

RAPPORT D'ÉTUDE

PERM dit de « la Fabrié », commune de Fontrieu (81)

Analyse des risques associés à l'implantation d'un projet minier de tungstène

Résultats d'une étude bibliographique et de trois missions de terrain réalisées en 2019 et en 2020



Mai 2020

► L'association SystExt

SystExt pour « Systèmes extractifs et Environnements » est une association de solidarité internationale, née en 2009 au sein de la fédération Ingénieurs sans frontières (ISF) France. L'association se donne pour objectif d'obtenir la transparence et la démocratisation des enjeux associés aux filières minérales. Elle se concentre sur l'industrie minière et ses impacts humains, sanitaires, sociaux et environnementaux. La spécificité de SystExt réside dans le fait que ses membres soient des professionnels du secteur, ou confrontés à ce secteur dans l'exercice de leur métier. Ses missions s'organisent autour de quatre champs d'action : veille citoyenne et accompagnement de la société civile, sensibilisation, formation et expertise.

► Illustrations page de couverture

- ① Combe de la Fédial, février 2020
- ② Affleurement d'alternances calcaréo-argileuses au Nord du hameau d'Arcanic, février 2020
- ③ Source de Peyrolle, captage d'eau potable, février 2020
- ④ Village de Castelnau-de-Brassac, décembre 2019
- ⑤ Ruisseau de Terrail, à proximité du captage de Peyrolle, décembre 2019

Crédit : SystExt, CC BY-NC-SA 3.0 FR

► Crédits des contenus de ce rapport (sauf si précisé)



SystExt, Mai 2020, CC BY-NC-SA 3.0 FR
Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les
Mêmes Conditions 3.0 France

SOMMAIRE

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Introduction..... | 9 |
| 1.1. | Contexte..... | 9 |
| 1.2. | Cadre de l'étude..... | 11 |
| 1.3. | Limites associées au dossier de demande de PERM..... | 17 |
| 2. | Géologie et gîtologie..... | 19 |
| 2.1. | Formations géologiques..... | 19 |
| 2.2. | Skarns..... | 25 |
| 2.3. | Cibles identifiées au sein du gisement..... | 27 |
| 3. | Minéralogie et géochimie..... | 31 |
| 3.1. | Minéralogie..... | 31 |
| 3.2. | Géochimie..... | 33 |
| 3.3. | Drainages miniers..... | 41 |
| 3.4. | Conclusion sur les risques potentiels..... | 46 |
| 4. | Question amiantifère..... | 47 |
| 4.1. | Définitions..... | 47 |
| 4.2. | Historique et réglementation..... | 49 |
| 4.3. | Présence d'amphiboles dans le gisement de Fumade..... | 50 |
| 4.4. | Cas de la mine de tungstène de Salau..... | 51 |
| 4.5. | Conclusion sur les risques potentiels..... | 52 |
| 5. | Exploitation et traitement du minerai..... | 55 |
| 5.1. | Type d'exploitation..... | 55 |
| 5.2. | Méthode d'exploitation..... | 56 |
| 5.3. | Traitement du minerai..... | 57 |
| 5.4. | Conclusion sur le schéma d'exploitation et limites associées..... | 64 |
| 6. | Gestion des déchets miniers..... | 65 |
| 6.1. | Principaux types de déchets miniers..... | 65 |
| 6.2. | Stockage des déchets miniers et remblayage..... | 67 |
| 6.3. | Instabilité chimique des déchets miniers..... | 75 |
| 6.4. | Conclusion sur la gestion des déchets miniers et limites associées..... | 77 |

| | |
|---|------------|
| 7. Hydrogéologie..... | 79 |
| 7.1. Contexte hydrogéologique du secteur d'étude..... | 79 |
| 7.2. Fonctionnement hydrogéologique local proposé par SystExt | 89 |
| 7.3. Risques potentiels associés à la phase d'exploration | 95 |
| 7.4. Risques potentiels associés à la phase d'exploitation | 99 |
| 7.5. Implications des prescriptions associées au captage d'Arcanic..... | 103 |
| 8. Hydrologie | 107 |
| 8.1. Hydrographie et hydrodynamisme du secteur d'étude..... | 107 |
| 8.2. Enjeux de préservation des cours d'eau et des zones humides | 113 |
| 8.3. Risques potentiels associés à la phase d'exploration | 116 |
| 8.4. Risques potentiels associés à la phase d'exploitation | 118 |
| 9. Informations complémentaires sur le projet | 119 |
| 9.1. Capacités techniques | 119 |
| 9.2. Prise de participation au capital par la commune | 122 |
| 10. Conclusion | 127 |
| 10.1. Géologie, géochimie et risque amiantifère..... | 127 |
| 10.2. Schéma d'exploitation et gestion des déchets miniers..... | 128 |
| 10.3. Eaux souterraines | 129 |
| 10.4. Eaux superficielles | 131 |
| 10.5. Questions complémentaires | 131 |

RÉSUMÉ

Le Permis exclusif de recherches minières (PERM) dit de « la Fabrié » se situe dans la commune de Fontrieu, dans le Tarn (81). Il est porté par la société Tungstène du Narbonnais, qui a déposé un dossier de demande en août 2018. Le PERM porte sur le gisement de Fumade, pour la recherche de tungstène et de substances connexes.

La mairie de Fontrieu a émis un avis favorable au projet d'exploration, avec réserves. Afin de préciser ces réserves et de répondre aux inquiétudes soulevées par la population, la mairie a sollicité SystExt afin de disposer d'une **expertise indépendante sur les enjeux soulevés par le projet minier**. Elle souhaitait en effet :

- Comprendre les éléments techniques du projet et les enjeux environnementaux associés ;
- Connaître les risques potentiels associés à la phase exploratoire et à une éventuelle mise en exploitation.

SystExt a également répondu à des questions complémentaires de la mairie, notamment concernant les capacités techniques du porteur de projet, et sur les limites et intérêts associés à la prise de participation par la mairie au capital de la société exploitante.

Etant donné le stade très préliminaire du projet dans lequel s'inscrit la présente étude (l'octroi du PERM étant toujours en cours d'instruction à date), aucune conclusion ferme ne peut être faite par SystExt concernant ce qui serait effectivement réalisé lors des phases d'exploration voire d'exploitation. L'étude réalisée par SystExt consiste plutôt à mettre à évidence, au regard des éléments produits par le porteur de projet dans ses documents écrits (dossier de demande de PERM et site internet), par les connaissances des acteurs locaux et par une revue bibliographique détaillée, des **points de vigilance à considérer durant toutes les éventuelles phases ultérieures du projet**. Cette approche a cependant permis d'émettre des hypothèses très probables et de **conclure ainsi à des risques environnementaux potentiels précis**.

Un secteur d'étude englobant le périmètre du PERM et les vallées des cours d'eau environnants (Vernoubre, Terrail, Agout) a été défini. Géologiquement, ce secteur est localisé au nord de la Montagne Noire, et plus précisément sur les versants ouest des Monts de Lacaune.

Les roches sédimentaires majoritairement présentes sur le secteur d'étude appartiennent à la Série Noire. Elles peuvent être regroupées selon quatre faciès : les dolomies, les calcaires, les argilo-siltites, ainsi que les schistes et niveaux argileux. Dans le gisement de Fumade, les formations géologiques ont été recoupées par une intrusion granitique, à l'origine de la mise en place de skarns, qui sont les principaux porteurs des minéralisations en tungstène. Celles-ci sont réparties en trois cibles d'intérêt, localisées au sud du périmètre du PERM. Deux sont localisées en profondeur (« Fumade profond » et « la Fédial ») et la troisième se trouve proche de la surface (« Fumade superficiel »).

L'étude détaillée de la minéralogie et du gisement a mis en exergue une liste de **23 substances que SystExt recommande de surveiller** et les drainages miniers qui pourraient survenir le plus probablement, et à l'échelle du gisement : **le drainage neutre contaminé (DNC) et le drainage minier salin (DMS)**.

La présence de trémolite (et, dans une moindre mesure, d'actinolite) dans les dolomies et les skarns du gisement de Fumade est avérée, mais aucune donnée n'existe quant à leur caractère asbestiforme ou leur abondance relative dans les roches concernées. **SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de prendre en compte le risque amiantifère (ainsi que ceux associés aux fragments de clivage) lors des éventuelles étapes ultérieures du projet minier et de l'étudier avant tout travaux d'exploitation minière (ainsi que d'exploration, dans une approche conservatoire).**

A ce stade très précoce du projet minier, le schéma d'exploitation du gisement de Fumade (extraction, traitement du minerai, gestion des déchets miniers) ne peut être défini précisément. Le travail de SystExt a consisté à identifier et à comprendre, au regard des caractéristiques du gisement, les projections et engagements du porteur de projet, et les limites éventuelles associées. **SystExt a ainsi retenu comme probable :**

- L'exploitation de toutes les cibles du gisement, y compris celle de « Fumade superficiel » ;
- L'utilisation de la méthode d'exploitation par tranches montantes remblayées (TMR) pour les deux autres cibles ;
- L'association d'une préconcentration gravimétrique et d'une flottation pour le traitement du minerai ;
- Le stockage de la grande majorité des stériles miniers en souterrain (en cas de mise en œuvre de la méthode des TMR) ;
- Des difficultés à remblayer les résidus miniers qu'ils soient gravimétriques, ou issus de la flottation.

S'il est légitime que certaines informations ne soient pas connues à ce stade très préliminaire du projet, **SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de clarifier les engagements écrits déjà pris.** Cela concerne : le type et la méthode d'exploitation envisagés, la technique de traitement du minerai et les réactifs qui pourraient être utilisés à cette fin, les taux de remblayage atteignables pour les déchets miniers ainsi que leur potentiel de relargage de substances polluantes (considéré comme faible à nul par le porteur de projet).

Des risques élevés ont été identifiés par SystExt pour les eaux souterraines et superficielles. La situation du territoire de Fontrieu est spécifique, en ce sens qu'il dispose de ressources aquifères majeures. La formation dolomitique, qui contient l'un des deux principaux skarns minéralisés du gisement de Fumade, porte également les terrains aquifères majoritaires du secteur d'étude. L'étude hydrogéologique menée par SystExt a ainsi mis en évidence :

- Des couches aquifères dolomitiques sous pression au niveau du compartiment « Centre », entre la faille de la Fédial et celle de Castelnau-de-Brassac ;
- Des couches aquifères dolomitiques, qui se trouvent à leur niveau d'équilibre dans le compartiment « Ouest », et qui sont à l'origine des sources du plateau de Fumade (Cadoul Fumade et Palus en particulier) ;
- Des couches aquifères calcaires, qui se trouvent proche de leur niveau d'équilibre dans le compartiment « Est », et qui sont à l'origine des sources de Peyrolle et du Merle ;
- Des connexions hydrauliques probables entre les compartiments « Centre » et « Ouest » ;
- Des connexions hydrauliques peu probables entre les compartiments « Centre » et « Est ».

En phase d'exploration, les risques hydrogéologiques portent principalement sur la réalisation des sondages (carottés ou destructifs) et la rencontre d'horizons aquifères. Lors des sondages dans le compartiment « Centre », **SystExt recommande donc à la mairie de demander au porteur de projet d'être particulièrement vigilant aux équilibres hydrogéologiques et de surveiller l'évolution des débits et niveaux d'eaux dans les sources du secteur d'étude.**

En cas d'exploitation, il est également à prévoir des diminutions de débit voire des tarissements au niveau des sources et forages du secteur d'étude. Or, ceux-ci sont utilisés pour l'eau potable et l'abreuvement animal. Dans le cas de telles perturbations, des mesures devront alors être mises en œuvre pour garantir le maintien de ces usages.

S'agissant plus particulièrement du forage d'Arcanic utilisé pour l'eau potable de la commune, les dispositions réglementaires de protection du forage d'Arcanic compromettent les travaux de recherche par sondage et l'installation des plateformes associées, dans le périmètre de protection rapprochée (PPR) du captage. **SystExt recommande à la mairie de demander aux autorités d'interdire tout travaux d'exploration par sondage dans l'emprise du PPR du forage d'Arcanic, ainsi que dans la zone du périmètre de protection éloignée (PPE) qui intersecte le compartiment « Centre ».** SystExt estime que si décision était prise par les autorités de poursuivre le projet minier jusqu'à son stade d'exploitation, le forage d'Arcanic devrait alors être abandonné et un nouveau captage d'eau potable mis en service sur le territoire de la commune.

En phase d'exploration, les risques hydrologiques portent principalement sur la réalisation des sondages (carottés ou destructifs) et la construction des plateformes de sondage associées. SystExt considère que les ruisseaux des Planquettes, de Cadoul et de Palus (classés en 1^{ère} catégorie piscicole et/ou en réservoir biologique) et les zones humides pourraient être perturbés par les phénomènes attendus de modification des conditions de ruissellement et d'augmentation de la turbidité des eaux, mais aussi, et surtout, par le déversement des eaux provenant des forages productifs. **SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de limiter autant que possible les apports d'eaux turbides et/ou à débit conséquent dans les trois cours d'eau susmentionnés.**

En cas d'exploitation, l'une des options choisies pour la gestion des eaux d'exhaure pourrait être le rejet dans l'environnement après traitement. Le déversement de grandes quantités d'eau ou, tout du moins, des quantités bien supérieures à leur flux habituel, risqueraient de perturber durablement les ruisseaux des Planquettes, de Cadoul et de Palus. SystExt considère qu'il n'est pas envisageable d'y effectuer de tels rejets. Ce positionnement est également valable pour les ruisseaux du Vernoubre et du Terrail.

1. Introduction

1.1. Contexte

Le projet minier se situe sur la commune de Fontrieu, située à environ 30 km à l'est de Castres, dans le département du Tarn (81) (*Figure 1*). En termes géologiques, le gisement est situé au sud du Massif central, sur le versant nord de la Montagne Noire. Le climat y est océanique, à influence méditerranéenne et montagnarde. Le territoire communal est caractérisé par un chevelu étendu de petits cours d'eau et par la présence de très nombreuses sources¹. Les activités agricoles y sont développées, principalement en élevage extensif.



Figure 1 : (à gauche) Village de Castelnau-de-Brassac en décembre 2019 ; (à droite) Combe de la Fédial en février 2020 (SystExt, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

Sur le gisement tungstifère de Fumade, des travaux de prospection minière ont été réalisés par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) de 1969 à 1978, puis par la Société Nationale Elf Aquitaine Production (SNEAP) de 1980 à 1985. Les résultats concluants de la campagne de la SNEAP ont donné lieu à une demande de concession en 1986, concession dite « de Cadoul », octroyée par décret en 1988. La chute des cours du tungstène, intervenue à partir de cette dernière date, a conduit à l'abandon du projet d'exploitation (BRGM, 1994).

A partir de 2013, le BRGM s'est à nouveau intéressé au gisement de Fumade dans le cadre d'un programme de réévaluation du potentiel français en ressources minérales (Audion, 2013 ; Melleton, et al., 2016). Après réinterprétation des données et actualisation de certains paramètres (économiques notamment), les estimations de 1985 ont été revues à la hausse, et « *laissent présager d'un potentiel important* » (Audion, 2013, p. 3). Le gisement présente trois cibles² et une teneur moyenne d'environ 1,0 % WO₃³ (Audion, 2013).

En août 2018, la Société par Actions Simplifiée (SAS) Tungstène du Narbonnais a déposé une demande de Permis Exclusif de Recherches de Mines (PERM) dit de « la Fabrié » pour la recherche de tungstène et de substances connexes (Tungstène du Narbonnais, Tome I, 2018).

¹ D'après le témoignage d'un riverain qui a travaillé à la gestion des eaux communales, avant la mise aux normes du captage de Peyrolle et du forage d'Arcanic (2005-2010), la commune comptait 42 sources et 38 réservoirs.

² Une cible consiste en une zone d'intérêt spécifique au sein d'un gisement. La concentration en tungstène y est considérée comme suffisante pour justifier une exploitation, on parle alors de teneur « économique ».

³ Sur le marché des métaux, les teneurs en tungstène sont communément fournies en trioxyde de tungstène (WO₃). Celui-ci est un produit intermédiaire entre la production de tungstène à partir des minerais et celle du tungstène métallique, réduit dans des usines de transformation (Patnaik, 2003).

Le PERM concerne les trois cibles précédemment citées et couvre une surface de 4,5 km², entièrement incluse dans la commune de Fontrieu (*Figure 2*). Le porteur de projet souhaite poursuivre l'étude du gisement de Fumade et évaluer la possibilité d'un projet d'exploitation (*Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018*). L'avis de mise en concurrence de la demande de PERM est paru au Journal officiel du 21 février 2019⁴.

Dans le cadre de la présente étude, SystExt définit un « **secteur d'étude** » (*en rouge sur la Figure 2*) limité : à l'ouest et au nord, par la vallée du Vernoubre ; à l'est, par la vallée du ruisseau du Terrail ; et au sud, par la confluence de ce dernier avec l'Agout.

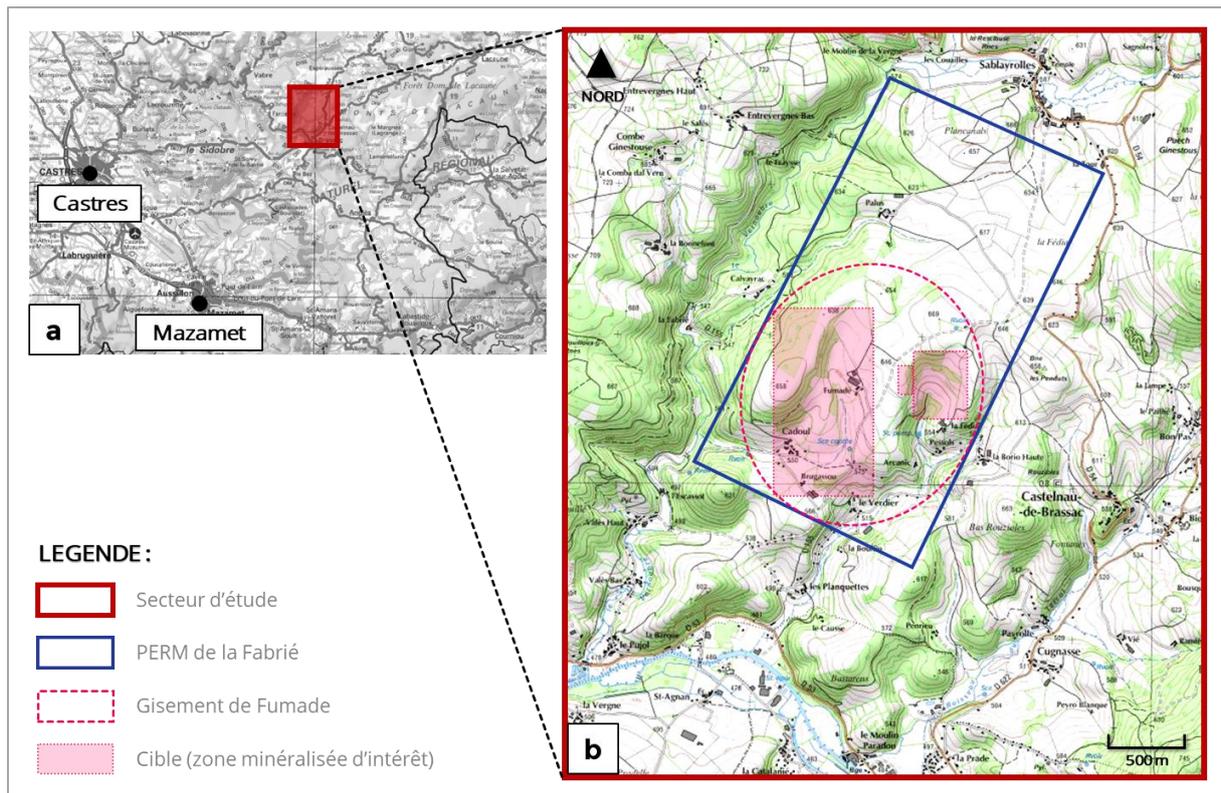


Figure 2 : (a) Localisation du secteur d'étude sur fond cartographique au 1/250000 © IGN, (b) Localisation de l'emprise du PERM de la Fabrié ainsi que du gisement de Fumade⁵ et des cibles associées au sein du secteur d'étude, sur fond cartographique au 1/25000 © IGN

Dans le cadre de cette demande de PERM, une consultation publique en ligne a eu lieu du 29 avril au 12 mai 2019⁶. Par ailleurs, le Préfet du Tarn a demandé à plusieurs organismes départementaux et régionaux de fournir un avis sur le projet de PERM⁷. Parmi eux, le Parc naturel régional (PNR) du Haut-Languedoc a notamment insisté sur la forte sensibilité environnementale du milieu (*PNR, 06/05/2019*). Quant à l'Agence régionale de Santé (ARS) de l'Occitanie, elle a émis des remarques concernant la protection de la ressource en eau potable, les impacts de la circulation d'engins, ou encore la présence éventuelle d'amiante (*ARS, 07/05/2019*).

⁴ JORF n°0044 du 21 février 2019, texte n°160. Voir au [lien suivant](#).

⁵ Il n'existe pas de localisation précise du gisement de Fumade, le contour proposé ici par SystExt est approximatif et n'est basé que sur les cibles identifiées.

⁶ Page 'Consultations publiques Economie-Finances terminées' sur le site du Ministère de l'Economie et des Finances. Voir au [lien suivant](#).

⁷ On note que le Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout n'a pas été consulté.

1.2. Cadre de l'étude

1.2.1. Origine de la demande faite à SystExt

Le 10 mai 2019, la mairie de Fontrieu a également adressé au Préfet du Tarn un avis favorable à la demande de PERM ([Mairie de Fontrieu, 10/05/2019](#)). Elle émet cependant certaines réserves, notamment sur les risques environnementaux potentiels et plus précisément sur les eaux souterraines (captages d'eau potable de la commune) et de surface (eaux de ruissellement). Quelques jours après, la mairie a adressé un courrier au Ministre de l'Economie et des Finances dans lequel elle souligne les défauts du processus de consultation publique mis en œuvre ([Mairie de Fontrieu, 14/05/2019](#)). En effet, elle n'a pas reçu de courrier l'informant de cette consultation et n'en a pris connaissance que le 10/05/2019, soit deux jours avant la fin du processus.

Par la suite, une première réunion a été organisée par des habitants de la commune le 12/06/2019 et a mené à la création d'une association qui s'oppose au projet minier : Stop Mines 81⁸ ([LaDepeche.fr, 04/08/2019](#)).

Tenant compte des insuffisances dans la démarche de consultation des acteurs locaux et des riverains, et face à la montée en puissance des tensions et inquiétudes dans la commune, la mairie a sollicité SystExt en août 2019, afin de disposer d'une **expertise indépendante sur les enjeux soulevés par le projet minier**. La demande d'accompagnement ainsi faite devait répondre à deux besoins identifiés par la mairie :

- **Comprendre les aspects techniques du projet et les enjeux environnementaux associés (afférents en particulier aux eaux de surface et souterraines, ainsi qu'à la gestion des déchets miniers en cas d'exploitation) ;**
- **Connaître les risques potentiels associés à la phase exploratoire et à une éventuelle phase d'exploitation subséquente.**

Au fur et à mesure de l'avancement de l'étude, des sujets spécifiques, non identifiés initialement, ont été soulevés par la mairie et ont fait l'objet d'une attention particulière de la part de SystExt :

- Implications éventuelles du changement de la liste des substances de la demande de PERM ;
- Possibilité de réintroduire la totalité des déchets miniers dans les vides créés en souterrain ;
- Risques potentiels pour les usines d'embouteillage d'eau situées à quelques kilomètres à l'est du périmètre du PERM ;
- Capacités techniques du porteur du projet (en termes de passif et de retour d'expérience sur d'autres projets miniers) ;
- Intérêts et limites associés à une prise de participation par la mairie au capital de la société exploitante.

Il a été établi que l'appui technique et les conseils fournis par SystExt étaient destinés en priorité aux représentants de la mairie. Cependant, les deux parties se sont entendues dès le départ sur le fait que SystExt maintiendrait ses activités d'accompagnement de la société civile et de sensibilisation (qui se situent au cœur de son projet associatif). Tout au long de son étude, SystExt a ainsi pu répondre aux interrogations des autres acteurs locaux, de l'association Stop Mines 81 et des riverains rencontrés.

⁸ Voir le site internet de l'association [au lien suivant](#).

1.2.2. Objectifs de l'étude

Pour répondre à la demande de la mairie de Fontrieu, SystExt s'est donné quatre objectifs :

- **Analyser le projet proposé par Tungstène du Narbonnais** - tant pour les travaux de recherches (objet de la demande de PERM déposée en août 2018), que pour les premières perspectives dressées concernant une possible exploitation - et mettre en exergue les éventuelles limites associées ;
- **Réaliser une étude détaillée du contexte géologique, géochimique, hydrogéologique et hydrologique** du secteur ;
- **Evaluer les risques environnementaux potentiels** associés à la phase exploratoire et à une éventuelle phase d'exploitation ;
- **Mettre en œuvre un appui technique régulier** à destination des représentants de la mairie, par l'intermédiaire de sessions d'échanges à distance et de rencontres sur site.

Dans cette étude, **SystExt ne prend parti ni pour, ni contre le projet minier. SystExt propose une analyse objective des risques, basée sur les connaissances des acteurs de terrain et sur l'analyse d'un panel large de sources documentaires.**

En ce sens, l'analyse critique des documents du porteur du projet n'a été réalisée qu'aux fins d'en évaluer les implications. Elle n'a pas vocation à corriger, ni à améliorer le dossier de demande de PERM ; mission qui revient à celui qui réalise une telle demande.

Tout au long du présent rapport, SystExt pointe certains manques ou certains éléments à clarifier dans les documents écrits du porteur de projet (dossier de demande de PERM et site internet). **Cette démarche n'a vocation qu'à aviser la mairie de Fontrieu, et d'éventuels autres acteurs publics, de la nécessité d'être vigilants aux sujets concernés⁹, en cas de poursuite du projet minier.** Pour répondre à l'objectif partagé de diminuer les risques environnementaux, la première étape est en effet de prendre en compte les spécificités du territoire de Fontrieu et de bien évaluer les caractéristiques des milieux qui pourraient être impactés par l'activité minière.

De plus, l'identification de certains risques environnementaux a conduit SystExt à émettre des recommandations dans le présent document. **Comme dans le cas précédent, ces recommandations s'adressent à la mairie de Fontrieu, et à d'éventuels autres acteurs publics. Il s'agit en effet de les alerter sur des situations particulièrement problématiques et de les conseiller sur des demandes qu'ils pourraient faire auprès du porteur de projet, tant en phase d'exploration que d'exploitation.**

1.2.3. Déroulé de l'étude

L'équipe mobilisée par SystExt pour la réalisation de l'étude était constituée d'une dizaine d'experts de l'association, spécialisés dans les domaines de la géologie, de l'hydrogéologie, de l'ingénierie minière, du traitement du minerai*, des risques liés à l'amiante ou encore des risques sanitaires et environnementaux.

⁹ Notamment en ce qui concerne les eaux superficielles, les eaux souterraines et la gestion des déchets miniers.

Les travaux se sont organisés autour de cinq tâches, dont le présent rapport d'étude constitue la synthèse :

- **(a) Étude de la documentation technique disponible** afin d'analyser le projet minier en tant que tel, mais aussi d'évaluer les spécificités géologiques et environnementales du secteur ;
- **(b) Analyse bibliographique des connaissances scientifiques et techniques actuelles** sur les questions soulevées par l'analyse des risques (traitement du minerai de scheelite, toxicité et potentiel polluant du tungstène, risques amiantifères, drainages miniers, etc.) ;
- **(c) Visites de terrain** pour disposer d'un état des lieux actualisé de la situation environnementale du secteur d'étude et pour valider les hypothèses réalisées à partir des données bibliographiques ;
- **(d) Rencontre des acteurs locaux** (organismes publics, associations, riverains) et évaluation du contexte socio-environnemental ;
- **(e) Mise en place de sessions d'échanges techniques** sur site concernant les risques associés au projet minier et les spécificités du secteur d'étude.

L'étude s'est déroulée sur neuf mois, d'octobre 2019 à mai 2020, selon le calendrier de la *Figure 3*.

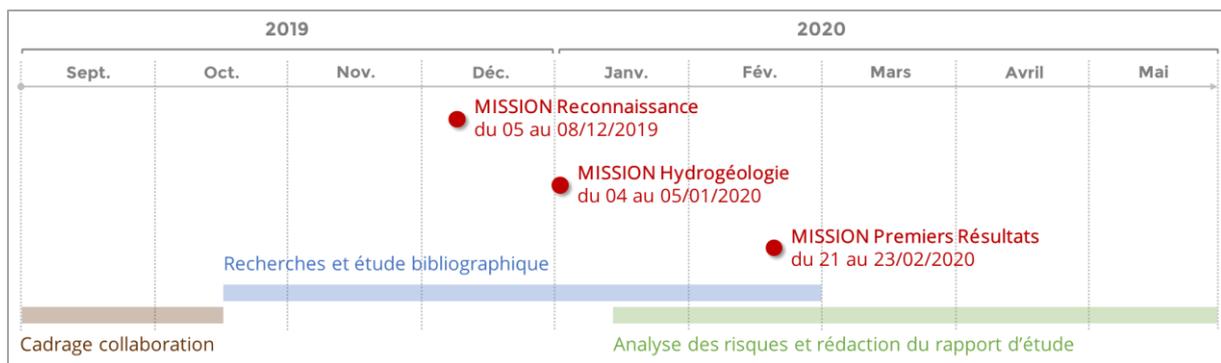


Figure 3 : Calendrier de l'étude réalisée par SystExt

Concernant l'étude bibliographique détaillée (*selon tâches (a) et (b) précédentes*), celle-ci a notamment consisté en la consultation de plus de 150 documents, parmi lesquels :

- Les **documents administratifs** associés à la demande de PERM (dossier de demande de PERM et site internet du porteur de projet, avis, courriers, etc.) ;
- Les **rapports techniques** établis sur le contexte environnemental du secteur d'étude (études géologiques¹⁰, publications du BRGM, rapports rédigés par le Syndicat de Bassin de l'Agout, données hydrogéologiques associées aux captages d'eau potable de la commune, etc.) ;
- Les **publications scientifiques**, francophones ou anglophones, afférentes aux questions techniques soulevées par l'analyse des risques ;
- Les **textes législatifs et réglementaires français** (codes, arrêtés, décrets... concernant la qualité des eaux, l'amiante, le droit minier, etc.).

¹⁰ Les données acquises lors des travaux d'exploration minière des années 1970-1980 par le BRGM et la SNEAP ont également été étudiées via la Banque du Sous-Sol (BSS) du BRGM. SystExt a notamment analysé les documents associés à une vingtaine de sondages historiques afin de préciser le contexte géologique et hydrogéologique.

Cette analyse a été complétée par **trois missions de terrain** (selon tâches (c), (d) et (e) précédentes) réalisées en décembre 2019, janvier 2020 et février 2020, faisant intervenir quatre représentants de SystExt, pour un total de 10 jours de travail (amenés-replis inclus). Celles-ci ont permis la tenue de réunions et de sessions d'échanges avec plusieurs parties prenantes (Mairie, Chambre d'Agriculture, Parc Naturel Régional, Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, Fédération de Pêche, Association Stop Mines 81) et la rencontre de personnes habitant sur l'emprise du PERM. Le programme détaillé de ces missions de terrain est fourni dans le *Tableau 1*.

| Date | Partie(s) prenante(s) | Activités |
|---|--|--|
| MISSION Reconnaissance du 05 au 08/12/2019 | | |
| Objectifs : Rencontrer les parties prenantes, évaluer le contexte socio-environnemental | | |
| 05/12/2019 | Chambre d'Agriculture et Mairie | Réunion sur les enjeux du territoire (activités agricoles, gestion de l'eau et infrastructures) |
| | Mairie | Visite de la source alimentant l'usine de mise en bouteille de Fontaine de la Reine |
| 06/12/2019 | Parc Naturel Régional, Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout et Mairie | Réunion sur le patrimoine naturel et les ressources en eau |
| | Mairie | Visite des captages d'eau potable de la commune (captage de Peyrolle et forage d'Arcanic) |
| 07/12/2019 | Stop Mines 81 et riverains | Visite étendue sur l'emprise du PERM et étude des enjeux et usages (ressource en eau, activités agricoles, aménagements) puis session de questions-réponses avec Stop Mines 81 |
| MISSION Hydrogéologie du 04 au 05/01/2020 | | |
| Objectifs : Étudier le contexte hydrologique et hydrogéologique | | |
| 04/01/2020 05/01/2020 | Stop Mines 81 et riverains | Visite de 16 points d'intérêt (sources, captages, forages BRGM/SNEAP) et des principaux cours d'eau du secteur |
| MISSION Premiers résultats du 21 au 23/02/2020 | | |
| Objectifs : Présenter l'analyse préliminaire à la Mairie, préciser les données du contexte environnemental | | |
| 21/02/2020 | Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, Fédération de Pêche et Mairie | Réunion sur le bassin versant de l'Agout, les zones humides, et les mesures de protection de la ressource en eau existante |
| | Mairie | Présentation de l'analyse préliminaire des risques |
| 22/02/2020 | - | Visite de la zone Fumade-Arcanic-la Fédial et vérification sur le terrain de certaines hypothèses de travail (géologie, hydrogéologie) |
| | Stop Mines 81 | Session de questions-réponses |

Tableau 1 : Description des trois missions de terrain réalisées et parties prenantes rencontrées

Lors de chaque mission, SystExt a tenu à visiter à pied le terrain, considérant qu'il s'agit d'un prérequis indispensable pour dresser toute analyse des risques environnementaux. Les itinéraires associés sont reportés en *Figure 4*.

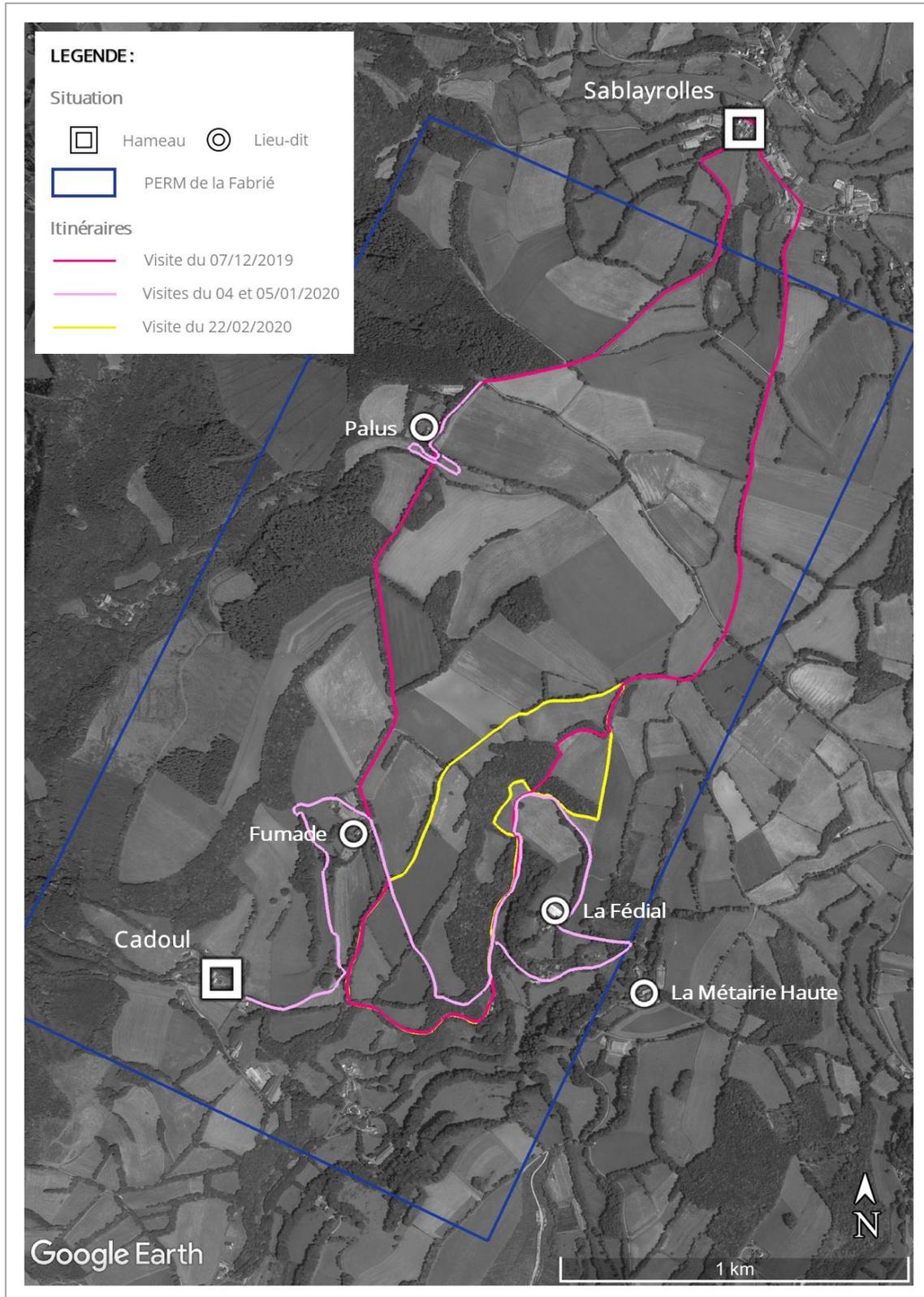


Figure 4 : Itinéraires réalisés par SystExt au sein du périmètre du PERM, sur vue satellitaire (© Google 2019)

1.2.4. Vulgarisation et démarche d'accompagnement

D'après son objet associatif, SystExt « a pour objectif, par la construction collective et la diffusion des connaissances, d'obtenir la transparence et la démocratisation des enjeux associés aux systèmes extractifs et tout particulièrement aux filières minérales ». Dans ce cadre, au-delà de sa mission d'expertise, SystExt a mené un travail de décryptage et de vulgarisation afin de permettre aux représentants de la mairie et aux autres citoyens de s'approprier les enjeux techniques associés au projet minier et ses impacts possibles sur l'environnement.

