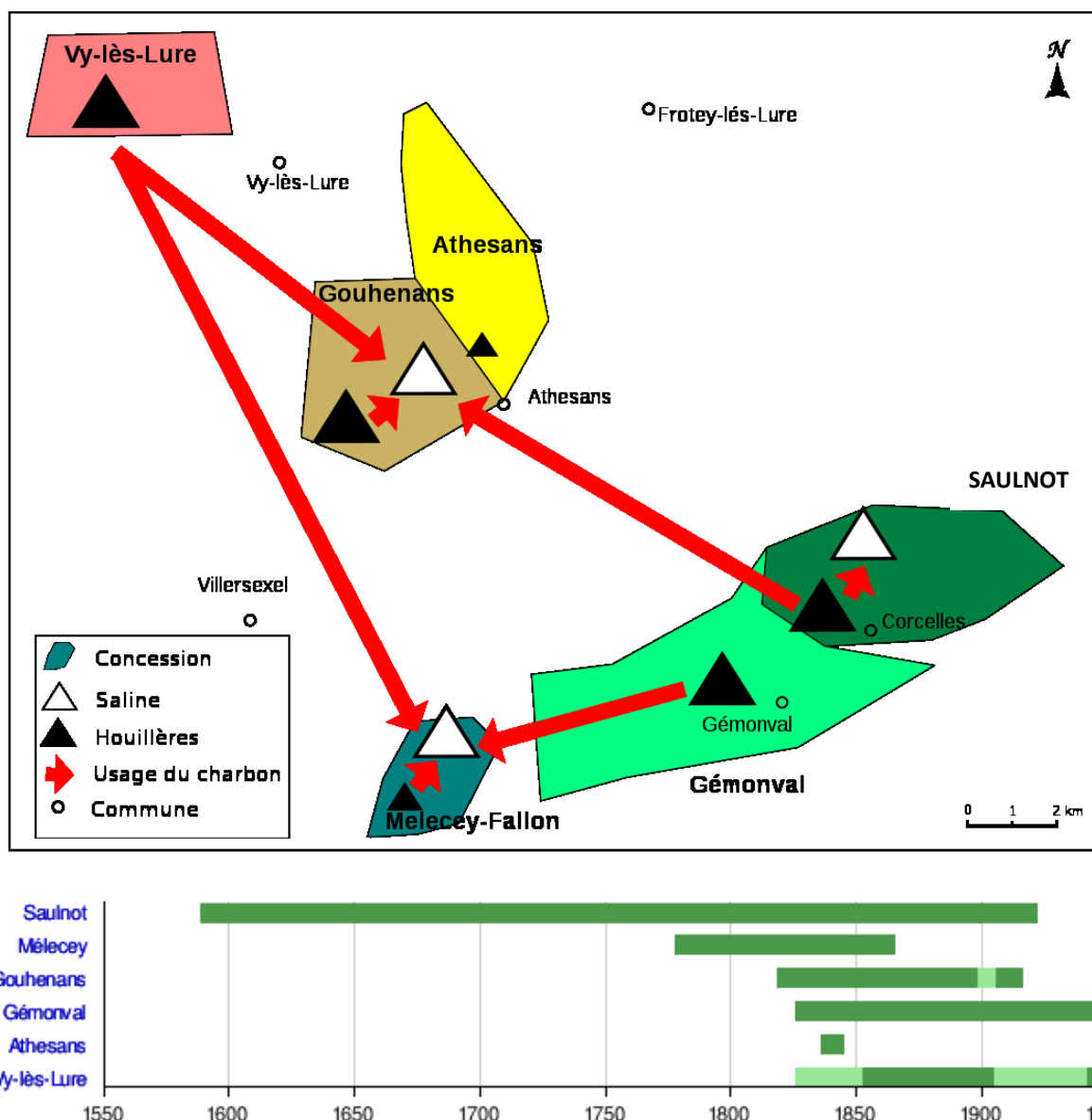


Figure 6 : Localisation, débouchés et périodes d'activité des houillères du secteur d'étude

1.2.3 Minerai de fer

La région compte plusieurs gisements de fer contenus dans des formations distinctes, d'époques et d'origines variées :

- Les formations paléozoïques (Dévonien-Carbonifère-Permien), liées au volcanisme et au plutonisme (cas des mines de Saulnot, Coisevaux et Chagey au Moyen-Âge).
- Les formations du Lias et du Jurassique caractérisées par des faciès argileux à pyrite (Toarcien) ou de calcaires à oolites ferrugineuses (Aalénien, Argovien, Callovien) dont la concentration forme parfois des couches de concrétions ferrugineuses exploitables.

- Une formation de répartition plus hétérogène attribuée à l'Éocène dite « sidérolithique », constituée d'argiles pisolithiques emplissant les irrégularités de la surface érodée des derniers dépôts jurassiques après la phase d'émersion.

Le minerai extrait alimentait de petites fonderies et forges située à proximité des centres de d'extraction. Ces activités sont aujourd'hui abandonnées car non rentables.

1.2.4 Granulats et matériaux de construction

Le niveau de la « **Dolomie-moellon** » (pouvant atteindre 18 m de puissance par endroits) fut largement exploité dans la région et notamment à Fallon et Mélecey. Elle est utilisée comme matériau de construction.

Les **calcaires jurassiques** font l'objet de nombreuses exploitations à ciel ouvert dans la région. Ils sont utilisés soit comme granulats pour la fabrication de chaux et de ciments, soit comme matériaux de construction. Les carrières encore en activité les plus proches de la concession de MELECEY sont les suivantes :

- La Combe Porey sur la commune de Bournois (Doubs) à environ 3,3 km au sud qui exploite des calcaires du Bajocien ;
- La Côte sur la commune de Vellechevreux-et-Courbenans à environ 4 km au nord-est de Mélecey qui exploite les calcaires du Muschelkalk ;
- Les Coupes du Marchet sur la commune de Courchaton à environ 5 km à l'est qui exploite des calcaires oolithiques du Bajocien.

Le **grès** que l'on retrouve à différents niveaux stratigraphiques était ou est également exploité sous différentes formes :

- les grès à Voltzia à Grange-la-Ville comme matériaux de construction (pavage, monuments et églises, etc.) ;
- les grès friables de l'Arsot à Saulnot comme sable ;
- les grès rhétiens comme matériaux de construction dans la région des Avants-Monts jurassiens.

Les **argiles oxfordiennes** (jurassique supérieur) de la vallée du Doubs furent également exploitées pour la fabrication de tuiles de Pont-de-Roide à Baume-les-Dames.

Enfin, l'exploitation des **formations alluvionnaires** des grandes vallées (Ognon, Doubs, etc.) permet d'extraire des sables, des graves siliceuses et des groises.

1.2.5 Autres substances

Les schistes cartons du Toarcien renferment une grande quantité de matière organique et sont des roches mères propices à la genèse d'hydrocarbures liquides ou gazeux. Toutefois,

la fracturation importante dans la région et la faible teneur en hydrocarbures ne permettent pas d'envisager une quelconque exploitation.

1.3 Les gisements salifères du Keuper

1.3.1 Contexte tectonique général

Le bassin d'exploitation du sel s'inscrit au sein des formations sédimentaires du Keuper qui affleurent et marquent la bordure septentrionale du massif jurassien. Ce secteur correspond à une zone de transition tectonique complexe :

- Les grands faisceaux jurassiens de direction générale SW-NE prennent forme plus au sud à partir de Baume-les-Dames. Ils traduisent un régime compressif caractérisé par le chevauchement d'écaillés successives constituées par les terrains jurassiques « glissant » sur les marnes à gypse et sel du Keuper. En arrière de ces faisceaux émergent successivement les plateaux calcaires jurassiens plus ou moins karstifiés et entaillés par le réseau hydrographique.
- Les fossés bressan et rhénan respectivement au sud-ouest et au nord-est du secteur d'étude traduisent au contraire un régime extensif.

Le secteur d'étude correspond ainsi à une zone d'accommodation des mouvements qui opèrent à l'échelle régionale et se traduisent par l'existence d'un cisaillement senestre (N40°), le long duquel s'ouvrent de petits bassins en *pull-apart* dans la vallée de l'Ognon. En réalité, ce cisaillement se prolonge vers le massif central et le massif vosgien, affectant au passage les formations sédimentaires plus récentes du Mésozoïque. Il semble donc hérité d'un accident tectonique d'origine hercynienne réactivé plus récemment sous la poussée alpine.

L'environnement géologique local est donc particulièrement perturbé par un ensemble de failles associées à ce cisaillement et aux mouvements des entités adjacentes :

- Un réseau de nombreuses failles globalement orientées nord-sud ;
- Des failles orientées N60° à N70° et parfois même est-ouest.

1.3.2 Contexte de dépôt et stratigraphie

Le gisement de sel exploité à Mélecey n'affleure pas directement. Les couches de sel sont situées dans les formations du Keuper inférieur (formation des Marnes irisées inférieures) et présentent des épaisseurs très variables allant de quelques centimètres à plusieurs mètres, regroupées en faisceaux plus ou moins épais.

Ces dépôts se sont accumulés en domaine marin littoral, dans des eaux peu profondes de type lagunes. Le milieu de faible énergie et le climat chaud favorisent l'évaporation des eaux et leur enrichissement progressif en éléments minéraux. Arrivées à saturation, ces eaux

sursalées libèrent le surplus de minéralisation sous forme de sulfates, de sels et de carbonates qui précipitent et se déposent sur le fond avec des dépôts d'origine détritique (grès et argiles). On parle de contexte évaporitique pour qualifier l'ensemble des processus de sédimentation et la dynamique propre à ces milieux. Les dépôts de sel exploités à Mélecey et dans la région en général sont situés au sein des marnes irisées du Keuper inférieur et se présentent sous forme de couches horizontales plus ou moins concentrées en sels, intercalées avec des passées plus marneuses et argileuses, parfois localement gréseuses.

1.3.3 Exploitation des gisements salifères

Essentiel à la conservation des aliments, et notamment de la viande et du poisson, le sel fit très tôt l'objet de convoitises et de recherches. La présence de sel gemme dans le Jura et en Haute-Saône était déjà connue à la période protohistorique par l'existence de nombreuses sources salées. Il fut d'abord exploité de façon artisanale puis de manière plus industrielle durant le XIX^{ème} siècle par pompage de saumures ou par abattage en galeries souterraines. L'exploitation du sel dans l'est de la Haute-Saône s'étale sur huit siècles et probablement davantage sur trois sites principaux. La saline de Saulnot est exploitée au moins depuis le XII^{ème} siècle jusqu'en 1826. La saline de Gouhenans prend le relais à partir de 1831 et fonctionne de façon industrielle pendant près d'un siècle. Enfin, la saline de Mélecey est exploitée d'une façon plus artisanale et éphémère entre 1848 et 1872. Les périodes d'exploitation de ces quatre sites sont comparées dans la figure ci-dessous.

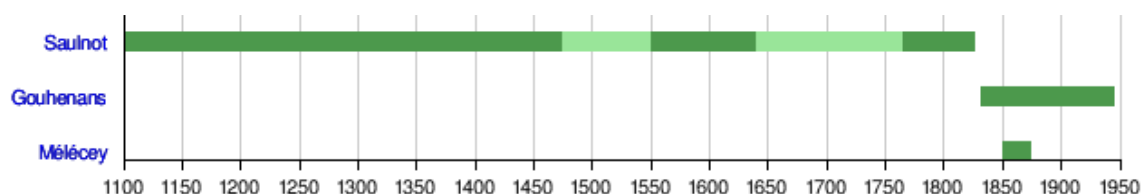


Figure 7 : Périodes d'exploitation des salines de Haute-Saône (périodes de production en vert foncé et d'abandon en vert clair)

Ces exploitations se trouvent au sein des bassins houillers keupériens de Haute-Saône, formés d'alternances de couches de grès, de marnes irisées, de dolomies et d'évaporites (gypse, halite, anhydrite).

Le gîte de sel de Mélecey est composé de trois couches cumulant une épaisseur totale de 8 mètres, entrecoupées de marnes salifères à 135 m de profondeur en moyenne. Cette couche de sel fut exploitée par abattage en galeries souterraines (traçage de galeries de 5 m de largeur pour 2 m de hauteur sur environ 500 m de longueur) entre 1848 et 1862, puis par pompage de la saumure à partir du puits entre 1863 et 1872 après que les travaux miniers soient ennoyés par les arrivées d'eaux de plus en plus abondantes.

Le gîte houiller, également exploité dans le périmètre de la concession de sel gemme, est quant à lui composé de trois couches cumulant une épaisseur totale de 0,6 mètre, entrecoupées d'argiles schisteuses noirâtres à des profondeurs inférieures à 40 m.

2 Contexte géologique local

La géologie de la concession de MELECEY a été affinée par rapport au contexte régional grâce notamment aux données recueillies à partir des sondages de la concession disponibles dans la documentation de CSME, des notices des cartes géologiques et des documents de synthèse existants sur ce secteur.

2.1 Stratigraphie et lithologies

La concession de MELECEY est située à environ 23 km à l'est de Montbéliard et 27 km au sud-est de Vesoul. Elle est localisée au croisement de quatre feuille de la carte géologique de France au 50 000^{ème} : VESOUL au nord-ouest, LURE au nord-est, MONTBELIARD au sud-est et BAUME-LES-DAMES au sud-ouest (cf. Extrait de la carte géologique, **Figure 8**). Les notices de ces feuilles ont donc été consultées dans le cadre de cette étude et fournissent l'essentiel des données et informations disponibles concernant la géologie locale.