Le présent rapport reflète cette approche par :

- L'**homogénéisation du vocabulaire**, en particulier lorsqu'il s'agit de sujets géologiques ou géochimiques ;
- L'**explication systématique des termes techniques**, avec un grand nombre de notes de bas de page et un glossaire en *Annexe 1 p. 141* (les termes concernés sont marqués d'une étoile (*) dans le corps du texte) ;
- Des **paragraphes dédiés aux concepts-clés** (amiante, drainages miniers, techniques de traitement du minerai, déchets miniers, etc.) ;
- La **création de nombreux schémas** avec des contenus adaptés aux questions détaillées dans le présent rapport.

L'objectif est que le travail réalisé par SystExt puisse être utile au plus grand nombre et ne serve pas la connaissance des seuls experts.

Par ailleurs, si SystExt émet des hypothèses de travail et met en évidence un certain nombre de risques, **cela ne représente qu'une partie de ce qui pourrait se produire réellement**. En cas d'octroi du PERM et de poursuite vers une phase d'exploration voire d'exploitation, les acteurs locaux pourraient être confrontés à de nouvelles problématiques, ou, tout du moins, considérées comme non prioritaires par SystExt à ce stade très précoce du projet.

Pour répondre à cet enjeu, les sujets traités ont été contextualisés autant que possible, en fournissant des informations sur des phénomènes proches ou rencontrés dans des contextes similaires. Par exemple, si SystExt conclut sur les drainages miniers qui pourraient le plus vraisemblablement se produire dans le contexte du gisement de Fumade, les rédacteurs détaillent également d'autres types de drainages observés en contexte minier. **Le but est que le présent document puisse accompagner la réflexion des acteurs locaux le plus longtemps possible, en cas de suites données à la demande de PERM.**

1.2.5. Limites méthodologiques

A la date de finalisation du présent rapport, la demande de PERM déposée par Tungstène du Narbonnais est toujours en cours d'instruction. En cas d'octroi, la phase exploratoire pourrait durer de 5 à 10 ans, avant même le dépôt d'un éventuel dossier de demande de concession. Dans ce contexte, **l'évaluation des risques environnementaux potentiels consiste en un exercice délicat**. En effet, pour que cette analyse soit au plus proche de la réalité, elle nécessite la prise en compte d'un grand nombre de données environnementales et surtout des informations précises sur le fonctionnement du site minier en phase d'exploration et d'exploitation. Ces dernières informations ne pourront être obtenues que lors de phases ultérieures du projet minier (pour certaines, dans plusieurs années). La réglementation ne les demande d'ailleurs pas au porteur du projet à cette phase très préliminaire.

Pour répondre à la demande de la mairie, SystExt a dû tout de même évaluer de façon prospective le fonctionnement du site minier en phase d'exploration et d'exploitation, et les risques environnementaux associés. SystExt a donc corrélé les objectifs et engagements actuels du porteur du projet avec les caractéristiques du gisement et les pratiques connues dans le secteur tungstifère. Cette approche analytique a permis d'émettre des hypothèses très probables et de conclure ainsi à des risques environnementaux potentiels précis¹¹.

Cependant, ces incertitudes ont conduit SystExt à ne pas émettre d'hypothèses quant à d'éventuels risques sanitaires ; ces derniers étant déjà soumis à imprécisions lorsque les risques environnementaux sont avérés et quantifiés.

Le travail de revue bibliographique réalisé par SystExt comporte lui aussi certaines limites :

- L'absence de données géologiques et géochimiques actualisées : les rapports les plus récents sur ces questions (de 2013 et 2016) reprennent celles obtenues lors des travaux d'exploration des années 1970-1980¹² ;
- L'absence d'étude environnementale sur le secteur d'étude, qui aurait pu contenir par exemple des données sur la qualité des sols et des eaux, ou les impacts éventuels des anciens travaux d'exploration sur l'environnement ;
- Le fait de n'avoir pas pu accéder à certains documents, comme l'étude d'impact complète réalisée par la SNEAP dans le cadre de la demande de concession de Cadoul ou les rapports afférents aux tests minéralurgiques réalisés à cette époque sur des échantillons de minerai du gisement de Fumade (Détienne, 1984 ; Bouteloup et Dumas, 1985).

1.3. Limites associées au dossier de demande de PERM

1.3.1. Notice d'impact environnemental

L'octroi d'un permis exclusif de recherches minières (PERM) est soumis à la production d'une « notice d'impact indiquant les incidences éventuelles des travaux projetés sur l'environnement et les conditions dans lesquelles l'opération projetée prend en compte les préoccupations d'environnement » (Décret n°2006-648 du 02/06/2006, Art. 17). Ni ce décret, ni le Code minier ne fournissent davantage de précisions sur la méthodologie à suivre pour répondre à ces objectifs de préservation de l'environnement.

La notice d'impact environnemental est le seul document dont disposent les autorités en charge de l'instruction du PERM pour évaluer la sensibilité de l'environnement vis-à-vis du projet. Aussi, SystExt estime que la réglementation devrait être plus exigeante quant à son contenu. En effet, l'échelle d'analyse y est souvent beaucoup trop large par rapport à la zone concernée par les travaux d'exploration projetés, ce qui peut mener à des évaluations imprécises, voire erronées.

Ceci est notamment dû au fait que l'élaboration d'une notice d'impact repose principalement sur des bases de données nationales et régionales qui ne peuvent pas intégrer toutes les spécificités locales. Dans le pire des cas, **les risques environnementaux associés à la phase exploratoire peuvent alors être sous-estimés.**

¹¹ SystExt n'a pas étudié les impacts potentiels sur le milieu « sols », tenant compte des incertitudes associées, à ce stade très préliminaire du projet minier.

¹² Ceci est d'autant plus important que les outils analytiques ont été considérablement améliorés ces trente dernières années. On est désormais en capacité d'analyser de nouvelles substances ou de mesurer des concentrations beaucoup plus faibles.

La notice d'impact environnemental produite pour la demande de PERM de la Fabrié ne déroge pas à ce constat. Certaines spécificités de la zone auraient en effet dû être intégrées, notamment celles concernant les eaux souterraines et superficielles (*voir respectivement §¹³ 7.3.1 p. 95 et 8.3.1 p. 116*). Il en résulte, selon SystExt, une **sous-estimation de la sensibilité des milieux, qui peut conduire à une minimisation des impacts potentiels des travaux de recherche minière projetés.**

En effet, bien caractériser l'état des milieux, leur sensibilité et leurs interactions éventuelles le plus tôt possible est primordial si l'on souhaite que les enjeux environnementaux soient intégrés de façon pertinente à chaque étape d'un projet minier.

1.3.2. Études environnementales

Il est d'usage que des études environnementales soient réalisées tout au long du projet minier. Le porteur du projet évoque cette question sur son site internet¹⁴ uniquement pour la phase exploratoire et concernant les ressources en eau :

« Une étude fine sera réalisée sur les impacts potentiels des activités d'exploration et d'exploitation sur l'eau. Les atteintes potentielles à la qualité et à la quantité des ressources en eau feront l'objet de démarches de prévention. »

L'étude et les démarches de prévention susmentionnées ne sont pas détaillées sur le site internet ni dans le dossier de demande de PERM. En effet, aucun programme de travail n'y est décrit avec la même précision que les six autres phases du projet d'exploration¹⁵. On peut seulement y lire (*Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 70*) :

« Les analyses de l'état environnemental (naturel et anthropique) du site seront conduites dès la Phase 1 et tout au long de la durée du PERM jusqu'au stade de la faisabilité. [...] A tout stade du développement du projet d'exploitation, les problématiques environnementales seront systématiquement prises en compte comme un paramètre essentiel des processus de décision. »

SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet une description précise des objectifs et du programme prévisionnel des études environnementales, avant tout démarrage de travaux exploratoires.

¹³ Dans la suite du rapport, on utilisera le caractère « § » comme abréviation de « paragraphe ».

¹⁴ Page 'Engagements sur le projet' ; section « Nos engagements durant la période d'exploration ». Voir au [lien suivant](#). Voir également l'*Annexe 3 p. 144*.

¹⁵ Phase 1 : Détermination des ressources « inférées » ou présumées ; Phase 2 : Détermination des ressources « indiquées » ; Phase 3 : Etude de pré-faisabilité ; Phase 4 : Détermination des ressources « mesurées » ; Phase 5 : Etude de faisabilité ; Phase 6 : Recherche de nouvelles ressources (*Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, pp.61-70*).

2. Géologie et gîtologie

2.1. Formations géologiques

2.1.1. Roches sédimentaires de la Série Noire

D'un point de vue géologique, le gisement de Fumade est situé sur le versant nord de la Montagne Noire. Ce versant se compose de roches sédimentaires, déposées en milieu marin il y a environ 500 millions d'années, durant la période géologique du *Cambrien*.

Les roches présentes sur la zone du PERM appartiennent très majoritairement¹⁶ à une série sédimentaire dite « Série Noire » (Figure 5). Celle-ci est constituée, de la base vers le sommet, de six formations* : les dolomies* massives (K2a), les alternances calcaréo-argileuses inférieures (ACA inf., K2b1), les alternances calcaréo-silteuses (ACS, K2b1), les alternances calcaréo-argileuses supérieures (ACA sup., K2b2), les niveaux gréseux* (K2bG), et les schistes* noirs (K2b3).

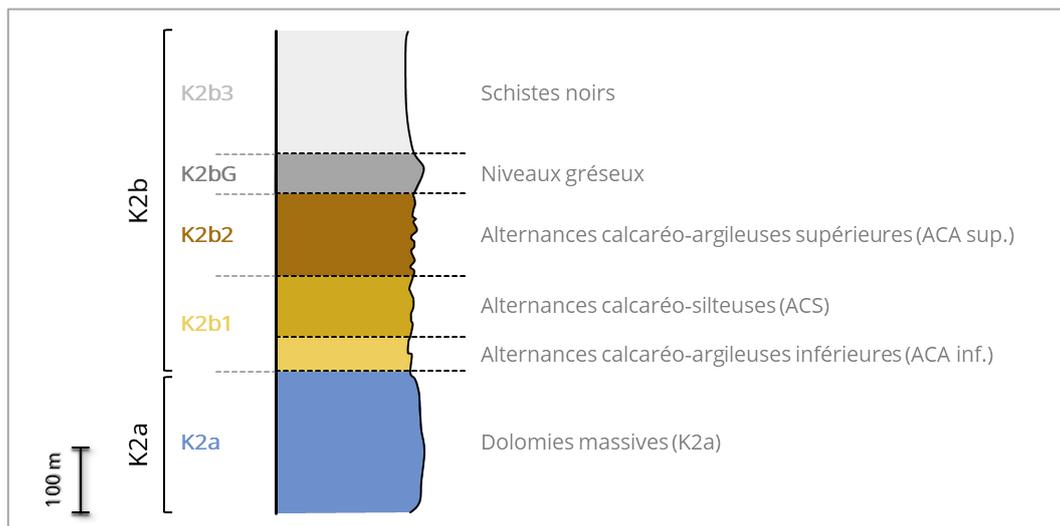


Figure 5 : Log lithostratigraphique* des roches de la Série Noire ; modifié d'après (Lheur & Meisser, 2010)

Dolomies massives (K2a)

Cette formation se compose de dolomies et présente une puissance* d'environ 150 m. La dolomie est altérée et très poreuse au contact des skarns (voir § 2.2 p. 25). C'est dans cette formation qu'ont été découvertes initialement les minéralisations en tungstène (Guérangé-Lozes, et al., 2013 ; Couilloud, 1988).

Alternances calcaréo-argileuses inférieures (ACA inf., K2b1)

Cette formation est constituée de trois barres de calcaire* argileux, alternant avec des argilites* noires qui sont semblables aux schistes noirs (K2b3). Les ACA inf. présentent une puissance variant de 30 à 70 m, selon les endroits (Couilloud, 1988).

¹⁶ D'autres roches sont présentes sur l'emprise du PERM mais sont peu ou pas représentées au sein du gisement de Fumade, elles ne seront donc pas détaillées dans le présent paragraphe.

Alternances calcaréo-silteuses (ACS, K2b1)

Cette formation se compose d'argilo-siltites*, intercalées avec des calcaires souvent lités* et recristallisés. Elle présente une puissance de l'ordre de 150 m (Couilloud, 1988).

Alternances calcaréo-argileuses supérieures (ACA sup., K2b2)

Cette formation se compose d'argilites pyriteuses et graphiteuses, alternant avec des calcaires gréseux parfois silicifiés*. Sa puissance varie de 80 à 140 m (Audion, 2013).

Niveaux gréseux (K2bG)

Cette formation est constituée d'alternances de schistes noirs et de grès sombres. Elle présente une puissance de 20 m. Ces niveaux recouvrent les ACA sup. mais peuvent également s'y substituer dans certaines zones (Guérangé-Lozes et al., 2013 ; Séverac, 1982). Les niveaux gréseux sont peu présents sur l'emprise du PERM (Couilloud, 1988), et donc non détaillés dans la suite du rapport.

Schistes noirs (K2b3)

Cette formation se compose de schistes noirs, présentant localement un caractère ardoisier. Ces roches témoignent d'un milieu de sédimentation confiné à eau stagnante et contiennent beaucoup de matière organique. Elles comportent également des petits lits gréseux pyriteux, parfois abondants, et des lits de nodules phosphatés¹⁷ (Lheur & Meisser, 2010). Les schistes noirs présentent une puissance de l'ordre de 100 m (Audion, 2013).

La minéralogie des faciès¹⁸ identifiés au sein des roches sédimentaires consiste principalement en des carbonates et des silicates, accompagnés de quelques sulfures*. Elle est détaillée dans le § 3.1.1 et plus particulièrement dans le Tableau 3 p. 31.

La Figure 6 page suivante consiste en une carte géologique simplifiée du secteur d'étude où l'on retrouve toutes les formations de la Série Noire¹⁹. La formation « Pélites vertes à niveaux carbonatés (K3) » ne concerne pas le gisement de Fumade, aussi n'a-t-elle pas été décrite précédemment. Cette formation se compose de schistes clairs (verts, gris-vert, gris-jaune) contenant de très nombreux niveaux calcaires. Elle se situe à la base d'une autre série sédimentaire, la « Série Verte », qui surmonte la Série Noire, et date de la période géologique *du Cambrien moyen à supérieur* (Guérangé-Lozes, et al., 2013).

¹⁷ Les nodules sont des concrétions minérales arrondies, mesurant quelques centimètres à dizaine de centimètres et dont la composition diffère de celle de la roche encaissante. Ils contiennent ici quatre minéraux : Quartz, Séricite, Apatite, Phosphate.

¹⁸ Dans une formation géologique, un faciès qualifie un type de roche, selon sa composition et sa structure, afin de la différencier précisément des autres roches présentes dans cette formation.

¹⁹ Sur la Figure 6, les formations ACA inf. et ACS (K2b1), et ACA sup. (K2b2) ont été regroupées pour des raisons de lisibilité.

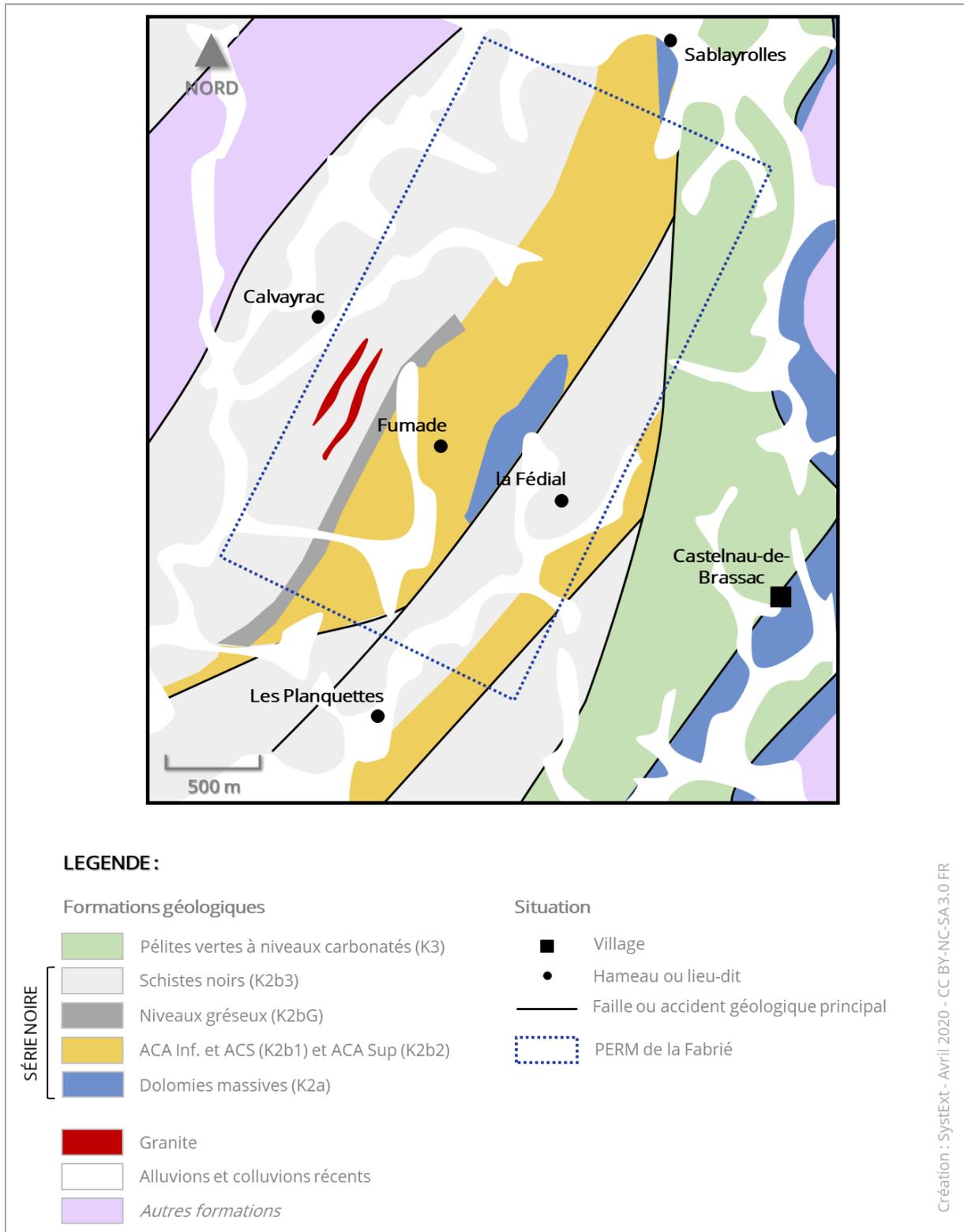


Figure 6 : Carte géologique simplifiée sur le secteur d'étude, basée sur la carte géologique au 1/50000 du BRGM²⁰

²⁰ Cette carte est issue d'une transposition manuelle depuis la carte géologique imprimée au 1/50000 du BRGM. Les contours des formations et la position des objets sont donc soumis à imprécisions.

2.1.2. Roches magmatiques et métamorphiques

En fin de formation de la Montagne Noire, des magmas se sont introduits dans les roches sédimentaires décrites précédemment. Cette intrusion a donné lieu à trois mécanismes, représentés de façon schématique sur la *Figure 7* :

- (a) **formation de roches magmatiques***, de type « granites* » et « filons aplo-pegmatitiques »²¹ ;
- (b) **formation de roches métamorphiques***, de type « cornéennes* » et « skarns » ;
- (c) **circulation de fluides hydrothermaux**²² et poursuite de la formation des skarns.

La **formation des skarns**, qui commence pendant les phases de métamorphisme* et se poursuit pendant les épisodes hydrothermaux est développée en § 2.2 p. 25.

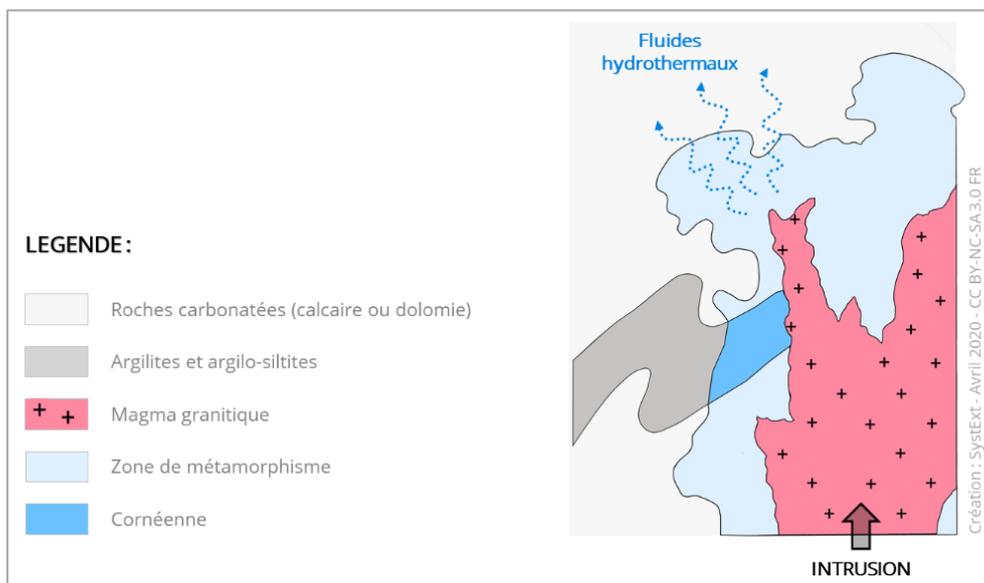


Figure 7 : Représentation schématique des processus de mise en place des cornéennes et des fluides hydrothermaux (hors skarns) ; modifié d'après (Jébrak & Marcoux, 2008)

(a) La cristallisation des magmas en profondeur a donné lieu à la formation de granites, très alumineux dans le cas présent (Couilloud, 1988). Sur la zone du PERM, il s'agit du granite dit de « la Fabrié ». Des filons aplo-pegmatitiques se sont également mis en place dans les formations sédimentaires, plus particulièrement le long des couches et suivant la schistosité* (voir figuré rouge sur la Figure 8 p. 24).

Le granite de la Fabrié et les filons aplo-pegmatitiques sont composés des mêmes minéraux²³. Par la suite, SystExt regroupera donc ces deux types de roches sous le faciès « granite ».

²¹ Les filons aplo-pegmatitiques correspondent à des filons granitiques, dont la taille des minéraux varie : de très petits (dits alors « aplitiques ») à grossiers (dits alors « pegmatitiques »).

²² De manière générale, l'hydrothermalisme désigne les processus de circulation d'eaux chaudes chargées en éléments chimiques. Les fluides « hydrothermaux » migrent vers la surface, en circulant dans les fissures ou la porosité. Ces fluides se chargent en éléments au contact des roches traversées puis précipitent de nouveaux minéraux au cours de leur refroidissement.

²³ Tessier (1989) met cependant en évidence des différences géochimiques entre ces deux roches (en termes de substances chimiques contenues dans les minéraux).

(b) Les magmas ont été à l'origine d'un apport de chaleur qui s'est propagée dans les roches sédimentaires voisines. Au sein des argilites et argilo-siltites, ce phénomène a donné naissance à des cornéennes à biotite. Les cornéennes se trouvent donc au contact des granites et des filons aplopegmatitiques. À proximité de la cible « Fumade profond », on les retrouve plus précisément dans les ACA inf. et les ACS (Audion, 2013).

(c) L'apport de chaleur par le magma a également engendré la déshydratation et la décarbonatation des roches sédimentaires, donnant naissance à des fluides hydrothermaux. D'autres fluides hydrothermaux proviennent des magmas eux-mêmes. Lors de son refroidissement, le mélange de ces fluides a principalement reprécipité sous forme d'amphiboles*²⁴ et d'épidote (Couilloud, 1988).

La minéralogie des faciès identifiés au sein des roches magmatiques et métamorphiques consiste principalement en des silicates, avec de rares oxydes et sulfures. Elle est détaillée dans le § 3.1.1 et plus particulièrement dans le Tableau 3 p. 31.

2.1.3. Organisation des formations géologiques

La formation de la Montagne Noire a également été à l'origine d'importants phénomènes de compression qui ont influé sur la structure du gisement de Fumade. Les formations géologiques ont schématiquement réagi de deux façons : de façon souple (plissements) et de façon cassante (failles).

Au niveau du secteur d'étude, les plissements sont à l'origine de l'orientation N20E (de 20° vers l'est depuis le nord) des couches, et leur pendage (inclinaison) vers l'ouest (*voir coupe de la Figure 8 page suivante*). Concomitamment à ces plissements, des déformations cassantes se sont produites, conduisant à la mise en place de failles et de fissures. Ces dernières se sont développées en priorité dans les couches les plus « dures », comme la dolomie.

La *Figure 8 page suivante* schématise l'organisation des couches géologiques au niveau du gisement de Fumade. Elle localise également le PERM de la Fabrié ainsi que les trois cibles²⁵ « Fumade profond », « Fumade superficiel » et « La Fédial » (*voir paragraphe suivant*).

²⁴. Ces minéraux seront discutés relativement à la question amiantifère dans le § 3 p. 31.

²⁵ Les trois cibles ont été reportées de façon approximative, à partir d'indications géologiques (Audion, 2013).

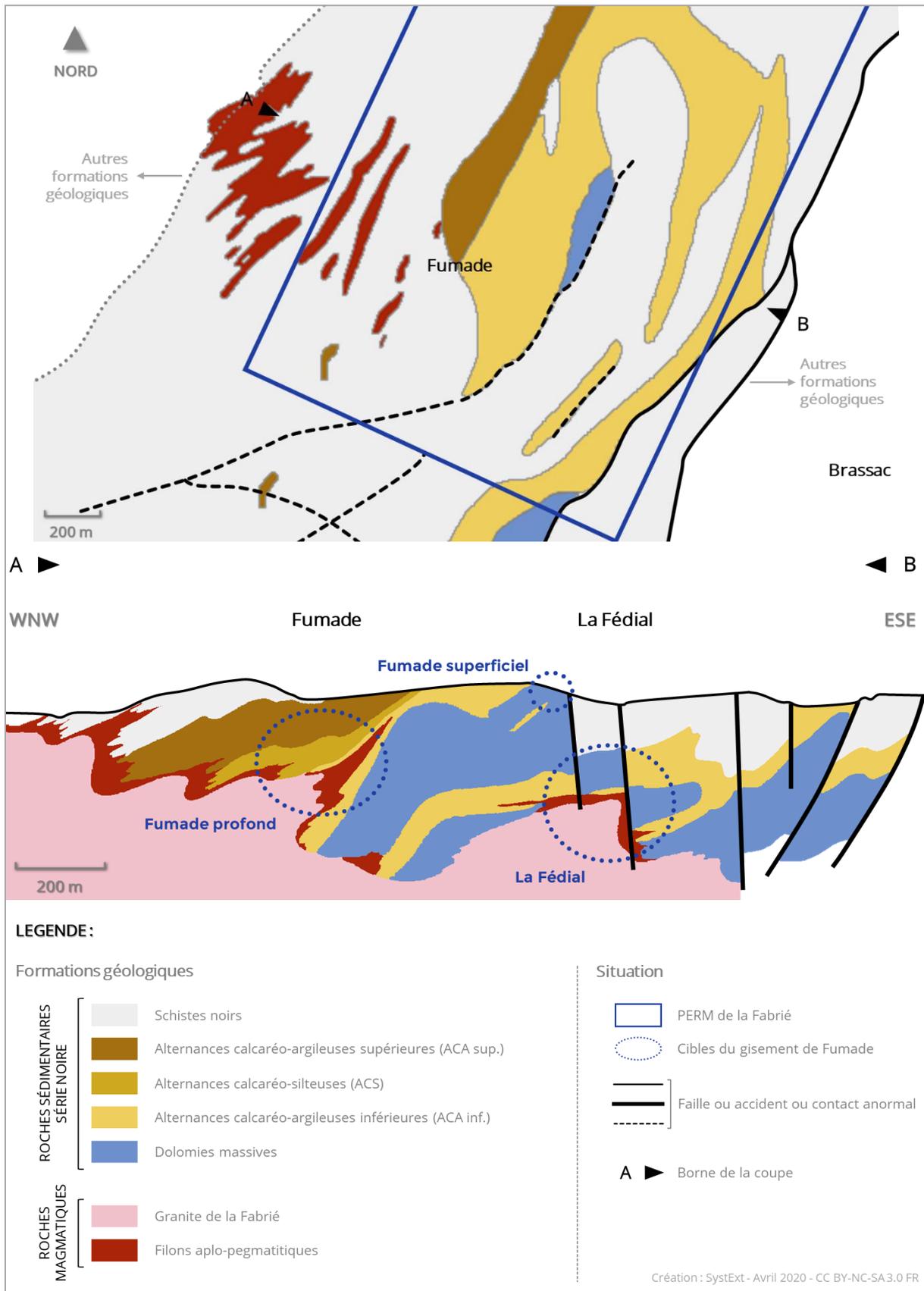


Figure 8 : Carte et coupe géologiques simplifiées du gisement de Fumade ; modifié d'après (Lheur & Meisser, 2010)

2.2. Skarns

2.2.1. Skarnification et minéralisation en tungstène

Les skarns consistent en des roches métamorphiques, calco-silicatées, résultant de la transformation de roches carbonatées (calcaire ou dolomie) au contact d'une intrusion magmatique. Dans le gisement de Fumade, ils se sont formés en remplacement et au sein des fissures des formations sédimentaires, et se trouvent en bordure ou à proximité des granites (*Figure 9*). **Ces faciès sont les principaux porteurs de la minéralisation en tungstène.** Les mécanismes de métamorphisme et d'hydrothermalisme décrits dans le paragraphe précédent en sont à l'origine²⁶. Les types de skarns (fissuraux ou stratiformes) sont décrits ci-après.

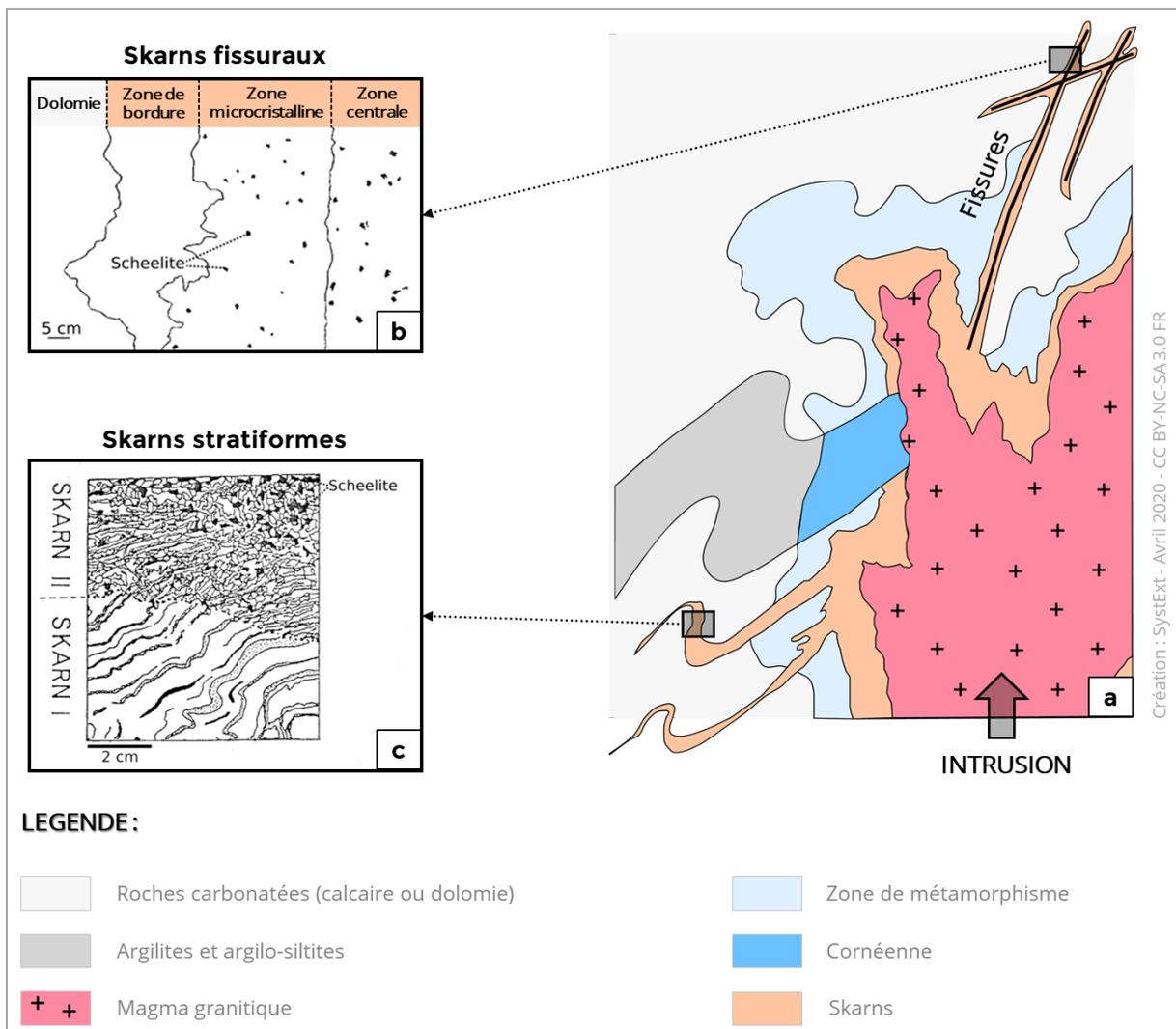


Figure 9 : (a) Représentation schématique de la situation des skarns par rapport à une intrusion granitique ; modifié d'après (Jébrak & Marcoux, 2008) ; (b) et (c) Détails de la minéralisation en scheelite dans les skarns fissuraux²⁷ et dans les skarns stratiformes ; modifiés d'après (Couilloud, 1988)

²⁶ En effet, les fluides hydrothermaux provenant des magmas (enrichis en tungstène) ont rencontré ceux provenant de la déshydratation et de la décarbonatation des roches sédimentaires (contenant également du tungstène), selon Séverac (1982). La rencontre de ces fluides et leur déplacement dans des zones présentant des conditions physico-chimiques différentes ont permis la cristallisation de la scheelite.

²⁷ On observe ici la moitié d'une fissure, l'autre partie est symétrique par rapport au centre de la fissure.

2.2.2. Caractérisation des skarns du gisement de Fumade

Dans le gisement de Fumade, on trouve deux grandes familles de skarns : les skarns « fissuraux » et les skarns « stratiformes ».

► Skarns fissuraux

Ces faciès se trouvent principalement dans les dolomies massives (K2a) et viennent en remplissage de fissures dans ces roches carbonatées. En termes minéralogiques, ils sont dits à « calcite-diopside-trémolite », en référence aux principaux minéraux qui les composent (Audion, 2013) et sont minéralisés en scheelite.

Les fluides hydrothermaux qui ont accompagné la mise en place de ces skarns ont été contraints de circuler dans les fissures. Il en résulte des filons qui présentent une structure zonée (voir schéma (b) de la Figure 9), avec :

- une zone centrale au niveau de la fissure en elle-même,
- une zone microcristalline,
- une zone de bordure située avant la dolomie non altérée.

La skarnification s'étend symétriquement de part et d'autre des fissures, et se propage d'autant plus loin dans la dolomie que la fissure est large. La scheelite se concentre principalement dans la zone microcristalline, mais imprègne également les autres zones (Séverac, 1982).

► Skarns stratiformes

Les skarns stratiformes se trouvent essentiellement dans les ACA inf. mais également dans les ACS et les ACA sup. Deux types se distinguent : le « type I », lité et peu minéralisé en tungstène, et le « type II », massif et minéralisé en tungstène (Couilloud, 1988) (voir schéma (c) de la Figure 9). Les grains de scheelite présentent une taille supérieure à 50 µm et peuvent se regrouper, de façon plus ou moins jointive, pour former des lits inframillimétriques à millimétriques. (Couilloud, 1988).

Les skarns stratiformes de type I se sont formés pendant la phase de métamorphisme de contact. La diffusion de la silice (provenant des roches silico-alumineuses) vers les calcaires a permis la cristallisation de différents minéraux (Couilloud, 1988) (voir page suivante).

Les skarns stratiformes de type II (postérieurs à ceux de type I) se sont formés par percolation de fluides hydrothermaux (Séverac, 1982). Ces faciès sont le siège de la minéralisation la plus importante en tungstène (Couilloud, 1988 ; Audion, 2013). La scheelite se présente sous forme de grains inframillimétriques à centimétriques ou sous forme de plages éparses, où les teneurs en tungstène sont alors localement fortes (Couilloud, 1988).

On pourra se reporter au § 3.1.1 et plus particulièrement au Tableau 4 p. 32 qui détaille la minéralogie des skarns fissuraux et stratiformes, respectivement selon leurs zones et selon leur type.

2.3. Cibles identifiées au sein du gisement

2.3.1. Définition et localisation des cibles

Tel que mentionné précédemment, les skarns sont les principaux porteurs de la minéralisation en tungstène. Le phénomène de skarnification ne s'est pas produit de manière homogène dans tout le gisement, aussi trouve-t-on des zones où les faciès sont concentrés en scheelite, et d'autres, moins.

Lorsque la concentration en tungstène est considérée comme suffisante pour justifier une exploitation, on parle alors de teneur « économique ». Les zones du gisement ainsi concernées sont ici appelées des « cibles ». Trois cibles sont actuellement identifiées au sein du gisement de Fumade : « Fumade profond », « Fumade superficiel » et « la Fédial ».

La *Figure 10* localise ces cibles et les décrit selon trois paramètres : profondeur moyenne des corps minéralisés, tonnage et teneur estimés du minerai, et quantité de tungstène contenue (Audion, 2013 ; Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p 28).

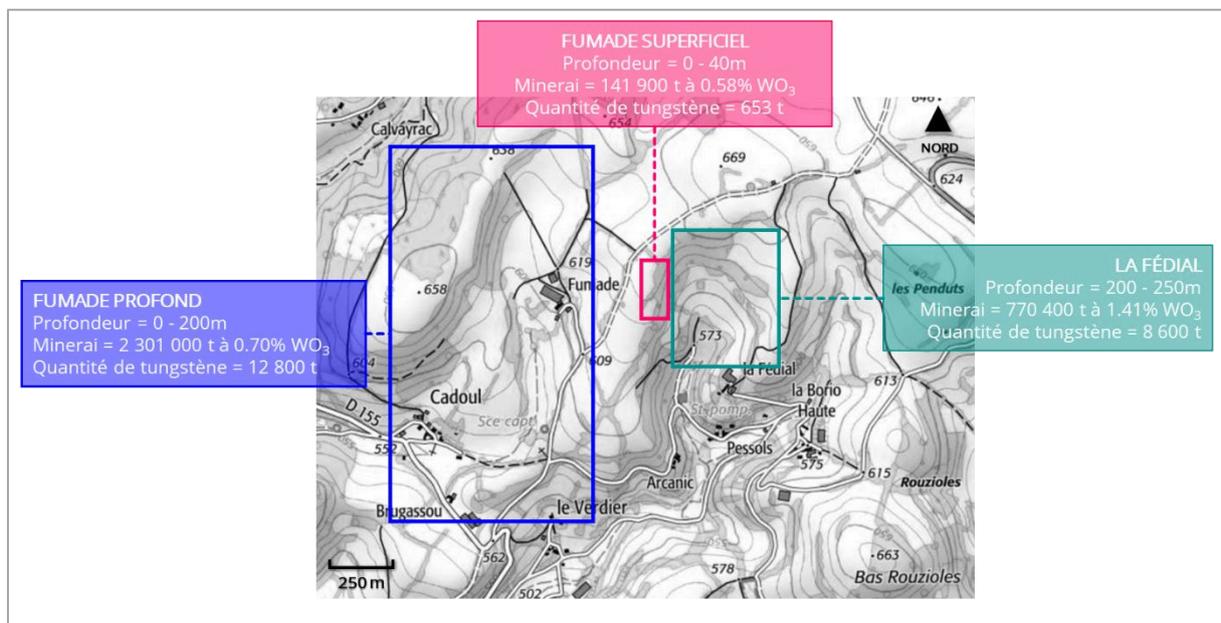


Figure 10 : Localisation des 3 cibles identifiées sur fond cartographique au 1/25000 (© IGN) et description des ressources minérales associées²⁸

2.3.2. Faciès qui pourraient être extraits et/ou traités en cas d'exploitation

Afin d'évaluer les risques potentiels associés à la phase d'exploitation, il est important d'identifier les formations et faciès qui pourraient être concernés par les travaux d'extraction ainsi que ceux qui pourraient faire l'objet d'un traitement ultérieur. **A ce stade précoce du projet, cette identification ne peut être faite de façon précise.** Si la minéralisation est présente dans les skarns, elle l'est surtout dans les skarns fissuraux et dans les skarns stratiformes de type II (voir § 2.2 p. 25). En cas d'exploitation, il s'agirait donc des **faciès prioritairement extraits et traités.**

²⁸ Les contours des cibles ont été reportés manuellement à partir des données du mémoire technique (Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 28, Fig. 8).

Aussi sélective soit l'extraction des skarns, **on peut supposer que les roches situées dans leur environnement proche seront également concernées par des opérations minières**, à minima au moment de l'extraction (voir Figure 11). Dans une approche conservatoire, on considèrera donc, comme étant concernés par les opérations d'exploitation :

- Les **faciès magmatiques et métamorphiques** (granites, filons aplo-pegmatitiques et cornéennes) car les skarns se trouvent en bordure ou à proximité de ces derniers ;
- Les **faciès sédimentaires de la Série Noire** au sein desquels les skarns se sont formés (en remplacement ou au sein des fissures).

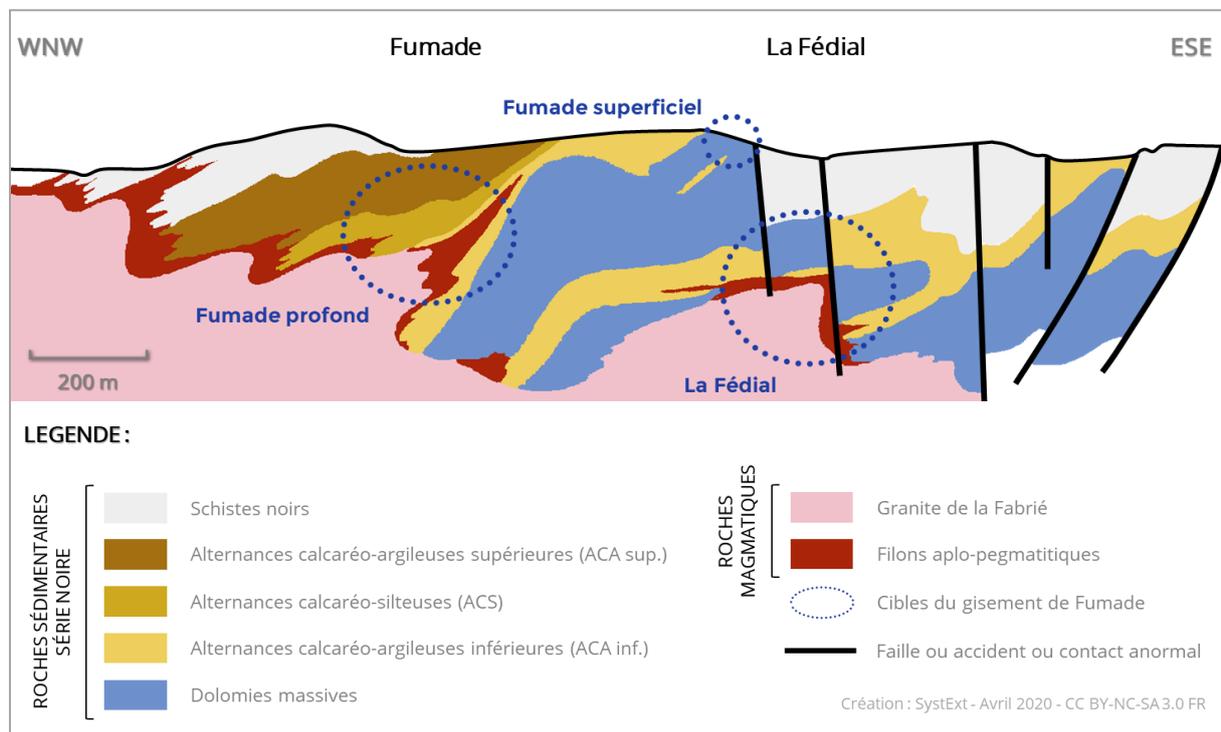


Figure 11 : Coupe géologique simplifiée du gisement de Fumade ; modifié d'après (Lheur & Meisser, 2010)

Pour préciser ce dernier point, on s'intéresse aux formations qui caractérisent chacune des cibles (Tableau 2). **On constate que toutes les formations appartenant à la Série Noire sont concernées, sauf les schistes (K2b3).**

| Cible | Formations encaissantes | Corps minéralisés |
|---------------------------|---|--|
| Fumade superficiel | K2b2 = ACA sup. K2a = Dolomies massives | 19 recoupes minéralisées ²⁹ identifiées, d'une puissance supérieure à 2 m |
| Fumade profond | K2b1 = ACA inf. et ACS | 3 corps minéralisés dans ACA inf., 2 dans ACS Extension maximale de 1 200 m (NNE-SSW) |
| La Fédial | Tous les faciès de la série (K2a, K2b1, K2b2) sauf K2b3 | 7 corps minéralisés dont l'extension est restreinte, avec skarns fissuraux ou stratiformes |

Tableau 2 : Formations géologiques et corps minéralisés caractérisant les cibles du gisement de Fumade ; d'après (Audion, 2013)

²⁹ Une recoupe minéralisée correspond à une zone où un sondage intersecte la minéralisation.

2.3.3. Extensions éventuelles du gisement de Fumade

Au-delà des trois cibles susmentionnées, le gisement de Fumade pourrait s'étendre latéralement. Selon [Melleton et al. \(2016\)](#) : « *Il est fondamental de considérer que les extensions nord et sud des skarns de Fumade et la Fédial restent inconnues ce qui ne peut qu'augmenter le tonnage métal de cette zone qui est déjà d'au moins 20 000 t WO₃.* ».

Les travaux d'exploration menés dans les années 1970-1980 se sont concentrés sur les trois cibles précédentes, aucune prospection n'a été menée sur d'éventuelles extensions au nord ou au sud. Le projet de recherches minières présenté par Tungstène du Narbonnais comprend l'étude de la **zone située au nord** des cibles connues, en raison du prolongement à l'affleurement des formations potentiellement minéralisées et de la direction des structures géologiques du gisement (globalement nord-est/sud-ouest) ([Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018](#)).

3. Minéralogie et géochimie

3.1. Minéralogie

3.1.1. Minéralogie des principaux faciès

Tel que décrit précédemment (voir § 2.1 p. 19) SystExt a identifié :

- Quatre principaux faciès sédimentaires : dolomie, calcaire, argilo-siltite, et schiste et niveaux argileux) ;
- Deux principaux faciès magmatiques et métamorphiques : granite et cornéenne (à biotite) ;
- Deux types de skarns minéralisés (skarns stratiformes de type II et skarns fissuraux).

D'après le paragraphe précédent, **l'hypothèse est faite que ces huit faciès pourraient effectivement être extraits et/ou traités en cas d'exploitation**. Le *Tableau 3* détaille de manière qualitative et semi-quantitative les minéraux présents dans les six premiers faciès³⁰.

| Faciès | Minéraux principaux | Minéraux associés ³¹ | Minéraux accessoires ³¹ |
|-----------------------------|---|---|---|
| Dolomie | Dolomite | Quartz, Calcite, Muscovite/Phlogopite, Apatite | Pyrite, Trémolite + Oxydes de fer |
| Calcaire | Calcite, Quartz, Feldspaths | Clinopyroxènes, Andalousite | Sphalérite ³³ , Galène, Pyrite |
| Argilo-siltite | Quartz, Biotite + Minéraux argileux ³² | Feldspaths, Clinopyroxènes, Idocrase | Pyrite, Graphite |
| Schiste et niveaux argileux | Muscovite, Quartz + Minéraux argileux + Matière organique | Biotite, Feldspaths, Chlorite, Grenats, Graphite + Nodules phosphatés (Quartz, Séricite et Apatite) | Pyrite, Pyrrhotite, Sidérite, Ankérite, Calcite, Dolomite, Clinopyroxènes, Idocrase ³³ |
| Granite | Quartz, Feldspaths, Plagioclases, Biotite | Grenats, Chlorite | Hématite, Pyrite, Muscovite, Tourmaline |
| Cornéennes (à biotite) | Biotite, Quartz | Feldspaths, Idocrase, Clinopyroxènes, Calcite, Épidote, Amphiboles | Sphène ³³ , Rutile, Apatite, Ilménite, Pyrite, Zircon |

Tableau 3 : Minéraux identifiés dans les principaux faciès sédimentaires, magmatiques et métamorphiques ; d'après (Séverac, 1982 ; Couilloud, 1988 ; Audion, 2013 ; Melleton, et al., 2016)

³⁰ Pour les *Tableau 3* et *Tableau 4*, tous les minéraux mentionnés par les différents auteurs ont été considérés.

³¹ Les minéraux associés ne sont pas majoritaires, mais sont souvent associés aux minéraux principaux. Les minéraux accessoires sont présents en faibles proportions dans le faciès.

³² Les minéraux argileux sont ici : l'apophyllite et la chlorite.

³³ L'idocrase et le sphène sont aussi nommés respectivement « vésuvianite » et « titanite ». Pour ce document, le choix a été fait de conserver la dénomination majoritairement utilisée par les auteurs consultés. Par ailleurs, la sphalérite est aussi nommée « blende ».

Le *Tableau 4* propose la même description pour les différents types de skarns (y compris pour les skarns stratiformes de type I qui ne sont pas ou peu minéralisés). Parmi les huit faciès étudiés, ce sont les skarns qui présentent la minéralogie la plus diversifiée, avec une représentation de la majorité des minéraux identifiés dans le gisement. On note par ailleurs la prévalence des sulfures et des amphiboles dans ces faciès.

| Skarns | Zone ou type | Minéraux principaux | Minéraux associés | Minéraux accessoires | Minéraux présents selon l'intensité de l'altération hydrothermale |
|---------------------|-------------------------------|--|--|---|--|
| Fissuraux | Zone centrale | Quartz, Idocrase, Grenats, Calcite | Andésine, Anorthite | Scheelite, Clinopyroxènes, Épidote, Phlogopite, Sphène, Trémolite, <i>Localement</i> Sphalérite et Pyrite | Scheelite, Amphiboles, Prehnite + Minéraux argileux |
| | Zone micro-cristalline | Clino-pyroxènes | Calcite, Quartz, Trémolite, Albite, Andésine | Rutile, Dolomite, <i>Localement</i> Sphalérite et Pyrite | Scheelite, Phlogopite, Quartz + Minéraux argileux |
| | Zone de bordure | Calcite, Chlorite, Dolomite | Trémolite | Apatite, Chlorite, Talc, Humite, Apatite | |
| Stratiformes | Type I | Clinopyroxènes, Epidote, Quartz, Idocrase, Grenats, Amphiboles, Feldspaths | | Wollastonite, Calcite, Plagioclases, Sphène, Pyrite | Apophyllite, Talc, Smectite, Chlorite, Apatite |
| | Type II | Idocrase, Grenats (<i>de la série almandin-spessartine</i>) | Quartz, Sphène, Hématite, Clinopyroxènes, Epidote, Calcite | Scheelite, Wollastonite, Apatite, Zircon | Scheelite, Quartz, Feldspaths, Phlogopite, Épidote, Calcite, Actinolite, Trémolite, Chlorite, Forstérite, Scapolite, Sphalérite, Pyrite, Pyrrhotite, Chalcopyrite, Arsénopyrite (ou Mispickel) |

Tableau 4 : Minéraux identifiés dans les skarns fissuraux et stratiformes, respectivement selon leurs zones et selon leur type ; d'après (Séverac, 1982 ; Couilloud, 1988 ; Audion, 2013 ; Guérangé-Lozes, et al., 2013 ; Melleton, et al., 2016)

3.1.2. Composition chimique des minéraux identifiés

Le tableau de l'*Annexe 2 p. 143* rappelle les formules chimiques des minéraux identifiés dans le gisement de Fumade, triés par famille et par sous-groupes de minéraux. Les minéraux majoritaires sont les carbonates et les silicates, dont l'impact environnemental est le plus souvent considéré comme négligeable. Ce sont à l'inverse les sulfures qui sont potentiellement les plus problématiques.

3.2. Géochimie

3.2.1. Substances de la demande de PERM

Le porteur de projet a sollicité l'attribution du PERM pour l'exploration des substances suivantes : tungstène (W), or (Au), bismuth (Bi), étain (Sn), molybdène (Mo), tellure (Te), antimoine (Sb), zinc (Zn), cuivre (Cu), indium (In), scandium (Sc) et substances connexes ([Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018](#)). On s'attend à ce que les substances de la demande de PERM correspondent à celles que l'on pourrait effectivement retrouver dans le gisement à explorer. En première approche, cette liste pourrait être utilisée comme un guide pour connaître la géochimie du gisement de Fumade et ainsi évaluer la présence de substances potentiellement problématiques.

La minéralogie détaillée dans le paragraphe précédent, et plus largement la littérature consultée sur le gisement de Fumade, ne fait cependant pas mention des substances suivantes : or (Au), molybdène (Mo), tellure (Te), antimoine (Sb), indium (In), scandium (Sc). Par ailleurs, même si les autres sont mentionnées, leur présence reste sporadique, comme le cuivre (Cu) ; ou leur abondance relative n'est pas connue, comme le bismuth (Bi), l'étain (Sn) et le zinc (Zn), exception faite du tungstène (W).

Ainsi, les substances de la demande de PERM n'auraient pas été choisies selon la géochimie du gisement de Fumade mais selon les caractéristiques géologiques régionales ou les spécificités des districts miniers à tungstène. Trois justifications sont ainsi fournies par le porteur de projet ([Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 57](#)) ([Tableau 5](#)) :

- (a) La proximité du PERM de la Fabrié avec l'ancienne mine d'or de Salsigne, et avec d'autres mines de métaux dans la Montagne Noire : cela concerne des éléments tels que l'or (Au), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le tellure (Te) ou encore le bismuth (Bi) ;
- (b) Le retour d'expérience sur d'autres districts à tungstène : qui contiennent souvent de l'étain (Sn), du molybdène (Mo) et de l'antimoine (Sb) ;
- (c) La volonté du porteur de projet d'inclure deux terres rares, suivant les recommandations du BRGM ([Melleton et. al, 2016](#))³⁴ ; cela concerne l'indium (In) et le scandium (Sc).

| Substance | Identifiée dans la littérature | Justification dans le dossier de PERM | Substance | Identifiée dans la littérature | Justification dans le dossier de PERM |
|----------------|--------------------------------|---------------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Tungstène (W) | | | Molybdène (Mo) | | (b) |
| Antimoine (Sb) | Non | (b) | Or (Au) | Non | (a) |
| Bismuth (Bi) | | (a) | Scandium (Sc) | Non | (c) |
| Cuivre (Cu) | | (a) | Tellure (Te) | Non | (a) |
| Etain (Sn) | | (b) | Zinc (Zn) | | (a) |
| Indium (In) | Non | (c) | | | |

Tableau 5 : Etude de la liste des substances de la demande de PERM

³⁴ « Bien que les processus à l'origine des enrichissements soient loin d'être parfaitement connus, certains gisements à Sn/W sont aussi le lieu de concentration économiques de métaux rares tels que l'indium et le scandium. Il conviendrait de tester les concentrations de ces deux éléments dans les différents indices et gisements de la zone d'étude, des concentrations économiques pouvant significativement en augmenter l'intérêt. » ([Melleton, et al., 2016, p. 40](#))

3.2.2. Mise à jour des substances de la demande de PERM

Le 7 octobre 2019, le porteur de projet a demandé au Ministre de l'Economie et des Finances de modifier la liste des substances faisant l'objet de la demande de PERM, et de la restreindre uniquement à : « tungstène et substances connexes » (Tungstène du Narbonnais, 07/10/2019).

Tel qu'explicité dans le paragraphe précédent, une grande partie des substances de la liste initiale ne serait pas ou peu présente dans le gisement de Fumade. Aussi, la modification demandée lève cette situation paradoxale, mais ne remet pas en cause l'exploration d'autres substances (si certaines s'avéraient économiques) tel que le rappelle le porteur de projet dans ce même courrier : « Il est prématuré de définir les substances connexes – présentes ou non – en faibles traces et qui pourraient entrer dans la constitution du minerai de tungstène et leur possibilité de valorisation » (Tungstène du Narbonnais, 07/10/2019).

Ainsi, le porteur du projet affirme sur son site internet³⁵ :

« L'entreprise extraira et exploitera uniquement du minerai de tungstène. »

Pour rappel, un minerai contient plusieurs minéraux dont certains sont en quantités suffisantes pour justifier une exploitation. Aussi, après extraction du minerai de tungstène, et si cela s'avérait économiquement intéressant, l'exploitant pourrait choisir de traiter plusieurs minéraux d'intérêt et de récupérer ainsi plusieurs éléments associés.

L'engagement pris de n'extraire et de n'exploiter que le minerai de tungstène n'est pas synonyme : de la diminution du volume de minerai extrait (ou traité), ou d'une modification substantielle de la nature des déchets miniers générés.

On notera toutefois que la valorisation de plusieurs substances nécessite la mise en place d'unités dédiées à chacune d'entre elles dans l'usine de traitement. Ceci peut alors induire des opérations de traitement plus nombreuses et l'intervention d'un plus grand nombre de réactifs chimiques.

Modifier la liste des substances de la demande de PERM (voire de la concession en cas de poursuite vers un projet d'exploitation) **ne change pas l'analyse des risques environnementaux réalisée par SystExt**, pour trois raisons :

- Cette analyse se base sur les substances effectivement présentes dans le gisement et le paragraphe précédent a démontré que celles-ci n'étaient pas nécessairement identiques aux substances de la demande du titre minier.
- Le maintien du terme « substances connexes » assure au titulaire du titre la possibilité de valoriser d'autres substances qui s'avérait économiquement intéressantes.
- En cas d'exploitation, les caractéristiques du projet minier (telles que le volume extrait, le volume traité ou la nature des déchets miniers) pourraient ne pas être modifiées de façon substantielle.

³⁵ Page 'Engagements sur le projet' ; section « Nos engagements pour la période d'exploitation si celle-ci a lieu (15 à 20 ans environ) ». Voir au [lien suivant](#). Voir également l'*Annexe 3 p. 144*.

3.2.3. Données géochimiques disponibles sur le gisement de Fumade

► Généralités sur les données géochimiques

Les données géochimiques disponibles ont donc été étudiées afin de déterminer substances potentiellement polluantes qui sont présentes dans le gisement de Fumade. Schématiquement, on distingue :

- **Les éléments qui composent les minéraux constitutifs des roches du gisement.** Pour cela, on s'intéresse alors aux minéraux des faciès d'intérêt (skarns, dolomies, etc.) et à leur composition chimique, tel que détaillé dans le tableau de tableau de l'*Annexe 2 p. 143* ;
- **Les éléments qui se concentrent à la faveur des événements géologiques.** En effet, la mise en place des formations ou des corps minéralisés se fait selon des mécanismes variés (augmentation de la température ou de la pression, circulations de fluides, etc.), qui vont déterminer la signature chimique des faciès d'intérêt³⁶, qu'ils soient minéralisés ou non.

Pour la présente étude, les données géochimiques sont tirées de [Séverac \(1982\)](#) et [Couilloud \(1988\)](#). Ces données sont très préliminaires car peu d'échantillons ont été analysés. Les résultats sont donc donnés à titre indicatif et de manière qualitative. Le jugement de l'abondance de ces éléments est tiré de ces deux thèses et on se fiera donc à l'appréciation de leurs auteurs.

Par ailleurs, on différencie classiquement : les éléments « majeurs », abondants dans la croûte terrestre (calcium, silicium, magnésium, potassium, aluminium, etc.) ; des éléments « traces », présents dans des quantités bien moindres (cuivre, zinc, plomb, chrome, etc.). Lorsque les concentrations en éléments traces dans les minéraux ou les roches sont plus élevées que ce qui est habituellement observé, on parle « d'anomalie ». Généralement, on détecte une anomalie lorsque la teneur en l'élément chimique est très supérieure (communément dix fois) à la teneur du fond géochimique³⁷ des roches du même type. Les données géochimiques détaillées ci-après portent sur les anomalies en éléments traces.

► Géochimie de skarns minéralisés en tungstène

La géochimie des skarns fissuraux, qui se trouvent principalement dans les dolomies, diffère de la géochimie des skarns stratiformes de type II, qui, quant à eux, se trouvent principalement dans les calcaires argileux alternant avec des argilo-siltites.

Dans les skarns fissuraux, les éléments traces mis en évidence sont : l'**étain (Sn)**, le **manganèse (Mn)**, le **zinc (Zn)**, le **strontium (Sr)** et le **bismuth (Bi)** ([Séverac, 1982](#))³⁸. [Couilloud \(1988\)](#) décrit plus spécifiquement la géochimie des skarns fissuraux de la cible « la Fédial ». Le **fer (Fe)** et le manganèse (Mn) présentent des teneurs plus faibles dans ces skarns et ne constituent pas une anomalie, contrairement aux skarns stratiformes de type II. Seuls le zinc (Zn) et le strontium (Sr) présentent des teneurs élevées, respectivement dues à la présence de sphalérite et de dolomite.

³⁶ La signature chimique caractérise la présence d'éléments chimiques en infime quantité dans un minéral, qui s'insèrent sous forme d'atomes dans son réseau cristallin. Par exemple, dans le gisement de Fumade, le strontium (Sr) s'insère dans la dolomite et cela ne se reflète pas dans la formule chimique de ce minéral : $MgCa(CO_3)_2$.

³⁷ La teneur du fond géochimique désigne la concentration en un élément mesurée dans un sol ou une roche à l'état naturel.

³⁸ Ces données sont à considérer avec précaution car elles reposent sur l'analyse d'un seul échantillon.

Dans les skarns stratiformes de type II, on observe un enrichissement de certains minéraux en **fer (Fe)** et en **manganèse (Mn)** (Couilloud, 1988). On note également un enrichissement en **étain (Sn)**, dû principalement à la présence des grenats, d'idocrase, de sphène et d'épidote. Bien que les sulfures soient peu abondants, quelques échantillons présentent des teneurs anormales en **zinc (Zn)** (associé à la sphalérite, de 100 à 963 mg/kg), en **civre (Cu)** (associé à la chalcopyrite, jusqu'à 1 830 mg/kg) et en **arsenic (As)** (associé à l'arsénopyrite, jusqu'à 1 445 mg/kg). Le **bismuth (Bi)** se trouve parfois en teneur élevée également (jusqu'à 335 ppm), probablement due à la présence de sulfures. Les autres éléments traces mentionnés sont : le **strontium (Sr)**, le **béryllium (Be)**, le **lanthane (La)** et le **lithium (Li)** (Séverac, 1982).

► Géochimie des autres faciès d'intérêt

- Dolomies et calcaires : les éléments traces contenus dans les dolomies et les calcaires (alternant avec les argilo-siltites) sont similaires. Il s'agit des éléments : **lanthane (La)**, **strontium (Sr)**, **manganèse (Mn)**, **baryum (Ba)** et **tungstène (W)** (Séverac, 1982). Les teneurs en plomb (Pb) et zinc (Zn) y sont conformes à ce que l'on mesure classiquement dans ce type de roches (Couilloud, 1988). L'élément lanthane (La) présente des teneurs anormales, allant de 130 à 310 mg/kg (Couilloud, 1988).
- Schistes et niveaux argileux : les éléments traces contenus sont plus diversifiés, et l'on y retrouve notamment les éléments : **chrome (Cr)**, **gallium (Ga)**, **nickel (Ni)**, **plomb (Pb)**, **zinc (Zn)**, **lithium (Li)** et **baryum (Ba)** (Séverac, 1982), mais aussi du **molybdène (Mo)** (Guérangé-Lozes, et al., 2013).
- Granite : la géochimie des granites n'a pas été étudiée ici³⁹.
- Cornéennes (à biotite) : les éléments traces contenus sont le **rubidium (Rb)** et le **baryum (Ba)**, qui sont d'ailleurs des éléments très mobiles, ainsi que le **strontium (Sr)** et le **lithium (Li)**.

3.2.4. Recommandations quant aux éléments traces à surveiller

► Éléments traces identifiés dans le gisement de Fumade

Le potentiel de « relargage » des éléments dans l'environnement résulte de la **capacité de l'élément chimique à être lixivié**⁴⁰, qui elle-même dépend de nombreux facteurs (en particulier la nature du minéral porteur de l'élément concerné et les caractéristiques physico-chimiques des solutions qui entrent en contact avec le minéral). Aussi, pour prédire le **potentiel polluant**⁴¹ des substances identifiées, il est nécessaire de disposer d'un grand nombre de données (conditions de pH et d'oxygène du milieu, disponibilité à la lixiviation, mobilité de l'élément, concentration de la substance dans le milieu, etc.) qui ne sont que partiellement connues sur le secteur d'étude.

On se place donc ici dans une approche conservatoire, consistant à **prendre en compte tous les éléments traces identifiés dans les données géochimiques disponibles**. Le *Tableau 6 page suivante* présente les vingt-deux éléments traces identifiés dans le gisement de Fumade (ainsi que les minéraux et faciès porteurs, lorsque connus).

³⁹ Selon SystExt, s'agissant de faciès non minéralisés, situés à la base du gisement, les granites devraient être moins concernés par les travaux d'exploration et d'exploitation que les autres faciès. Aussi ne constituent-ils pas une cible prioritaire pour l'étude géochimique menée par SystExt.

⁴⁰ La lixiviation désigne la dissolution chimique de certains constituants d'un matériau par la mise en contact avec une solution (eau de pluie ou de ruissellement, par exemple).

⁴¹ Le caractère polluant d'une substance se définit par sa capacité à dégrader la qualité d'un milieu (sans présumer des risques environnementaux ou sanitaires potentiellement induits).

On constate que d'une part, **les schistes, niveaux argileux et argilo-siltites**, et d'autre part, **les skarns, portent la majorité des éléments**.

| Élément trace | Dolomies et calcaires | Schistes, niveaux argileux et argilo-siltites | Skarns ⁴² | Cornéennes |
|----------------|-----------------------|---|----------------------|------------|
| Arsenic (As) | | | x ^{II} | |
| Baryum (Ba) | x | x | | |
| Béryllium (Be) | | | x ^{II} | |
| Bismuth (Bi) | | | x | |
| Bore (B) | x | x | | |
| Chrome (Cr) | | x | | |
| Cuivre (Cu) | | | x ^{II} | |
| Étain (Sn) | | | x | |
| Fer (Fe) | x | x | x | x |
| Gallium (Ga) | | x | | |
| Lanthane (La) | x | | | |
| Lithium (Li) | | x | x ^{II} | x |
| Manganèse (Mn) | x | | x | |
| Molybdène (Mo) | | x | | |
| Nickel (Ni) | | x | | |
| Plomb (Pb) | | x | | |
| Rubidium (Rb) | | | | x |
| Strontium (Sr) | x | | x | x |
| Titane (Ti) | | x | | |
| Tungstène (W) | | | x | |
| Zinc (Zn) | | x | x | |
| Zirconium (Zr) | | x | | |

Tableau 6 : Éléments traces identifiés dans le gisement de Fumade, et faciès porteurs associés ; d'après (Séverac, 1982 ; Couilloud, 1988)

► Cadre réglementaire

S'agissant de l'étude d'un potentiel projet industriel sur le territoire français, on rappelle les dispositions de l'arrêté du 2 février 1998 « *relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation* » (Arrêté du 02/02/1998)⁴³. L'arrêté définit un certain nombre de substances assujetties à des contraintes environnementales, notamment par des limites de rejet dans l'eau⁴⁴. Douze substances (et leurs composés) disposent ainsi de valeurs limites de concentration (qui s'appliquent à partir d'un certain seuil de flux (en g/j)) : aluminium (Al), arsenic (As), cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), étain (Sn), fer (Fe), manganèse (Mn), mercure (Hg), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

⁴² Lorsqu'il s'agit uniquement des skarns stratiformes de type II, il est alors indiqué : x^{II}

⁴³ Les activités minières relèvent du Code minier et non du Code de l'Environnement. Cependant, les usines de traitement du minerai, les installations de gestion des eaux ou les installations de gestion des déchets miniers peuvent relever de la réglementation afférant aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

⁴⁴ Article 32, modifié par arrêté du 25 juin 2018 - Art. 7 : « *Sans préjudice des dispositions de l'article 22 et des dispositions particulières à certaines activités prévues par l'article 33 ci-après, les eaux résiduaires rejetées au milieu naturel respectent par ailleurs les valeurs limites de concentration suivantes, selon le flux journalier maximal autorisé. [...]* » (Arrêté du 02/02/1998).

En l'absence de valeurs réglementaires pour la qualité des masses d'eau, superficielles ou souterraines, on rappelle également, à titre indicatif, les dispositions de l'arrêté du 11 janvier 2007 « *relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine* » ([Arrêté du 11/01/2007](#)). L'arrêté définit les substances qui disposent :

- D'une **limite de qualité**⁴⁵ : antimoine (Sb), arsenic (As), bore (B), cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), mercure (Hg), nickel (Ni), plomb (Pb), sélénium (Se) ;
- D'une **référence de qualité**⁴⁶ : aluminium (Al), baryum (Ba), cuivre, (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn).

► Toxicité des éléments traces identifiés dans le gisement

La « toxicité » des substances se définit comme la capacité d'un élément à provoquer des effets néfastes pour la santé humaine ou pour toute forme de vie. On parle souvent d'« écotoxicité » dans le cas d'effets néfastes pour la faune et la flore.

La toxicité d'un métal ou d'un métalloïde est principalement liée à son état (liquide, solide ou gazeux) et à sa forme chimique (ou état de valence⁴⁷). Pour bon nombre de métaux et métalloïdes, elle reste mal connue car peu étudiée. Parmi les éléments traces identifiés au sein du gisement de Fumade, sont particulièrement concernés : l'aluminium (Al), le baryum (Ba), le bismuth (Bi), le bore (B), le chrome (Cr)⁴⁸, l'étain (Sn), le molybdène (Mo) et le nickel (Ni).

Dans la littérature, certains éléments présentent cependant une toxicité élevée et reconnue : antimoine (Sb), arsenic (As), cadmium (Cd), mercure (Hg), plomb (Pb) et thallium (Tl), seuls l'arsenic et le plomb ayant été identifiés par SystExt dans le gisement de Fumade. On note également que la toxicité du cuivre (Cu) est attestée pour les organismes aquatiques (faune et flore) et que celle du manganèse (Mn) l'est pour la flore ([Weiss, et al., 2016](#)).

► Cas particulier de la toxicité du tungstène

Alors que pendant longtemps, le tungstène a été considéré comme une alternative non toxique à l'usage du plomb dans les applications industrielles, militaires et médicales, **des études récentes interrogent la toxicité de cet élément**. Depuis 2008, l'Agence de protection environnementale américaine (US EPA) considère cet élément comme un contaminant émergent ([Datta, et al., 2017](#)). Ainsi, [Koutsospyros, et al. \(2006\)](#) recommandent d'appliquer le principe de précaution dans le cas du tungstène, dans l'attente de nouvelles données scientifiques.