Les terrains rencontrés à l'affleurement dans l'emprise de la concession sont rattachés aux étages stratigraphiques du Trias supérieur et du Jurassique inférieur (entre 235 et 180 Ma environ), ou encore au Quaternaire pour ce qui concerne les dépôts les plus récents et actuels. Les notations mentionnées font référence aux feuilles de MONTBELIARD et de BAUME-LES-DAMES :

- **Quaternaire (Fz-Fx)** : Alluvions modernes du Grand Ru et de ses affluents et hautes terrasses d'alluvions plus anciennes. Ces dépôts alluviaux sont dominés par des séries détritiques de fraction variée (limons, argiles et sables reposant plus ou moins sur des matériaux plus grossiers : sables, graviers et galets).
- **Plio-Quaternaire (E-C)** : Éboulis et colluvions de pente d'origine périglaciaire et fluvioglacière accumulées sous l'action érosive des glaciers, notamment durant la période würmienne, et sous l'action des vents durant les interglaciaires notamment. Les colluvions sont généralement des mélanges hétérogènes d'éléments caillouteux plus ou moins anguleux épars dans une matrice argilo-sableuses.
- **Toarcien (I7-8)** : Marnes schistoïdes bitumineuses gris-noir (ou « schistes cartons ») d'une puissance totale d'environ 20 m. La base du Toarcien est marquée par deux bancs calcaires sableux d'environ 2 m de puissance renfermant des débris de poissons. Seule la base de cette formation est visible à l'extrémité sud-ouest de la concession (à l'ouest du bourg de Fallon). La partie supérieure du Toarcien (non visible sur la concession) est dominée par des marnes micacées à nodules calcaires et ferrugineux.
- **Pliensbachien (I5-6)** : Cet étage du Lias moyen et correspond aux stratotypes locaux du Carixien et du Domérien. Réparti à flancs de coteaux au sud-ouest et au sud-est de la concession, de part et d'autre du bourg de Fallon, il se caractérise par des alternances de bancs marno-calcaires riche en faune (bélemnites, ammonites, bivalves, etc.). Cette formation peut atteindre au total 30 à 50 m de puissance.
- **Sinémurien-Hettangien (I1-4)** : Cet étage correspond à des faciès globalement marno-calcaires reposant sur une dalle de calcaires bleus de 7 à 8 m d'épaisseur

(Hettangien à Sinémurien inférieur), très riches en ammonites et gryphées. Les marnes lotharingiennes sus-jacentes sont généralement grises, riches en concrétions ferrugineuses et bien moins fossilifères.

- **Rhétien (t_{10})** : D'une puissance totale de 15 à 20 mètres, il s'agit de l'étage de transition entre le Lias et le Trias supérieur. Cette formation est constituée de deux sous-étages distincts :
 - La base du Rhétien est constituée de bancs de grès bariolés tendres et micacés en alternance avec des argiles schistoïdes gréseuses et parfois de petits bancs de calcaire dolomitique (10 à 16 m d'épaisseur).
 - Un niveau supérieur correspondant à la formation des « Marnes de Levallois » (marnes argileuses bariolées) sur une épaisseur de 0 à 5 m. Ces marnes correspondent aux argiles rouges reconnues autour de Nancy.
- **Keuper supérieur (t_9)** : Formation des « Marnes irisées supérieures » (Norien) caractérisée par des marnes vertes dolomitiques (environ 25 m) et des marnes bariolées et rouges montrant de fréquentes alternances de bancs dolomitiques, anhydritiques et gypseux à la base (environ 15 m).
- **Keuper moyen (t_8)** : Cet étage correspond en réalité à la transition entre le Carnien et le Norien. Les affleurements sont visibles dans toute la partie nord de la concession lorsqu'ils ne sont pas recouverts par des alluvions. Ils sont constitués de trois formations successives :
 - La « Dolomie-moellon » constitue un bon niveau repère car d'épaisseur assez stable (8 à 10 m). Elle est caractérisée par des bancs de dolomie grenue, grise à jaunâtre, compacte mais parfois vacuolaire selon le degré d'altération.
 - Les « Marnes irisées intermédiaires » (ou moyennes) sont des marnes bariolées à rouges de 2 à 3 m de puissance et qui tendent à disparaître progressivement vers l'est (absentes à Corcelles).
 - Les « Grès à roseaux » (0 à 12 m de puissance) offrent à l'affleurement un grès gris-vert, friable et argileux contenant des niveaux de lignite pouvant aller jusqu'à plus d'un mètre d'épaisseur qui furent exploités par le passé (cf. § 1.2.2). Cette formation témoigne d'une régression marine et du développement de chenaux fluviaux bordés d'une végétation marécageuse luxuriante (Équisétales notamment).
- **Keuper inférieur (t_7)** : Formation des « Marnes irisées inférieures » (Carnien) caractérisées par des alternances de marnes bariolées riches en lentilles et masses plus ou moins épaisses de gypse, de sel gemme et d'anhydrite. C'est au sein de cette puissante formation (environ 100 m) qu'a été exploité le sel gemme à Mélecey.

Le Grand Ru qui prend sa source sur les hauteurs au sud de Fallon s'écoule vers le nord en traversant la concession. Il incise les formations du Lias et du Keuper et les alluvions récentes qui y sont associées les recouvrent partiellement en fond de vallée.

La carte de la **Figure 8** illustre la répartition des couches géologiques présentes à l'affleurement dans le secteur de la concession et le **Tableau 1** présente une comparaison synthétique des successions lithostratigraphiques relevées sur les quatre feuilles géologiques concernées par la concession de MELECEY.

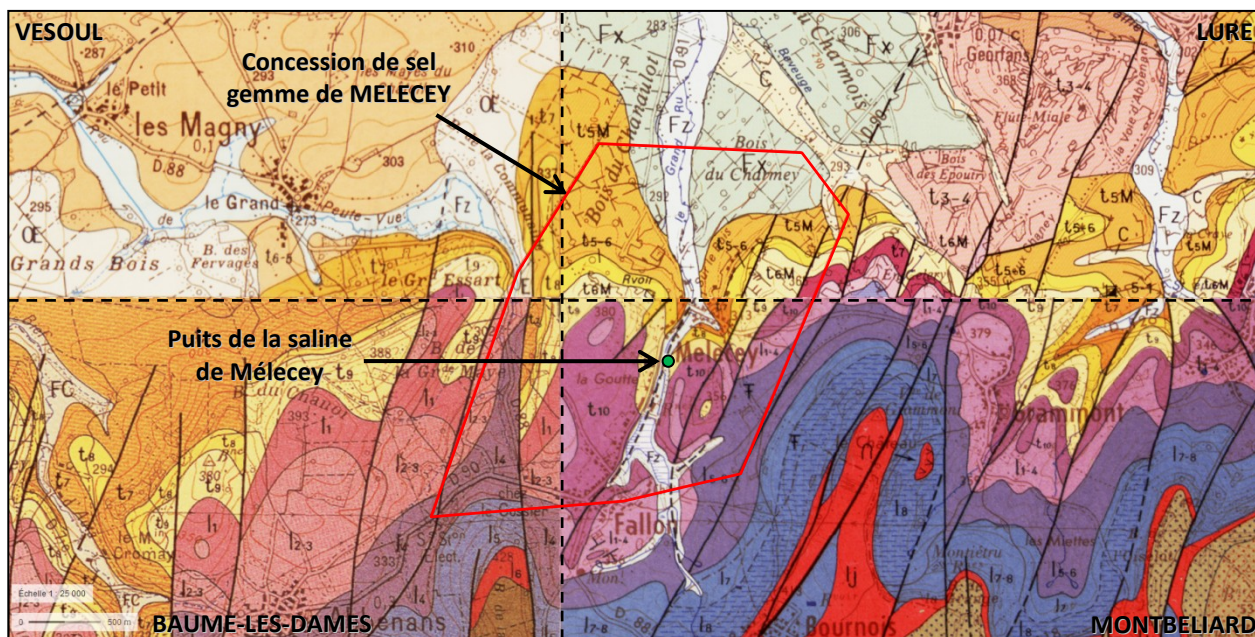


Figure 8 : Extrait de la carte géologique au 1/50000 du secteur d'étude (source : Infoterre, BRGM)

Légende*		lithologie (stratigraphie)	correspondance des notations
	Fz	Alluvions fluviales modernes (Quaternaire)	
	Fx	Alluvions anciennes - terrasses hautes (Quaternaire)	
	C	Colluvions (Quaternaire)	
	l ₆	Calcaires roux et niveaux ferrugineux (Aalénien s.l.)	l ₆ (Baume)
	l ₈	Marnes micacées à nodules (Toarcien supérieur)	l ₅ (Baume)
	l ₇₋₈	Marnes toarciennes indifférenciées	
	l ₅₋₆	Calcaires à <i>Pleuroceras spinatum</i> , marnes à <i>Amaltheus margaritatus</i> , calcaires à Bélemnites et calcaire ocreux (Pliensbachien)	l ₄ (Baume)
	l ₁₋₄	Marnes lotharingiennes et calcaires à gryphées (Sinémurien s.l. et Hettangien)	l ₂₋₃ (Baume)
	t ₁₀	Marnes de Levallois, grès micacés et marnes schistoïdes (Rhétien)	l ₁ (Baume) t ₇ (Lure)
	t ₉	Marnes irisées supérieures à gypse, dolomite (Keuper supérieur = Norien)	t _{6M} (Lure)
	t ₈	Marnes irisées moyennes à gypse, grès à roseaux, dolomie-moellon (Keuper moyen = Carnien-Norien)	t ₅₋₆ (Lure)
	t ₇	Marnes irisées inférieures à sel gemme et gypse (Keuper inférieur = Carnien)	t _{5M} (Lure)
	t ₃₋₄	Calcaires coquilliers et dolomies (Lettenkohle et Muschelkalk sup. = Anisien supérieur-Ladinien)	

* basée sur les notations et le code couleur de la carte de Montbéliard (correspondances à droite)

Baume	Montbéliard	Lure	Vesoul	Lithologie	Stratigraphie
25 m	30 à 40 m	30 à 40 m	18 à 20 m	marnes grises à vertes dolomitiques	Keuper supérieur (t_9)
15 m			12 à 16 m	marnes rouges à gypse	
8 à 10 m	10 m	8 à 13 m	10 à 18 m	dolomie-moellon	Keuper moyen (t_8)
2 à 3 m	5 à 6 m		8 à 15 m	marnes rouges et bariolées	
0 à 6 m	10 m	12 m	3 à 19	grès à roseaux	
91 à 100 m	100 m	100 m	100 m	marnes irisées à sel et gypse	Keuper inférieur (t_7)
	9 m	10 m	12 à 25 m	dolomie-argiles à lignite	Lettenkohle

Tableau 1 : Lithostratigraphie comparée des quatre feuilles géologiques concernées par la concession

Les formations sous-jacentes non affleurantes ont été reconnues grâce à la coupe du sondage du Puits de la Saline de Mélecey-Fallon retrouvée dans les archives. Cette coupe a permis de décrire finement l'ensemble des lithologies de la pile sédimentaire jusqu'à une profondeur de 138 m environ (soit à la cote d'environ +171 m NGF). La colonne lithostratigraphique interprétée de cet ouvrage est présentée ci-après (**Figure 9**). Cette interprétation s'appuie notamment sur les données disponibles à travers l'analyse des notices géologiques associées aux quatre feuilles concernées (cf. **Tableau 1**). Les formations concernées par l'exploitation du sel gemme à Mélecey sont rattachées au Keuper inférieur (formation des Marnes irisées inférieures).

Lithologie	Épaisseur (m)	Stratigraphie interprétée	Profondeur de la base (m)	Altitude de la base (m)
terre végétale	2,30	Terrains superficiels (sols)	2,30	306,70
marne rouge	1,20	Marnes irisées supérieures à gypse et dolomie	3,50	305,50
marne grise mêlée de rouge et bleu	2,85		6,35	302,65
calcaire dolomitique plus dur	5,70	Dolomie-moellon	12,05	296,95
calcaire pourri jaune	0,65		12,70	296,30
calcaire bleu gris dur	5,60		18,30	290,70
schiste gris	1,35	Marnes irisées moyennes	19,65	289,35
schiste rouge	1,25		20,90	288,10
schiste gypseux	1,20		22,10	286,90
schiste houilleux	3,30	Grès à roseaux	25,40	283,60
houille	0,50		25,90	283,10
marne grise	2,30		28,20	280,80
schiste houilleux	0,35		28,55	280,45
marne rouge	2,35		30,90	278,10
grès gris marneux	2,40		33,30	275,70
gypse blanc	2,66	Marnes irisées inférieures à sel et gypse	35,96	273,04
gypse gris	4,70		40,66	268,34
gypse rouge	1,20		41,86	267,14
gypse gris marneux	5,00		46,86	262,14
gypse rouge	1,00		47,86	261,14
gypse noir marneux un peu salé	4,15		52,01	256,99
gypse rouge marneux mêlé de sel	6,40		58,41	250,59
gypse gris un peu salé	3,50		61,91	247,09
gypse noir entrecoupé de filons de sel	3,50		65,41	243,59
gypse et marne de différentes couleurs	57,00		122,41	186,59
sulfate de soude	0,40		122,81	186,19
cristal mêlé de marne	0,30		123,11	185,89
marne salifère	2,00		125,11	183,89
gypse très dur mêlé de coquilles	8,00	Lettenkohle ou Marnes irisées inférieures ?	133,11	175,89
marne noirâtre	1,50		134,61	174,39
filon de sel dans la marne	2,00		136,61	172,39
sel gris mêlé de marne	0,40		137,01	171,99
sel gemme pur	1,00		138,01	170,99

Figure 9 : Colonne lithostratigraphique interprétée du puits de la saline de Mélecey

2.2 Géologie structurale

La surrection du massif jurassien résulte de l'orogénèse alpine. Les mouvements tectoniques ont donc largement contribué à le façonner dès le Crétacé inférieur, tout d'abord en favorisant l'émersion de la plate-forme jurassienne, puis en provoquant le glissement vers l'ouest et le nord des dépôts carbonatés du jurassique et du Crétacé inférieur sur les dépôts évaporitiques du Trias (tectonique salifère ; cf. § 1.1).

Cette dynamique particulière a favorisé le morcellement de la couverture jurassique au comportement fragile en un système d'écailles formant un réseau de lanières et de faisceaux tectoniques suivant la direction jurassienne et se chevauchant les uns sur les autres.

Le secteur étudié se situe sur la marge septentrionale du massif jurassien, dans le prolongement des grands faisceaux jurassien. Au sud, le faisceau bisontin longe la vallée du Doubs à l'ouest et se prolonge de deux structures anticlinales vers l'est qui marquent le relief (anticlinaux de Lomont et de Clerval). Une vaste structure synclinale est-ouest prend appui sur le flanc nord de l'anticlinal de Clerval et s'amorce amplement vers le nord, offrant à l'affleurement la succession des terrains du Jurassique inférieur au Trias plus au nord.

La concession de Mélecey s'inscrit au sein de ce synclinal qui est largement entrecoupé de failles de direction subméridienne (Nord-Sud à N25°). De petites structures anticlinales isolées déforment localement les couches dans les compartiments délimités par le réseau de failles dans la région de Mélecey, Fallon et Grammont. Ces petits anticlinaux semblent liés à la présence de diapirs de sel. Sous l'effet des contraintes tectoniques régionales, les évaporites (sel, gypse, anhydrite) réagissent de manière souple (comportement ductile) et favorisent le glissement des formations carbonatées et gréseuses sus-jacentes, plus rigides. Ces dernières vont se fracturer et former un réseau de failles, tandis que les formations salifères vont tendre à migrer vers les zones de moindre contrainte en formant notamment des diapirs.

Plus vers le nord, les failles s'amortissent progressivement dans les formations plus souples du Keuper pour finalement disparaître. La limite entre les Marnes irisées supérieures (Norien) au nord et le Rhétien grés-argileux au sud est figurée en vert sur la carte de la **Figure 10**. La concession de MELECEY est quant-à elle matérialisée en rouge.

On constate également sur ce schéma structural que le réseau hydrographique est localement influencé par la fracturation (axe de certains cours d'eau longeant les failles, décalage du lit des cours d'eau).

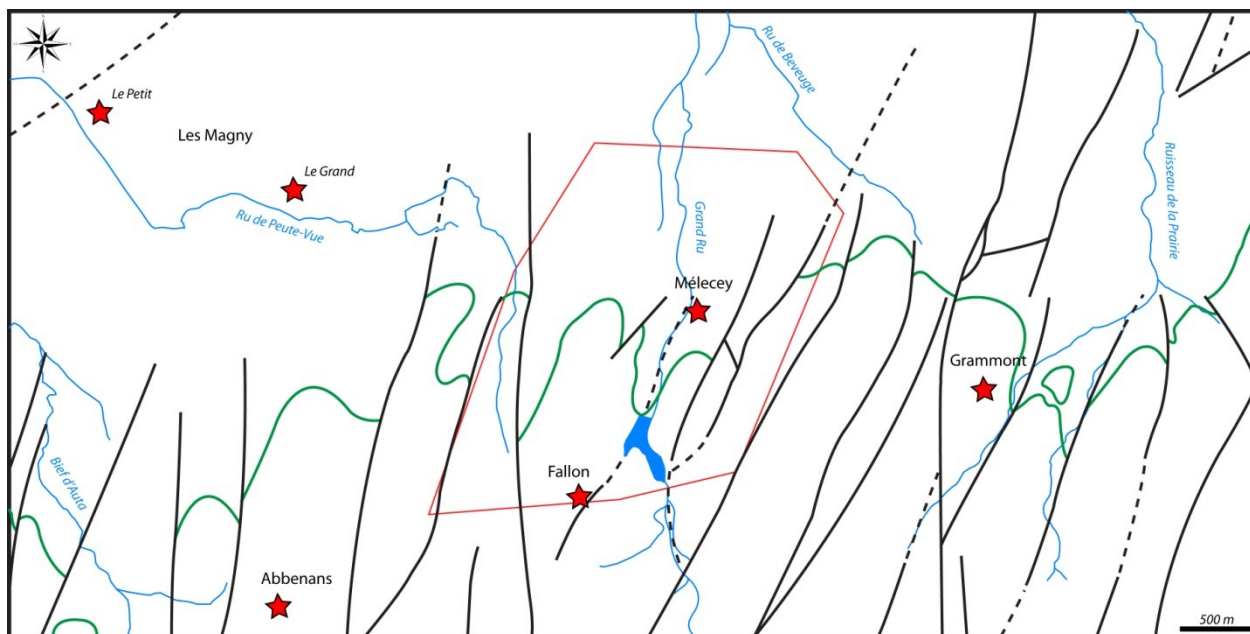


Figure 10 : Schéma structural du secteur d'étude (vert : limite Norien-Rhétien ; rouge : concession de Mélecey)

3 Synthèse du contexte géologique

Le secteur d'étude est localisé au sein d'une zone de transition géologique en bordure septentrionale de l'arc jurassien. Il est caractérisé par une déformation importante des calcaires jurassiques qui « glissent » sur une semelle marno-argileuse riche en évaporites (sel, gypse, anhydrite). La déformation se manifeste par la succession de structures anticlinales et synclinales globalement selon un axe est-ouest entrecoupées de fractures subméridiennes (Nord-Sud à N25°).

La concession de sel gemme de MELECEY est située sur le flanc nord d'un vaste synclinal dissymétrique qui se redresse brutalement sur son flanc sud pour former la structure anticlinale coiffée de Clerval. Cette configuration fait émerger les formations salifères du Keuper dans la région de Mélecey notamment. Les formations jurassiques sont également largement fracturées et localement déformées par la remontée de petits diapirs dans la région de Mélecey, Fallon et Grammont.

C'est la formation des marnes irisées inférieures (t_7 ou t_{5M} sur les cartes géologiques), riche en sel gemme, qui est exploitée par galeries à Mélecey. Cette formation affleure plus au nord et confère aux cours d'eau et sources de la région leur caractère salé.

CHAPITRE B : Étude hydrologique et hydrogéologique

1 Contexte hydrologique

1.1 Éléments de climatologie

Le climat de la région est de type semi-continental humide. Les températures y sont très contrastées entre les périodes estivales et hivernales. A Montbéliard, la moyenne annuelle des températures est de 9,8°C et varie en moyenne entre 0,7°C (janvier) et 18,7°C (juillet). Les précipitations sont relativement abondantes et assez bien réparties sur toute l'année (935 mm par an en moyenne contre 775 mm par an pour la moyenne métropolitaine). Celles-ci sont toutefois légèrement moins abondantes de février à avril, ainsi qu'en octobre.

Les données relatives à l'ensoleillement (durée d'insolation) proviennent de la station météorologique de Luxeuil (Haute-Saône), distante d'environ 30 km au nord de Mélecey, qui fournit un jeu de données cohérent pour la période 1991-2000. Un ensoleillement annuel moyen de 1 743,4 heures a donc été retenu sur cette période, mais il faut garder à l'esprit que les secteurs vallonnés sont sujets aux occurrences plus fréquentes du brouillard et à un ensoleillement moindre du au relief des coteaux.

1.2 Bilan hydrique

Les données hydroclimatiques suivantes, enregistrées au niveau des stations de Montbéliard (environ 23 km à l'est de Mélecey) et de Luxeuil (environ 30 km au nord de Mélecey), ont été utilisées pour établir le bilan hydrique local.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Température (°C)*	0,7	2,0	5,9	9,3	13,3	16,8	18,7	18,4	15,4	10,2	5,0	1,6	9,8
Pluies (mm)*	85	72	66	64	76	92	79	94	81	64	88	74	935
Durée d'insolation (heures)**	69,2	89,5	137,2	160,3	211	213,2	238,4	239,2	162,8	109,8	62,6	50,2	1743,4

* Station de Montbéliard / ** Station de Luxeuil

Tableau 2 : Données hydroclimatiques retenues à la station de Montbéliard

Dans un système à l'équilibre, les flux entrants sont équivalents aux flux sortants. Ainsi, les précipitations (P) correspondent à la somme des eaux de ruissellement (R), des eaux d'infiltration (I) et de la quantité d'eau évaporée sur une surface donnée (directement ou par transpiration des tissus végétaux : ETR pour « évapotranspiration réelle ») :

$$P = R + I + ETR$$

L'estimation de l'ETR n'est pas chose aisée. Cette valeur repose en effet sur plusieurs paramètres locaux dont notamment le type de couvert végétal, l'énergie solaire reçue ou encore la capacité des sols à stocker l'eau puis la restituer sous forme vapeur en période sèche. Le terme d'évapotranspiration potentielle (ETP) est donc introduit pour fixer une limite maximale au phénomène d'évapotranspiration. Plusieurs méthodes permettent d'estimer l'ETP à partir de l'insolation et des précipitations. Nous en avons retenu et

comparé deux (les méthodes de Thornthwaite, 1948 et de Turc, 1961) en considérant par simplification que l'ETP correspond à l'ETR dans tous les cas. Les moyennes mensuelles des pluies efficaces (somme des eaux ruisselées et des eaux infiltrées) ont ainsi pu être estimées. Le débit spécifique peut par la suite être approché comme suit :

$$Q_s = \frac{P_{eff\ 3} \times 10^6}{t}$$

Où t est le nombre de seconde correspondant au mois considéré et $P_{eff\ 3}$ est la pluie efficace représentative lissée sur le mois en cours et les deux mois précédents selon les proportions suivantes :

- 50% des pluies efficaces du mois considéré,
- 30% des pluies efficaces du mois m-1,
- 20% des pluies efficaces du mois m-2.

En première approche, les mois durant lesquels l'ETP est supérieure aux précipitations (période d'étiage), les pluies efficaces sont considérées comme nulles (l'ensemble des pluies est évaporé). Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant et illustrés par la **Figure 11** et la **Figure 12**.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Pluies (mm)	85	72	66	64	76	92	79	94	81	64	88	74	935
Durée d'insolation* (heures)	69,2	89,5	137,2	160,3	211	213,2	238,4	239,2	162,8	109,8	62,6	50,2	1743,4
Méthode de Turc													
ETP (mm)	2,4	8,6	33,0	58,2	89,1	105,3	112,9	103,4	67,5	35,1	14,0	4,4	633,8
Peff (mm)	82,6	63,4	33,0	5,8	-13,1	0,0	0,0	0,0	13,5	28,9	74,0	69,6	357,7
Peff ₃ (mm)	77,0	70,4	52,1	25,5	1,8	-2,8	-2,6	0,0	6,8	18,5	48,4	62,8	357,7
Qs (l.s ⁻¹ .km ⁻²)	28,7	28,8	19,4	9,8	0,7	-1,1	-1,0	0,0	2,6	6,9	18,7	23,4	11,4
Méthode de Thornthwaite													
ETP (mm)	1,8	6,1	25,9	47,9	81,3	107,0	121,4	109,4	76,5	43,3	16,5	4,3	641,4
Peff (mm)	83,2	65,9	40,1	16,1	-5,3	0,0	0,0	0,0	4,5	20,7	71,5	69,7	366,4
Peff ₃ (mm)	76,8	71,8	56,5	33,3	10,2	1,6	-1,1	0,0	2,2	11,7	42,9	60,4	366,4
Qs (l.s ⁻¹ .km ⁻²)	28,7	29,4	21,1	12,8	3,8	0,6	-0,4	0,0	0,9	4,4	16,5	22,6	11,7

* ce paramètre provient de la station météorologique de Luxeuil.