⁴⁵ On appelle « limites de qualité » les valeurs réglementaires fixées pour les paramètres dont la présence dans l'eau induit des risques immédiats ou à plus ou moins long terme pour la santé du consommateur. L'arrêté définit également des limites de qualité pour les fluorures (1,5 mg/l) et les nitrates (50 mg/l).

⁴⁶ On appelle « références de qualité » les valeurs réglementaires fixées pour des substances, qui n'ont pas d'incidence directe sur la santé mais qui peuvent mettre en évidence un dysfonctionnement des installations de traitement ou être à l'origine d'inconfort ou de désagrément pour le consommateur. L'arrêté définit également des références de qualité pour les chlorures (250 mg/l), le sodium (200 mg/l) et les sulfates (250 mg/l) ; ainsi que pour le pH (entre 6,5 et 9).

⁴⁷ L'état de valence caractérise l'état d'oxydation d'un élément. A titre d'illustration, l'arsenic (III) est beaucoup plus toxique que l'arsenic (V).

⁴⁸ La toxicité du chrome (III), la forme la plus répandue de cet élément, est mal connue ; contrairement à celle du Cr (VI) qui a fait l'objet de nombreux travaux et qui est reconnue comme très élevée.

Les auteurs évoquent notamment des **cas d'enrichissement important en tungstène dans les systèmes aquatiques (surficiels et souterrains) situés à proximité des gisements tungstifères**⁴⁹ (Koutsospyros, et al., 2006), alors même que cette substance a traditionnellement été considérée comme très peu soluble et peu mobile dans l'eau⁵⁰.

► Synthèse des données règlementaires et de toxicité

Pour les vingt-trois substances discutées précédemment (vingt-deux éléments traces déterminés grâce à l'étude des données géochimiques) et l'aluminium (élément majeur, métal très répandu dans le gisement de Fumade), le *Tableau 7* synthétise les données règlementaires (Arrêté du 11/01/2007 ; Arrêté du 02/02/1998) et les informations afférentes à la toxicité.

| Élément | Limites de qualité (Arrêté du 11/01/2007) | Références de qualité (Arrêté du 11/01/2007) | Limites de rejet (Arrêté du 02/02/1998) | Toxicité élevée | Toxicité mal connue |
|----------------|--|---|--|-----------------|---------------------|
| Aluminium (Al) | | 200 µg/l | 5 mg/l ⁵¹ | | x |
| Arsenic (As) | 10 µg/l | | 25 µg/l | x | |
| Baryum (Ba) | | 0,70 mg/l | | | x |
| Béryllium (Be) | | | | | |
| Bismuth (Bi) | | | | | x |
| Bore (B) | 1 mg/l | | | | x |
| Chrome (Cr) | 50 µg/l | | 0,10 mg/l | | x |
| Cuivre (Cu) | 2 mg/l | 1 mg/l | 0,15 mg/l | | x |
| Étain (Sn) | | | 2 mg/l | | x |
| Fer (Fe) | | 200 µg/l | 5 mg/l ⁵¹ | | |
| Gallium (Ga) | | | | | |
| Lanthane (La) | | | | | |
| Lithium (Li) | | | | | |
| Manganèse (Mn) | | 50 µg/l | 1 mg/l | | x |
| Molybdène (Mo) | | | | | x |
| Nickel (Ni) | 20 µg/l | | 0,20 mg/l | | x |
| Plomb (Pb) | 10 µg/l | | 0,10 mg/l | x | |
| Rubidium (Rb) | | | | | |
| Strontium (Sr) | | | | | |
| Titane (Ti) | | | | | |
| Tungstène (W) | | | | | x |
| Zinc (Zn) | | | 0,80 mg/l | | |
| Zirconium (Zr) | | | | | |

Tableau 7 : Données règlementaires et informations afférentes à la toxicité des 23 substances mises en évidence dans le gisement de Fumade par SystExt

⁴⁹ Koutsospyros, et al. (2006) ne précisent pas si les gisements en question ont été exploités.

⁵⁰ Voir par exemple une conclusion du BRGM sur la concession de Montredon : « Le risque de pollution chimique par les terrils est très faibles car [...] les résidus de tungstène [...] sont très difficilement solubles. » (BRGM, 1994, p. 469)

⁵¹ La limite est fournie pour la somme des deux éléments (aluminium + fer).

Concernant le cas particulier de l'antimoine, le relevé de l'ARS du 11/09/2019 sur la qualité des eaux potables du captage de Peyrolle (Carso Laboratoire, 2019), indique une concentration de 6 µg/l. Cette valeur avoisine la limite de qualité pour cette substance, de 5 µg/l (Arrêté du 11/01/2007). SystExt n'a pas étudié la géochimie des formations géologiques de la zone du captage et n'est donc pas en mesure d'émettre des hypothèses quant à l'origine possible de ce métalloïde. Cependant, l'étude hydrogéologique a démontré qu'il était peu probable que les terrains aquifères alimentant ce captage soient en connexion hydraulique avec ceux qui se situent au droit du PERM de la Fabrié (voir § 7.2.1 p. 89). C'est la raison pour laquelle l'antimoine ne fait pas partie de la liste des substances retenues par SystExt.

3.3. Drainages miniers

3.3.1. Généralités sur les drainages miniers

Les drainages miniers résultent de l'infiltration des eaux météoriques dans les ouvrages miniers (mines à ciel ouvert, travaux miniers souterrains, stockages de déchets miniers, etc.) **et de leur action sur les matériaux traversés.** Lors de leur passage, les eaux se chargent de manière plus ou moins soutenue en substances chimiques et peuvent ainsi : présenter des concentrations élevées en métaux et métalloïdes, contenir des quantités importantes de matières en suspension et avoir des pH extrêmes. Ces processus dépendent du contexte géologique et géochimique, ainsi que des conditions physico-chimiques des milieux (pH, présence d'oxygène ou non, présence de bactéries ou non, etc.).

► Drainages miniers des mines de sulfures métalliques

Parmi les différents types de drainages miniers, trois sont davantage connus : le drainage minier acide (DMA), le drainage neutre contaminé (DNC) et le drainage minier salin (DMS). Ils se mettent en place essentiellement dans les gisements de minerais sulfurés métalliques, en fonction de la présence de sulfures et de carbonates. Les mécanismes majeurs qui gouvernent leur mise en place sont l'acidification (par l'oxydation des sulfures) et la neutralisation (par l'action des carbonates). Ils sont donc classiquement classés selon leur pH, leur concentration en sulfates et leur concentration en métaux et métalloïdes, tel que décrit dans le *Global Acid Rock Drainage (GARD) Guide* (INAP, 2012). Il s'agit du système de classification international de référence, dont on reprend ci-dessous les définitions pour les trois principaux types de drainage.

Drainage minier acide (DMA) (INAP, 2012)

Le pH des eaux du drainage est inférieur à 6. **Le drainage minier acide (DMA) se produit lorsque des sulfures** (en particulier la pyrite et la pyrrhotite) **s'oxydent au contact de l'air et de l'eau pour produire des solutions acides et sulfatées.** Les jus acides ainsi produits ont la propriété de mettre en solution les métaux contenus dans les minéraux, comme le fer (Fe), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le nickel (Ni) et le zinc (Zn), ou les métalloïdes tels que l'arsenic (As)⁵². Le DMA représente une menace majeure pour les milieux et les écosystèmes.

Drainage neutre contaminé (DNC) (INAP, 2012)

Le pH des eaux du drainage est supérieur à 6 et les concentrations en sulfates sont inférieures à 1 000 mg/L. **Le drainage neutre contaminé (DNC) se produit soit lorsque certains minéraux présents neutralisent l'acidité produite par un DMA** (principalement des carbonates mais également parfois des silicates), **soit lorsque les sulfures sont présents en très faible quantité et qu'il n'y a pas de carbonates.** Un DNC peut, lui aussi, contenir des concentrations élevées en métaux et métalloïdes, même à pH neutre. Les principaux éléments que l'on retrouve dans le DNC incluent notamment : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le molybdène (Mo), le nickel (Ni) et le zinc (Zn)⁵². Même si le DNC est moins critique que le DMA (les concentrations en éléments contaminants sont généralement moins élevées et le pH n'est pas acide), il peut tout de même avoir un impact significatif sur l'environnement.

⁵² Les exemples de substances pouvant être contenues dans les drainages miniers ont été choisies parmi les éléments traces identifiés au sein du gisement de Fumade (voir Tableau 7 p.39).

Drainage minier salin (DMS) (INAP, 2012)

Le pH des eaux du drainage est supérieur à 6 et les concentrations en sulfates sont supérieures à 1 000 mg/L. **Le drainage minier salin (DMS), se produit soit lorsque des carbonates ou des eaux hautement basiques neutralisent l'acidité produite par un DMA, soit lorsque les sulfures sont absents ou en très faibles quantité et qu'il y a des carbonates.** Les principales substances que l'on peut retrouver dans le DMS incluent le fer (Fe), les sulfates ou encore le magnésium (Mg) et le calcium (Ca).

La Figure 12 représente les domaines d'existence des trois types de drainages miniers précédents⁵³, en fonction du pH, et selon la quantité totale de métaux en solution et la concentration en sulfates.

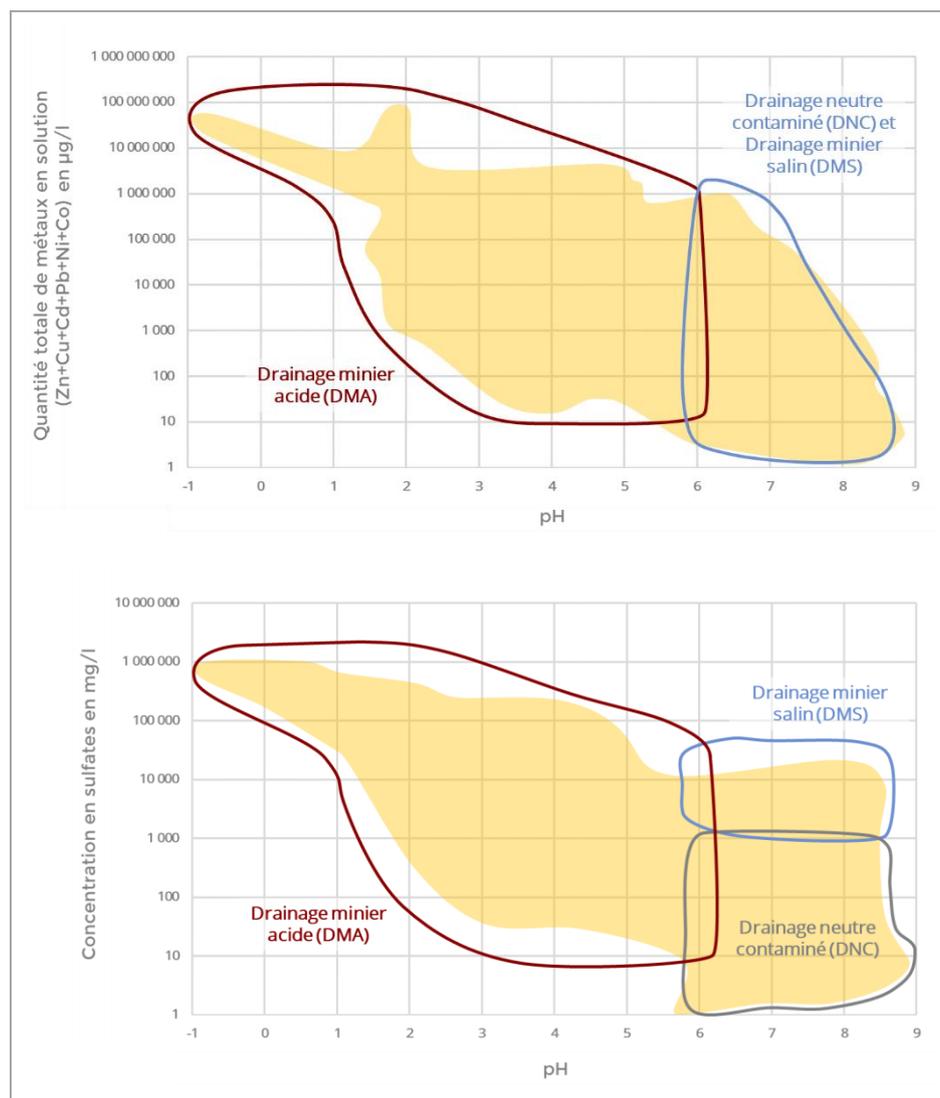


Figure 12 : Domaines d'existence des trois types de drainages miniers, en fonction du pH et selon la quantité totale de métaux en solution et de la concentration en sulfates ; modifié d'après (INAP, 2012), tiré de (Plumlee et al., 1999)

⁵³ En complément des trois grands types de drainages reconnus par l'INAP, Nordstrom, et al. (2015) définissent un drainage minier basique comme présentant un pH supérieur à 9. Selon ces auteurs, ils se produisent notamment dans les mines de charbon, de fer et de terres rares.

► Élargissement du drainage minier salin (DMS) aux autres mines

L'acidité et les teneurs élevées en métaux restent les enjeux les plus préoccupants pour les exploitants et les régulateurs, tenant compte des impacts majeurs dont ils sont à l'origine. C'est pourquoi le DMA est bien plus connu et étudié que les autres drainages miniers. C'est aussi pour cette raison que **presque tous les systèmes de classification de drainages miniers reposent sur le pH et la concentration en sulfates, en se basant sur la classification de l'INAP.**

Plutôt que de ne prendre en compte que la concentration en sulfates, des auteurs préconisent cependant de considérer la **salinité** des eaux (Cañedo-Argüelles, et al., 2012), définie comme la **quantité totale de solides dissous, sous forme d'ions** (comme les bicarbonates, les sulfates, le sodium, le calcium, etc.)⁵⁴. Certains drainages miniers peuvent en effet être très salins (selon la définition précédente), sans nécessairement contenir des teneurs élevées en métaux. **Cela élargit donc la définition du drainage minier salin (DMS) à d'autres types de gisements** (Opitz & Timms, 2016). Ces drainages sont toujours caractérisés par des pH compris entre 6,5 et 9 (Nordstrom, et al., 2015) mais présentent en plus des concentrations élevées en solides dissous (avec ou sans sulfates).

Même avec cette définition élargie, les DMS sont considérés comme non toxiques pour les humains et les écosystèmes à court terme. Ils peuvent cependant avoir de graves répercussions à long terme sur la qualité des eaux et la vie aquatique (Cañedo-Argüelles, et al., 2012 ; Opitz & Timms, 2016). D'après Opitz & Timms (2016), ce type de drainage est beaucoup moins étudié et le plus souvent non réglementé, car les effets sont moins visibles que le DMA et le DNC (les plus connus) et la menace est donc jugée plus faible. Ces auteurs considèrent cependant **les eaux du DMS comme des eaux contaminées** et recommandent de les prendre en compte avec autant de vigilance que les autres drainages miniers.

La question de la qualité des eaux au regard de la **salinité**, est une problématique émergente à l'international (il en est de même pour la turbidité). Suivant les recommandations des auteurs précités, **SystExt estime que la prise en compte de ce phénomène est nécessaire dans toute évaluation de risques environnementaux en contexte minier.**

⁵⁴ Qu'elle soit météorique, de nappe ou hydrothermale, l'eau est d'abord un solvant : les minéraux constitutifs des roches peuvent s'y dissoudre, permettant des migrations d'éléments par voie soluble (Fritz, 1975). Ainsi, l'altération des **feldspaths** libère des cations comme le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le calcium (Ca^{2+}) ; celle des **clinopyroxènes**, des cations comme le magnésium (Mg^{2+}) et le calcium (Ca^{2+}) et l'anion silicate (SiO_3^{2-}) ; celle des **minéraux argileux**, des anions comme l'aluminate (AlO_2^-) ou le silicate (SiO_3^{2-}) ; celle des **minéraux carbonatés**, le cation calcium (Ca^{2+}) mais aussi l'anion carbonate (CO_3^{2-}), etc.

La Figure 13 synthétise les principales caractéristiques des trois types de drainage minier précédemment décrits.

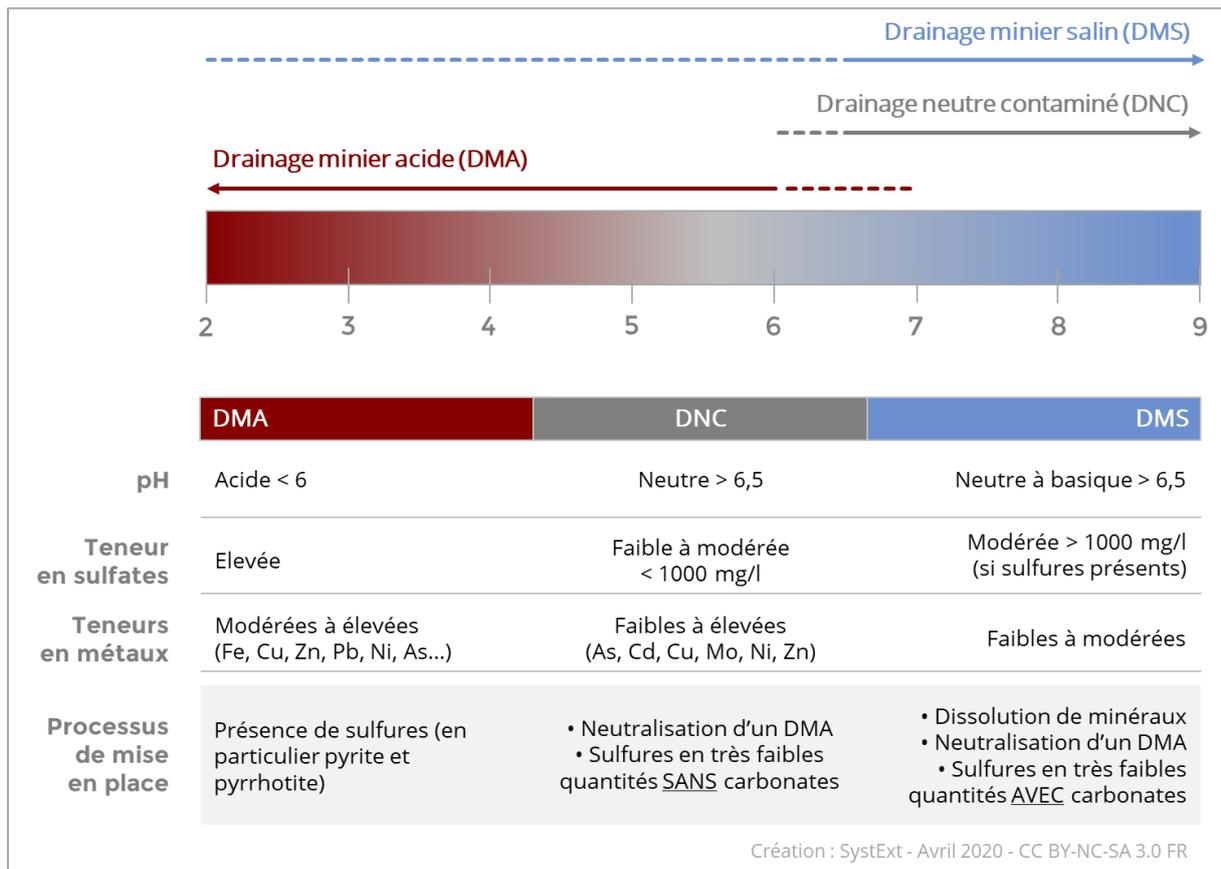


Figure 13 : Principales caractéristiques des trois types de drainages miniers ; d'après (INAP, 2012 ; Nordstrom, et al., 2015 ; Opitz & Timms, 2016)⁵⁵

3.3.2. Drainages potentiels associés au contexte du gisement de Fumade

Tel que décrit dans le § 2 p. 19 afférant à la géologie, le gisement de Fumade contient majoritairement des faciès carbonatés (dolomies et calcaires), ainsi que des faciès argileux et silteux. Les sulfures (et en particulier la pyrite et la pyrrhotite) sont présents, mais en très faible quantité, et seulement dans certains types de faciès (dont les skarns). Si le drainage minier acide se produisait, il serait vraisemblablement neutralisé par les minéraux carbonatés. **SystExt estime ainsi que le risque de génération de drainage minier acide (DMA) est faible.**

Pour évaluer la probabilité de mise en place du drainage neutre contaminé (DNC) et/ou du drainage minier salin (DMS), la chimie des eaux souterraines du gisement constitue une indication intéressante.

⁵⁵ On prend en compte ici les gammes de pH proposées par Nordstrom, et al. (2015) et non celles de l'INAP (2012).

Le seul point d'eau régulièrement analysé est le forage d'Arcanic, dont les eaux proviennent des dolomies massives (K2a). D'après le relevé de l'ARS du 28/11/2019 (Carso Laboratoire Santé, 2019), il s'agit d'eaux :

- Alcalines, avec un pH de 8,2-8,3 ;
- Peu minéralisées, avec des concentrations faibles à modérées pour les cations majeurs (calcium, magnésium, sodium) et les anions majeurs (chlorures, sulfates, nitrates, silicates) ;
- De nature bicarbonatée-calcique⁵⁶.

Ces caractéristiques sont confirmées par l'hydrogéologue agréé pour les eaux du forage d'Arcanic, mais aussi celles du captage de Peyrolle (eau provenant de calcaires rattachés à la formation K2a) (Rey, 2009).

Sans présumer de la nature des drainages miniers qui pourraient se produire, les données précédentes fournissent des indications sur la nature des solides dissous et la gamme de pH des eaux qui circulent au sein ou dans l'environnement des faciès carbonatés. La présence de ces derniers en abondance permet de supposer que **le drainage qui pourrait se produire le plus probablement serait le drainage neutre contaminé (DNC)**.

Comme rappelé en introduction du § 3.3.1 précédent, page 41, la mise en place des drainages miniers et leur nature sont conditionnées par plusieurs facteurs. **Aussi SystExt ne dresse ici que des hypothèses sur les drainages qui pourraient se produire le plus probablement et à l'échelle du gisement, tenant compte des données minéralogiques et géochimiques acquises.** Il est possible que les phénomènes de drainage minier diffèrent localement ; par exemple, dans certaines parties du gisement en exploitation ou dans certaines zones d'un stockage de résidus miniers. A ce stade très préliminaire du projet minier, il n'est cependant pas possible de préciser davantage.

Malgré ces incertitudes, SystExt souhaite insister plus particulièrement sur le **drainage minier salin (DMS), qui serait très susceptible de se produire dans le cas du gisement de Fumade.** L'abondance de minéraux tels que les minéraux argileux (apophyllite, chlorite), les minéraux carbonatés (calcite, dolomite), les feldspaths ou les clinopyroxènes, peuvent être à l'origine de grandes quantités de solides dissous (voir note n°54 p. 43). Par ailleurs, les eaux du forage d'Arcanic présentent des caractéristiques (pH, substances dissoutes) qui montrent que le DMS pourrait être favorisé.

Que ce soit pour le drainage neutre contaminé (DNC) ou le drainage minier salin (DMS), le pH attendu des eaux de drainage est compris entre 6,5 et 9. Les éléments traces identifiés dans le gisement de Fumade (voir § 3.2.4 et plus particulièrement Tableau 7 p. 39) ont une mobilité différente lorsque le pH est neutre à basique. **Aussi, à ce stade très préliminaire de l'évaluation des risques, on ne peut pas prédire leur comportement en présence de DNC ou de DMS. Cependant, dans une approche conservatoire, SystExt retiendra les 22 éléments traces identifiés et l'aluminium comme pouvant potentiellement être relargués dans l'environnement par ces drainages.**

Par ailleurs, en complément, Banks, et al. (2002) ont étudié plusieurs gisements carbonatés, présentant certaines caractéristiques analogues à celles du gisement de Fumade. Ils concluent au fait que le développement de drainage minier a eu pour effet une contamination des eaux en ammonium et en nitrates (substances associées à l'usage d'explosifs pour le dynamitage des roches).

⁵⁶ Avec une concentration en bicarbonates de 96 mg/l et sans carbonates.

3.4. Conclusion sur les risques potentiels

On suppose que **toutes les roches sédimentaires de la Série Noire**, ainsi que les cornéennes et les skarns, pourraient être exploités (les granites et les schistes noirs (K2b3) le seraient dans une moindre mesure). **Les minéraux qui composent ces faciès** sont : des carbonates (calcite et dolomite principalement), des micas, des feldspaths, des amphiboles, des clinopyroxènes, des grenats, d'autres silicates (alumineux, calciques et sodiques), mais aussi de rares sulfures, des oxydes de fer et de titane, ainsi que de la scheelite.

Concernant la **liste initiale de substances associées à la demande de PERM**, elles n'ont pas été choisies selon la géochimie du gisement de Fumade, mais selon les caractéristiques géologiques régionales ou les spécificités des districts miniers à tungstène. **L'engagement pris de n'extraire et de n'exploiter que le minerai de tungstène n'est pas synonyme : de la diminution du volume de minerai extrait (ou traité), ou d'une modification substantielle de la nature des déchets miniers générés.**

S'agissant des éléments traces à surveiller, l'approche choisie par SystExt est de **prendre en compte tous ceux qui ont été signalées par les auteurs consultés**, en particulier par [Séverac \(1982\)](#) et [Couilloud \(1988\)](#). 22 éléments sont ainsi concernés : Arsenic (As), Baryum (Ba), Béryllium (Be), Bismuth (Bi), Bore (B), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Étain (Sn), Fer (Fe), Gallium (Ga), Lanthane (La), Lithium (Li), Manganèse (Mn), Molybdène (Mo), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Rubidium (Rb), Strontium (Sr), Titane (Ti), Tungstène (W), Zinc (Zn) et Zirconium (Zr) ; auxquels s'ajoute l'aluminium (Al) qui est un élément majeur, particulièrement présent dans le gisement de Fumade. Les **schistes, niveaux argileux et argilo-siltites**, d'une part, et les **skarns**, d'autres part, portent la majorité de ces éléments.

Dans la littérature, la **toxicité est reconnue pour l'arsenic (As) et le plomb (Pb)** mais reste mal connue pour onze des substances listées, en particulier pour le tungstène (W) qui est considéré comme un contaminant émergent.

Pour rappel, SystExt ne dresse ici que des **hypothèses sur les drainages qui pourraient survenir le plus probablement et à l'échelle du gisement**, tenant compte des données minéralogiques et géochimiques acquises.

Le gisement de Fumade contient majoritairement des faciès carbonatés (dolomies et calcaires) et des faciès argileux et silteux. Les sulfures (et en particulier la pyrite et la pyrrhotite) sont présents, mais en très faible quantité, et seulement dans certains types de faciès (dont les skarns). Dans ce contexte, **SystExt estime ainsi que le risque de génération de drainage minier acide (DMA) est faible**. L'abondance de minéraux carbonatés conduit plutôt à privilégier le **drainage neutre contaminé (DNC)**.

L'abondance de minéraux tels que les minéraux argileux (apophyllite, chlorite), les minéraux carbonatés (calcite, dolomite), les feldspaths ou les clinopyroxènes peut être à l'origine de grandes quantités de solides dissous. En corrélant ce constat avec la chimie des eaux déjà présentes au sein du gisement (au sein des dolomies massives, K2a), SystExt considère que **le drainage minier salin (DMS) pourrait également se produire et recommande de le prendre en compte avec autant de vigilance que les autres types de drainages miniers**.

4. Question amiantifère

4.1. Définitions

4.1.1. Définition minéralogique et morphologique

L'**amiante** est un terme commercial correspondant à six minéraux naturels répartis en deux groupes : les serpentines et les amphiboles (Anses, 2015). Pour les serpentines, un minéral est concerné : le chrysotile, tandis que pour les amphiboles, cinq le sont : la crocidolite, l'amosite, la trémolite-amiante, l'actinolite-amiante et l'anthophyllite-amiante (INRS, 2018).

Un amiante se définit comme un minéral **asbestiforme**. Ce dernier terme fait référence à la morphologie d'un minéral. Il caractérise le fait que sa croissance ait été unidirectionnelle, il présente donc l'apparence de cheveux, avec de longues fibres dites « filiformes ». Pour chaque minéral asbestiforme cité précédemment, il existe un minéral de même composition chimique mais non asbestiforme, qui n'est donc pas de l'amiante (voir Figure 14 page suivante) (Anses, 2015 ; INRS, 2018).

4.1.2. Définition réglementaire et recommandations officielles

La définition réglementaire repose sur la taille et la forme des **fibres d'amiante** qui se trouvent dans l'air. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) définit ainsi les fibres prises en compte pour la mesure des niveaux d'empoussièrement (OMS, 1998 ; Arrêté du 19/08/2011 ; Arrêté du 14/08/2012). Elle reconnaît comme fibre tout objet ayant une longueur supérieure à 5 µm, un diamètre inférieur à 3 µm, et un rapport longueur sur largeur (allongement) supérieur à 3 (OMS, 1998).

Dans l'air, on peut également trouver des particules issues des amphiboles et serpentines non asbestiformes, il s'agit alors de **fragments de clivages**. Ces derniers sont libérés lorsque certaines opérations sont effectuées, comme par exemple le creusement, le concassage ou encore le broyage des roches (Anses, 2015). Ces particules peuvent alors s'apparenter à des fibres d'amiante, notamment lorsqu'elles ont les dimensions définies par l'OMS. L'ANSES recommande dans ce cas de ne pas distinguer les fragments de clivages des fibres d'amiante (Anses, 2015). On distingue également les fibres courtes d'amiante, ayant une longueur inférieure à 5 µm, pour lesquelles on ne peut écarter avec certitude l'existence de propriétés cancérogènes (Anses, 2015).

A l'heure actuelle, l'amiante est surtout connu pour sa présence dans les matériaux de construction. Cependant, il est originairement présent dans certaines roches. Les termes « **amiante environnemental** » ou « amiante naturel » font référence à l'amiante présent naturellement dans les roches (Anses, 2015). Cet amiante peut être libéré lors de certaines activités comme les activités extractives ou le génie civil, et présente un risque sanitaire pour les personnes exposées.

Le schéma de la Figure 14 page suivante explique ces différentes terminologies et leurs interactions.

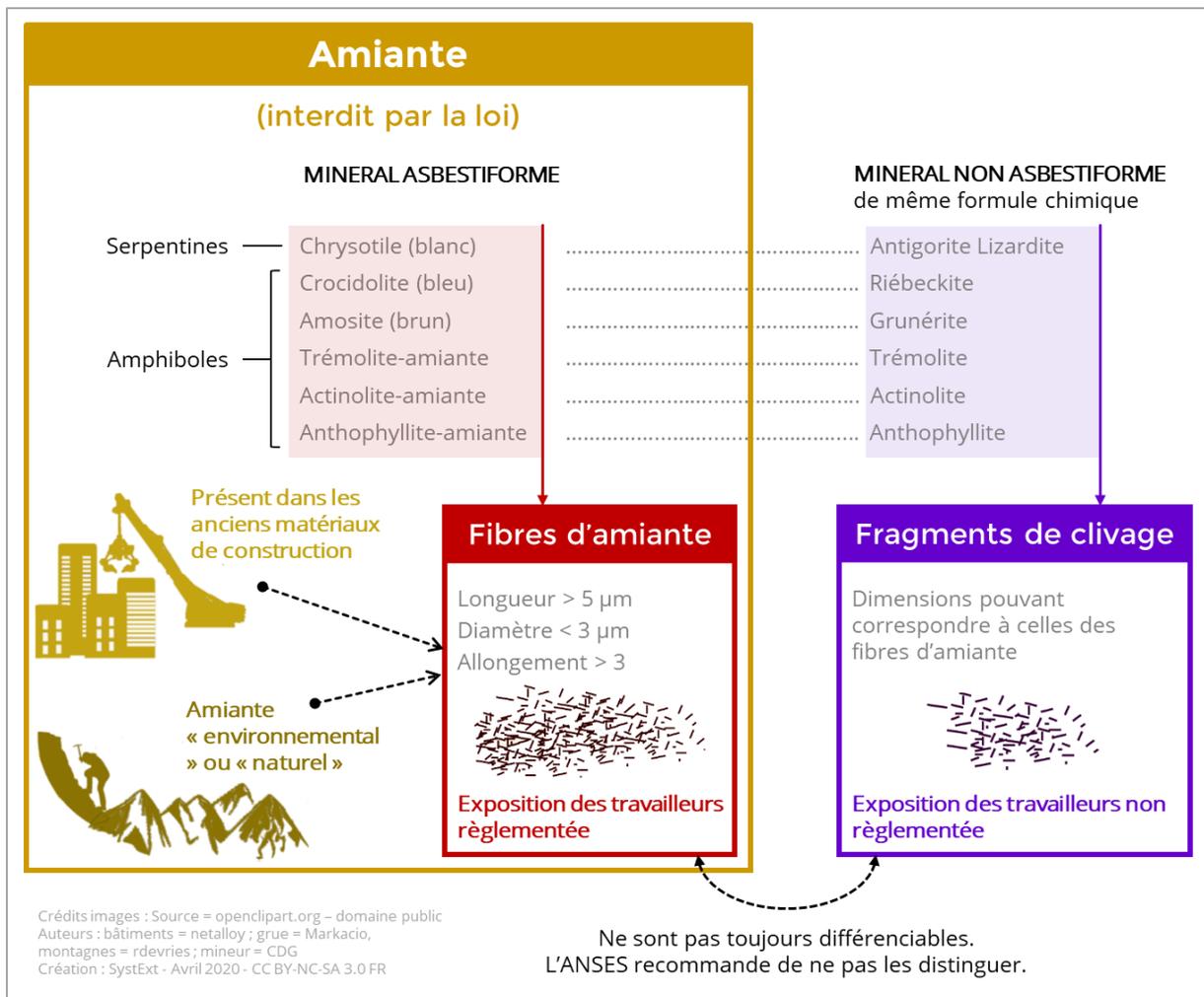


Figure 14 : Schéma explicatif des différentes terminologies relatives à l'amiante, aux fibres d'amiante et aux fragments de clivage

4.2. Historique et réglementation

En France, l'amiante a été reconnu source de maladies professionnelles en 1945. Son usage a commencé à être régulé en 1977, pour finalement être interdit totalement par décret ([Décret n°96-1133 du 24/12/1996](#)) :

« Sont interdits [...] la fabrication, la transformation, la vente, l'importation, la mise sur le marché national et la cession à quelque titre que ce soit de toutes variétés de fibres d'amiante, que ces substances soient ou non incorporées dans des matériaux, produits ou dispositifs. »

Cette réglementation intervient après la reconnaissance des effets sanitaires entraînés par une exposition aux fibres d'amiante. En effet, toutes les variétés d'amiante ont été classées cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques pour l'Homme par le Centre international de recherche sur le cancer puis par l'Union européenne et l'Etat français ([Commission européenne, 2008](#) ; [Article R4412-60 du 06/06/2015](#)). Les principaux cancers liés à une exposition aux fibres d'amiante sont le cancer du poumon et le mésothéliome. Il existe également d'autres maladies typiques non cancérogènes, telles que l'asbestose par exemple.

Cependant, certaines activités présentent toujours un risque d'exposition des travailleurs à l'amiante, comme les travaux de retrait ou d'encapsulation d'amiante. Du fait de la présence d'amiante environnemental dans certaines roches, les travaux extractifs peuvent également présenter un risque d'exposition. Toutes ces activités sont encadrées réglementairement par le Code du travail (*voir Livre IV : Prévention de certains risques d'exposition*).

On peut retenir quelques points de législation liés au risque amiantifère, dont certains sont préalables aux travaux et d'autres, concomitants.

- En amont des travaux, l'évaluation initiale des risques incombe à tout employeur dans le cadre de son obligation générale de sécurité à l'égard de son personnel. Elle établit un niveau d'empoussièrement qui définit la suite des démarches à mettre en place dans l'organisation du travail ([MEDDE & INERIS, 2010](#)). On retiendra également la formation obligatoire des travailleurs au risque amiantifère.
- Pendant la phase des travaux, un travailleur ne peut pas être exposé à plus de 10 fibres par litre en moyenne sur 8 heures de travail. Si cette concentration est dépassée, des protections individuelles adaptées doivent être fournies ([MEDDE & INERIS, 2010](#)). Enfin, des mesures doivent être engagées afin d'assurer l'absence de dispersion de fibres dans l'environnement du chantier ([Article R4412-128 du 01/07/2012](#) ; [MEDDE & INERIS, 2010](#)).