Tableau 3 : Données hydroclimatiques utilisées et calculées

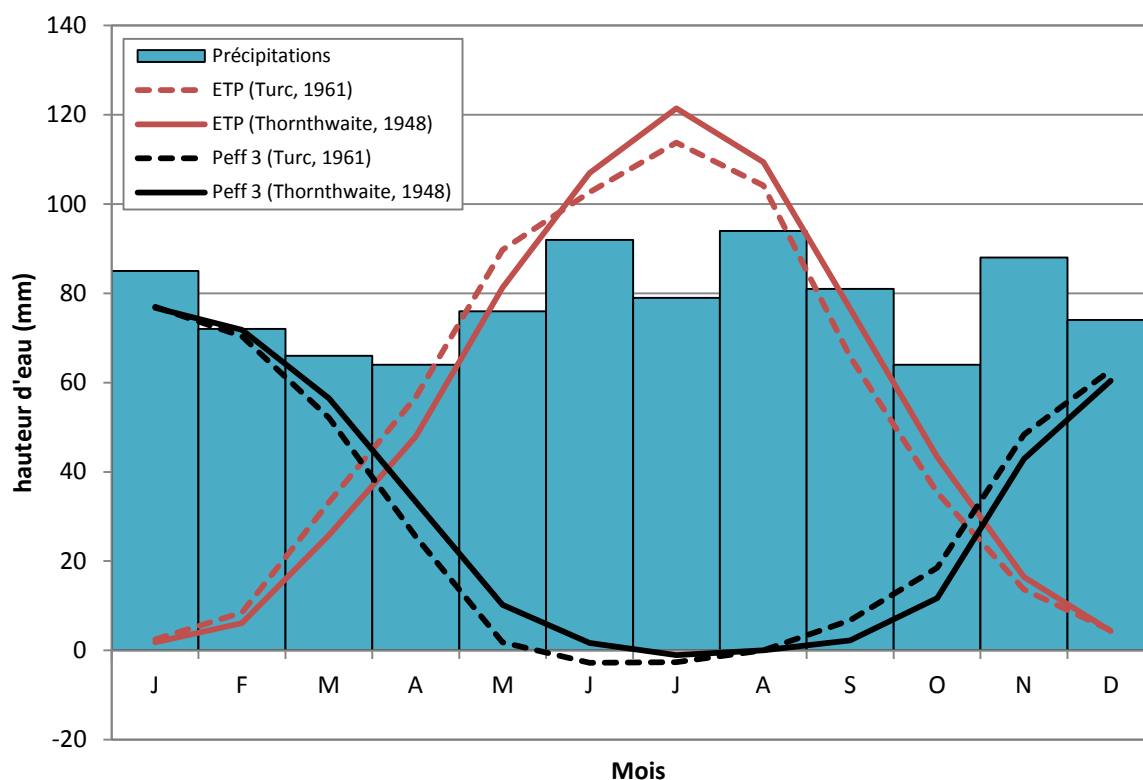


Figure 11 : Bilan hydroclimatique local comparé selon les méthodes de Turc et de Thornthwaite

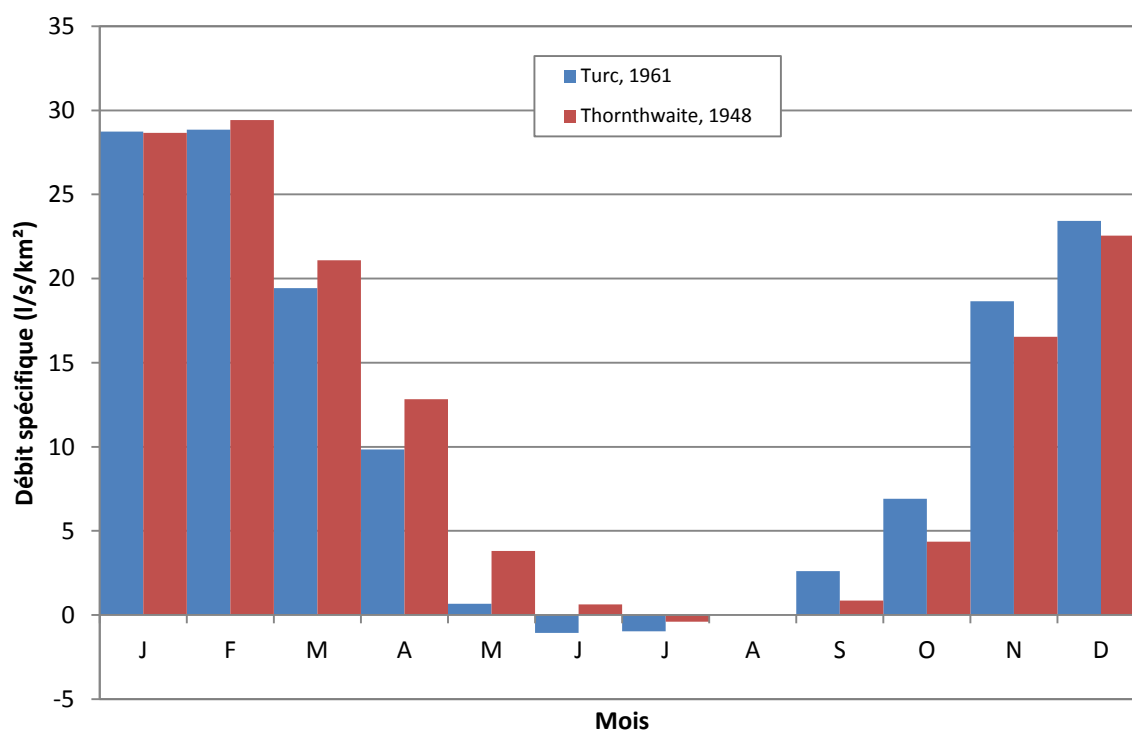


Figure 12 : Débits spécifiques mensuels moyens estimés sur le bassin versant

1.3 Réseau hydrographique

1.3.1 A l'échelle du bassin versant de l'Ognon

Le secteur étudié est situé au sein du bassin versant de l'Ognon, affluent en rive gauche de la Saône d'environ 214 km de longueur. Ce bassin versant s'étend sur une superficie totale d'environ 2 075 km² et son exutoire correspond à la confluence avec la Saône sur la commune de Heuilley-sur-Saône. L'Ognon prend naissance sur les contreforts sud-ouest du massif des Vosges à 904 m d'altitude, sur la commune de Château-Lambert (« Tête des Noirs Étangs »).

Le diagramme suivant (**Figure 13**) présente l'évolution mensuelle moyenne comparée des débits de l'Ognon enregistrés sur la période 1964-2007 aux stations hydrologiques de Pesmes (n°U1084010, bassin versant de 1 970 km²) bien en aval hydraulique de la concession de MELECEY à proximité de la confluence avec la Saône, et de Chassey-lès-Montbozon (n°1044010, bassin versant de 866 km²) la plus proche de la concession (environ 10 km à l'ouest de Mélecey). On constate que le débit moyen de l'Ognon présente une période d'étiage marquée en août et des débits relativement stables durant l'hiver et jusqu'au printemps jusqu'en mars. Cette relative stabilité indique une influence de la fonte des neiges des contreforts du massif vosgien qui soutient le débit assez tardivement.

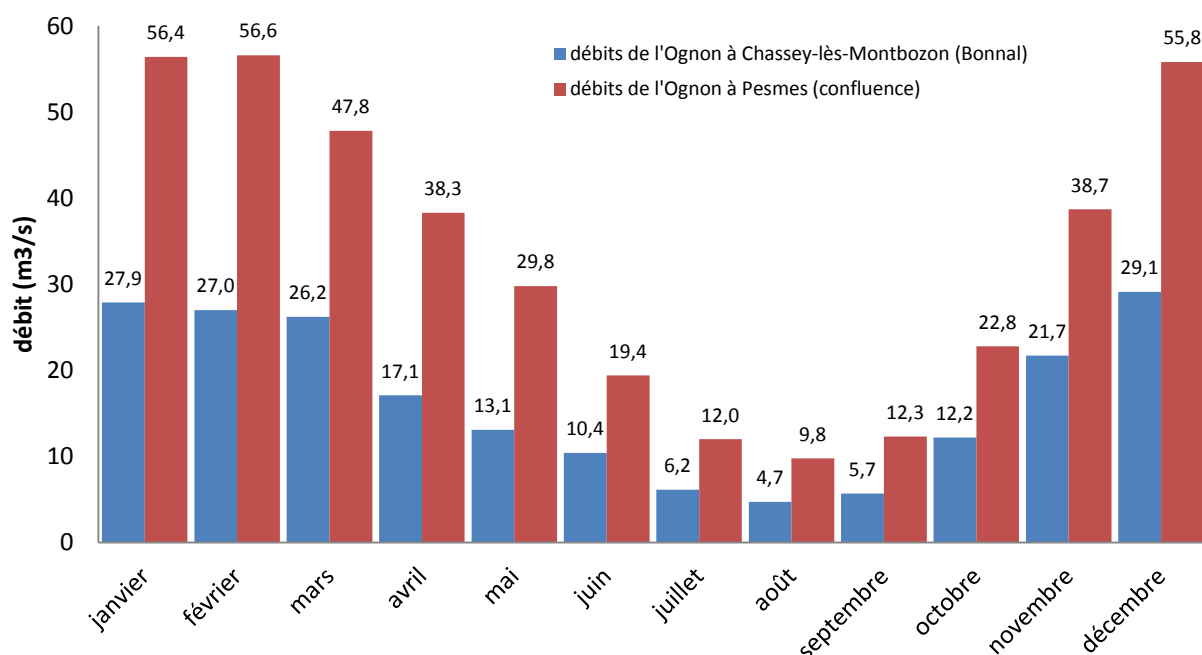


Figure 13 : Hydrogrammes des débits mensuels moyens de l'Ognon pour la période 1964-2007 (source : Banque Hydro)

A la station de Chassey-lès-Montbozon, le débit moyen (ou module) est d'environ 16,7 m³/s et les débits mensuels moyens varient de 4,7 m³/s en période d'étiage (août) à 29,1 m³/s en période de hautes eaux (décembre). Ils peuvent même atteindre jusqu'à 300 m³/s sur des épisodes journaliers ponctuels et exceptionnels. La lame d'eau qui s'écoule annuellement sur le bassin versant en amont de la station est d'environ 611 mm (524 mm pour

l'ensemble du bassin versant de l'Ognon) et le débit spécifique¹ atteint $19,3 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ ($16,7 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ pour l'ensemble du bassin versant de l'Ognon).

La nappe alluviale d'accompagnement de l'Ognon circule à travers différents *substrata* durant son parcours depuis les faciès magmatiques et métamorphiques du socle vosgien jusqu'aux faciès sédimentaires variés du Paléozoïque (Vosges), du Mésozoïque (secteur d'étude par exemple) et du Cénozoïque (extrémité nord du bassin bressan).

1.3.2 A l'échelle de la zone d'étude

Dans le détail, la concession de sel gemme de MELECEY couvre deux sous bassins versants distincts :

- Le sous bassin versant du Grand Ru qui conflue avec le ruisseau de Beveuge, affluent du Rognon (ou du Scey) en rive gauche, lui-même affluent de l'Ognon. Ce bassin versant est rattaché au sous-secteur hydrographique de l'Ognon du Rahin au Lauzin inclus (jaune sur la **Figure 14**). Le Grand Ru prend sa source au sud de la concession sur les hauteurs des communes de Fallon et de Bournois, et s'écoule vers le nord pour rejoindre le Ru de Beveuge.
- Le sous bassin versant du ruisseau de Bilbois (ou de Peute-Vue), affluent direct de l'Ognon en rive gauche. Ce bassin versant est rattaché au sous-secteur hydrographique de l'Ognon du Lauzin à la Linotte incluse (rouge sur la **Figure 14**). Ce cours d'eau prend sa source sur le flanc de la côte de Montvaudon (communes d'Abbenans et de Fallon). Il s'écoule vers le nord en longeant la bordure occidentale de la concession avant de bifurquer vers l'ouest vers les Magny et de confluer avec l'Ognon.

Le ruisseau de Bournois forme une étendue d'eau artificielle sur la concession juste à l'est du bourg de Fallon (étang de Fallon). Au sortir de ce plan d'eau, le cours d'eau prend le nom de Grand Ru.

Enfin, des lagunes d'épuration des eaux ont été aménagées le long du Grand Ru au nord du bourg de Mélecey. Cette station d'épuration (code n°060970336002) traite les eaux pour une capacité équivalente de 700 habitants.

¹ Le débit spécifique ou Q_{sp} mesure l'écoulement moyen des précipitations au sein d'un bassin versant. Il se définit comme étant le volume d'eau qui s'écoule en moyenne chaque seconde par kilomètre carré de bassin versant.

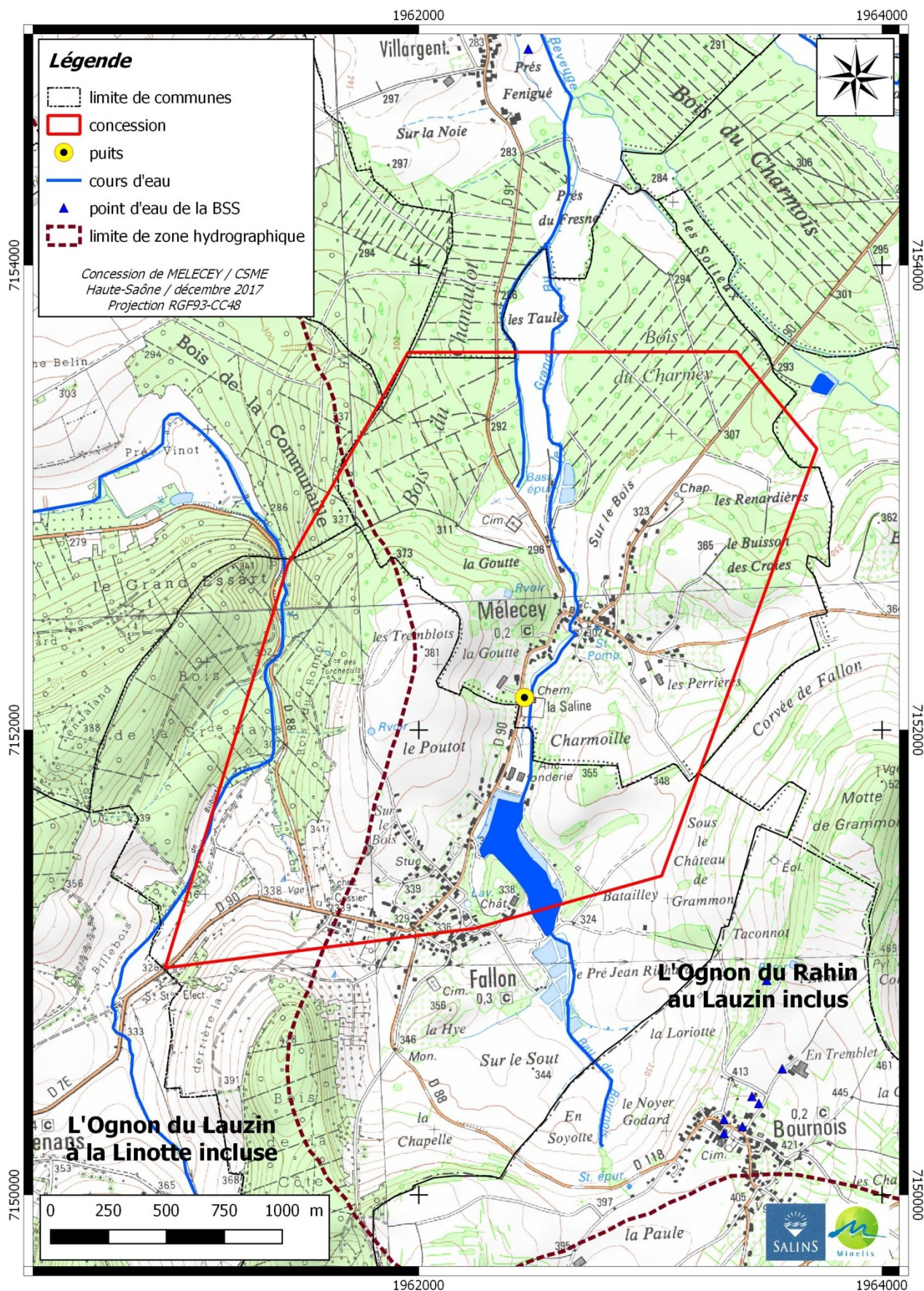


Figure 14 : Carte du réseau hydrographique sur l'emprise de la concession

1.4 Qualité des eaux superficielles

1.4.1 A l'échelle du bassin versant de l'Ognon

L'Ognon, rivière longue de 214 km depuis sa source à sa confluence avec la Saône, traverse des *substrata* variés (socle, sédiments carbonatés, gréseux, argileux, etc.) et est alimenté par de nombreux cours d'eau tout au long de son parcours, dont les sous-bassins versants concernés par l'emprise de la concession de MELECEY.