Dans le cas des industries extractives, les dispositions du Code du travail s'appliquent et sont renforcées par le titre relatif à l'amiante, publié en annexe du [Décret n°98-588 du 09/07/1998](#). Il faut toutefois noter que ce décret prévoit qu'un arrêté du ministre chargé des mines fixe les dispositions applicables aux activités d'extraction susceptibles de libérer des fibres naturelles ([Décret n°98-588 du 09/07/1998](#) ; [MEDDE & INERIS, 2010](#)). Cet arrêté n'a jamais été publié ([MEDDE & INERIS, 2010](#)). Ainsi l'encadrement du risque amiantifère dans les activités extractives n'a pas encore totalement abouti.

4.3. Présence d'amphiboles dans le gisement de Fumade

Comme cela a été évoqué dans la présentation de la géologie locale (voir § 2.1.2 p. 22), l'intrusion magmatique dans les roches sédimentaires de la Série Noire a provoqué un métamorphisme de contact et des altérations hydrothermales des roches présentes. Ces deux phénomènes sont à l'origine de la formation d'amphiboles :

- (a) Dans un premier temps, l'augmentation de la chaleur liée à l'intrusion granitique a été l'origine de la formation de cristaux d'amphiboles (Couilloud, 1988). On les trouve dans les cornéennes et les dolomies massives (K2a). Ce mécanisme est plus marqué dans la dolomie, où Séverac (1982) décrit des baguettes de trémolite d'un à deux centimètres de long, disséminées dans la roche ou en liaison avec des fissures.
- (b) Dans un second temps, les altérations hydrothermales subies par les roches sédimentaires encaissantes ont provoqué le remplacement des minéraux préexistants par des amphiboles ou « amphibolitisation ». (Couilloud, 1988). Ce phénomène a pris place principalement dans les skarns stratiformes de type II (à gauche sur la Figure 15) et dans les skarns fissuraux (à droite sur la Figure 15). Cependant, l'amphibolitisation est plus développée dans les skarns fissuraux qui se sont mis en place au sein des dolomies massives (skarns dits « à calcite-diopside-trémolite), et plus particulièrement dans la zone microcristalline (Séverac, 1982 ; Audion, 2013).

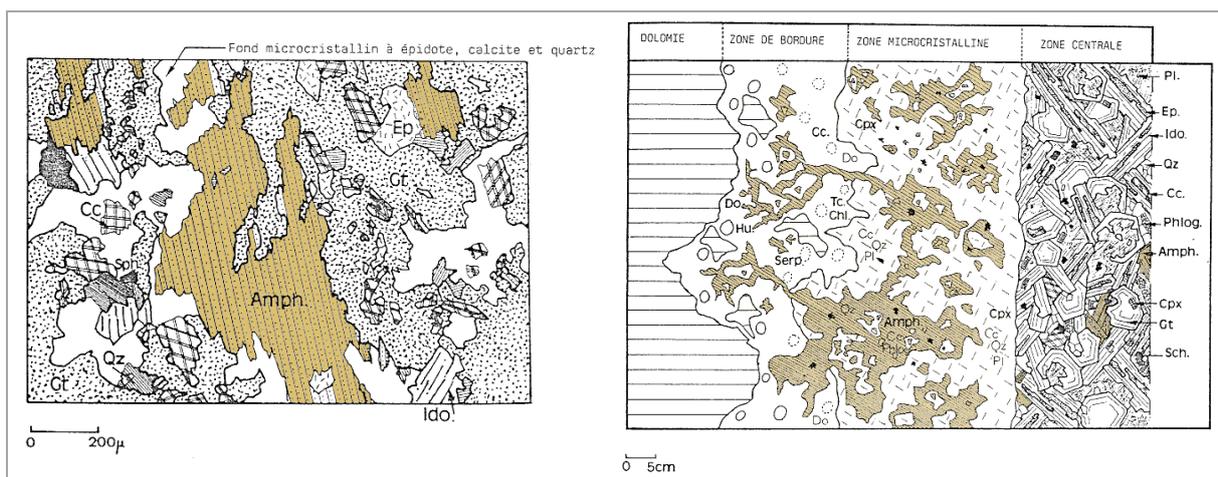


Figure 15 : Vue au microscope de skarns mettant en évidence la présence d'amphiboles (figurées en marron) ; à gauche : skarns stratiformes ; à droite : skarns fissuraux ; modifié d'après (Couilloud, 1988)

D'après Couilloud (1988), la nature de ces amphiboles varie selon le phénomène qui est à l'origine de leur formation et selon les faciès dans lesquels elles ont cristallisé :

- Pour les amphiboles issues du métamorphisme (a) : de la trémolite à la magnésio-hornblende ;
- Pour les amphiboles issues de l'altération hydrothermale (b) :
 - de l'actinolite à la magnésio-hornblende, dans les skarns stratiformes,
 - de la trémolites aux hornblendes actinolitiques, dans les skarns stratiformes.

On retiendra ainsi que, dans le gisement de Fumade, les amphiboles sont majoritairement des trémolites et qu'elles se trouvent le plus souvent dans la dolomie ainsi que dans les skarns stratiformes de type II et les skarns fissuraux. Pour mémoire, les skarns sont les faciès porteurs de la minéralisation en tungstène et feront nécessairement l'objet d'une extraction et d'un traitement en cas d'exploitation.

4.4. Cas de la mine de tungstène de Salau

4.4.1. Retour d'expérience de Salau sur la question amiantifère

Dans le secteur extractif, le risque d'exposition des travailleurs à l'amiante est connu (Anses, 2015). Il a notamment été étudié par le BRGM sur 841 carrières, montrant que sur ces sites, 50 peuvent être considérés comme préoccupants pour la présence potentielle d'amiante et donc l'exposition des travailleurs (Lahondère & Zammit, 2013). Dans ce cas, la libération de fibres peut être occasionnée au moment de l'extraction, mais les opérations de traitement de la roche sont souvent plus problématiques encore, en particulier lors des étapes de concassage et de broyage.

En Ariège, lors de l'exploitation du gisement de Salau⁵⁷, des mineurs ont été exposés à des fibres d'amiante, leur occasionnant de graves problèmes sanitaires. Pour deux employés notamment, une asbestose a été diagnostiquée et reconnue comme maladie professionnelle ultérieurement (Thébaud-Mony, 2015). En effet, les valeurs limites d'exposition professionnelle étaient différentes à cette époque, et les travailleurs ont eu du mal à faire reconnaître leurs maladies (Thébaud-Mony, 2015).

D'après des études menées sur site, les personnes les plus exposées travaillaient au poste de concassage (unité de traitement alors située en souterrain) où l'empoussièrement était de 400 fibres par litre d'air, dont la moitié étaient des fibres asbestiformes (soit 200 fibres d'amiante par litre d'air) (Boulmier, 1984). Si cette teneur était autorisée à l'époque, elle dépasse aujourd'hui de vingt fois la limite d'exposition de 10 fibres d'amiante par litre d'air (sur huit heures de travail).

4.4.2. Comparaison des gisements de Fumade et de Salau

Des similarités entre les gisements de Fumade et de Salau peuvent être notées. Tout d'abord, le minerai exploité à Salau était de la scheelite. Ces deux gisements se sont mis en place dans des contextes géologiques et gîtologiques comparables.

En effet, le gisement de Salau, situé dans la zone axiale des Pyrénées centrales, s'intègre dans des roches sédimentaires, carbonatées et schisteuses, tout comme la Série Noire. Un magma s'y est introduit et, à son contact, la série sédimentaire a subi un métamorphisme (Bornuat, 2012). Les alternances calcaréo-schisteuses se sont transformées sur une cinquantaine de mètres en cornéennes et en skarns (Bornuat, 2012). Il s'agit donc d'un schéma de mise en place similaire à celui du gisement de Fumade, l'intrusion granitique y étant également à l'origine de cornéennes et de skarns.

A Salau, ce sont des altérations hydrothermales tardives qui sont à l'origine de cristallisation d'amphiboles, principalement de l'actinolite dans ce cas (Zahm, 1987). Ce type de phénomène s'est également produit au sein du gisement de Fumade, nonobstant le fait que l'amphibole majoritaire soit ici la trémolite.

La trémolite de Fumade et l'actinolite de Salau consistent toutes les deux en des amphiboles pouvant présenter des morphologies asbestiformes. Cela a d'ailleurs été démontré à Salau (Boulmier, 1984 ; Thébaud-Mony, 2015).

⁵⁷ Le gisement de Salau a fait l'objet d'une exploitation de 1970 à 1986 (Zahm, 1987).

4.5. Conclusion sur les risques potentiels

Concernant le risque amiantifère, l'Agence régionale de santé (ARS) Occitanie a alerté sur les similitudes éventuelles entre le gisement de Fumade et celui de Salau et recommandé la **prise en compte de ce risque dans les études environnementales associées au projet minier** (Agence régionale de santé (ARS) Occitanie, 2019) :

« En outre, je souhaite que l'attention du pétitionnaire soit attirée sur le constat de présence d'amiante dans l'ancienne mine de tungstène d'Anglade⁵⁸ en Ariège. Dans l'éventualité de minéralogies similaires, je souhaite que la présence éventuelle d'amiante ou particules minérales allongées d'intérêt soit prise en compte dans le cadre des études environnementales qui seront réalisées. »

Compte-tenu des similitudes entre les deux gisements décrites dans le § 4.4 précédent, SystExt rejoint ce point d'attention de l'ARS.

Tel que détaillé dans le § 4.3 p. 50, dans le gisement de Fumade, les faciès contenant des amphiboles sont principalement les dolomies massives, les skarns fissuraux et les skarns stratiformes de type II. L'amphibole majoritaire est la trémolite. **La bibliographie consultée n'a pas permis de déterminer si la trémolite peut présenter une morphologie asbestiforme** et s'il s'agit donc (partiellement ou totalement) de trémolite-amiante. Le même constat a été fait pour l'actinolite, également mentionnée dans le gisement de Fumade. Par ailleurs, la documentation étudiée ne fait pas mention précisément de l'abondance relative de ces minéraux dans la roche.

Quand bien même il serait démontré que la trémolite du gisement de Fumade (et l'actinolite, dans une moindre mesure) est non asbestiforme, **le risque de production et de libération de fragments de clivage pour ces deux minéraux subsisterait et devrait donc être pris en compte dans l'analyse des risques associés**. Comme explicité, lors des opérations d'extraction et de préparation mécanique des roches (concassage et broyage), des fragments de clivage présentant les mêmes dimensions que des fibres d'amiante peuvent être générés et polluer l'air ambiant pour les travailleurs. Pour rappel, il s'agit de particules que l'Anses recommande de considérer de la même façon que des fibres d'amiante.

Ces considérations doivent tout particulièrement être prises en compte dans le cas où il serait envisagé d'installer l'unité de préparation mécanique (concassage et broyage) en souterrain, tel que mentionné dans le mémoire technique (Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 65) :

« Si une exploitation souterraine est retenue, les opérations de concassage, criblage pourront être effectuées en souterrain [...] »

Le retour d'expérience de Salau montre en effet que, dans des chantiers souterrains, le niveau d'empoussièrement (que ce soit par des fibres d'amiante ou des fragments de clivage) peut être élevé.

Bien qu'il n'ait pas pu être caractérisé de façon précise, le risque amiantifère existe. Suivant les recommandations de l'Anses, **SystExt estime que les risques associés à la génération de fragments de clivage sont similaires à ceux portant sur les fibres d'amiante.**

⁵⁸ Le gisement de Salau est également nommé « Anglade ».

Selon SystExt, compte-tenu des dangers sanitaires importants que pourrait représenter une exposition à de telles particules, il est impératif de considérer prioritairement ce risque à chaque étape d'un projet minier. Cette question (fibres d'amiante mais aussi fragments de clivage) n'étant pas abordée dans la notice d'impact environnemental, **SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de la prendre en compte lors des éventuelles étapes ultérieures du projet minier et de l'étudier avant tout travaux d'exploitation minière.**

D'après la nature des travaux exploratoires projetés ([Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, pp. 62-65](#)), ceux qui pourraient potentiellement être concernés par cette problématique seraient les sondages (carottés ou destructifs) et la réalisation de tranchées ou puits (échantillonnage en vrac pour les essais minéralurgiques). On note tout d'abord que les sondages sont peu sujets à l'envol de poussières lorsqu'ils sont réalisés en voie humide. Concernant les tranchées et puits, ils ne devraient pas excéder une dizaine de mètres de profondeur, selon le porteur de projet. Or, dans le gisement de Fumade, les amphiboles se trouvent le plus souvent dans la dolomie ainsi que dans les skarns. Ces faciès sont généralement localisés en profondeur, sauf au niveau de la cible « Fumade superficiel ». **Dans une approche conservatoire, SystExt propose donc d'inclure la prise en compte des travaux d'exploration dans la recommandation précédente.**

5. Exploitation et traitement du minerais

Pour rappel, l'un des objectifs de la présente étude est d'identifier les risques potentiels associés tant à la phase exploratoire qu'à la phase d'exploitation du projet minier. Pour répondre à ce dernier enjeu, le présent chapitre s'attache à évaluer ce que pourraient être les modalités d'extraction et de traitement du minerais du gisement de Fumade ainsi que les éventuelles limites associées.

En préambule, il convient donc de rappeler que **SystExt n'a pu s'appuyer que sur les documents écrits du porteur de projet** (dossier de demande de PERM et site internet, hors brochures). Les informations ainsi acquises ont été corrélées aux évaluations réalisées dans les années 1970-1980⁵⁹ et à l'état de l'art des pratiques actuelles dans les filières tungstifères. Considérant le peu de données disponibles et compte-tenu que l'on se trouve à un stade très précoce du projet, il aurait été méthodologiquement incorrect de procéder autrement. Ainsi, aucune affirmation ne pourra être faite concernant les techniques qui seront effectivement mises en œuvre. On essayera seulement d'identifier et de comprendre, au regard des caractéristiques du gisement : **les projections et engagements du porteur de projet et les limites éventuelles.**

5.1. Type d'exploitation

On s'intéresse dans un premier temps au type d'exploitation envisagé (en souterrain et/ou en ciel ouvert). Sur son site internet⁶⁰, le porteur de projet s'engagerait à n'exploiter qu'en souterrain :

« L'exploitation envisagée se fera en souterrain et non en surface. »

Le mémoire technique ([Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 65](#)) explique⁶¹ plutôt que :

« La possibilité d'une exploitation souterraine sera étudiée de façon à minimiser la consommation d'espace et éviter les impacts associés ; [...] Si une exploitation souterraine est retenue, les opérations de concassage, criblage pourront être effectuées en souterrain [...] »

Parallèlement, ce dernier document fait régulièrement mention de la cible « Fumade superficiel ». Celle-ci est bien moins connue que les deux autres cibles. Elle nécessiterait une exploitation à ciel ouvert, compte-tenu de la profondeur des corps minéralisés reconnus à ce jour (jusqu'à 40 m) ([Audion, 2013](#)). La première citation suggère donc qu'il s'agirait de renoncer à l'exploitation de cette cible, dont le tonnage en tungstène reste par ailleurs très inférieur aux autres cibles (653 tonnes présumées, là où la cible « Fumade profond » en contiendrait 12 800 tonnes, *voir Figure 10 p. 27*).

Cependant, le mémoire technique ([Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, Tabl. 6, p. 56](#)) rappelle le potentiel en ressources toutefois important de la cible « Fumade superficiel » :

« La cible de « Fumade superficiel » possède un potentiel de ressources comparable à certaines mines de tungstène en exploitation dans le monde. »

⁵⁹ De la demande de concession de « Cadoul » par la SNEAP, il résulte des documents qui formalise le schéma d'exploitation (modalités d'extraction et de traitement du minerais) ([SNEAP, 1988](#)).

⁶⁰ Page 'Engagements sur le projet' ; section « Nos engagements pour la période d'exploitation si celle-ci a lieu (15 à 20 ans environ) ». Voir au [lien suivant](#). Voir également l'[Annexe 3 p. 144](#).

⁶¹ Dans le reste du document et dans les deux autres tomes de la demande de PERM, il n'apparaît aucun engagement concernant le fait que l'exploitation puisse se faire uniquement en souterrain.

Comme le précise le porteur de projet dans ce même document (*Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 65*), seules les études de préféabilité et de faisabilité* permettront de déterminer la possibilité ou non d'abandonner une partie du gisement, et si une exploitation uniquement souterraine reste économiquement viable.

Ainsi, à ce stade et tenant compte de l'absence d'engagement dans le dossier de demande de PERM, **SystExt considérera que toutes les cibles du gisement pourraient faire l'objet d'une exploitation.** Dans cette éventualité, une partie de l'exploitation se ferait à ciel ouvert et serait à l'origine de risques potentiels différents de travaux miniers souterrains (en termes d'emprise en surface et de quantité de déchets miniers générés).

5.2. Méthode d'exploitation

Aucune information concernant la (ou les) méthode(s) d'exploitation⁶² envisagée(s) n'est fournie dans les documents consultés. La seule indication réside dans une vidéo sur le site internet⁶³, laquelle mentionne le « *remblaiement simultané avec les stériles miniers* » et évoque la **technique des tranches montantes remblayées**.

L'exploitation souterraine par tranches montantes remblayées (*Figure 16*) implique l'abattement et le déblayage du minerai par tranches horizontales, lesquelles sont remblayées au fur et à mesure (par des stériles miniers ou d'autres matériaux qui ne proviennent pas de la zone d'exploitation minière). Les tranches sont exploitées en remontant : la tranche la plus basse est extraite puis remblayée. Le remblayage sert alors de plancher pour l'abattement des tranches situées au-dessus.

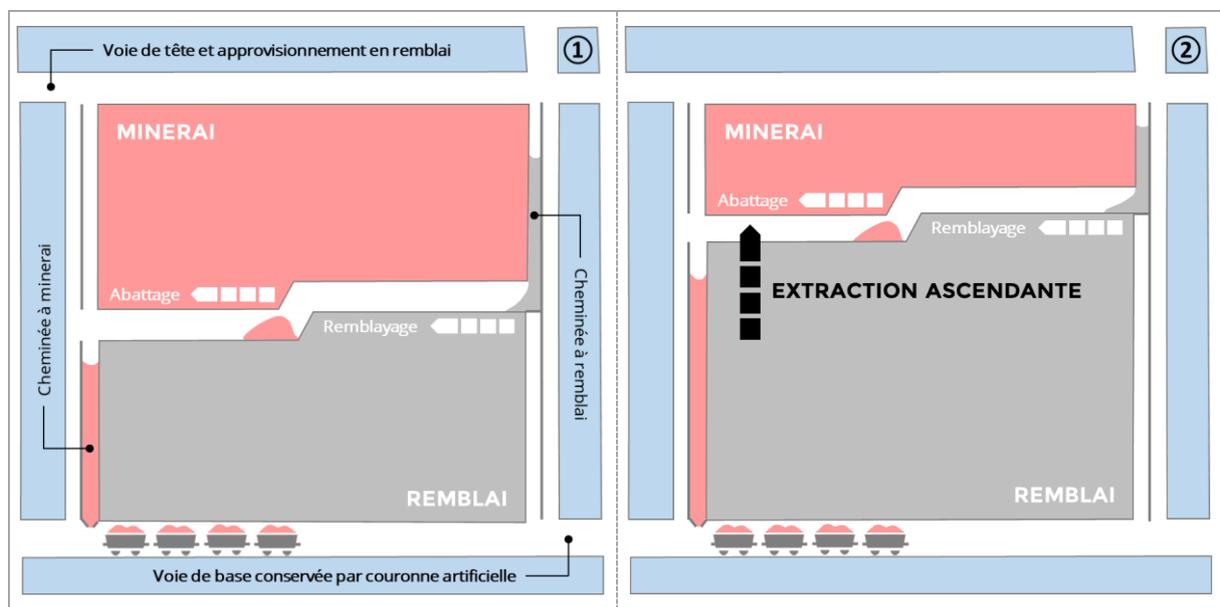


Figure 16 : Schéma de principe de la technique des tranches montantes remblayées ; modifié d'après (Poulard, et al., 2017)

⁶² L'exploitation à ciel ouvert peut se faire à l'aide de plusieurs méthodes, au même titre que l'exploitation en souterrain.

⁶³ Page 'Un projet de taille raisonnable et respectueux du territoire'; Section « Une mine souterraine : Quelle emprise au sol ? ». Voir la vidéo « *Un projet de mine responsable* » à partir de 1'15" [au lien suivant](#). Voir également l'*Annexe 3* p. 144.

Compte tenu des spécificités propres à chaque gisement, il est difficile, sans étude de faisabilité, de déterminer la technique qui sera effectivement mise en œuvre pour l'exploitation du gisement de Fumade. Cependant, l'annexe 4 du dossier de demande de la concession de Cadoul (SNEAP, 1988, pp. 3-4) explicite le choix de la technique d'exploitation choisie par la société minière à cette époque :

« Le niveau des réserves (1 Mt) et la nécessité d'amortir les installations sur une durée de vie raisonnable (10 ans) conduisent à une mine plutôt petite (100 000 t/an) à condition toutefois de dépiler la totalité du gisement. On écartera donc, si possible, les méthodes à taux de défrètement⁶⁴ relativement faible (chambres et piliers).

[...] La teneur moyenne en place (1%) est en définitive assez proche de la teneur de coupure⁶⁵, ce qui interdit tout laisser-aller dans la sélectivité⁶⁶. On écartera donc les méthodes à forte productivité et salissage important (sublevel caving ou sublevel stoping)⁶⁷.

[...] La méthode d'exploitation s'impose donc d'elle-même : tranches montantes remblayées. »

Bien qu'il s'agisse d'une analyse ancienne, et que les conditions d'exploitation aient évolué depuis (la teneur de coupure a diminué depuis 30 ans, par exemple), les caractéristiques du gisement n'ont, quant à elles, pas changé. Cette analyse fournit des indications intéressantes sur les caractéristiques du gisement de Fumade et sur les méthodes d'exploitation souterraine (chambres et piliers, sous-niveau foudroyés, sous-niveaux abattus⁶⁸) qui semblent moins adaptées.

SystExt retiendra l'hypothèse que l'exploitation en souterrain pourrait être réalisée par tranches montantes remblayées. On se concentrera donc, pour la suite, sur les implications que l'utilisation de cette technique occasionnerait.

5.3. Traitement du minerai

5.3.1. Procédé de traitement envisagé par le porteur de projet

Très peu d'informations concernant la (ou les) méthode(s) de traitement du minerai envisagée(s) sont fournies dans les documents du porteur de projet. La seule indication réside dans une vidéo sur le site internet⁶⁹, laquelle présente une méthode de concentration par gravimétrie⁷⁰ : les **séparateurs à spirales**.

⁶⁴ Le taux de défrètement est la proportion de minerai exploité dans une couche minéralisée. Lorsque ce taux est élevé, cela signifie qu'une grande partie du minerai en place a été récupéré.

⁶⁵ La teneur de coupure est la concentration minimale pour la substance d'intérêt au-dessus de laquelle le gisement est « économiquement » exploitable. Ce paramètre dépend des coûts d'extraction spécifiques au gisement et des prix actuels ou estimés du minerai concerné.

⁶⁶ La sélectivité caractérise la qualité de l'extraction. Plus elle est élevée, et plus la quantité de roches stériles associée au minerai (et qui est donc également transportée à l'usine de traitement) est faible.

⁶⁷ *sublevel caving* = exploitation par sous-niveaux foudroyés ; *sub-level stoping* = exploitation par sous-niveaux abattus

⁶⁸ De façon générale, l'exploitation par sous-niveaux est essentiellement destinée aux gisements réguliers, verticaux ou fortement inclinés. Le principe d'exploitation est de découper le gisement en galeries de niveaux et de sous-niveaux et d'abattre le minerai à partir de ces galeries. Pour la technique « par sous-niveaux abattus », le minerai est abattu depuis le mur (ou « plancher ») des galeries et descend par gravité jusqu'à la base du niveau (« en-dessous »). Pour la technique « par sous-niveaux foudroyés » le minerai est abattu au toit (ou « plafond ») des sous-niveaux et est déblayé à chaque sous-niveau. (Poulard, et al., 2017)

⁶⁹ Page 'Les étapes du projet' ; Section « Étape future : L'exploitation ». Voir la vidéo « *Le traitement du minerai par gravimétrie* » [au lien suivant](#). Voir également l'*Annexe 3 p. 144*.

⁷⁰ En minéralurgie, les procédés de traitement gravimétrique désignent un panel varié de techniques de concentration du minerai qui valorisent les différences de densité des minéraux en présence.

L'usage de méthodes gravimétriques n'exclut toutefois pas le recours potentiel à d'autres techniques de traitement subséquentes. Le mémoire technique (Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 46) mentionne notamment que :

« Ce minerai se prêtera donc parfaitement à une pré concentration gravimétrique, qui permettra de récupérer la scheelite grossière, puis à une flottation qui permettra de récupérer la scheelite fine. »

Des premiers essais minéralurgiques avaient été réalisés pour le compte de la SNEAP sur le minerai du gisement de Fumade. Ceux-ci avaient permis d'envisager un traitement en deux étapes : une préconcentration gravimétrique suivie d'une **étape de flottation** (Audion, 2013, p. 56) :

« [...] les premiers tests minéralurgiques réalisés sur des échantillons de carottes de Fumade ont montré la possibilité d'obtenir un concentré marchand par broyage, séparation gravimétrique puis flottation. »

Cette combinaison de technique était d'ailleurs celle retenue par la SNEAP pour son projet d'exploitation minière (SNEAP, 1988).

► Méthode de concentration par séparateurs à spirales

Un séparateur à spirales (Figure 17) profite de l'effet de sédimentation des particules (par l'ajout d'eau) combiné à celui de la force centrifuge. Ainsi, les particules les plus denses restent au voisinage de l'axe central, tandis que celles qui sont moins denses s'écoulent vers la périphérie de la spirale. Schématiquement, dans le cas présent, ce procédé permettrait donc de séparer les particules les plus denses, comme la scheelite, des particules les plus légères, comme les silicates et les carbonates.

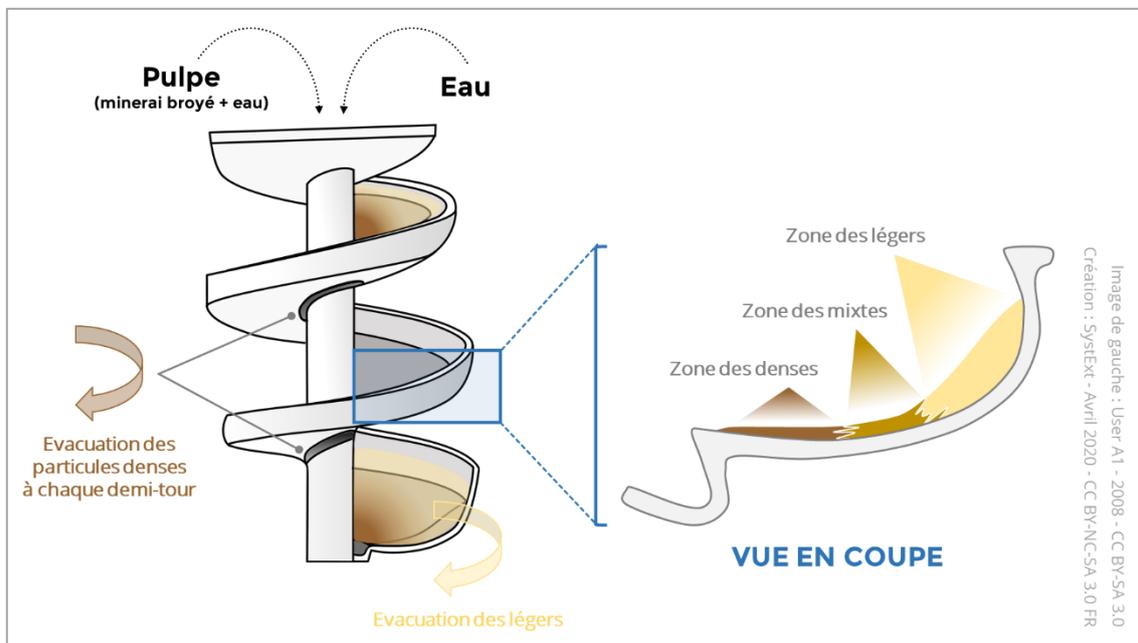


Figure 17 : Schéma de principe du fonctionnement d'un séparateur à spirales

► Méthode de concentration par flottation

La flottation (*Figure 18*) permet de concentrer les minéraux d'intérêt (scheelite ici) en les faisant « flotter ». Ces derniers sont rendus hydrophobes par l'ajout de « collecteurs ». En présence de bulles d'air, les particules hydrophobes s'y fixent et remontent ainsi à la surface. Ce transport sélectif sépare donc les minéraux de scheelite, des autres, qui restent en suspension dans la pulpe⁷¹. Pour stabiliser la mousse en surface, on ajoute un « moussant ». Un « déprimant » est également introduit afin de rendre hydrophiles les phases minérales que l'on ne veut pas flotter. Dans le cas de la flottation de la scheelite : les collecteurs les plus couramment utilisés sont des acides gras (acide oléique par exemple). Généralement, du carbonate de sodium est aussi utilisé pour maîtriser le pH, et du silicate de sodium, comme déprimant (Kupka & Rudolph, 2018).

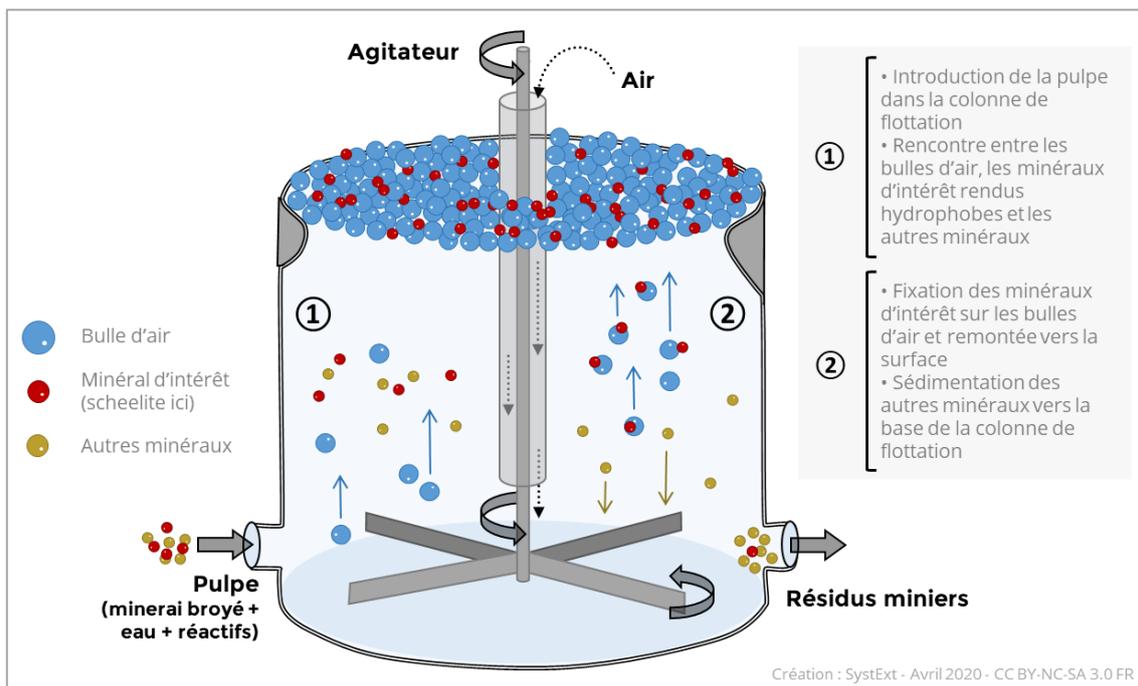


Figure 18 : Schéma de principe de la technique de flottation en colonne

⁷¹ La pulpe consiste ici en un mélange d'eau, de réactifs et de minerai broyé.

► Réactifs utilisés pour la flottation

L'étude de faisabilité s'avéra nécessaire afin de déterminer les étapes permettant de concentrer le minerai du gisement de Fumade ([Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018](#)). Sur son site internet⁷², le porteur de projet souligne cependant que :

« Le procédé de traitement utilisé ne fera appel à aucun produit chimique ou contaminant. »

Cette information ne permet toutefois pas de déduire la technique de traitement du minerai, à moins de préciser ce qui est entendu par « produit chimique » ou « contaminant », car ces termes sont très généraux^{73, 74}. Ces derniers pourraient potentiellement faire référence aux réactifs qui seraient utilisés, en cas d'utilisation de la flottation. En effet, le mémoire technique ([Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 46](#)) rappelle que :

« [...] Les produits habituellement utilisés dans la flottation de la scheelite sont des acides gras d'origine naturelle (acide oléique, acide palmitique) et du carbonate de sodium. »

Cependant, l'origine « naturelle » des substances mentionnés n'est pas incompatible avec un potentiel contaminant et encore moins avec la qualification de « produit chimique ». Par ailleurs, **les produits cités ci-dessus n'offrent pas de rendements satisfaisants pour tous les minerais, notamment dans le cas des minerais carbonatés** ([Kupka & Rudolph, 2018](#)).

En effet, **la présence de minéraux calciques limite la sélectivité de la flottation** (c'est-à-dire le fait d'obtenir un concentré de scheelite flotté avec le moins d'impuretés possible). Les minéraux calciques présentent des propriétés de surface et de solubilité similaires à celles de la scheelite, les rendant eux aussi « sensibles » aux collecteurs couramment utilisés. Ils ont donc tendance à flotter avec la scheelite. Le gisement de Fumade étant abondamment composé de minéraux calciques (dolomies massives (K2a) et nombreux bancs calcaires dans les ACA inf., ACS et ACA sup.), **il n'est pas exclu que la flottation puisse nécessiter d'autres réactifs**⁷⁵, présentant potentiellement plus de risques pour l'environnement.

Compte-tenu de ces éléments et du fait que de plus amples essais de traitement s'avèreront nécessaires afin de déterminer les différentes étapes de traitement du minerai, **SystExt retiendra l'hypothèse que les techniques utilisées pourraient consister en l'association d'une préconcentration gravimétrique et d'une flottation.**

⁷² Page 'Engagements sur le projet' ; section « Nos engagements pour la période d'exploitation si celle-ci a lieu (15 à 20 ans environ) ». Voir au [lien suivant](#). Voir également l'[Annexe 3 p. 144](#).

⁷³ D'après le Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH) des Nations Unies, un produit ou une substance chimique désigne tout « élément et ses composés, présents à l'état naturel ou obtenus grâce à un procédé de production ». Voir au [lien suivant](#).

⁷⁴ Selon la convention internationale OSPAR, un contaminant est : « toute substance décelée dans un lieu où elle ne se trouve pas normalement ».

⁷⁵ La flottation pourrait alors nécessiter, par exemple, d'autres collecteurs utilisés par l'industrie comme l'acide benzo-hydroxamique (BHA) ou l'oléate de sodium ([Kupka & Rudolph, 2018](#)). A titre d'exemple, dans la mine de Mittersill (Autriche) : « Les collecteurs utilisés pour la flottation sont des acides gras (carboxylates), sulfonates d'alkyle et sulfates d'alkyle » ([Commission européenne, 2009, p. 297](#)).

Tenant compte que la méthode de flottation n'est pas évoquée sur le site internet du porteur de projet, on étudiera donc par la suite la possibilité de ne pas avoir recours à cette technique pour concentrer la scheelite du gisement de Fumade. Cette question est d'autant plus importante qu'elle conditionne indirectement la nature et le volume des déchets miniers. En effet, par comparaison avec l'usage de techniques gravimétriques seules, l'utilisation de la technique de flottation est à l'origine de résidus miniers plus fins et de volumes de déchets miniers plus grands.

5.3.2. Etude de la possibilité de ne pas avoir recours à la flottation

► Technique la plus répandue

Le gisement de Fumade se situe dans la moyenne (moyenne basse pour le tonnage, moyenne haute pour la teneur) des projets comparables d'un point de vue gîtologique (skarns à scheelite) dans le monde (Audion, 2013, Fig. 35, p. 55). Le BRGM a ainsi recensé 21 projets miniers en phase d'exploration ou d'exploitation en 2012 (Audion, 2013, Ann. 7, p. 76).