La base de données Naiades disponible via le portail en ligne « Eaufrance »² a été consultée afin de préciser les valeurs mesurées de conductivité et les teneurs en sulfates et en chlorures dans les eaux de l'Ognon. Les résultats obtenus sur trois stations représentatives et pour les campagnes d'avril et d'octobre entre 2015 et 2017 sont présentés dans le **Tableau 4**. L'évolution de la conductivité et des concentrations en chlorures et en sulfates dans les eaux de l'Ognon est illustrée par les profils longitudinaux de la **Figure 15**.

Station de prélèvement	Position	Date de la mesure	T (°C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Chlorures (mg/L)	Sulfates (mg/L)
Ognon à Les Aynans 2 (station 6007000)	Amont	14/04/2015	10,9	107	7,7	4	12,7
		08/10/2015	12,8	314	7,3	7,5	49
		08/04/2016	7,8	83	7,5	3,2	9,1
		10/10/2016	9,5	328	7,3	9,7	45,9
		07/04/2017	10,3	149	7,6	6,2	17,4
Ognon à Moimay (station 6433920)	Aval de la confluence avec le Rognon	14/04/2015	11,6	178	7,6	4,4	16,2
		08/10/2015	13,4	351	7,9	9,9	49,3
		08/04/2016	8,8	155	7,8	3,7	13,4
		10/10/2016	9,7	355	8,2	11,1	44,6
		07/04/2017	10,5	207	8,1	6,7	21,1
Ognon à Chassey-lès-Montbozon (station 6425800)	Aval de la confluence avec le ruisseau de Bilbois	14/04/2015	11,9	195	7,8	5,4	18,9
		08/10/2015	14	359	7,9	11,4	46,9
		08/04/2016	8,9	178	7,9	4,2	15,5
		10/10/2016	10	391	7,9	15,2	47,1
		07/04/2017	10,4	231	7,9	7,5	23

Tableau 4 : Mesures et analyses d'eau réalisées sur l'Ognon (source : base Naiades)

Ces valeurs montrent sans ambiguïté que la conductivité augmente régulièrement de l'amont vers l'aval et de manière plus significative après la confluence avec le Rognon. Ces évolutions semblent essentiellement liées à un apport de chlorures dans les eaux provenant des affluents de l'Ognon et/ou du substratum traversé par l'Ognon. Les teneurs en sulfates augmentent également sensiblement d'amont en aval mais dans des proportions moindres quelles que soient les périodes de mesure. En tout état de cause, l'augmentation de la minéralisation des eaux de l'Ognon semble naturelle et progressive, liée aux multiples apports des affluents (Rognon/Scey, ruisseau de Bilbois/Peute-vue notamment) qui jalonnent son parcours à travers le *substratum* triasique naturellement riche en sulfates et en chlorures.

² <http://www.naiades.eaufrance.fr/>

Les données de débit sont également disponibles à la station de Chassey-lès-Montbozon située en aval du ruisseau de Bilbois (ou ru de Peute-vue). Ces valeurs permettent de calculer les flux de chlorures et de sulfate dissous dans les eaux de l'Ognon (cf. **Tableau 5**). Malheureusement, nous ne disposons pas des débits sur les autres stations concernées plus en amont.

Date de prélèvement	Débit (m ³ /s)	Concentrations (mg/L)		Flux (kg/s)	
		Chlorures	Sulfates	Chlorures	Sulfates
14/04/2015	10,6	5,4	18,9	0,06	0,20
08/10/2015	3,39	11,4	46,9	0,04	0,16
08/04/2016	23,1	4,2	15,5	0,10	0,36
10/10/2016	1,61	15,2	47,1	0,02	0,08
07/04/2017	8,48	7,5	23	0,06	0,20

Tableau 5 : Calcul des flux de chlorures et sulfates dans les eaux de l'Ognon à la station de Chassey-lès-Montbozon (aval du Bilbois)

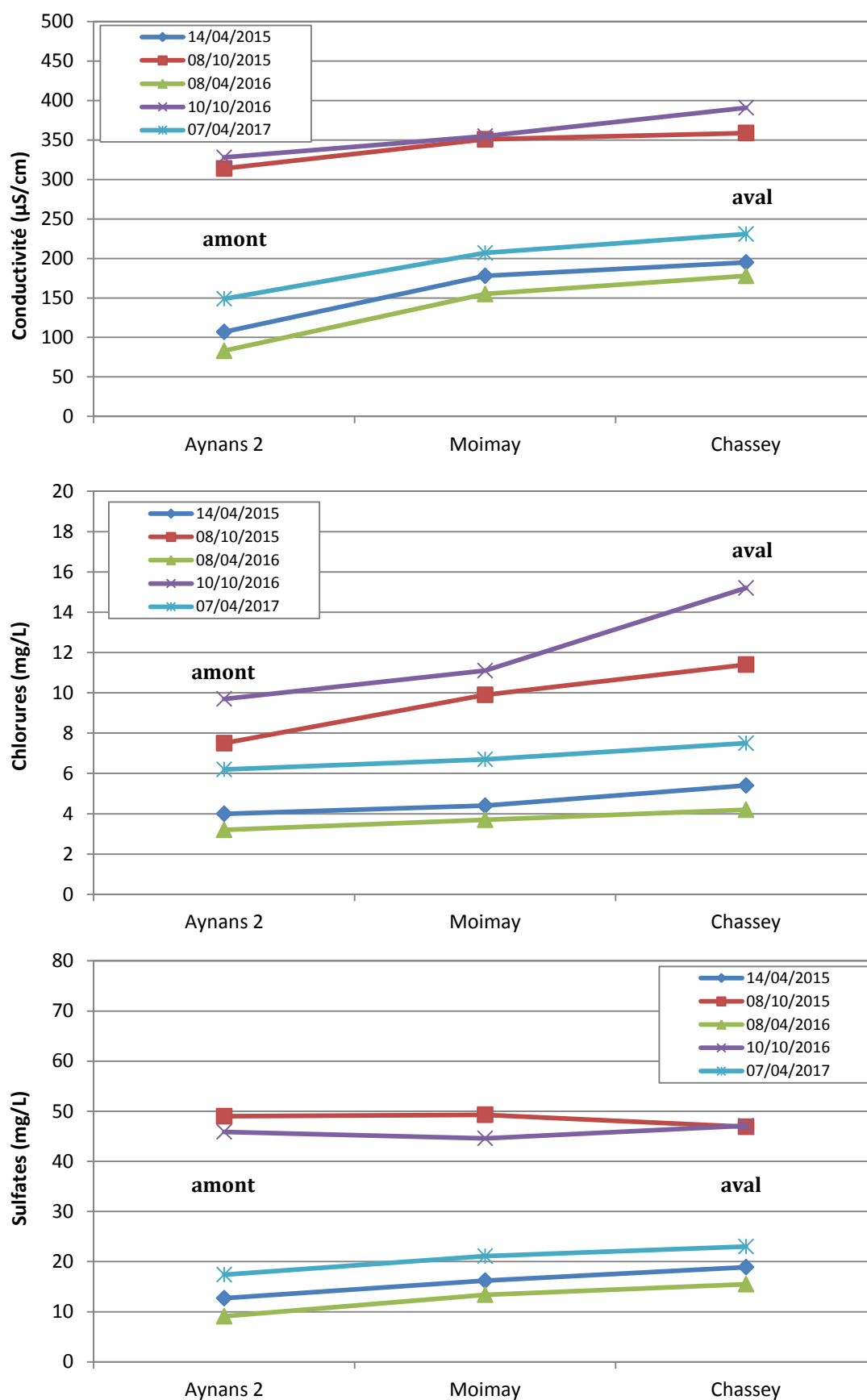


Figure 15 : Évolution de la conductivité et des concentrations en sulfates et chlorures d'amont en aval dans les eaux de l'Ognon entre avril 2015 et avril 2017

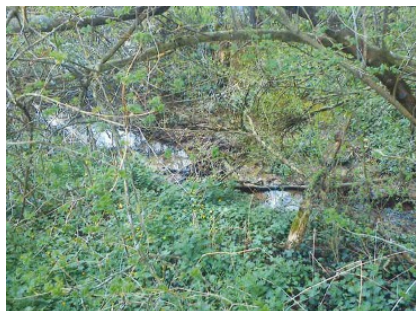
1.4.2 A l'échelle de la zone d'étude

Il n'existe pas à ce jour de suivi régulier et complet de la qualité des eaux du Grand Ru, pas plus que du ruisseau de Bilbois (ou de Peute-Vue) ou du ruisseau de Beveuge plus en aval. CSME a donc entrepris des campagnes de mesure de conductivité et d'analyse des eaux de surface sur et autour de la concession le 18 avril 2013, le 26 octobre 2017 et le 23 janvier 2018. Ces campagnes se sont bornées à préciser la valeur des paramètres suivants en 14 points répartis sur le bassin versant du Grand Ru : conductivité, température et pH de l'eau, teneurs en sulfates et en chlorures. Les photographies de la **Figure 16** et la carte de la **Figure 17** illustrent la localisation et la configuration des points de prélèvement et de mesure.

La campagne d'avril 2013 a permis d'établir un état des lieux assez complet de la qualité des eaux superficielles du bassin versant du Grand Ru, tandis que celles d'octobre 2017 et de janvier 2018 sont venues compléter les données juste en amont et en aval de la Saline de Mélecey au sein de laquelle se trouvait le Puits. Le **Tableau 6** présente la synthèse des mesures et des analyses réalisées pour chaque point.

La **Figure 18** illustre l'évolution de la conductivité des eaux du Grand Ru depuis sa source jusqu'à la sortie du bourg de Mélecey au niveau de la RD 90, en passant par la Saline. Ce profil a été établi à partir de neuf points de prélèvement et de mesure situés dans le lit du Grand Ru (A, B, C, E, G, H, I, J et K). Les cinq autres points de mesure correspondent à des points d'eau ou des écoulements localisés en marge du lit du Grand Ru (lignes grisées dans le **Tableau 6**) :

- Le point D correspond aux eaux d'un petit affluent en rive gauche du Grand Ru qui conflue au niveau de la série de bassins située en amont de l'étang de Fallon ;
- Le point F correspond aux eaux de l'ancien lavoir de Fallon ;
- Les points L, M et N correspondent aux eaux d'un petit fil d'eau partiellement canalisé et non précisé sur la carte IGN au 1/25000, mais identifié lors des campagnes à proximité de la saline de Mélecey. Ces eaux rejoignent le Grand Ru juste en aval hydraulique de la Saline.