SystExt a donc recherché le statut de ces projets (en cours d'étude de faisabilité, en préproduction, en production ou inactif) ainsi que la méthode de traitement utilisée. Aucune donnée n'a été identifiée pour 10 des 21 projets concernés. Sur les sites miniers restants (Tableau 8), trois étaient inactifs en janvier 2020 et huit ont déclaré utiliser ou envisager la flottation pour traiter leur minerai.

| Mine (Pays) | Statut | Utilisation de la flottation |
|-------------------------|-------------------|------------------------------|
| Mactung (Canada) | Faisabilité | Oui |
| Sangdong (Corée du Sud) | Faisabilité | Oui |
| King Island (Australie) | Faisabilité | Oui |
| Risby (Canada) | Pas d'activité | - |
| Cantung (Canada) | Fermeture en 2015 | Oui |
| Jersey Emerald (Canada) | Faisabilité | Oui |
| Molyhill (Australie) | Préproduction | Oui |
| Tabuaço (Portugal) | Faisabilité | Non |
| Los Santos (Espagne) | Production | Oui |
| Kara (Australie) | Production | Oui |
| Currais Novos (Brésil) | Suspendu en 2013 | - |

Tableau 8 : Situation de projets miniers comparables d'un point de vue gîtologique (skarns à scheelite) au gisement de Fumade, en termes de statut et d'utilisation éventuelle de la flottation pour le traitement du minerai (données collectées par SystExt en ligne en janvier 2020)

La mine de Tabuaço, au Portugal, est la seule qui n'est pas concernée par l'usage de la flottation. Ceci s'explique par le fait que le minerai est riche en fluorine, un minéral limitant pour la flottation de la scheelite. Les raisons sont les mêmes que pour les minéraux calciques (propriétés de surface et solubilité similaires à la scheelite) mais les mécanismes sont décuplés (Vic, 2017).

Kupka et Rudolph (2018) rappellent que la flottation est communément utilisée pour la concentration de la scheelite et le Tableau 8 le confirme, en mettant en exergue que les mines exploitant des skarns à scheelite l'utilisent quasi-systématiquement.

► Technique la plus adaptée à la scheelite

Des caractéristiques propres à la scheelite en font par ailleurs un minéral adapté à ce procédé de traitement, voire rendent ce dernier indispensable, au risque de ne pas pouvoir obtenir un concentré marchand (ITIA, 2012).

La scheelite est fragile et cassante, donc très friable. Lors des étapes préliminaires du traitement de minerai (préparation mécanique par concassage et broyage), il est fréquent que sa friabilité soit à l'origine d'un phénomène de sur-broyage (les minéraux de scheelite étant broyés préférentiellement par rapport aux autres minéraux). Ceci est alors à l'origine d'une production importante de scheelite très fine (grains avec un diamètre inférieur à 25 μm)⁷⁶ (Leal-Ayala, et al., 2015 ; Kupka & Rudolph, 2018).

La scheelite est également très dense. Cette propriété favorise la séparation des particules grossières, qui seront très bien classées lors des traitements gravimétriques (dans les séparateurs à spirales, par exemple). Toutefois, cette haute densité peut donner lieu à une mauvaise classification hydraulique et gravimétrique des particules fines : en effet, une particule fine et dense de scheelite aura le même comportement qu'une particule grossière et légère. Dans un séparateur à spirales⁷⁷, les particules fines de scheelite resteront donc proches de l'axe central (avec les particules plus grossières), et seront alors renvoyées dans le circuit de broyage, aggravant le phénomène de sur-broyage (Leal-Ayala, et al., 2015).

Une trop grande proportion de fines dans le circuit de traitement limite ainsi les capacités de concentration par gravimétrie. Leal-Ayala, et al. (2015) estiment à ce titre qu'entre 10 et 40 % des pertes lors des procédés de concentration du minerai de tungstène sont attribuables à la friabilité des minéraux tungstifères. La mise en place de circuits complexes de concassage-broyage peut permettre de remédier à ce problème. Toutefois, ceci devient vite très coûteux (Leal-Ayala, et al., 2015 ; ITIA, 2012). Compte-tenu que les méthodes d'exploitation des gisements de tungstène sont déjà parmi les plus onéreuses (car le plus souvent exploités en souterrain) (Leal-Ayala, et al., 2015), les exploitants cherchent à limiter le plus possible les pertes lors du traitement et donc de valoriser au mieux les fines. **La flottation permet alors, à moindre coût, d'accroître le taux de récupération en tungstène.**

► Caractéristiques du gisement de Fumade favorables ou non à la flottation

Les caractéristiques du minerai du gisement de Fumade se prêtent particulièrement à l'utilisation de la flottation (Audion, 2013, p. 24) :

« [...] le minerai de Fumade ne présente pas de fluorine, un pénalisant lors du traitement minéralurgique. La granulométrie* de la scheelite de Fumade est également plus grossière, ce qui rend sa concentration plus aisée (Prouhet, 1987). Les rares sulfures présents dans les faciès minéralisés pourront, de plus, être facilement éliminés par flottation (Bouteloup et Dumas, 1985). »

Ainsi, le fait que la scheelite soit grossière (au moins pour la cible « la Fédial » où 40 % y est millimétrique (Prouhet, 1987), aucune donnée n'ayant été trouvée pour les deux autres cibles), faciliterait sa préconcentration par gravimétrie.

⁷⁶ La production de scheelite très fine (< 25 μm) ou « ultrafines » n'est pas pénalisante pour la flottation. Ces particules légères sont entraînées dans le flux ascendant au sein de la cellule de flottation et rejoignent la mousse de surface où se concentrent les autres particules de scheelite.

⁷⁷ La problématique se pose de la même façon pour les autres méthodes gravimétriques.

Par ailleurs, on notera que le gisement ne contient pas de fluorine, minéral limitant pour la flottation, tel qu'explicité précédemment, avec l'exemple de la mine de Tabuaço (Portugal).

Les sulfures sont peu abondants dans les faciès minéralisés du gisement de Fumade. D'après [Audion \(2013\)](#), si leur concentration dans le minerai traité devenait critique, ils devraient alors être retirés afin d'obtenir le concentré de scheelite le plus pur possible.

Pour répondre à cet objectif, la flottation est le procédé le plus adéquat pour récupérer sélectivement les sulfures. **Cependant l'usine de traitement devrait être complétée par une unité dédiée car les réactifs permettant la flottation de la scheelite et ceux utilisés pour celle des sulfures sont très différents.**

La *Figure 19* synthétise les propriétés de la scheelite et les caractéristiques du gisement de Fumade précédemment décrites, qui favorisent ou limitent l'usage de la préconcentration gravimétrique et de la flottation.

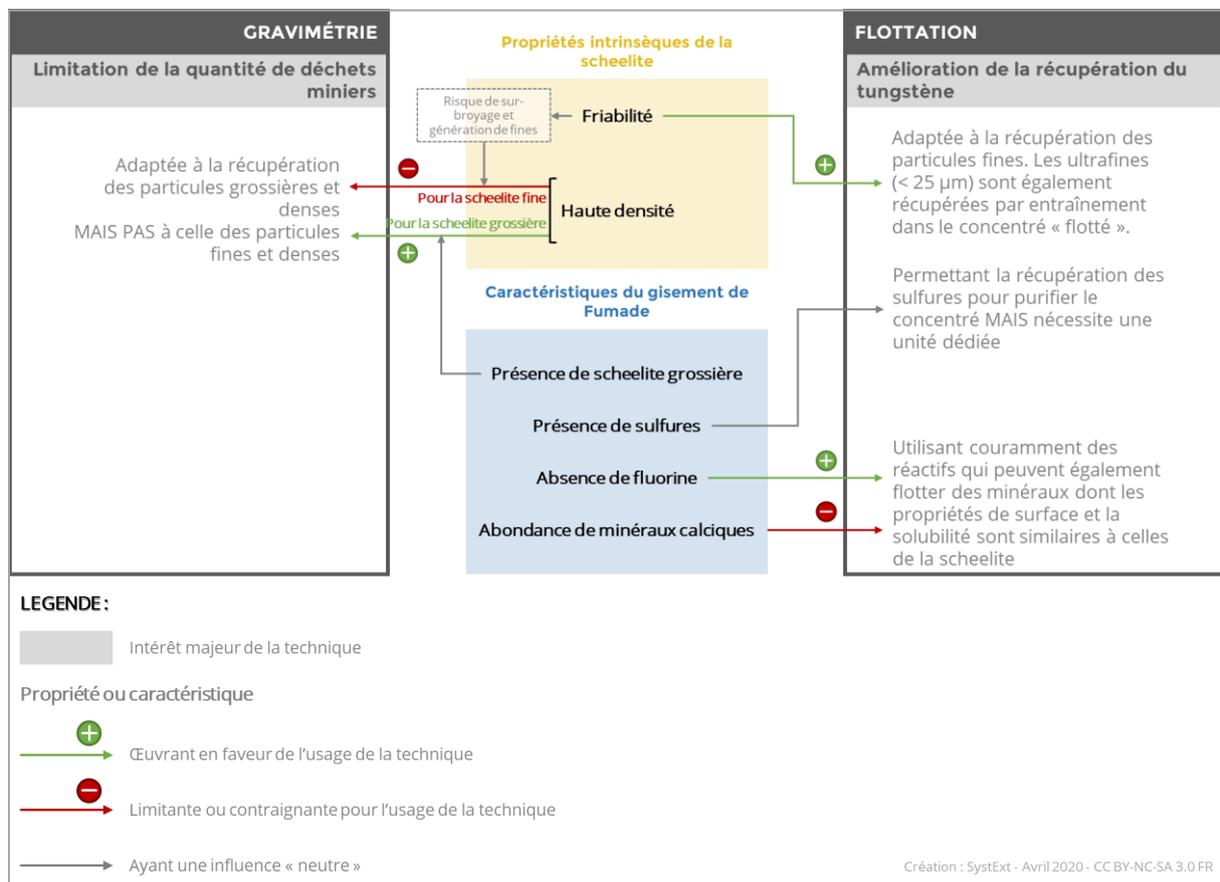


Figure 19 : Schéma de principe présentant les propriétés et caractéristiques qui favorisent ou limitent l'usage de la préconcentration gravimétrique et de la flottation

L'étude de la bibliographie afférente aux techniques actuelles de traitement de la scheelite, et la corrélation de ces données avec les caractéristiques du gisement de Fumade, **mettent en avant l'intérêt technique et économique de cette méthode de traitement. Dans le cas d'une mise en exploitation du gisement de Fumade, le recours à la flottation pourrait s'avérer nécessaire.**

5.4. Conclusion sur le schéma d'exploitation et limites associées

A ce stade très précoce du projet minier, le schéma d'exploitation du gisement de Fumade (extraction et traitement du minerai) ne peut être défini précisément. Le travail de SystExt a consisté à identifier et à comprendre, au regard des caractéristiques du gisement, les projections et engagements du porteur de projet et les limites éventuelles.

Certains engagements pris par le porteur du projet sur son site internet sont imprécis, et ne correspondent pas nécessairement au contenu du dossier de demande de PERM. Cela concerne : le type et la méthode d'exploitation, la technique de traitement du minerai et les réactifs qui pourraient être utilisés à cette fin. **S'il est légitime que certaines informations ne soient pas connues à ce stade très préliminaire, SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de clarifier les engagements écrits déjà pris.**

En termes de méthode d'exploitation, rien n'indique dans le dossier de demande de PERM que la cible « Fumade superficielle » serait abandonnée. SystExt considère que **toutes les cibles du gisement de Fumade pourraient faire l'objet d'une exploitation**. Concernant les deux cibles requérant une exploitation souterraine (« Fumade profond » et « la Fédial »), SystExt retient l'hypothèse que celle-ci pourrait être réalisée par la technique des **tranches montantes remblayées**.

En termes de procédés de traitement du minerai, SystExt considère que les techniques utilisées pourraient consister en **l'association d'une préconcentration gravimétrique et d'une flottation**. Concernant ce dernier procédé, le porteur de projet insiste dans tous ses documents écrits sur des réactifs dont la « dangerosité » serait moindre. **SystExt signale cependant que ces produits chimiques peuvent ne pas offrir de rendement satisfaisant**, en particulier en présence de minéraux calciques. L'abondance de ces derniers dans le gisement de Fumade n'est plus à démontrer.

En complément, SystExt a étudié la possibilité de ne pas avoir recours à la flottation. L'étude de la bibliographie afférente aux techniques actuelles de traitement de la scheelite, et la corrélation de ces données avec les caractéristiques du gisement de Fumade, mettent en avant, à l'inverse, l'intérêt technique et économique de cette méthode de traitement. En effet, des caractéristiques propres à la scheelite (friabilité et densité) mais aussi au gisement de Fumade (présence localement de scheelite grossière, absence de fluorine, nécessité éventuelle de retirer les sulfures dans une unité de flottation dédiée) pourraient en effet rendre la flottation indispensable, au risque de ne pas pouvoir obtenir un concentré marchand. **Dans le cas d'une mise en exploitation du gisement de Fumade, le recours à la flottation pourrait s'avérer nécessaire.**

6. Gestion des déchets miniers

6.1. Principaux types de déchets miniers

L'extraction et le traitement du minerai produisent différents types de déchets, parmi lesquels on distingue classiquement : les **stériles**, qui correspondent aux roches extraites pour accéder au minerai, et qui ne sont pas du tout ou pas suffisamment minéralisées pour être traitées dans l'usine ; et les **résidus**, qui sont les rejets générés à chaque étape de traitement du minerai.

6.1.1. Stériles miniers

Les stériles se présentent sous forme d'amas de blocs et de cailloux. Pour autant, ces matériaux peuvent comporter des fractions plus fines (dont des particules sableuses et argileuses). Le terme « stériles » prête à confusion, suggérant qu'ils seraient exempts de toute substance polluante, ce qui n'est pas nécessairement le cas. Le plus souvent, ils contiennent les mêmes minéraux que ceux des zones minéralisées, mais en quantité moindre.

Les stériles sont produits en plus grande quantité dans les mines à ciel ouvert que dans les mines souterraines. Dans le premier cas, ils sont le plus souvent stockés en surface sous forme d'empilements appelés « haldes à stériles ». Dans le second cas, ils sont majoritairement utilisés pour le remblayage des vides laissés par l'exploitation souterraine.

La *Figure 20* illustre la situation « usuelle » d'une halde à stériles, pour laquelle la mise en dépôt se fait par décharge depuis la partie sommitale. Une ségrégation s'opère progressivement entre les fragments fins qui restent au-dessus et les fragments grossiers qui rejoignent la base du dépôt. Les particules les plus fines remplissent, quant à elles, les espaces entre les fragments rocheux, tout en laissant des vides qui permettent la circulation de l'air (et donc de l'oxygène) et des eaux. Ceci peut être à l'origine de percolations et d'infiltrations vers les nappes souterraines (*en rose sur la Figure 20*).

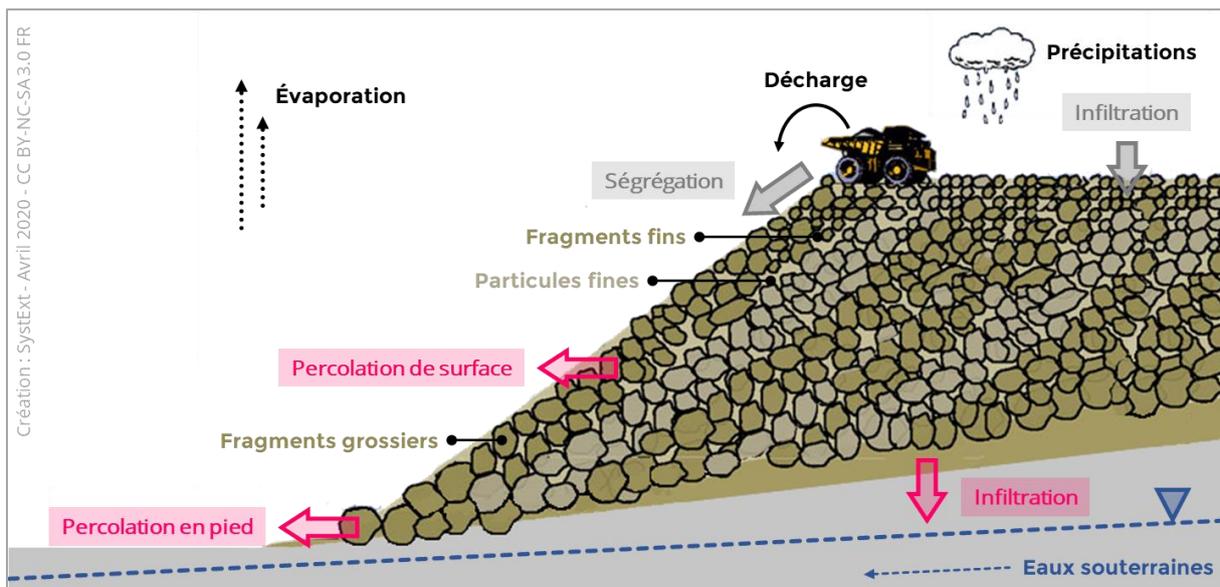


Figure 20 : Schéma de principe d'une halde à stériles et mise en évidence de la circulation des drainages miniers (en rose) ; modifié d'après (INAP, 2012)

6.1.2. Résidus miniers

Les résidus miniers demeurent plus problématiques que les stériles. Ces matériaux présentent une granulométrie fine : « *Le résidu est composé de particules fines, typiquement 80% de ces particules ont une granulométrie comprise entre 70 µm et 120 µm* » (Chou, 2012, p. 3). Or, plus les grains sont fragmentés, plus la surface totale disponible pour l'oxydation (ou « surface spécifique ») est grande (Figure 21). Ils sont donc plus « réactifs » que les fragments grossiers des stériles et présentent une **plus grande capacité à être lixiviés**⁷⁸ (voir § 3.2.4 p. 36).

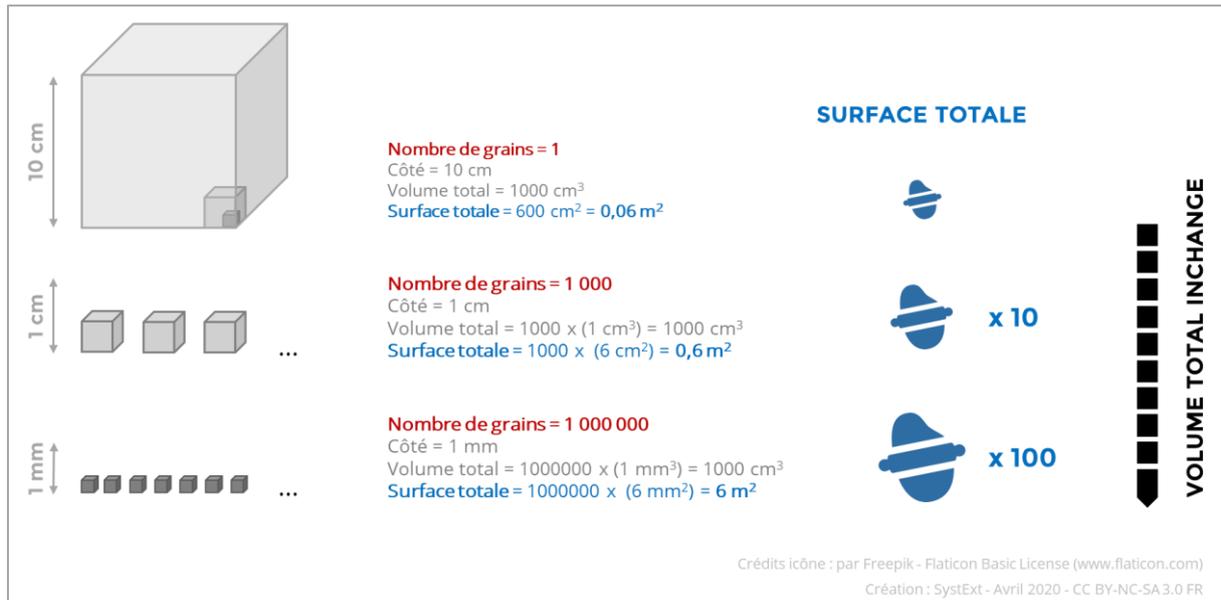


Figure 21 : Schéma de principe de l'augmentation de la surface spécifique d'un matériau fragmenté, illustré d'un exemple théorique

Schématiquement, compte-tenu des teneurs faibles en oxyde de tungstène dans le minerai (maximum de 1,41 % de WO_3 pour le minerai de la cible de « la Fédial »), pour chaque tonne de minerai traitée à l'usine, une tonne de résidus miniers sera générée. En termes de volume, celui-ci augmente considérablement du fait de l'ajout d'eau, nécessaire au traitement du minerai. Les résidus se présentent donc sous forme de « pulpe » (mélange de solide et d'eau), dont la fraction solide est d'environ 40-50 %, voire 60-70 % en cas d'épaulement préalable à leur mise en décharge.

On les transporte le plus souvent sous forme de pulpe depuis l'usine de traitement du minerai vers des aires de stockage appelées « parcs à résidus ». Comme les stériles, ils peuvent également être utilisés pour le remblayage des vides laissés par l'exploitation souterraine (voir § 6.2.3 p. 70).

La Figure 22 page suivante illustre la situation « usuelle » d'un parc à résidus, pour laquelle la mise en dépôt se fait par décharge depuis la digue (ouvrage qui retient les déchets miniers). Celle-ci étant classiquement composée de stériles et de résidus grossiers, elle n'est pas parfaitement imperméable et permet la circulation de fluides (les percolations et fuites de boues résiduaires en pieds de digue sont des phénomènes courants).

⁷⁸ De façon imagée, cela correspond au phénomène qui se produit lorsqu'une eau chaude et/ou sous pression percole au travers de grains de café moulus pour donner du café liquide. Le phénomène est réduit voire inexistant lorsque les grains de cafés ne sont pas broyés.

Pour limiter la migration de l'oxygène vers les résidus miniers (et donc leur oxydation), il est d'usage de maintenir en couverture une couche d'eau. Les eaux situées en partie haute de cette couche (la « surverse ») s'écoulent le plus souvent vers la digue (« ligne phréatique ») pour en rejoindre la base. Elles sont également partiellement drainées afin de maintenir un niveau d'équilibre d'eau dans le parc et éviter ainsi les débordements. Lorsque la base du parc n'est pas ou que partiellement étanchéifiée, des phénomènes d'infiltration vers les nappes souterraines peuvent également se produire.

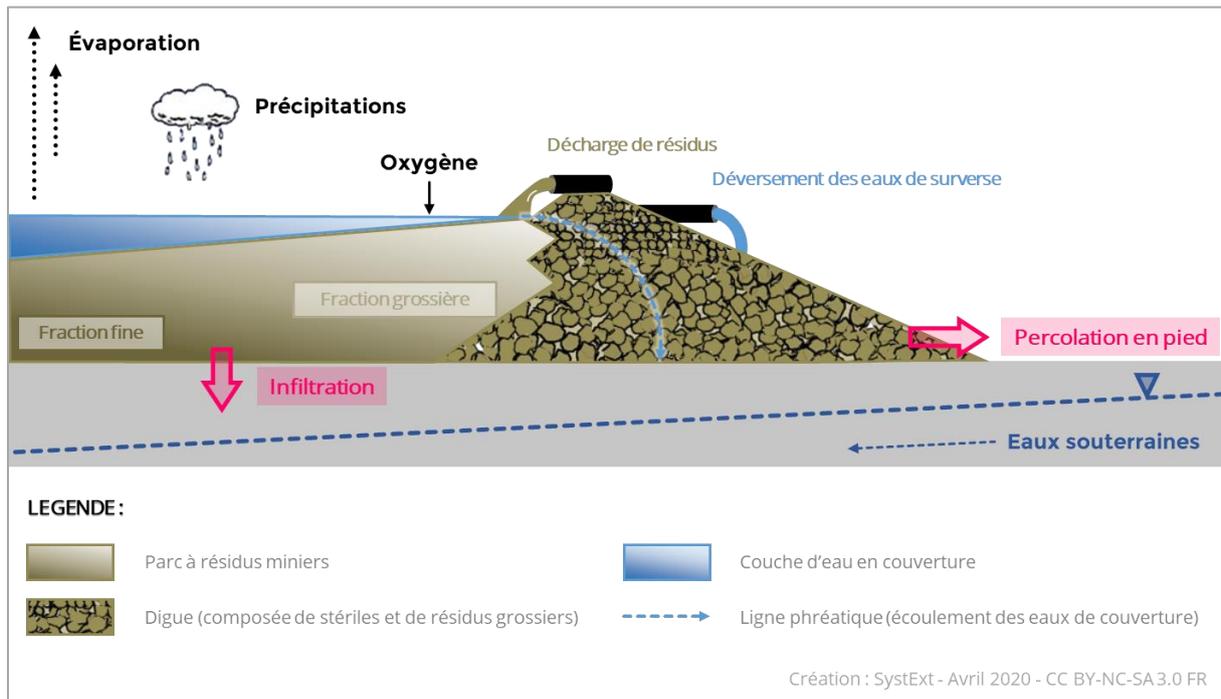


Figure 22 : Schéma de principe d'un parc à résidus et mise en évidence de la circulation des drainages miniers (en rose) ; modifié d'après (INAP, 2012)

6.2. Stockage des déchets miniers et remblayage

6.2.1. Modalités de gestion des déchets miniers envisagées par le porteur de projet

A ce stade très préliminaire du projet minier, l'exercice consistant à évaluer les modalités de stockage des déchets miniers reste difficile. En effet, plusieurs paramètres doivent préalablement être connus :

- le type d'exploitation (souterrain et/ou ciel ouvert) ;
- la méthode d'exploitation (tranches montante remblayées, chambres et piliers, etc.) ;
- le ratio « stérile sur minerais »⁷⁹ ;
- le foisonnement⁸⁰ moyen ;
- les méthodes utilisées pour le traitement du minerais ;
- etc.

⁷⁹ Le ratio « stérile sur minerais » d'un gisement représente la quantité de stériles extraite par rapport à la quantité de minerais extraite (qui est valorisée dans l'usine de traitement).

⁸⁰ Le foisonnement désigne l'augmentation du volume apparent d'une roche par suite de son morcellement (par extraction, concassage, broyage...).

Comme le mentionne le porteur de projet ([Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 65](#)), les modalités de gestion des déchets miniers ne peuvent être évaluées précisément qu'au moment de l'étude de pré faisabilité :

« Les modalités de gestion des **stériles** d'extraction seront évaluées : valorisation comme granulats si leurs propriétés le permettent, remblayage partiel ou total des vides laissés par l'exploitation ;
[...]

Les modalités de gestion des **résidus** de traitement du minerai feront l'objet d'une attention particulière :

- L'épaississement préalable pour aboutir à une texture pâteuse et une utilisation en remblayage des vides laissés par l'exploitation seront favorisés ;
- Le choix d'un autre site de stockage adapté devra également être analysé (ancienne carrière, dépression à combler) ;
- Toute possibilité de valorisation ne devra également pas être laissée de côté. »

Le porteur de projet complète ces éléments par un engagement sur son site internet⁸¹ :

« Malgré tout, Tungstène du Narbonnais a déjà pris l'engagement de mettre en sécurité les stériles après l'exploitation, grâce à un procédé qui s'appelle le remblayage. Les matériaux dont sera extrait le tungstène seront compactés et remis de 80% à 90% dans les galeries de la mine, empêchant toute diffusion dans la nature. Pour les 10% à 20% restants ne pouvant être réintroduits et qui ne sont pas dangereux, ils formeront un tas d'environ 200 x 200 x 4 m qui sera végétalisé ; leur réutilisation pour d'autres usages, routiers par exemple, sera étudiée. »

Aucune indication n'est donnée afin de préciser ce à quoi se rapportent « *les matériaux dont sera extrait le tungstène* », qui, théoriquement, peuvent faire référence tant aux stériles, qu'aux résidus miniers. Ceci est d'autant plus important compte-tenu des taux de remblayage associés : « 80 % à 90 % ».

Si la technique d'exploitation en souterrain retenue était celle des tranches montantes remblayées, **le remblayage est alors un élément de cette méthode d'exploitation**. Celle-ci nécessite effectivement un remblayage conséquent et continu, en priorité par les stériles⁸². Le pourcentage élevé annoncé corrobore le fait qu'il fasse vraisemblablement référence aux stériles miniers. En effet, les taux de remblayage avec des résidus sont habituellement beaucoup plus faibles : **de 16 à 52 % du volume total de résidus est utilisé comme remblai dans les mines souterraines européennes** qui extraient des métaux « communs » ([Commission européenne, 2009, p. 513](#)). **SystExt considérera donc que les taux de remblayage de l'affirmation précédente se réfèrent aux stériles miniers.**

Concernant les « 10% à 20% restant ne pouvant être réintroduits », ceci pourrait être dû au fait que certains ouvrages souterrains doivent rester ouverts (galeries et puits servant à l'accès aux chantiers souterrains, à l'aération, à l'évacuation des eaux souterraines, etc.).

Ainsi, pour cette dernière raison, et du fait du foisonnement des matériaux rocheux, **il n'est pas possible de réintroduire 100 % des déchets miniers (stériles et/ou résidus) dans les vides souterrains**. A titre d'illustration, on donne ci-dessous l'exemple de la mine d'argent, zinc et plomb de Garpenberg en Suède. La moitié des résidus est utilisée comme remblai minier : « *Une fois le minerai dynamité, concassé et broyé, ce volume augmente d'environ 60 %, ce qui signifie qu'à Garpenberg, le volume des résidus représente environ 145 % du volume du minerai extrait. Il n'y a aucune possibilité d'utiliser davantage de résidus comme remblai souterrain pour des raisons de géométrie.* » ([Commission européenne, 2009, p. 514](#)).

⁸¹ Page 'Engagements sur le projet' ; section « Et Après ? ». Voir au [lien suivant](#). Voir également l'[Annexe 3 p. 144](#).

⁸² Voir § 5.2 et plus particulièrement [Figure 16 p. 56](#).

En l'absence d'étude de préfaisabilité, tel que rappelé par le porteur du projet, **on ne dispose pas de d'informations suffisantes pour estimer de façon chiffrée les taux de remblayage atteignables, pour les stériles, et encore moins pour les résidus**. Cependant, tenant compte des hypothèses faites sur le schéma d'exploitation possible (voir § 5.4 p. 64), **les modalités envisageables et/ou souhaitables de gestion des stériles et des résidus seront détaillées ci-après**, sans chercher à évaluer des volumes ou taux de remblayage associés.

6.2.2. Modalités de gestion des déchets miniers supposées par SystExt

► Stériles miniers

Concernant les faciès géologiques qui composeraient les stériles miniers, SystExt suppose que toutes les roches sédimentaires de la Série Noire ainsi que les cornéennes pourraient être concernées (les granites et les schistes noirs (k2b3) le seraient dans une moindre mesure).

SystExt considère que toutes les cibles du gisement pourraient faire l'objet d'une exploitation, y compris celle de « Fumade superficiel » qui ne peut être exploitée qu'en mine à ciel ouvert. En cas d'exploitation, celle-ci pourrait donc nécessiter un stockage de stériles en surface.

Pour les autres cibles qui seraient exploitées en souterrain, des travaux d'approche du gisement seront d'abord nécessaires, comme la construction d'une rampe d'accès. Ceux-ci nécessiteraient également un stockage de stériles en surface.

Par ailleurs, concernant l'exploitation souterraine, SystExt retient l'hypothèse que celle-ci pourrait être réalisée par tranches montantes remblayées. Cette technique requiert, au fur et à mesure de l'abattage du minerai, un remblayage massif des stériles, qui resteront donc stockés en souterrain.

► Résidus miniers

Concernant les faciès géologiques qui composeraient les résidus miniers, SystExt suppose qu'il s'agirait surtout des skarns, plus particulièrement les skarns fissuraux et les skarns stratiformes de type II. On rappelle cependant que les autres faciès peuvent être associés aux produits qui alimentent l'usine de traitement, aussi sélective soit l'extraction du minerai.

SystExt retient l'hypothèse que le procédé de traitement du minerai pourrait consister en l'association d'une préconcentration gravimétrique et d'une flottation. Classiquement, les résidus de traitement gravimétrique s'apparentent à des sables, tandis que ceux issus de la flottation, à une « farine ».

Ces matériaux étant de loin les plus problématiques en termes d'impacts environnementaux potentiels, leurs modalités de stockage, en particulier par remblayage, sont détaillées par la suite.

6.2.3. Généralités sur les remblais miniers

► Principaux types de remblais miniers

Le remblayage est utilisé dans les mines souterraines afin d'optimiser l'exploitation des gisements tout en assurant une meilleure gestion environnementale des déchets miniers. Le remblai minier consiste en un mélange de matériaux destiné à remplir des vides générés par l'activité minière (Chou, 2012). Il est constitué de trois composantes, associées ou non : les déchets miniers (stériles ou résidus), l'eau de procédé (utilisée dans les installations de traitement du minerai), le liant (communément appelé « ciment »). On distingue trois principaux types de remblais : le remblai hydraulique (RH), le remblai en pâte (RP) et le remblai rocheux (RR) (Benzaazoua, et al., 2020).

Le **remblai hydraulique (RH)** est composé de matériaux fins non consolidés, plus précisément de résidus miniers (et/ou de sables) et l'eau de procédé. Il s'agit d'un mélange très fluide, dont le taux volumique solide⁸³ est de 60 à 73 % (Chou, 2012). Son acheminement vers les vides à remplir se fait par des conduites. Il est donc facile à mettre en œuvre et peu coûteux. La quantité élevée d'eau qui le caractérise est cependant à l'origine de problèmes de ségrégation lors du tassement et d'une faible résistance (Chou, 2012). Par ailleurs, le RH reste difficile à stabiliser et provoque régulièrement des phénomènes de diffusion dans l'environnement, d'après le retour d'expérience d'experts consultés par SystExt en avril 2020⁸⁴.

Le **remblai en pâte (RP)** a notamment été créé pour pallier les limites du remblai hydraulique (RH), dont il diffère principalement par un taux volumique solide plus élevé (75 à 85 %) (Hugues, 2014) et par l'ajout de liant (avec un rapport eau sur liant plus grand que 1 et pouvant aller jusqu'à 12) (Chou, 2012). Ce remblai ne subit pas l'effet de ségrégation et présente une meilleure résistance à la compression que le RH. Sa mise en œuvre est cependant plus coûteuse, du fait majoritairement de l'ajout de liant.

Le **remblai rocheux (RR)** consiste en un matériau sec, composé de roches brutes et grossières (stériles le plus souvent). Il est introduit sous terre par un réseau de cheminées et transportés aux chantiers par convoyeur ou par camion, en fonction de la géométrie du gisement. Lorsque l'ajout d'un liant est requis, le mélange stérile/liant s'effectue aux points de déversement du remblai dans le chantier (Benzaazoua, et al., 2020). Comme rappelé dans le § 6.2.1 p. 67, il s'agit du type de remblai requis pour la méthode des tranches montantes remblayées.

Le *Tableau 9 page suivante* synthétise les principales caractéristiques de ces trois remblais.

⁸³ Le taux volumique solide est le rapport entre le volume total de solide et le volume total d'eau.

⁸⁴ Voir également le retour d'expérience sur la mine de Mittersill (en § 6.2.4 p. 72).

| Type de remblai | Remblai hydraulique (RH) | Remblai en pâte (RP) | Remblai rocheux (RR) |
|--|---|--|--|
| Composition | Eau, Résidus | Eau, Résidus, Liants | Stériles (+ parfois liants) |
| Taux volumique de solide | 60-73 % | 75-85 % | - |
| Taux de remblayage (en tonnes /heure) | 100-200 | 50-200 | 100-400 |
| Avantages | <ul style="list-style-type: none"> • Facile d'utilisation • Peu coûteux | Meilleure résistance que RH (porosité faible) | Très bonne résistance si liant |
| Inconvénients | <ul style="list-style-type: none"> • Problèmes de ségrégation lors du tassement • Faible résistance • Diffusion dans l'environnement | <ul style="list-style-type: none"> • Plus coûteux que RH • Nécessite des installations pour mélanger les résidus et les liants | Problèmes de ségrégation lors du tassement |

Tableau 9 : Caractéristiques des principaux types de remblais miniers ; d'après (Chou, 2012 ; Benzaazoua, et al., 2020 ; Hugues, 2014)

► Limites de la technique des remblais en pâte (RP)

Tous les auteurs consultés insistent sur le **coût de mise en place du remblai en pâte (RP)**, conditionné prioritairement par le choix du liant (le ciment Portland⁸⁵ étant le plus efficace tout en étant le plus cher), mais aussi par la construction et le suivi des installations dédiées à sa fabrication et à son acheminement vers les vides à remplir. Si un remblai hydraulique (RH) ne nécessite qu'un épaisseur (par un épaisseur*), un remblai en pâte requiert une filtration (par des filtres-presses*, par exemple), ce qui représente un investissement important. A cela s'ajoute l'unité dédiée au mélange des déchets miniers et des liants et les dispositifs permettant de transporter le remblai.