Point A (amont du Grand Ru)



Point B (abreuvoir)



Point E (amont de l'étang de Fallon)



Point G (amont de la Saline)



Point H (aval de la Saline)



Point J (bourg de Mélecey)



Point F (lavoir de Fallon)



Point L (fil d'eau près de la Saline)

Figure 16 : Photographies de quelques points de mesure/prélèvement

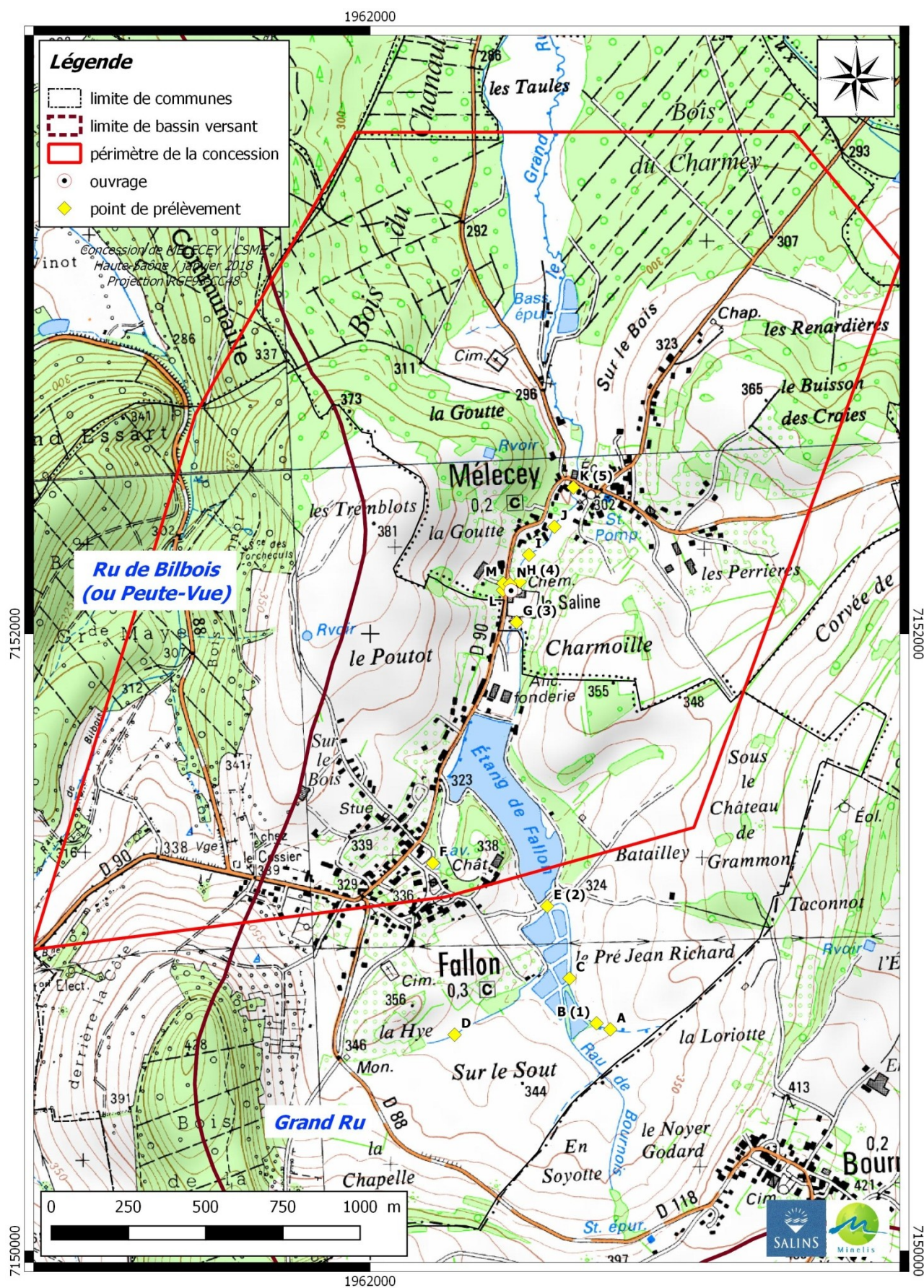


Figure 17 : Carte de localisation des points de mesure et prélèvement d'eau

De prime abord, les résultats montrent que la conductivité du Grand Ru est globalement assez élevée avec des valeurs comprises entre 273 et 981 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces conductivités sont à mettre en relation avec la minéralisation des eaux, essentiellement des sulfates et des chlorures. Il est notable que les mesures *in situ* de la campagne de janvier 2018 présentent des valeurs de conductivité bien plus faibles que lors des campagnes antérieures (273 à 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au maximum). Ce phénomène s'explique par les débits importants des cours d'eau à ce moment (épisode de crue) et donc une diminution des minéralisations par effet de dilution. Ces données sont toutefois exploitables en termes d'évolution longitudinale.

N° point de mesure (prélèvement)	Date de mesure ou de prélèvement	mesures <i>in situ</i>		analyses laboratoire			
		T (°C)	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Chlorures (mg/L)	Sulfates (mg/L)
A	18 avril 2013	11,1	540				
B (point 1)	18 avril 2013	11,5	534	456	8,2	10,1	21
C	18 avril 2013	14	490				
D	18 avril 2013	12,3	475				
E (point 2)	18 avril 2013	14,5	475	523	7,9	< 5	27
F	18 avril 2013	12,8	588				
G (amont saline : point 3)	18 avril 2013	15,1	373	368	8,3	7,6	23
	26 octobre 2017	9,5	660	462	8,2	40,4	40
	23 janvier 2018	8,1	273				
H (aval saline : point 4)	18 avril 2013	15,1	400	476	8,2	8,4	88
	26 octobre 2017	9,5	730	452	8,2	39,7	82
	23 janvier 2018	7,8	281				
I	18 avril 2013	15,5	400				
J	23 janvier 2018	8,6	320				
K (point 5)	18 avril 2013	17	754	981	8,3	359,5	37
	23 janvier 2018	8,6	309				
L	18 avril 2013	16,2	795				
M	18 avril 2013	14,5	850				
N	23 janvier 2018	7,1	308				

Tableau 6 : Mesures et analyses d'eau réalisées sur la concession (points reportés sur la Figure 17)

Le profil longitudinal de la **Figure 18** permet de constater les éléments suivants pour le Grand Ru :

- Les valeurs de conductivité mesurées *in situ* sont cohérentes avec celles mesurées en laboratoire. Une légère décroissance continue est observée le long du Grand Ru jusqu'en aval de la Saline de Mélecey (d'environ 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au point A à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au point I en avril 2013). Le point K (le plus en aval) présente en revanche de fortes valeurs de conductivité (981 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mesurés en laboratoire en avril 2013) à

rapprocher avec des teneurs élevées en chlorures (359,5 mg/L), neuf fois plus élevées qu'au point H plus en amont (39,7 mg/L). Cette anomalie n'a cependant pas été identifiée lors de la campagne *in situ* de janvier 2018 (conductivités stables entre les points G et K).

- Les teneurs en sulfates augmentent significativement entre l'amont et l'aval immédiats de la Saline (de 40 à 82 mg/L en octobre 2017 : fois 2 ; et de 23 à 88 mg/L en avril 2013 : fois 3,8), tandis que les teneurs en chlorures demeurent stables. Cette augmentation se traduit par une augmentation de la conductivité.

Les eaux du petit ru provenant du flanc est de la colline située à l'ouest de Mélecey (points L et M) présentent une conductivité et donc une minéralisation plus élevée que celle du Grand Ru (795 à 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Cette observation est confirmée par la campagne de janvier 2018 au niveau du point N. Ces eaux, d'origine rhétienne, traversent la formation affleurante des marnes irisées supérieures (riche en gypse et anhydrite) et se minéralisent au passage avant de rejoindre le Grand Ru après le passage de la Saline.

A l'image de ce petit cours d'eau, d'autres petites émergences minéralisées situées sur les flancs du coteau peuvent également contribuer à augmenter la minéralisation du Grand Ru, soit par infiltration, soit par déversement direct dans le Grand Ru en aval de la Saline. De tels écoulements superficiels (ruissellements et infiltrations) en provenance de la butte des Tremblots située à l'ouest sont visibles lors d'épisodes pluvieux et ont été mis en évidence lors de la campagne de janvier 2018. Les ruissellements observés sur la chaussée et en bordure renforcent cette hypothèse.

L'évolution des teneurs en chlorures entre les points I et J (neuf fois plus élevées) pourrait ainsi s'expliquer par ces apports minéralisés particulièrement riches en chlorures (les sulfates restant stables). Toutefois, les valeurs de conductivité de la campagne de janvier 2018 ne montrent pas une telle évolution dans le Grand Ru. Une alternative serait qu'un apport ponctuel d'origine anthropique en soit la cause. Cet apport n'est en revanche manifestement pas lié à la saline et aux travaux miniers car il est situé bien plus en aval, au niveau du bourg de Mélecey.

Par ailleurs, le contexte très fracturé du secteur d'étude facilite les écoulements souterrains. Les failles jouent un rôle de drains préférentiels en favorisant les circulations verticales d'eau et en mettant en relation les eaux superficielles avec les formations géologiques riches en gypse, anhydrite et sel gemme plus profondes. L'émergence de ces eaux minéralisées en fond de vallée peut également constituer un facteur de minéralisation non négligeable des eaux du réseau hydrographique superficiel.

Enfin, on peut souligner que les apports en eaux d'origine liasique réalisés en amont et au niveau de l'étang de Fallon (point D et F) sont peu minéralisés, bien que celles du lavoir (point F) le soient un peu plus, possiblement par un écoulement plus long au sein des formations rhétiennes et au niveau du toit des Marnes irisées supérieures.

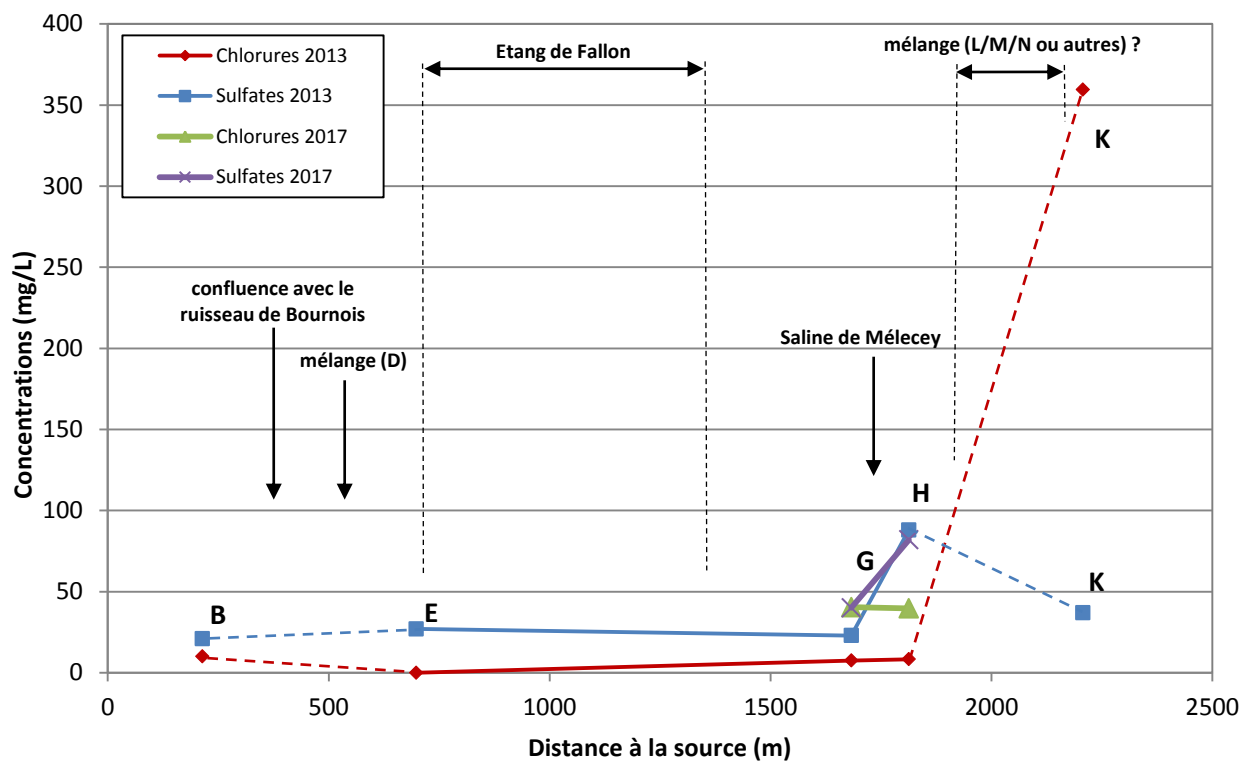
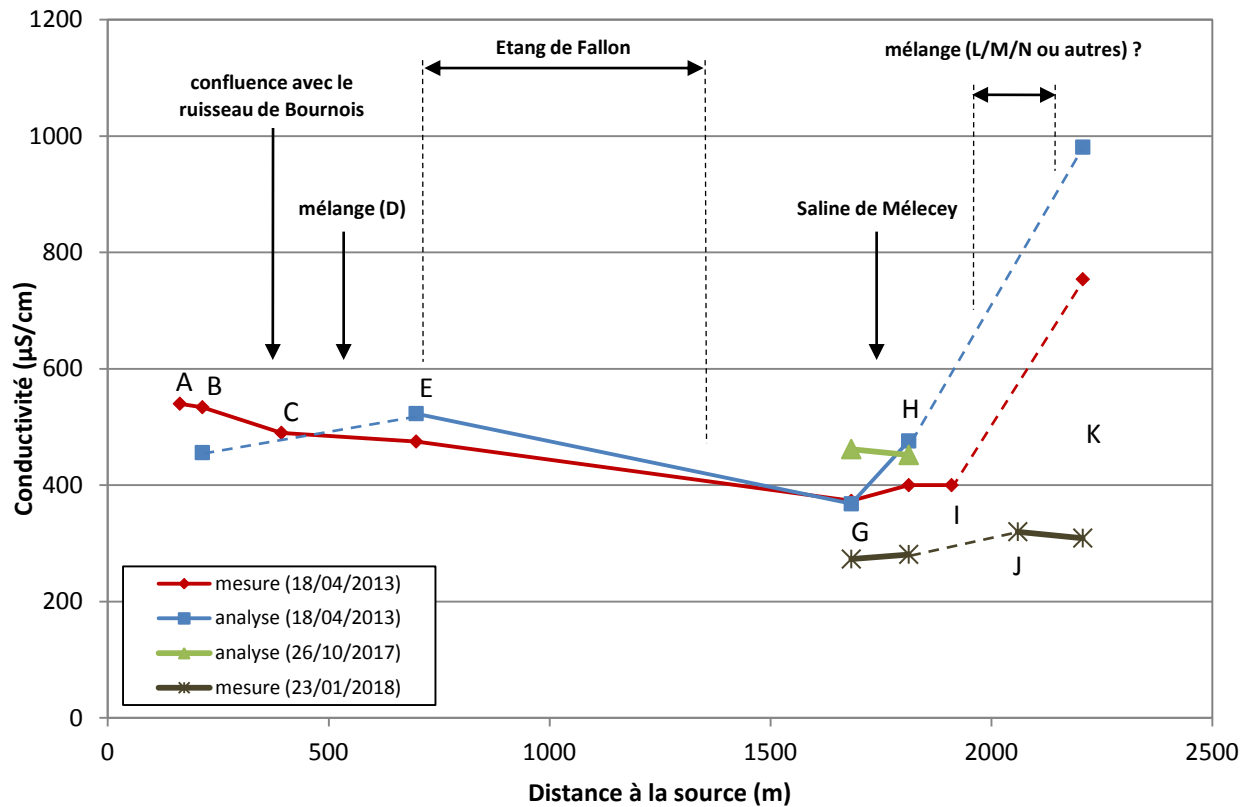
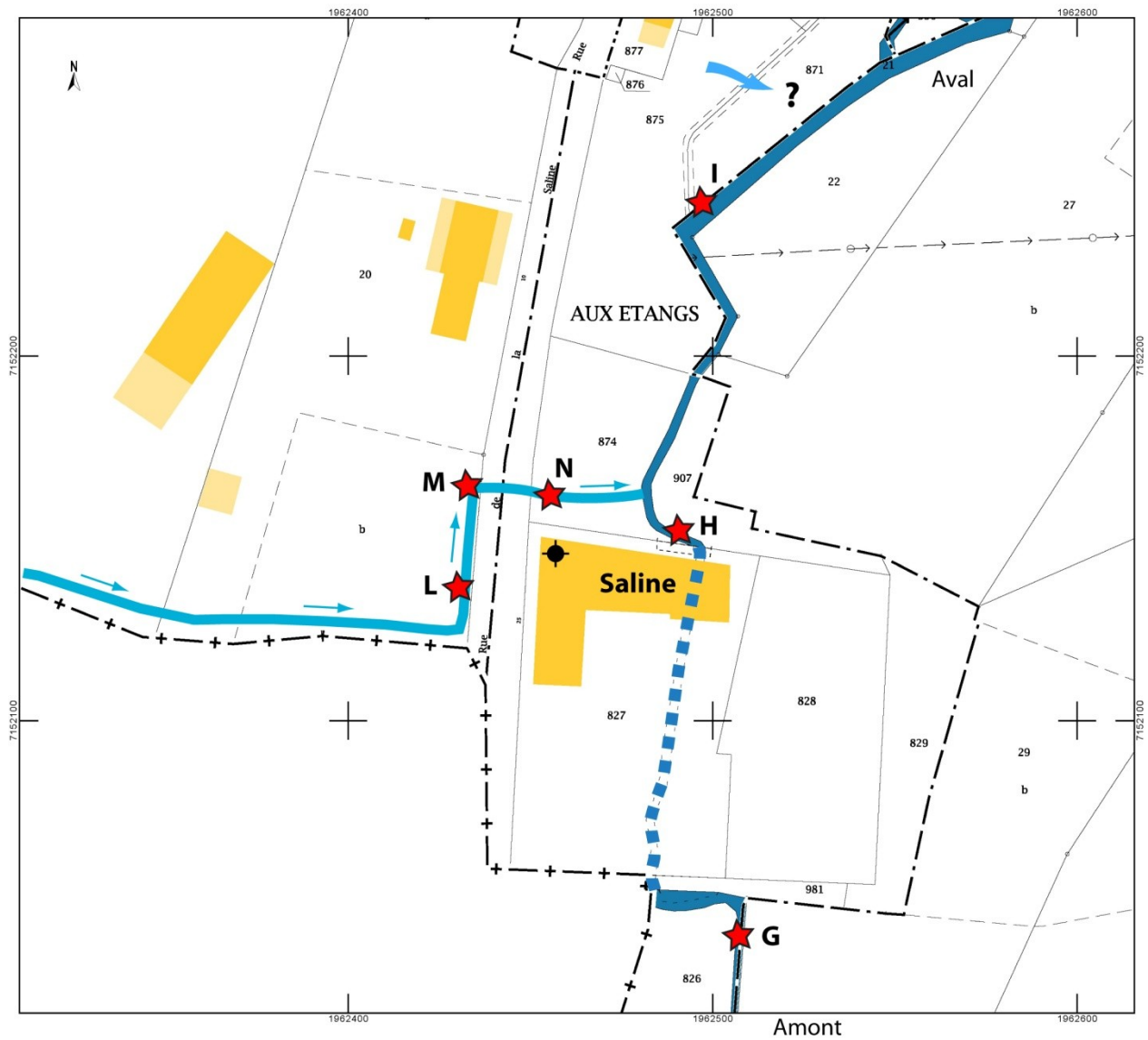


Figure 18 : Profil longitudinal de la conductivité des eaux du Grand Ru (points reportés sur la Figure 17)



Légende

- Réseau hydrographique
- ? Infiltrations d'eaux superficielles possibles
- ★ Point de mesure
- Puits de la saline

Figure 19 : Schéma de détail du secteur de la saline de Mélecey

2 Contexte hydrogéologique

2.1 Principaux aquifères de la région

Le fonctionnement hydrogéologique de la région est relativement complexe car il repose sur des lithologies variées dans un contexte fracturé avec des aquifères aux comportements très divers, parfois karstiques (calcaires jurassiques et triasiques) et parfois plus continus (alluvions, grès).

La concession de MELECEY comporte deux masses d'eau souterraines distinctes :

- La masse d'eau dite des « marnes triasiques et liasiques des Avants-Monts du Jura-Ognon rive gauche » (code 513AE00) qui s'étend sur environ 191 km² entre les vallées du Doubs au sud et de l'Ognon au nord. Cette masse d'eau souterraine correspond à une entité hydrogéologique libre mais localement captive en milieu poreux.
- La masse d'eau non productive dite des « alluvions fluviatiles actuelles et récentes » (code 040AI67) correspond aux eaux qui circulent dans les alluvions holocènes notés Fz sur la carte géologique (vallon du Grand Ru, du ruisseau de Peute-vue et de leurs affluents). Cette masse d'eau souterraine correspond à une entité hydrogéologique libre en milieu alluvionnaire.

D'une manière générale, les aquifères principaux suivants sont identifiés dans la région d'étude :

Les aquifères du Trias inférieur :

Les **grès du Trias inférieur (Buntsandstein)** forment un aquifère qui offre des eaux de bonne qualité en quantité importante. Pour cette raison, il est exploité pour l'alimentation en eau potable (AEP). Dans le secteur d'étude, cet aquifère est exploité plus au nord et au nord-est de la concession à Mignavillers, Moffans, Faymont, Lomont, Courmont, Héricourt, etc.

En rive gauche de l'Ognon au nord-ouest de la concession, les **calcaires coquilliers du Muschelkalk** (calcaires à entroques et cératites) présentent des développements karstiques importants avec de nombreuses dolines et pertes dans la région de Villersexel, Villers-la-Ville ou Les Magny juste au nord-ouest de la concession. Les résurgences karstiques présentent des eaux fortement minéralisées résultant de la dissolution des évaporites et circulant souvent dans les niveaux dolomitiques très altérés.

Les aquifères du Keuper :

De petites sources de faible débit circulent à travers les **grès à roseaux** du Keuper moyen. Ces sources très minéralisées ne sont pas utilisées pour l'AEP.

La **dolomie-moellon** constitue un petit aquifère localement karstifié fournissant des eaux magnésiennes en lien avec la composition de la dolomie.

Les **grès rhétiens** fournissent de nombreuses petites sources d'assez faible débit, mais dont l'eau est d'assez bonne qualité. Ces sources sont localement exploitées (en dehors de la concession) et elles alimentent de manière non négligeable le réseau hydrographique dans le secteur d'étude notamment. C'est par exemple le cas du ru qui alimente l'amont de l'étang de Fallon et sur lequel les eaux ont été prélevées (point D).

Signalons enfin que les puissantes formations de **marnes irisées** du Keuper permettent la circulation des eaux d'infiltration. Les évaporites et dolomies présentes en quantité dans ces formations subissent une dissolution plus ou moins intense. Les eaux douces qui s'infiltrent au sein de ses couches se minéralisent ainsi naturellement et de manière parfois très importante. Ces eaux salées ne peuvent être utilisées en agriculture ou en AEP, mais étaient exploitées par pompage suite à l'ennoisement du puits de la Saline de Mélecey.

Les aquifères du Jurassique :

De modestes circulations existent également dans les calcaires à gryphées du Lias inférieur (circulations karstiques) et à la base des « schistes carton ». Ces aquifères sont de dimensions restreintes et de qualité médiocre. Elles ne sont que fort peu utilisées en général et pas du tout dans le secteur d'étude.

Les **calcaires jurassiques** qui forment le plateau de Vesoul au nord-ouest, en rive droite de l'Ognon, sont le siège d'importantes circulations karstiques facilitées par la fracturation. Ces circulations souterraines sont alimentées par des dolines et des pertes sur le plateau et offrent des exurgences de débits parfois importants (Borey, Longeville, Saint-Sulpice, Moimay, Oppenans, etc.). Bien que fortement dépendant de la pluviométrie, les débits de ces eaux karstiques sont globalement intéressants pour l'exploitation. En revanche, leur qualité est globalement médiocre (eaux dures riches en calcium et magnésium et parfois turbides lors d'épisodes de fortes précipitations).

Les aquifères du Quaternaire :

La **nappe alluviale de l'Ognon** est également largement exploitée (Autrey-le-Vay, Esprels, Les Aynans, etc.). Aucun ouvrage de prélèvement des eaux souterraines n'est recensé sur le périmètre de la concession.

2.2 Les circulations d'eaux salées

Les sources salées sont connues depuis l'antiquité et certainement même avant (sources salées de Saulnot à l'est de Mélecey par exemple). Elles sont particulièrement exploitées à partir des XII^{ème}-XIII^{ème} siècles.

L'existence même de ces sources salées démontre qu'il existe des circulations d'eaux salées en profondeur atteignant localement la surface dans les points topographiques bas, ou au niveau de certaines résurgences situées dans les formations du Keuper notamment. Les circulations souterraines dans le secteur d'étude demeurent mal connues et sont essentiellement contrôlées et favorisées :

- par le réseau de fracturation particulièrement développé résultant d'une tectonique active et relativement intense dans la région ;

- par la dissolution progressive des sulfates et du sel par les eaux météoriques, qui contribue à augmenter la perméabilité des couches et à la création de chenaux de circulations préférentielles.

On ne peut pas véritablement parler de nappe salée homogène : il s'agit davantage de circulations localisées et diffuses liées à la dissolution naturelle du sel par les eaux météoriques infiltrées.

Si le gisement de Mélecey fut initialement exploité par abattage souterrain à sec, les venues d'eau signalées dans le puits de la saline en 1862 illustrent la présence de circulations souterraines d'eau. Celles-ci peuvent aboutir à la dissolution active des chlorures et des sulfates (sel gemme, gypse et anhydrite) contenus dans les formations du Keuper notamment et contribuer à saturer des eaux initialement douces ou faiblement minéralisées. La mise en communication d'eaux souterraines avec les galeries a abouti à la formation d'un réservoir d'eaux salées au droit du puits de la saline de Mélecey, poussant à l'exploitation du sel par pompage et évaporation de la saumure.

De telles circulations opèrent fort probablement en profondeur. Le dense réseau de fracturation tend à favoriser les circulations verticales (ascendantes ou descendantes) le long des plans de faille et à mettre en communication les formations salifères avec les eaux superficielles infiltrées ou les eaux souterraines contenues dans les aquifères sus-jacents. La complexité de la géologie dans ce secteur ne permet toutefois pas d'identifier avec précision ces circulations par nature hétérogènes et localisées.

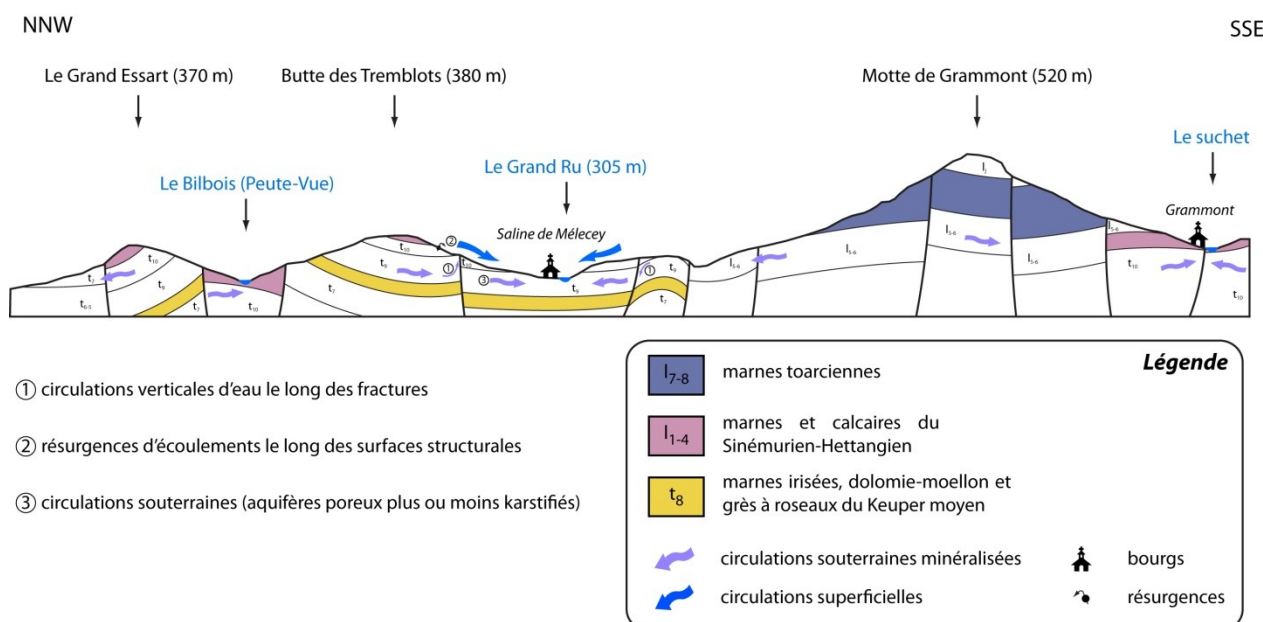


Figure 20 : Schéma de fonctionnement du système hydrogéologique

2.3 Utilisation des eaux

Sur le périmètre de la concession, aucun ouvrage n'est recensé dans la BSS points d'eau (Banque de données du Sous-sol gérée par le BRGM et dédiée aux ouvrages liés à la recherche, au suivi ou à l'exploitation de l'eau). Cependant, il est tout à fait possible que de petits puits chez des particuliers servent ponctuellement à l'irrigation ou à l'abreuvement du bétail.