Cette dernière opération peut s'avérer particulièrement délicate lorsque les vides à remplir se situent en souterrain et en profondeur. Yilmaz et Fall (2017) et Wu (2020) discutent notamment **l'usage de remblai en pâte (RP) en cas d'exploitation par tranches montantes remblayées**. Ils pointent certaines limites, comme :

- La fréquence de changement des conduites, les opérations d'abattage et de remplissage pouvant entraîner une réorientation quotidienne du système de canalisations (Yilmaz & Fall, 2017) ;
- La durée de placement du remblai en pâte, comprenant l'installation des systèmes de drainage, la construction des barricades (derrière lesquelles on coule le remblai), le coulage complet, l'attente du séchage, etc. (Yilmaz & Fall, 2017) ;
- Des phénomènes d'étranglement dans les conduites dues à leur longueur mais aussi à la nature des matériaux transportés (Wu, 2020) ;
- Une densité de la pâte insuffisante pouvant entraîner une diminution de la résistance des remblais secs et des contaminations par diffusion dans les galeries souterraines (Wu, 2020) ;
- La nécessité d'ajouter une étape pour retirer les particules ultrafines, inférieures à 20 µm, qui menacent la stabilité des remblais. Ces particules ultrafines doivent être stockées dans un parc à résidus.

⁸⁵ Le ciment Portland est un liant composé principalement de silicates de calcium.

► Possibilité d'associer deux types de remblais

Il est possible d'associer plusieurs types de remblais dans une même mine souterraine, en fonction des objectifs à atteindre et des contraintes associées à la géométrie du gisement. D'après les auteurs consultés et les témoignages d'experts interrogés par SystExt en mars et avril 2020, **deux types de remblais miniers ne sont généralement pas installés au même endroit** (ou dans les mêmes chantiers). Comme décrit précédemment, chaque remblai est spécifique et sa mise en place requiert des installations dédiées. Pour des raisons économiques, on privilégiera donc un type de remblai par zone donnée du gisement exploité.

La SNEAP avait d'ailleurs envisagé d'associer au remblai rocheux (RR) requis par la mise en œuvre des tranches montantes remblayées, un remblai hydraulique (RH) (SNEAP, 1988, p. 4) :

« Il sera judicieux de réutiliser au fond les rejets de la gravimétrie⁸⁶, dont la granulométrie en fera un excellent remblai hydraulique. »

De façon générale, quel que soit le site minier concerné, SystExt considère que le remblayage hydraulique devrait être évité. Comme expliqué précédemment, le retour d'expérience à l'international démontre les difficultés à limiter la diffusion de ces matériaux en souterrain.

Dans tous les cas, **lorsque le traitement du minerai requiert une étape de flottation⁸⁷, le remblayage des résidus miniers par remblai hydraulique (RH) et/ou remblai en pâte (RP), ne peut être total⁸⁸.** La gestion des résidus miniers nécessite alors en complément des installations de stockage en surface (type « parc à résidus », voir § 6.1.2 et plus particulièrement Figure 22 p. 67).

6.2.4. Retour d'expérience de la mine de Mittersill (Autriche)

Le porteur du projet fait régulièrement mention de la mine de tungstène de Mittersill, en Autriche, considérée unanimement comme une référence européenne en termes de gestion environnementale (Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 66) :

« Le cas de la mine de Mittersill en Autriche, exploitation parfaitement intégrée d'un point de vue environnemental et industriel est un bon exemple de ce que pourrait être le projet minier qui sera évalué dans le cadre de cette demande PERM. »

SystExt a donc étudié de façon détaillée la gestion des déchets miniers pour cette mine, afin de disposer d'une illustration des meilleures pratiques actuellement mises en œuvre.

L'exploitation minière à Mittersill a débuté en 1975. Le minerai présente une teneur relativement basse, de 0,25 à 0,50 % WO₃ (Gaul, 2014), à comparer avec celle de 0,70 % de la principale cible du gisement de Fumade, « Fumade profond » (Audion, 2013).

⁸⁶ La raison pour laquelle le choix s'est porté sur les résidus gravimétriques est certainement liée au fait que ces derniers consistent en des sables et qu'ils sont donc plus adaptés aux RH.

⁸⁷ Selon SystExt, le recours à la flottation pourrait s'avérer nécessaire pour concentrer le minerai du gisement de Fumade, voir § 5.3 p. 57.

⁸⁸ D'après les témoignages d'experts interrogés par SystExt en mars et avril 2020 et l'étude des mines de tungstène en exploitation ou fermées, comparables au projet de la Fabrié (voir Tableau 8 page 61).

► Stériles miniers

L'exploitation est exclusivement souterraine, par la mise en œuvre de trois méthodes : sous-niveaux abattus, sous-niveaux foudroyés et tranches montantes remblayées (Gaul, 2014 ; Raith et Schmidt, 2010). 600 000 tonnes de minerais et de stériles sont ainsi gérées chaque année (Gaul, 2014).

Les stériles miniers sont réintroduits au fur et à mesure dans les chantiers, ils sont déversés directement dans les chambres vidées du minerai (Gaul, 2014). **Il n'y a donc pas de stockage en surface de stériles miniers, qui sont utilisés comme remblai rocheux (RR)** (Gaul, 2014 ; Commission européenne, 2009).

► Résidus utilisés comme remblai minier

En termes de traitement, le minerai subit notamment une séquence de broyage-criblage puis une flottation. Tenant compte des teneurs très faibles, « *la quantité de résidus après valorisation est presque égale à celle du minerai extrait* » (Gaul, 2014, p. 66). En 2009, la quantité annuelle de minerai extraite était de 450 000 tonnes (Commission européenne, 2009). Un maximum de 35 % des résidus étaient alors réintroduits sous forme de remblai dans les travaux miniers souterrains ; les 65 % restant devant être stockés en surface (Commission européenne, 2009).

Depuis 1988, une partie des résidus de flottation est ainsi utilisée comme **remblai hydraulique (RH)** (Raith et Schmidt, 2010 ; Gaul, 2014). En sortie d'usine, les résidus sont épaissis (à 60 % en poids de solide) (Gaul, 2014). Il peut être envoyé⁸⁹ « *directement dans une chambre entièrement vidée de minerai* » (Gaul, 2014, p. 67). Dans les chambres exploitées par sous-niveau, qui se remplissent de morceaux du toit (ou « plafond »), le remblai hydraulique est également utilisé : « *les vides entre les morceaux de matériaux sont remplis par pompage des résidus* » (Gaul, 2014, p. 66). Ce remblayage n'est cependant pas sans poser de difficulté à l'exploitant. **Cette décharge de sables meubles ne se consolide pas et la circulation des eaux souterraines peut lessiver le remblai** (Raith & Schmidt, 2010).

En 2008, l'entreprise minière a installé une usine de **remblai en pâte (RP)**. Les résidus concernés sont alors séchés et mélangés avec un liant (cendres volantes et ciment) et le RP est pompé vers les chambres vides (Gaul, 2014). On note qu'il n'est **utilisé que dans certains cas précis** : « *dans les zones proches de la surface, ou lorsqu'une extra-stabilité est nécessaire* » (Gaul, 2014, p. 67).

► Résidus stockés dans des installations de déchets

L'usine de traitement du minerai par flottation est construite dès 1976 dans la vallée de Felbertal, à 3 km au nord de la mine (Raith & Schmidt, 2010). Un premier parc à résidus est installé, juste en face de l'usine, pour stocker les résidus miniers. Il atteint une hauteur finale de 24 m avant d'être arrêté en 1982, date à laquelle une nouvelle installation de gestion des déchets est installée au sud du village de Stuhfelden (Commission européenne, 2009).

Une conduite de 10 km permet de relier l'usine à ce nouveau parc à résidus et sa gestion reste problématique, du fait de l'abrasivité des résidus et de la nécessité de maintenir une vitesse critique minimum en permanence pour éviter la sédimentation des matériaux (Raith & Schmidt, 2010).

⁸⁹ Le RH est pompé dans la mine à un taux de 45 tonnes/heure (Gaul, 2014), sur une distance totale de 3 000 m et pour un dénivelé maximum de 280 m (Commission européenne, 2009).

Les 65 % de résidus qui ne peuvent pas être remblayés représentent un volume annuel à stocker de 250 000 m³ (Commission européenne, 2009). Ainsi, depuis 1983, on estime à 10 millions de tonnes la quantité de déchets stockés dans les parcs à résidus de Stuhlfelden (Raith & Schmidt, 2010). La Figure 23 présente les vues satellitaires de ces parcs en 2000 et 2019, ainsi que des vues détaillées.



Figure 23 : (en haut) Vues satellitaires des parcs à résidus de la mine de Mittersill (en 2000 et en 2019) (© Google) ; (en bas) Vues détaillées des parcs en cours de remplissage en 2019 (Association Stop Mines 81)

6.3. Instabilité chimique des déchets miniers

6.3.1. Généralités

Les phénomènes de lixiviation et de génération de drainages miniers concernent aussi bien les dépôts de stériles que ceux de résidus. Ils se développent cependant plus au sein de ces derniers (en intensité et en fréquence). Par ailleurs, on rappelle que **ces phénomènes polluants peuvent survenir aussi bien pour des matériaux stockés en surface que pour ceux stockés en souterrain**, puisque les facteurs déterminants pour leur mise en place sont la présence d'eau et la disponibilité en oxygène.

Ce qui est craint est la mise en solution des substances polluantes, voire toxiques, et la capacité des effluents qui les contiennent à les entraîner hors des stockages de déchets miniers, et sur de longues distances en aval.

Comme expliqué en § 3.3.1 p 41, la mise en place de ces processus dépend d'un grand nombre de facteurs liés à la géologie et à la géochimie du gisement. Il est également nécessaire de prendre en compte les caractéristiques de l'environnement (contextes climatique, hydraulique, hydrogéologique, etc.).

Compte-tenu du retour d'expérience à l'international sur de tels phénomènes polluants, des mesures préventives existent et devraient, selon SystExt, être mises en place au niveau des stockages de déchets miniers dès leur construction : aménagement et surveillance des drains naturels (en surface ou en souterrain), dispositifs servant à la maîtrise des eaux météoriques, structures d'étanchéification, installations de traitement des eaux avant rejet dans l'environnement, etc.

6.3.2. Phénomènes possibles dans le cas du gisement de Fumade

Le porteur de projet conclut dès maintenant quant à la « dangerosité » des résidus miniers ([Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, p. 65](#)) :

« D'après la nature connue du minerai (encaissant carbonaté, peu de sulfures) et les produits qui seront vraisemblablement mis en œuvre pour la concentration par flottation (acides gras et carbonate de sodium) les résidus seront non dangereux, voir même inertes ; ceci sera confirmé par des analyses détaillées. »

Le porteur de projet complète cette affirmation au sujet des stériles miniers sur son site internet⁹⁰ :

« Les matériaux dont sera extrait le tungstène seront compactés et remis de 80% à 90% dans les galeries de la mine, empêchant toute diffusion dans la nature. Pour les 10% à 20% restants ne pouvant être réintroduits et qui ne sont pas dangereux [...] »

Il semble **prématuré de se prononcer quant à la nature des déchets miniers et leur potentiel de relargage de substances polluantes (voire toxiques)**. Ceci concerne les affirmations précédentes selon lesquelles les stériles non remblayés ainsi que les résidus ne seraient « *pas dangereux* » voire « *inertes* ».

⁹⁰ Page 'Engagements sur le projet' ; section « Et Après ? ». Voir au [lien suivant](#). Voir également l'[Annexe 3 p. 144](#).

SystExt rappelle à cet égard que l'étude minéralogique et géochimique a mis en évidence **23 substances à surveiller** (voir § 3.2.4 p. 36) ainsi que la **possibilité de mise en place de drainage neutre contaminé (DNC) et de drainage minier salin (DMS)** (voir § 3.3.2 p. 44). Ces phénomènes peuvent être contaminants, y compris pour des gisements caractérisés par un « *encaissant carbonaté [et] peu de sulfures* ».

Quant à la nature des réactifs utilisés pour la flottation (si celle-ci était mise en œuvre), l'étude bibliographique a également mis en évidence que les produits cités ci-dessus n'offrent pas de rendements satisfaisants pour tous les minerais, notamment dans le cas des minerais carbonatés⁹¹. Le cas échéant, l'usage de réactifs potentiellement polluants pourrait s'avérer nécessaire.

Par ailleurs, l'affirmation selon laquelle la réintroduction de déchets empêcherait « *toute diffusion dans la nature* », paraît également hâtive. **SystExt rappelle que la réintroduction de stériles ou de résidus dans les vides souterrains n'est pas synonyme d'absence d'impact environnemental**. En cas de circulation d'eaux souterraines, une diffusion de particules fines et/ou d'eaux contaminées reste possible et les impacts environnementaux peuvent alors s'avérer problématiques.

⁹¹ Voir § 5.3.1 p. 57 et plus particulièrement la section 'Réactifs utilisés pour la flottation'.

6.4. Conclusion sur la gestion des déchets miniers et limites associées

De façon générale, quel que soit le site minier concerné, SystExt considère qu'il est nécessaire d'étudier la nature des déchets miniers, et leurs modalités de gestion potentielles, dès la phase exploratoire. En ce sens, le porteur de projet a raison de rappeler l'importance de l'étude de préféabilité pour ce faire. Cependant, certaines de ses affirmations semblent prématurées à ce stade. Cela concerne : les taux de remblayage atteignables pour les déchets miniers et leur potentiel de relargage de substances polluantes (considéré comme faible à nul par le porteur de projet). **A ce titre, SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de clarifier les engagements écrits déjà pris.**

L'exploitation à ciel ouvert de la cible « Fumade superficiel » donnerait lieu à un stockage de stériles en surface. Dans le cas où la méthode d'exploitation retenue pour les autres cibles du gisement était celle des tranches montantes remblayées, la réintroduction des stériles serait requise (le remblayage étant alors un élément à part entière de cette méthode). Ceci permettrait de **limiter la quantité de stériles stockés en surface** à ceux provenant des ouvrages souterrains ne pouvant pas être remblayés (tels que la rampe d'accès au gisement ou les ouvrages permettant l'aéragé, par exemple).

La possibilité de remblayer les mêmes chantiers souterrains avec des résidus provenant de l'usine de traitement du minerai reste à étudier. Dans tous les cas, **SystExt considère que le remblayage hydraulique devrait être évité** (seul ou en association avec du remblai rocheux). En effet, ce type de remblai minier peut être à l'origine de diffusion de matériaux résiduaires en souterrain, voire de contamination des eaux souterraines.

En cas de remblayage par de résidus, **il est préférable de privilégier le remblai en pâte.** Cette technique reste coûteuse et difficile à mettre en œuvre, ce qui explique son usage dans des conditions très spécifiques (comme à Mittersill où son utilisation est restreinte aux zones proches de la surface et celles où une grande stabilité doit d'être assurée). **Il est possible que ce type de remblai minier ne puisse pas être utilisé,** du fait de la géométrie du gisement et de l'usage déjà conséquent de remblai rocheux. On note par ailleurs que les résidus de flottation sont plus adaptés au remblai en pâte ; tandis que les résidus gravimétriques, au remblai hydraulique.

Dans tous les cas, **la totalité des déchets miniers (stériles et résidus) ne pourra pas être réintroduite dans les chantiers souterrains.** Si pour les stériles miniers, des taux de remblayage élevés peuvent être atteints (les trois-quarts étant une proportion fréquemment rencontrée), pour les résidus miniers, ces taux sont plus faibles. Une réintroduction de 50 % des résidus miniers sous forme de remblais miniers ferait déjà partie des meilleurs taux appliqués dans les mines de métaux « communs » en Europe⁹².

Par ailleurs, l'étude minéralogique et géochimique réalisée par SystExt a mis en évidence **23 substances à surveiller** ainsi que la possibilité de **mise en place de drainage neutre contaminé (DNC) et/ou de drainage minier salin (DMS).** Bien que les phénomènes de drainage et de lixiviation soient favorisés lorsque les déchets miniers sont stockés en surface, ils peuvent également se produire lorsque ces derniers le sont en souterrain. **Une attention particulière devra être portée à cette question, dans la mesure où certains des faciès qui pourraient être exploités sont aquifères (dolomies et calcaires).**

⁹² Pour rappel, de 16 à 52 % du volume total de résidus est utilisé comme remblai dans les mines souterraines européennes qui extraient des métaux « communs » (Commission européenne, 2009). Dans la mine de Mittersill, en Autriche, un maximum de 35 % des résidus sont réintroduits (Commission européenne, 2009).

7. Hydrogéologie

7.1. Contexte hydrogéologique du secteur d'étude

7.1.1. Données hydrogéologiques

Ces données sont tirées du rapport d'expertise géologique concernant l'autorisation d'exploitation des captages d'eau potable de la commune (Rey, 2009) et de la notice qui accompagne la carte géologique de la Feuille 986 - Castres (Guérangé-Lozes, et al., 2013).

Tel que présenté dans le § 2.1 p. 19, les faciès géologiques qui caractérisent le secteur d'étude consistent très majoritairement en des roches sédimentaires de la Série Noire. D'importants aquifères se développent dans les calcaires⁹³ et dolomies de cette série (Rey, 2009 ; Guérangé-Lozes, et al., 2013). **Ces faciès peuvent être karstiques*** et présenter localement des cavités pluri-métriques⁹⁴.

La formation aquifère la plus importante est celle des dolomies massives (K2a). Ces faciès géologiques présentent une puissance moyenne de 150 m. Localement, d'autres faciès peuvent abriter des nappes d'eau souterraines, comme les bancs calcaires des faciès ACA inf. (K2b1) et ACA sup. (K2b2), tels qu'observés au niveau des forages de la SNEAP FU41 et FU43 (voir données de la Banque du Sous-sol (BSS) du BRGM) et de la source de la Fédial (voir description ci-après).

Au niveau du gisement de Fumade, les campagnes d'exploration du BRGM et de la SNEAP dans les années 1970-1980 ont permis de préciser la situation de ces couches aquifères. Guérangé-Lozes, et al. (2013) identifient à cet endroit un « aquifère hétérogène, qui, en période de recharge ou d'exploitation, peut être considéré comme un aquifère multicouche⁹⁵. En régime permanent, il peut être assimilé à un aquifère monocouche. ». Les auteurs précisent que cet aquifère est délimité, en surface, par les vallées du Vernoubre, du Terrail et de l'Agout, et en profondeur, par le granite.

Ces horizons aquifères sont alimentés par les zones d'affleurement de ces formations⁹⁶ ou à la faveur des accidents géologiques chevauchants (Rey, 2009). L'écoulement des eaux souterraines serait essentiellement contraint par le pendage des couches et par les failles (jouant le rôle de drain). Ces dernières, nombreuses au niveau du gisement de Fumade, peuvent d'ailleurs permettre des connexions hydrauliques entre les aquifères supérieurs et inférieurs (Rey, 2009).

7.1.2. Sources et forages

► Réseau communal d'adduction en eau potable

Le dispositif d'adduction en eau potable de Fontrieu est assuré par régie communale. Deux captages permettent son alimentation : le **captage de Peyrolle** et le **forage d'Arcanic**, décrits par la suite.

⁹³ Pour rappel, on trouve des bancs de calcaires, parfois épais, dans les ACA inf. et ACS (K2b1) mais aussi dans les ACA sup. (K2b2).

⁹⁴ Les sondages réalisés par la SNEAP dans les années 1980 ont mis en exergue de nombreuses cavités et des zones karstiques dans les dolomies mais aussi dans les calcaires des alternances calcaréo-argileuses. Voir, par exemple les descriptions des forages FL7, FU4, FU41 bis et FU44 sur la BSS.

⁹⁵ Un aquifère « multicouche » est composé de couches perméables alternant avec des couches imperméables.

⁹⁶ Par exemple, les dolomies massives (k2a) affleurent entre les hameaux de Fumade et de la Fédial, voir carte géologique simplifiée en Figure 6 p. 21.

Leurs eaux sont conduites vers une station de pompage, située au hameau de Peyrolle, où elles sont stockées, avant d'être pompées (à raison de 200-300 m³/h) vers la station de relevage du Clap. Dans la station du Clap, les eaux sont traitées au chlore puis amenées dans une seconde station de relevage à la colline de Margot (sans traitement à cet endroit). Depuis cette seconde station, plusieurs dispositifs de dérivation alimentent les différents hameaux de la commune.

Captage de Peyrolle

Ce captage se situe dans la vallée du Terrail, en rive droite de ce cours d'eau (voir Figure 25 page suivante). Il comprend **les sources de Peyrolle et du Merle**. D'un point de vue géologique, celles-ci se situent à proximité de deux failles, orientées NE-SW, qui séparent les pélites vertes à niveaux carbonatés (K3), des dolomies massives (K2a). Cette dernière formation se compose ici de calcaires gris massifs presque affleurant⁹⁷. **Ces sources constituent donc des émergences « naturelles » des calcaires.**

La source de Peyrolle, historiquement utilisée par la commune, correspond au captage principal (Figure 24, en haut). Elle présente un débit moyen de 127 m³/h, été comme hiver. Son trop-plein est canalisé par une buse jusqu'au ruisseau du Terrail, représentant un volume déversé quotidiennement d'environ 3 000 m³.

La source du Merle correspond au captage de secours (Figure 24, en bas). Son trop-plein est également déversé dans le ruisseau du Terrail, pour un volume équivalent.

Source de Peyrolle
Captage principal et déversement du trop-plein associé



Source du Merle
Captage de secours et déversement du trop-plein associé



Figure 24 : Sources du captage de Peyrolle, le 06/12/2019 (SystExt, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

⁹⁷ Au niveau de la source de Peyrolle, les calcaires se situent à 2,70 m sous la surface du sol (d'après les logs stratigraphiques disponibles dans la Banque du Sous-Sol (BSS) du BRGM).

S'agissant d'ouvrages servant à l'alimentation en eau potable, des périmètres de protection (immédiate, rapprochée et éloignée) sont définis pour le captage de Peyrolle, tels que représentés sur la *Figure 25*. Les prescriptions règlementaires associées sont détaillées dans le § 7.1.3 p. 87.

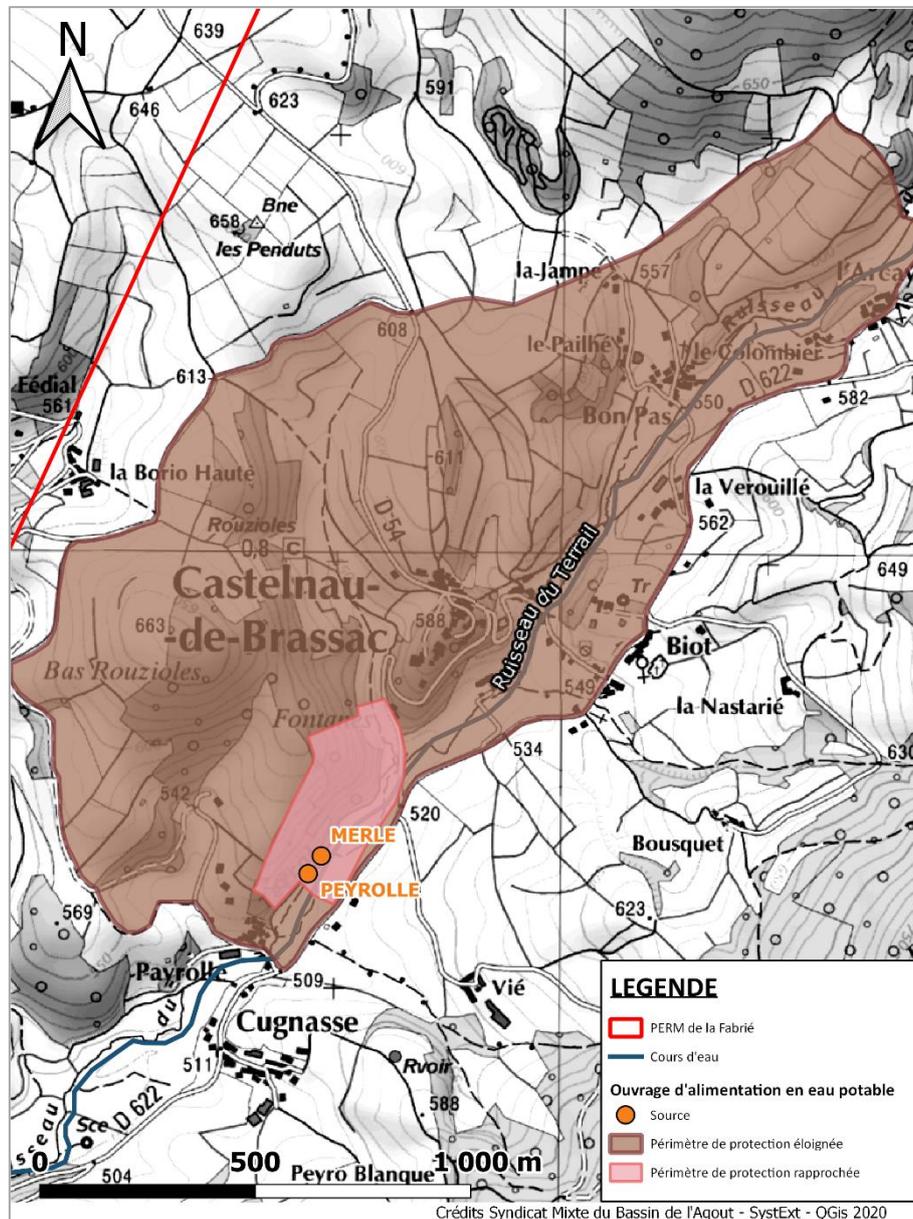


Figure 25 : Carte des périmètres de protection rapprochée et éloignée du captage de Peyrolle^{98, 99}

⁹⁸ Les périmètres de protection ont été reportés manuellement par SystExt, à partir des cartes du rapport de [Rey \(2009\)](#). Dans le cas du périmètre de protection rapproché (PPR), la transposition a été réalisée, au préalable, sur fond cadastral.

⁹⁹ A cette échelle, le périmètre de protection immédiate n'est pas visible car il constitue une aire de quelques dizaines de mètres carrés autour des captages.

► Forage d'Arcanic (A1)

Le forage d'Arcanic se situe au nord des hameaux de Pessols et de la Fédial, à proximité de la source du ruisseau des Planquettes (*voir carte de la Figure 27, page suivante*). D'un point de vue géologique, il traverse 91 m de schistes noirs (K2b3) avant de pénétrer la partie sommitale des dolomies massives (K2a).

Ce forage a été implanté à proximité (à 6,80 m) du forage FL10 (A2) de la SNEAP¹⁰⁰. Il a été construit par la Mairie en 2005, pour permettre un mélange de ces eaux avec celles du captage de Peyrolle. Les essais alors réalisés indiquaient un débit de 63 m³/h (débit comparable à ceux mesurés par la SNEAP sur les autres sondages du secteur de la Fédial). D'après les témoignages recueillis, cet ouvrage pose des problèmes de turbidité récurrents, qui sont réglés par le déversement du trop-plein dans le ruisseau des Planquettes (*Figure 26*).



Figure 26 : Forage d'Arcanic le 06/12/2019 et déversement du trop-plein associé le 04/01/2020
(SystExt, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

La forage d'Arcanic (A1) se situe à 245 m au NNE du **forage A0**¹⁰¹. Ce dernier avait été équipé pour pouvoir être utilisé par les hameaux de la zone¹⁰², et installé dans un bâtiment fermé par une porte métallique. Cet ouvrage valorise une venue d'eau importante découverte par le BRGM lors du creusement du sondage, à 221 m de profondeur, dans les dolomies massives (K2a). La pression y est globalement constante, d'environ 4 bars¹⁰³. Il a été abandonné lors de la mise aux normes du réseau d'eau potable de la commune dans les années 2005-2010 (et la mise en service du forage d'Arcanic).

¹⁰⁰ Voir *Annexe 4* p. 146.

¹⁰¹ Le forage Arcanic A0 correspond au sondage S3-69 réalisé par le BRGM en 1969.

¹⁰² Voir document M585364 de la BSS : « *Sondage minier mis à disposition de la commune de Castelnau-de-Brassac* »

¹⁰³ Le manomètre indiquait 4 bars le 07/12/2019 et le 04/01/2020 lors des missions de terrain de SystExt.

S'agissant d'un ouvrage servant à l'alimentation en eau potable, des périmètres de protection (immédiate, rapprochée et éloignée) sont définis pour le forage d'Arcanic, tels que représentés sur la Figure 27. Les prescriptions réglementaires associées sont détaillées dans le § 7.1.3 p. 87.

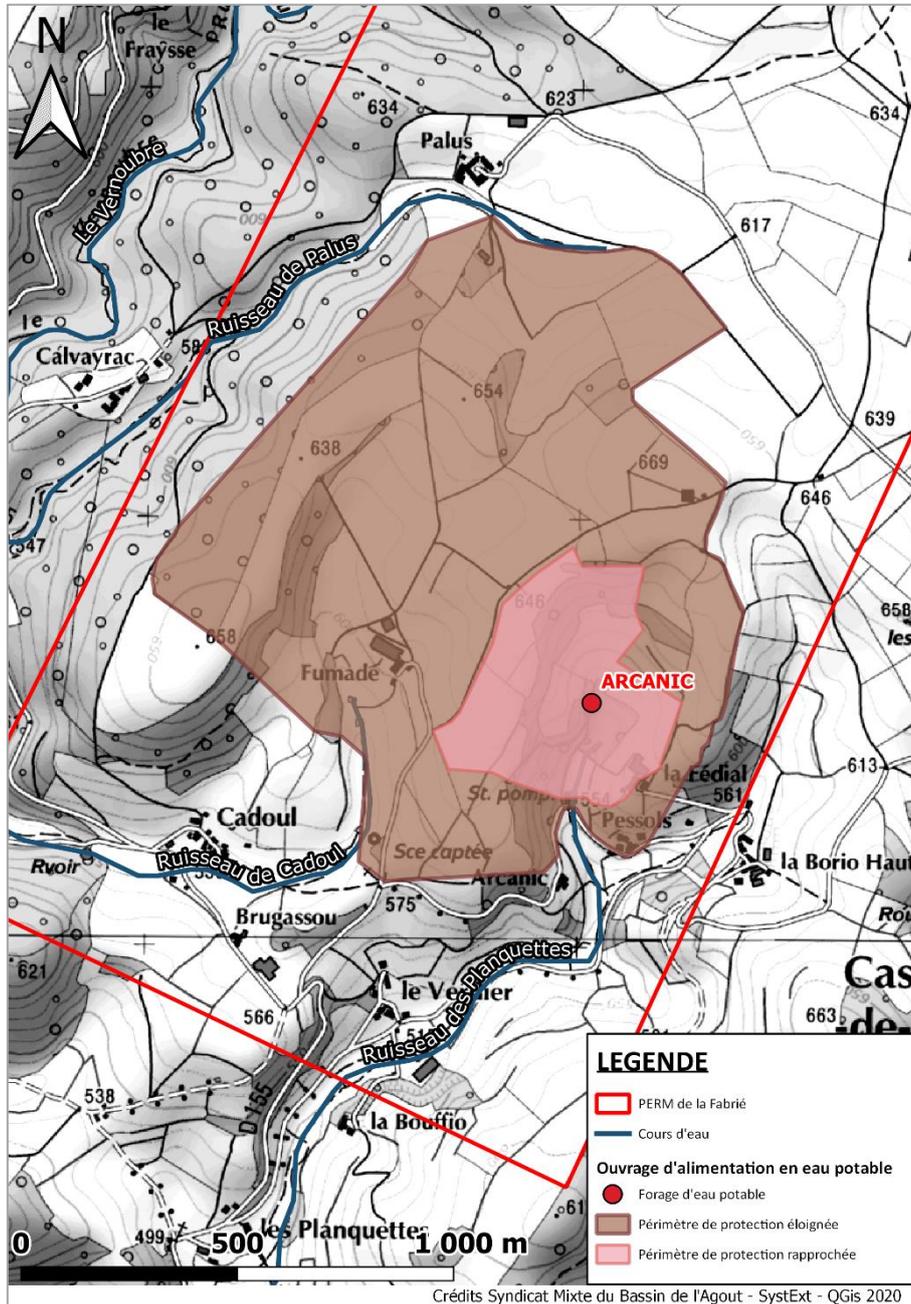


Figure 27 : Carte des périmètres de protection rapprochée et éloignée du forage d'Arcanic^{104, 105}

¹⁰⁴ Les périmètres de protection ont été reportés manuellement par SystExt, à partir des cartes du rapport de Rey (2009). Dans le cas du périmètre de protection rapproché (PPR), la transposition a été réalisée, au préalable, sur fond cadastral.

¹⁰⁵ A cette échelle, le périmètre de protection immédiate n'est pas visible car il constitue une aire de quelques dizaines de mètres carrés autour des captages.

► Autres sources et puits du secteur d'étude

Sur le secteur d'étude, cinq autres sources et puits ont été étudiés et visités par SystExt (*Tableau 11 page suivante*). Il s'agit de :

- **La source de Cadoul**, située à 400 m au Sud du hameau de Fumade, en rive gauche du ruisseau de Cadoul ;
- **La source de Fumade**, située à 130 m au SW du hameau de Fumade, à proximité immédiate de la source du ruisseau de Cadoul ;
- **La source de Palus** (qui dispose de 3 puits), située au Sud immédiat du hameau éponyme, en bordure du ruisseau de Palus,
- **La source de la Fédial**, située à 150 m à l'est du hameau éponyme ;
- **Le forage FL9**, correspondant à un sondage foré par la SNEAP en 1985, situé au nord immédiat du hameau de la Fédial.

Selon les riverains rencontrés par SystExt, **deux épisodes ont fortement perturbé quatre de ces cinq captages**¹⁰⁶, tels que synthétisés dans le *Tableau 10*.

Épisode « Arcanic A0 » (fuite aux Planquettes Basses)

Dans les années 1988-1989, des travaux ont été réalisés au hameau de Planquettes Basses par un propriétaire privé sur une canalisation, dont l'eau provenait du forage Arcanic A0. Cette intervention a accidentellement provoqué une fente sur la conduite. La fuite qui en a résulté a conduit à une diminution de débit dans les quatre captages. Après réparation du dommage, les niveaux d'eau et les débits se sont progressivement rééquilibrés, mais au bout de plusieurs mois dans certains cas.

Épisode « Arcanic A1 » (vidange du captage d'eau potable)

Comme explicité précédemment, le forage d'Arcanic (A1) pose des problèmes récurrents de turbidité. Il y a quelques années, toute l'eau du captage a été évacuée par le trop-plein afin d'y remédier. Cette vidange a conduit à des diminutions de débit sur les quatre captages, voire des tarissements. Après l'arrêt de ce déversement, les niveaux d'eau et les débits se sont progressivement rééquilibrés, mais également au bout de plusieurs mois dans certains cas. Pour concilier la nécessité de vidanger l'ouvrage régulièrement et d'éviter des diminutions de débit dans les captages environnants, une électrovanne a été installée.

| Nom | Episode Arcanic A0 | Episode Arcanic A1 |
|---------------|--|--|
| Cadoul | Diminution de débit | Diminution de débit 6 mois avant le retour à la normale |
| Fumade | Diminution de débit | - |
| Palus | Diminution de débit 7 mois avant le retour à la normale | Tarissement |
| FL9 | Diminution de débit | Diminution de débit (encore aujourd'hui lors de l'ouverture de l'électrovanne) |

Tableau 10 : Synthèse des perturbations observées sur les sources de Cadoul, Fumade et Palus, ainsi que sur le puits FL9, en lien avec les épisodes « Arcanic A0 » et « Arcanic A1 »

¹⁰⁶ SystExt n'a pas d'information sur les perturbations éventuellement engendrées sur la source de la Fédial lors de ces deux épisodes.

| Nom | Type | Description | Vue |
|--------|--------|--|---|
| Cadoul | Source | Zone d'émergence naturelle à l'affleurement. Travaux réalisés : enrochement, pose d'une dalle en béton et installation d'un petit réservoir pour stockage de l'eau. Quelques mètres en aval, creusement d'un puits de 5-6 m de profondeur (dalle circulaire). |  |
| Fumade | Source | Source très ancienne , sur laquelle une pompe a été installée pour adduction des bâtiments agricoles de Fumade. Constructions de drains en béton et dalle carrée. Alimentation d'un bassin situé 25 m en aval ; dont le trop-plein, en base du mur de rétention, rejoint le ruisseau de Cadoul. Eaux servant à l'abreuvement animal. |  |
| Palus | Source | 3 puits : Palus 1, 2 et 0. Palus 1 : Source ancienne sur laquelle un puits a été installé (dalle carrée), en bordure du ruisseau de Palus. Palus 2 : Diminution de débit constatée sur Palus 1 donc creusement du puits de Palus 2 à une dizaine de mètres de profondeur par le propriétaire. Même configuration topographique mais plus en hydraulique. |  |
| Fédial | Source | Source ancienne , toujours en service et utilisée par les habitants des hameaux de Pessols et la Métairie Haute. Puits en eau, sous dalle béton. |  |
| FL9 | Forage | Forage SNEAP 1985 (FL9) mis à disposition du propriétaire comme source d'eau. Lorsque creusement, arrivée d'eau artésienne jusqu'au faitage de l'habitation (environ 15m au-dessus). Mesure de pression (sous réserve) au 04/01/2020 : 1 bar. Données BSS : Arrivée d'eau artésienne de 25 m ³ /h entre 165 et 177 m de profondeur dans dolomie fissurée. |  |

Tableau 11 : Description des sources et puits privés observés par SystExt sur le secteur d'étude
(Photos : SystExt, Janvier 2020, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

La Figure 28 localise les sources et forages étudiés précédemment décrits.