Les nappes d'accompagnement des cours d'eau qui traversent le périmètre de la concession ne servent pas à l'alimentation en eau potable. Les prélèvements d'eau destinés à la consommation humaine (AEP) les plus proches de la concession captent les eaux des alluvions de l'Ognon sur les communes d'Autrey-le-Vay, d'Esprels, ou encore des Aynans plus en aval vers le nord. Les ouvrages de captage AEP les plus proches sont localisés à plus de 5 km à l'ouest de la concession.

3 Impact des travaux miniers et de leur arrêt sur les eaux de toutes natures

Les opérations de forage des sondages de reconnaissance ou d'exploitation du sel peuvent induire les impacts suivants sur le régime et la qualité des eaux :

- Minéralisation d'éventuelles nappes d'eau douce par mélange avec de la saumure par l'intermédiaire du trou de forage ;
- Infiltration d'eaux superficielles et mélange avec les nappes d'eau souterraines ;
- Infiltration d'eaux superficielles vers une nappe ou un réservoir d'eaux salées, favorisant la dilution des eaux et leur désaturation. Ce mécanisme peut générer une dissolution active de sel localement et de ce fait la création de vides souterrains.

L'exploitation par abattage en galeries à sec (période 1848-1862) peut produire des impacts similaires à ceux d'un forage. Rappelons que des venues d'eau importantes ont progressivement ennoyé les galeries de la mine de Mélecey à partir de 1862. Le réservoir d'eaux salées résultant de la dissolution des évaporites fut par la suite exploité par pompage.

L'extraction de saumure par pompage peut produire les impacts suivants sur le régime et la qualité des eaux :

- Minéralisation des nappes d'eau douce sus-jacentes au gisement de sel par remontée de saumure ;
- Minéralisation des nappes d'eau douce par mélange de la saumure au niveau de failles mettant en contact le gisement et les aquifères ;
- Minéralisation des cours d'eau de surface à l'aval hydraulique des ouvrages ;
- Abaissement du débit des aquifères et abattement des nappes par utilisation des eaux souterraines pour injection dans les sondages (non concerné dans le cas des travaux miniers entrepris à Mélecey) ;
- Abaissement du débit des cours d'eau par prélèvements pour injection dans les sondages (non concerné dans le cas des travaux miniers entrepris à Mélecey).

A l'arrêt de l'exploitation, les impacts résiduels peuvent provenir d'une contamination par circulations d'eau dans le sol et/ou communication avec les nappes d'eau douce :

- Minéralisation des nappes d'eau douce sus-jacentes au gisement ;
- Minéralisation des nappes d'eau douce par mélange de la saumure résiduelle au niveau de failles mettant en contact le gisement et les aquifères ;
- Minéralisation des cours d'eau de surface à l'aval hydraulique des ouvrages ;
- Création d'un réservoir d'eaux salées permanents.

Les documents collectés permettent d'estimer la production totale sur la concession à environ 21 000 tonnes de sel durant deux phases distinctes :

- 13 000 tonnes ont été extraites par abattage à sec en galeries entre 1848 et 1862 ;
- 8 000 tonnes ont été extraites par pompage de saumure entre 1863 et 1872.

L'historique des travaux miniers sur la concession de MELECEY montre que les travaux ont généré un impact important en contribuant à la formation d'un réservoir d'eaux salées au sein des galeries et du puits. Le puits de la saline de Mélecey étant partiellement bouché en 1925 selon le rapport des ingénieurs des Mines, les travaux de fond ne sont aujourd'hui plus accessibles. On ne connaît donc pas l'évolution de ce réservoir d'eaux salées à la fin des travaux d'exploitation en 1872. L'extension actuelle de ce réservoir d'eaux salées n'étant pas connue avec précision, plusieurs questions se posent : Existe-t-il des connexions avec d'autres nappes ou circulations d'eaux souterraines ? Des phénomènes de dissolution sont-ils toujours à l'œuvre (apports d'eaux non saturées) ? Les réponses à ces questions ne peuvent être apportées sans investigations lourdes (prospection géophysique, nouveaux sondages, etc.).

En dehors de ces informations, aucun élément notable dans les documents d'archive n'apporte de preuves d'éventuels autres impacts sur les eaux superficielles ou souterraines. D'autre part, aucun état des lieux initial, préalable aux travaux miniers, n'a été établi à l'époque. Aucune autre perturbation du régime et de la qualité des eaux souterraines et superficielles ne peut donc être attestée de manière tangible.

Les campagnes de mesure et d'analyse des eaux réalisées par CSME en 2013 et 2017 montrent que les eaux superficielles à proximité des ouvrages présentent des minéralisations globalement assez faibles, mais avec localement des conductivités plus élevées qui traduisent des phénomènes de mélange d'eaux (cas des points L, M et J) ou encore du passage du cours d'eau sur un *substratum* plus riche en sulfates ou en sel. Dans le cas d'un mélange d'eaux, l'origine des apports est difficilement attribuable et il peut s'agir d'eaux superficielles (cas du petit cours d'eau au niveau des points L et M) ou d'eaux souterraines peu profondes qui alimentent *in fine* le lit des cours d'eau.

Pour autant, cinq arguments majeurs permettent de conclure à l'absence d'influence des ouvrages miniers sur les minéralisations observées dans les eaux superficielles :

- Les mesures de conductivité et les analyses d'eau du Grand Ru en amont et en aval immédiat de la saline sont très stables et ne montrent aucune évolution particulière de la minéralisation.
- Les conductivités mesurées dans le petit cours d'eau (points L et M) présentent des valeurs plus élevées que celles du Grand Ru en aval de la Saline. Cette observation montre que les ouvrages ne sont pas impliqués et que des processus de minéralisation naturels des eaux sont à l'œuvre.
- La présence de sources salées est attestée dès l'Antiquité dans la région. Cette observation indique que ce secteur, du fait de sa configuration géologique, est de longue date un endroit naturellement propice à la circulation et à l'émergence en surface d'eaux minéralisées (sources salées).

- Il n'existe, aux abords du puits et de la saline, aucun indice de mouvements de terrain ou dommages aux infrastructures susceptibles de traduire une subsidence liée à la dissolution du sel. Cette affirmation est attestée par les riverains eux-mêmes.
- Lors de la recherche du puits entreprise en janvier 2018, aucune circulation d'eaux ascendantes ou descendantes n'a été observée autour du puits.

Il semble donc évident que des circulations naturelles plus ou moins diffuses d'eaux minéralisées opèrent à faible profondeur et émergent en fonds de vallées par artésianisme, remontée capillaire ou encore à la faveur de drains naturels que constitue le réseau de fracturation. Ces eaux se mélangent ensuite au réseau hydrographique, expliquant les fortes variations localisées de la minéralisation.

Dans ces conditions, il n'est aucunement raisonnable d'imputer ces minéralisations aux ouvrages rattachés à la concession de MELECEY.

4 Relations et échanges avec les exploitations voisines

Les gisements de sel gemme des bassins du Keuper de Haute-Saône sont associés à de petits gisements de houille au sein principalement de la formation des grès à roseaux du Keuper moyen. Bien que leur exploitation ait pu débuter très précocement (dès le Moyen-Âge et même probablement l'Antiquité pour le sel), plusieurs concessions exploitant ces ressources ont été instituées durant le XIX^{ème} siècle essentiellement. Ces concessions de sel gemme et de houille étaient exploitées de manière complémentaire au sein d'un réseau local : le lignite extrait permettait d'alimenter les salines proches en énergie afin d'évaporer la saumure et de produire du sel. La **Figure 6** du **Chapitre A (§ 1.2.2)** illustre les relations qui existaient entre ces différentes salines et les houillères de la région. On peut citer notamment les exploitations de sel suivantes dans la région :

- Gouhenans (saline distante de 9 km vers le nord, exploitée à partir de 1831) ;
- Saulnot (saline distante de 11 km vers l'est, exploitée dès le Moyen-Âge jusqu'en 1826).

Par ailleurs, une mine a exploité la houille en 1773 sur le territoire de la commune voisine d'Abbenans. Un gisement de houille est découvert dès 1778 dans le périmètre de la concession de MELECEY. Celui-ci fut exploité parallèlement à l'extraction du sel sur la concession. Les puits de recherche et d'exploitation sont pour la plupart situés dans le bois de Fallon, à flancs de coteaux et autour du village de Mélecey.

Le gîte houiller est composé de trois couches cumulant une épaisseur totale de 0,6 m, entrecoupées d'argiles schisteuses noirâtres à des profondeurs inférieures à 40 m allant jusqu'à l'affleurement. Plusieurs puits de recherche et d'exploitation sont foncés, essentiellement à partir de 1822 et jusqu'en 1862. Les épaisseurs très variables et relativement faibles des veines de houille (18 à 50 cm) ne permettaient pas une exploitation

pérenne dans la durée et il a fallu foncer plusieurs puits de part et d'autre de la vallée du Grand Ru et du ruisseau de Peute-Vue pour extraire la houille nécessaire aux activités de la saline.

En 1864, la production atteint plus de 556 tonnes avant de s'arrêter définitivement en 1865 suite à la survenue d'une explosion (coup de grisou) qui fait 10 morts. La saline de Mélecey est dès lors alimentée par les houillères de Gouhenans jusqu'en 1873. Un dernier puits est creusé vers 1874 pour tenter de relancer l'activité de la saline, sans succès.

En dehors de l'extraction de houille, aucune autre activité extractive n'est identifiée autour ou au sein de la concession de MELECEY. De surcroît, la houille était exploitée à des profondeurs bien inférieures (< 40 m) à celles de l'exploitation du sel (environ 135 m). Enfin, les lieux d'exploitation étaient suffisamment éloignés pour envisager l'existence d'une quelconque connexion entre ces travaux miniers.

En conséquence, il n'existe aucun lien entre les ouvrages ayant exploité la houille et ceux ayant exploité le sel sur la concession de MELECEY.

5 Synthèse du fonctionnement hydrogéologique

En dehors des alluvions des cours d'eau principaux (Ognon), il n'existe pas de véritable aquifère exploitable dans le secteur de Mélecey. Le réseau hydrographique concerné par le périmètre de la concession résulte de l'émergence de petites sources situées dans les formations carbonatées plus ou moins karstifiées du Lias et les grès du Rhétien.

La fracturation importante dans la région favorise l'infiltration des eaux météoriques et superficielles plus en profondeur. Ainsi, au contact des formations du Keuper riches en gypse, en anhydrite et en sel, les eaux se minéralisent. Celles-ci peuvent remonter et émerger en surface à la faveur du réseau de fracturation ou de la configuration topographique et géologique, ou encore remonter par capillarité avant de rejoindre le réseau hydrographique. Ces mélanges d'eaux attestés par les campagnes de mesures génèrent localement des variations modérées de conductivité dans les cours d'eau qui traversent la concession. Il est notable qu'aucune variation significative de conductivité et des teneurs en sulfates et en chlorures n'est observé entre l'amont et l'aval direct de la saline dans les eaux du Grand Ru. Il est en revanche certain qu'un réservoir d'eaux salées est présent à l'aplomb des travaux miniers à une profondeur d'environ 135 m en moyenne (cote d'environ +174 m NGF). L'éboulement des parois du puits et son comblement ne permet pas l'accès aux travaux souterrains et aucune donnée ne permet d'évaluer l'extension et la géométrie de ce réservoir d'eau salée actuellement.

Dans ce contexte, il est difficile d'imputer une quelconque contribution des ouvrages miniers rattachés à la concession de MELECEY à la minéralisation des cours d'eau et plus généralement des eaux de toute nature.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bonte, A. Contribution à la stratigraphie du Keuper du Jura. Bull. Soc. Géol. Fr., vol.1, n°4-5-6, pp. 319 (1951).

Carte géologique de la France au 1/50000 : feuilles et notices de LURE, MONBELIARD, VESOUL et BAUME-LES-DAMES, BRGM.

Frère Ogérien. Histoire naturelle du Jura et des départements voisins. Tome I « Géologie », Fasc. 1, pp.327-329 (1865).

Thorntwaite, C.W. An approach toward a rational classification of climate. The geographical Review, vol. XXXVIII, n°1, p. 55-94 (1948).

Turc, L. Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Annales Agronomiques, 12 (I), p. 13-50 (1961).



www.minelis.com