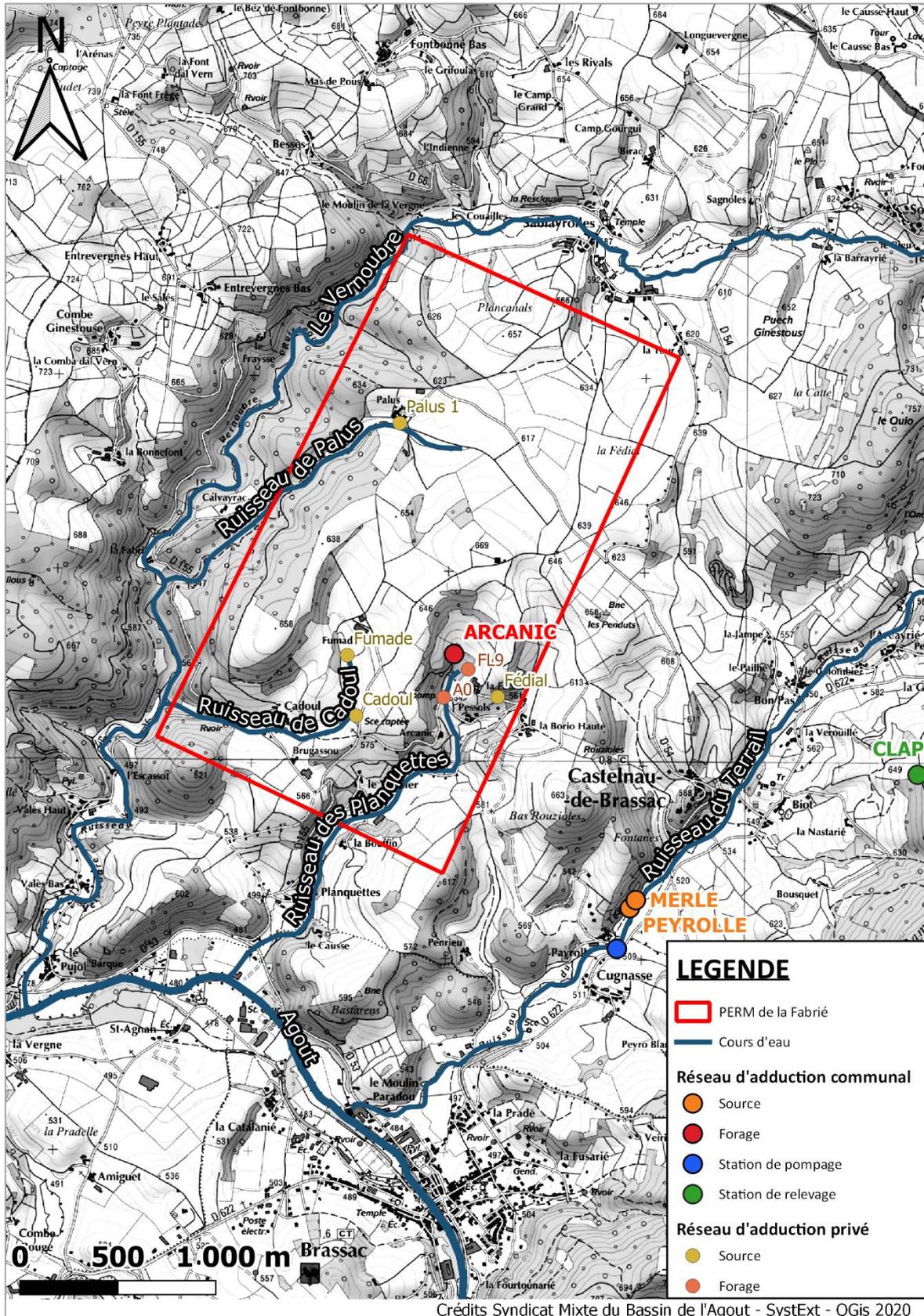


Figure 28 : Carte des sources et forages captés, étudiés par SystExt

7.1.3. Périmètres de protection de captage

► Définitions de référence et réglementaires

On pourra se reporter à l'Annexe 5 p. 150 qui détaille les définitions suivantes.

Un périmètre de protection de captage (PPC) est un dispositif visant à protéger les points de captage public d'eau destinée à la consommation humaine d'éventuels risques de pollution (Ministère de la Santé, 2009). Pour tout captage d'eau potable, on définit ainsi trois périmètres de protection : immédiate (PPI), rapprochée (PPR) et éloignée (PPE) ; les deux premiers étant obligatoires, et le troisième, facultatif.

Les prescriptions des différents périmètres de protection sont définies au cas par cas, en fonction du degré de vulnérabilité du système aquifère (Agence de l'eau Adour-Garonne, 2011). Elles sont déterminées par un hydrogéologue agréé (limites des différents périmètres, interdictions ou réglementations d'activités)¹⁰⁷. Cependant, certaines dispositions sont systématiquement valables.

Ainsi, à l'intérieur du **périmètre de protection immédiate (PPI)**, toutes activités ne concernant pas directement le captage sont interdites.

Dans le **périmètre de protection rapprochée (PPR)**, diverses servitudes peuvent être instaurées sous forme d'interdictions ou de réglementations. Celles-ci concernent « *tous les faits susceptibles de provoquer l'apparition de pollutions, qui ne sont pas réglementés par ailleurs ou qui le sont insuffisamment eu égard à l'utilisation nouvelle de l'aquifère* » (Circulaire du 24/07/1990). Par ailleurs, dans le PPR, la réglementation incite à soumettre à un examen particulier (Circulaire du 24/07/1990) :

« [...] les activités ne relevant pas d'une réglementation générale relative à la protection des eaux souterraines ou de règlements techniques spécifiques et, en particulier :

- les faits susceptibles de modifier les écoulements (forages de puits, exploitations de matériaux, ouvrages souterrains...) ou de favoriser les infiltrations rapides (excavations, déboisements...);
- les faits susceptibles de provoquer des pollutions accidentelles : stockage de produits dangereux, transport par canalisation d'eaux usées, de produits chimiques et d'hydrocarbures, voies de communication...;
- les faits susceptibles d'engendrer des pollutions affectant la qualité des eaux prélevées ou de contribuer de manière significative à une pollution diffuse de la nappe : [...] lessivages des dépôts de toute nature, [...] lessivages d'installations diverses [...].

Dans le cas du **périmètre de protection éloignée (PPE)**, aucune mesure précise n'est définie.

De façon générale, la réglementation précise que, dans le cas d'activités présentes ou à venir à l'intérieur des périmètres de protection, « *une surveillance particulière, portant sur les écoulements souterrains à l'aval des secteurs susceptibles de recevoir des contaminations accidentelles ou des pollutions diffuses continues, peut être mise en place* » (Circulaire du 24/07/1990). S'agissant du poids économique de cette surveillance, il est supporté « *pour toute activité à venir, par le responsable de l'activité en question* » (Circulaire du 24/07/1990).

¹⁰⁷ En application du Décret n°89-3 du 03/01/1989 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles (Circulaire du 24/07/1990).

► **Prescriptions règlementaires définies pour les captages de la commune de Fontrieu**

Pour les deux captages d'eau potable de la commune (forage d'Arcanic et captage de Peyrolle), l'hydrogéologue agréé a défini un périmètre de protection immédiat (PPI), un périmètre de protection rapproché (PPR) et un périmètre de protection éloigné (PPE) (Rey, 2009)¹⁰⁸.

Pour chaque périmètre de protection, sont également fournies des prescriptions règlementaires à respecter, valables pour les deux captages, et reprises dans le *Tableau 12*.

| Périmètre de protection de captage | Prescriptions valables à l'intérieur du périmètre |
|---|--|
| PÉRIMÈTRE DE PROTECTION IMMÉDIATE | Sont interdits toutes activités, toutes installations et tous dépôts en dehors de ceux expressément autorisés par l'acte déclaratif d'utilité publique. Ces activités, installations ou dépôts expressément autorisés devront être en relation directe avec l'exploitation des captages. |
| PÉRIMÈTRE DE PROTECTION RAPPROCHÉE | <p>Sont interdits :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le forage de nouveaux puits ; - l'ouverture de carrières ; - les dépôts de tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux ; - les déversements d'eaux usées de toutes natures, de produits toxiques et polluants ; - les installations de canalisations, réservoirs ou dépôts d'hydrocarbures liquides ou gazeux. |
| PÉRIMÈTRE DE PROTECTION ÉLOIGNÉE | Les administrations délivrant les autorisations nécessaires pour l'établissement d'activités polluantes, quelles qu'elles soient, devront être vigilantes à appliquer rigoureusement la réglementation en vigueur. |

Tableau 12 : Prescriptions règlementaires associées aux périmètres de protection de captage, pour le forage d'Arcanic et le captage de Peyrolle ; d'après (Rey, 2009)

Ces interdictions, tout particulièrement dans le cas du captage d'Arcanic, posent certaines limites pour les travaux envisagés par le porteur de projet. Les implications potentielles pour les phases d'exploration et d'exploitation sont discutées dans le § 7.5 p. 103.

¹⁰⁸ L'emprise des PPR et PPE sont localisés sur la Figure 25 p. 81 (pour le captage de Peyrolle) et la Figure 27 p. 83 (pour le forage d'Arcanic).

7.2. Fonctionnement hydrogéologique local proposé par SystExt

7.2.1. Analyse des données acquises lors des travaux d'exploration passés

Les campagnes d'exploration minière réalisées par le BRGM et la SNEAP dans les années 1970-1980 ont notamment consisté en la réalisation d'un grand nombre de sondages profonds. Ces travaux ont permis non seulement de disposer d'informations précises sur l'organisation des faciès géologiques en profondeur, mais aussi de mettre en évidence les couches aquifères par la description des arrivées d'eaux. Ces données sont d'autant plus utiles que les explorateurs ont décrit, à de multiples reprises, des **venues d'eaux importantes, voire même artésiennes**.

SystExt a donc complété l'étude des captages d'eaux (sources et forages décrits dans le § 7.1.2 p. 79) par celle de la documentation de la Banque du Sous-Sol (BSS) du BRGM. Cette analyse s'est concentrée sur les forages réalisés dans l'environnement des hameaux de Fumade et de la Fédial puisqu'il s'agit des zones où se situent prioritairement les cibles minéralisées¹⁰⁹. Au total, SystExt a retenu 4 forages au nord du hameau de Fumade (FU22, FU29, FU4 et FU44) et 7 forages à l'ouest et au nord du hameau de la Fédial (A0, FL10/A1¹¹⁰, FL11/A2, FL7, FL9, FL1 et FL2). Ceci porte à vingt le nombre de points sélectionnés par SystExt pour l'étude du fonctionnement hydrogéologique local, tels que présentés sur la *Figure 29*.

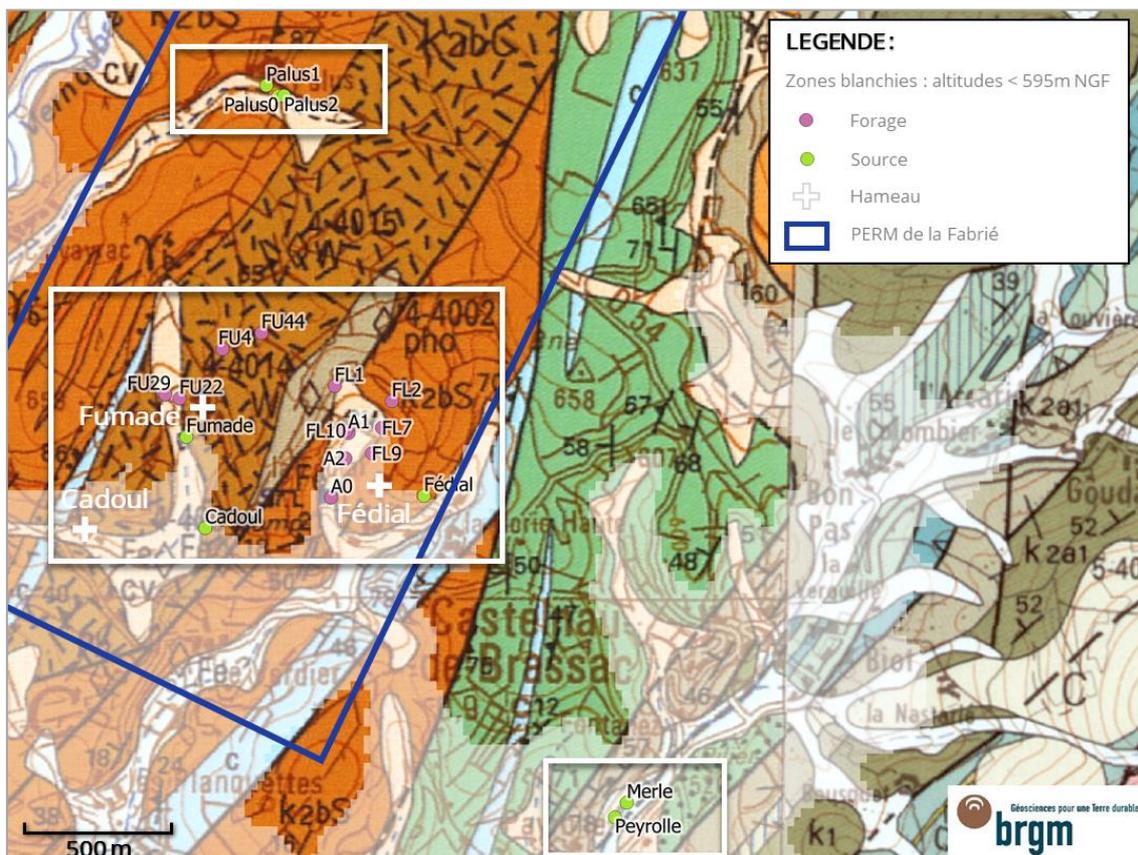


Figure 29 : Localisation des 20 points sélectionnés par SystExt pour l'étude du fonctionnement hydrogéologique, sur fond de carte géologique au 1/50000 (BRGM)

¹⁰⁹ De plus, c'est également dans cette zone que la majorité des forages ont été réalisés. A l'inverse, sur les zones situées autour du captage de Peyrolle et des sources de Palus, il n'y a pas eu de travaux équivalents.

¹¹⁰ Le forage d'Arcanic (A1) est situé à 6,80 m du forage FL10 de la SNEAP.

Pour tous les sondages étudiés, la formation des dolomies massives (K2a) est aquifère, des arrivées d’eau se produisant dès l’atteinte du sommet de la couche dolomitique. A l’inverse, lorsque ce faciès géologique est silicifié, du fait des mécanismes magmatiques et métamorphiques qui se sont mis en place au niveau du gisement de Fumade¹¹¹, il n’est plus aquifère (la perméabilité de la roche étant alors considérablement réduite). Ce dernier phénomène a été observé au niveau des forages FL1 et FL2 qui ont majoritairement traversé des calcaires et dolomies siliceux avec skarns. C’est également le cas pour le forage A0 : après avoir rencontré 78 m de dolomie siliceuse, il a trouvé un horizon productif à 221 m de profondeur : la dolomie « saine ».

Tel que détaillé dans le § 2.1.3 p. 23, d’importants phénomènes de compression ont conduit à la mise en place de plis et de failles. On retiendra ainsi la présence de deux failles « majeures » : la faille ① de la Fédial, et la faille ② de Castelnau-de-Brassac. Celles-ci délimitent le secteur d’étude en **trois compartiments** : « Ouest », à l’ouest de la faille ① ; « Centre », entre les failles ① et ② ; « Est », à l’est de la faille ② ; tels que représentés sur la *Figure 30*.

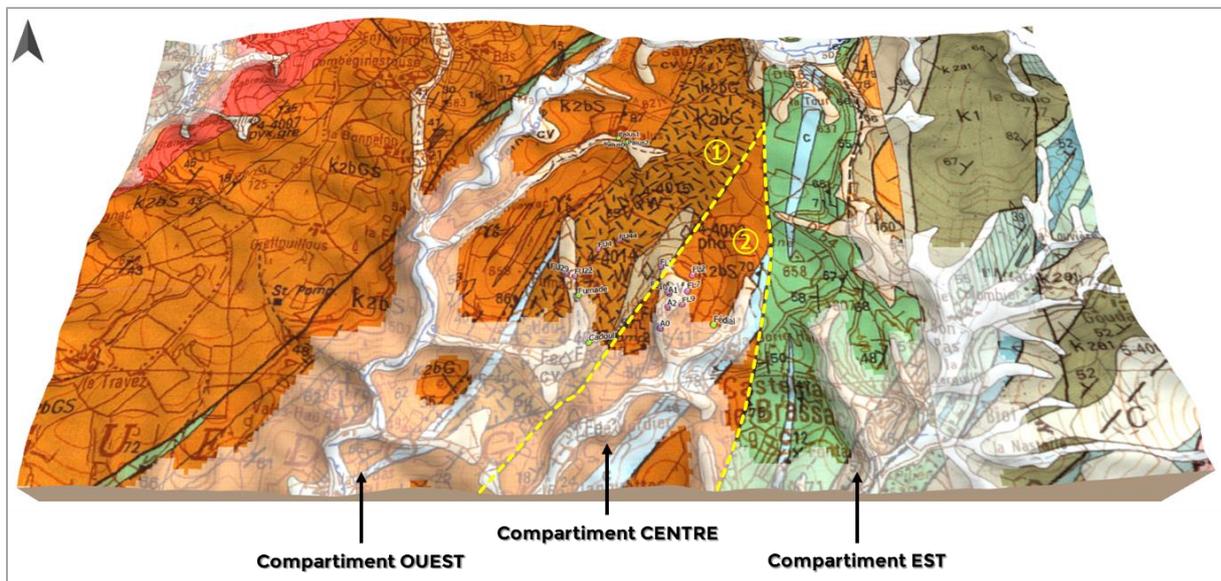


Figure 30 : Vue en relief du secteur d’étude et mise en évidence des trois compartiments définis par SystExt, sur fond de carte géologique au 1/50000 (BRGM)

De plus, [Lheur et Meisser \(2010\)](#) ont identifié quatre autres failles qui « découpent » le compartiment « Centre ». Dans ce compartiment, **les dolomies se situent en moyenne 100 m « sous » celles du compartiment « Ouest », du fait du rejet* des failles**, tel qu’illustré sur la coupe¹¹² de la *Figure 31 page suivante*.

La formation des dolomies massives (K2a) est aquifère dans tous les compartiments, tel que le prouvent les arrivées d’eau des forages FU4 et FU44 dans le compartiment « Ouest », et les sources de Peyrolle et du Merle dans le compartiment « Est ». Cependant, on note que **les sondages productifs du compartiment « Centre » sont artésiens**, avec des pressions pouvant atteindre 4 bars, comme au niveau du forage A0. Ainsi, la *Figure 31 page suivante* représente la situation de cinq forages et des arrivées d’eaux associées.

¹¹¹ Il s’agit plus précisément de la mise en place de roches métamorphiques, de la circulation de fluides hydrothermaux et de la formation des skarns, tel que décrit dans le § 2.1.2 p. 22.

¹¹² Cette coupe consiste en une extraction de la *Figure 8 p. 24* ; modifiée d’après ([Lheur & Meisser, 2010](#)).

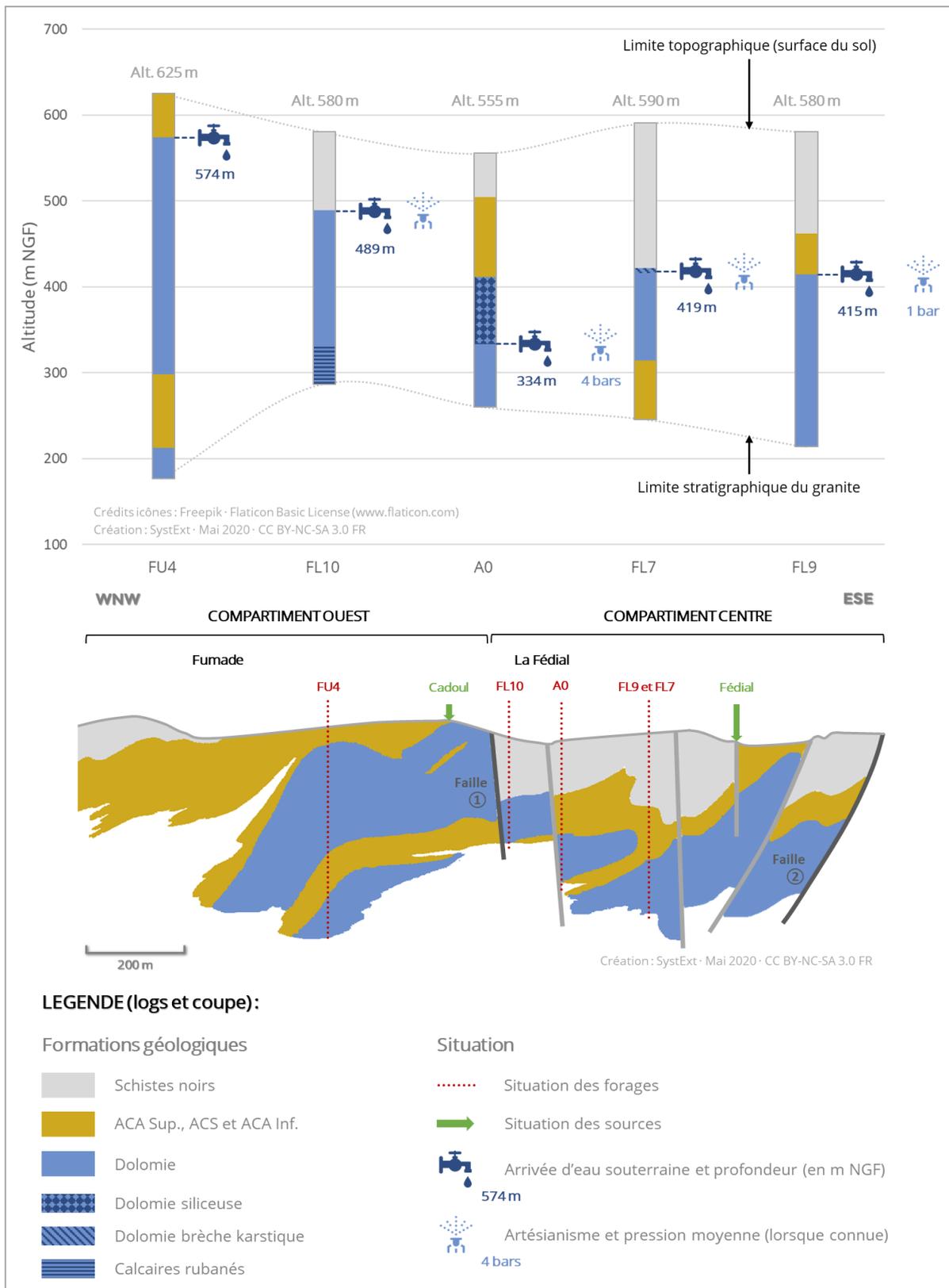


Figure 31 : (en haut) Logs stratigraphiques simplifiés des forages ; (en bas) Situation des forages et sources par rapport à une coupe géologique simplifiée passant par les hameaux de Fumade et de la Fédial¹¹³

¹¹³ La localisation des forages sur la coupe n'est qu'illustrative. Elle présente la situation générale de ces forages par rapport aux différents compartiments et « blocs ».

7.2.2. Compartiments hydrogéologiques

Pour rappel, selon Guérangé-Lozes, et al. (2013) (voir § 7.1.1 p. 79), les dolomies du secteur d'étude portent un aquifère, délimité en surface, par les vallées du Vernoubre, du Terrail et de l'Agout, et en profondeur, par le granite. Si à cette échelle, l'aquifère peut être considéré comme un aquifère monocouche en régime permanent, son fonctionnement diffère dans les trois compartiments, introduits précédemment.

► Compartiment « Ouest »

Ce compartiment est délimité, à l'est, par la faille de la Fédial ①. Il s'agit d'une faille, qui a décalé les formations d'environ 100 m (en altitude). Dans ce compartiment, **les dolomies sont proches de la surface du sol, voire affleurantes** (elles le sont à l'ouest immédiat de la faille). **Les nappes d'eaux souterraines sont libres et les eaux se trouvent à l'équilibre hydrostatique***, comme au niveau du forage FU44 où les eaux se trouvent à une altitude de 590 m NGF*.

L'installation des cours d'eau dans les fonds de vallon sont à l'origine de la mise en place de colluvions* et d'alluvions*. Ces matériaux, de par leur comportement globalement érosif, ont pu ainsi « creuser » les premiers mètres ou dizaines de mètres de schistes ou d'argilites, jusqu'à la dolomie sous-jacente. **Ces phénomènes seraient à l'origine de l'émergence des sources de Cadoul, de Fumade et de Palus.**

► Compartiment « Centre »

Ce compartiment est délimité, à l'ouest, par la faille de la Fédial ①, et, à l'est, par la faille de Castelnau-de Brassac ②. Du fait du jeu des failles, **les dolomies se trouvent en profondeur** (entre 90 et 220 m de profondeur sur les forages FL10, A0, FL7 et FL10), sous une épaisse couche de schistes et/ou d'alternances calcaréo-schisteuses ou argileuses. Ces faciès, imperméables en masse, empêchent la progression des eaux vers la surface. **Les nappes d'eaux souterraines sont ainsi captives*** et **les eaux sont « piégées » à une altitude très en dessous de leur niveau d'équilibre**. Cette configuration conduit logiquement au **phénomène d'artésianisme**, observé au niveau des sondages productifs du compartiment « Centre ».

La tête du forage A0 se situe à 555 m NGF et présente historiquement des pressions d'environ 4 bars. En prenant en compte une pression d'eau augmentant d'un bar tous les 10 m, il est attendu un niveau d'équilibre localisé environ 40 m plus haut, soit à l'altitude 595 m NGF. Ceci sous-tend également que les zones d'alimentation des terrains aquifères se situent au moins au-dessus de cette altitude¹¹⁴.

► Compartiment « Est »

Ce compartiment est délimité, à l'ouest, par la faille de Castelnau-de Brassac ②. Du fait du jeu des failles, **les dolomies et calcaires, qui composent les formations des dolomies massives (K2a) et des pélites vertes à niveaux carbonatés (K3), sont affleurants**. Ces formations se présentent sous forme de bandes (d'une largeur de plusieurs dizaines à centaines de mètres), le long des failles SE-NW qui segmentent ce compartiment.

¹¹⁴ C'est pour cette raison que les surfaces présentant une altitude inférieure à 595 m NGF ont été marquées de blanc sur la Figure 29 p. 89 et la Figure 30 p. 90.

A l'image de la situation du compartiment « Ouest », **les nappes d'eaux souterraines seraient libres. Cette configuration est à l'origine d'émergences, comme au niveau des sources de Peyrolle et du Merle**, qui se trouvent à environ 520 m NGF, dans la vallée du Terrail. Les terrains aquifères qui alimentent ces captages d'eau potable sont des calcaires gris se rattachant à la formation des dolomies massives (K2a) et affleurant sous les colluvions du ruisseau du Terrail (Rey, 2009 ; Guérandé-Lozes, et al., 2013 ; données BSS).

Ce compartiment porte également plusieurs petites autres sources, comme celle des Roussides, dans le vallon du Fontanès (affluent en rive droite du Terrail)¹¹⁵. La source des Roussides est supposée quant à elle provenir de eaux circulant dans les formations K3, plus particulièrement de la large bande qui borde la faille de Castelnaud-de-Brassac à l'est (Guérandé-Lozes, et al., 2013).

7.2.3. Communications hydrauliques entre les compartiments

► Absence de communication entre les terrains aquifères du secteur d'étude et ceux des captages de Fontaine de la Reine et de Mont Roucous (alimentant des usines d'embouteillage)¹¹⁶

Aucune communication n'est possible entre les nappes souterraines du secteur d'étude (pour les trois compartiments étudiés) et celles qui alimentent les sources de Fontaine de la Reine et de Mont Roucous, situées au nord-est de la commune de Fontrieu.

L'éloignement important (supérieur à 10 km) est un premier argument, mais la raison principale réside dans les différences majeures entre les formations aquifères de ces deux zones. Si les terrains aquifères du secteur d'étude correspondent à des roches sédimentaires, majoritairement dolomitiques, ceux de Fontaine de la Reine et de Mont Roucous correspondent à des roches magmatiques. En effet, à cet endroit, les eaux souterraines circulent dans des roches de type granite et gneiss, à la faveur de zones fissurées ou de zones arénisées* (Grano & Soulé, 1980).

► Connexion hydraulique entre les compartiments « Centre » et « Ouest »

SystExt fait l'hypothèse d'une **communication hydraulique entre les compartiments « Centre » et « Ouest » ; c'est-à-dire entre les terrains aquifères situés notamment au droit d'Arcanic et de la Fédial d'une part, et ceux qui portent les sources de Cadoul, de Fumade et de Palus, d'autres part**. Bien que la faille de la Fédial entre ces deux compartiments puisse constituer un obstacle, elle n'empêche cependant pas des échanges hydrauliques. D'ailleurs, il est fréquent que dans les zones faillées où les terrains sont « découpés » en blocs (comme ici), les compartiments aquifères soient séparés hydrauliquement mais en connexion hydrogéologique (par déversement de l'eau, d'un bloc à l'autre).

SystExt estime que ce sont les phénomènes qui se produisent ici. **Il n'est pas question de continuité hydraulique (une seule nappe souterraine) mais de connexion hydraulique**. Cette hypothèse est corroborée par les diminutions de débit importantes et tarissements survenus au niveau des sources du plateau de Fumade lors de l' « épisode A0 » (fuite au niveau des Planquettes Basses) et de l' « épisode A1 » (vidange du forage d'Arcanic) (voir § 7.1.2 et plus particulièrement Tableau 10 p. 84).

¹¹⁵ D'après le témoignage d'un riverain, la source des Roussides mentionnée par Rey (2009) pourrait être celle qui donne naissance au ruisseau de Fontanès.

¹¹⁶ Le traitement de cette question est réalisé en réponse à une sollicitation de la mairie de Fontrieu, concernant les risques potentiels pour les usines d'embouteillage d'eau dites « Fontaine de la Reine » et « Mont Roucous ».

► Connexion hydraulique peu probable entre les compartiments « Centre » et « Est » ¹¹⁷

Il n'est pas attendu de communication hydraulique entre les compartiments « Centre » et « Est » ; c'est-à-dire entre les terrains aquifères situés notamment au droit d'Arcanic et de la Fédial d'une part, et ceux qui portent les sources de Peyrolle et du Merle, d'autre part. En effet, la faille de Castelnau-de-Brassac constitue un chevauchement majeur. Cet accident tectonique est interprété comme la frontière entre deux sous-unités structurales (ou entre deux ensembles géologiques) (Guérangé-Lozes, et al., 2013). Ainsi, les communications hydrauliques entre les dolomies massives (K2a) situées à l'ouest de la faille de Castelnau-de-Brassac, et les pélites vertes à niveaux carbonatés (K3), à l'est de la faille, paraissent peu probables (voir (A) sur la Figure 32).

En complément, on note qu'un traçage des eaux qui émergent au niveau de la source des Roussides a été effectué en 2005 afin d'identifier des connexions hydrauliques possibles entre ces eaux et celles qui alimentent les sources de Peyrolle et du Merle (Rey, 2009). Cette expérimentation n'a pas pu montrer de relations entre ces sources, laissant supposer l'absence de connexions hydrauliques entre les couches de la formation K3 qui longent la faille chevauchante de Castelnau-de-Brassac et celles de la formation K2a qui affleurent en rive droite du ruisseau du Terrail (Rey, 2009) (voir (B) sur la Figure 32).

Par ailleurs, les sources de Peyrolle émergent « naturellement » à 520 m NGF Cette altitude doit donc correspondre (ou avoisiner) le niveau libre des nappes souterraines. Pour rappel, dans les compartiments « Centre » et « Est », l'altitude de ce dernier niveau est estimée à 595 m NGF. Cette différence de 75 m entre les deux niveaux hydrostatiques soutient l'hypothèse qu'il n'y a pas de connexion hydraulique entre les compartiments « Centre » et « Est ».

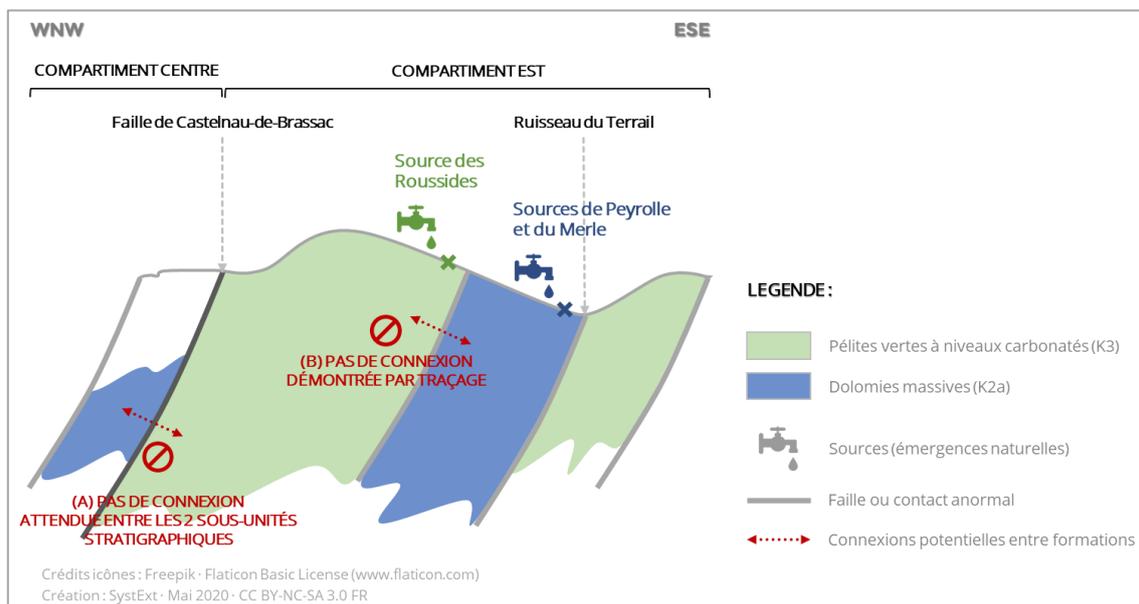


Figure 32 : Schéma de principe de la situation géologique entre la faille de Castelnau-de-Brassac et la vallée du Terrail¹¹⁸

¹¹⁷ On note que le compartiment « Centre » se biseaute au nord, de telle façon qu'à partir de cet endroit la faille de Castelnau-de-Brassac constitue la limite entre les compartiments « Ouest » et « Est ». Les conclusions suivantes restent vraisemblablement valables.

¹¹⁸ Ce schéma n'a qu'une vocation illustrative, il ne respecte ni le pendage des couches (de 50 à 70° vers l'ouest d'après la carte géologique), ni leur épaisseur, ni leur organisation par rapport aux autres formations géologiques situées en profondeur. Elle se base cependant sur la notice qui accompagne la carte géologique (Guérangé-Lozes, et al., 2013, Fig. 14, Coupe 1).

7.3. Risques potentiels associés à la phase d'exploration

7.3.1. Limites méthodologiques de la notice d'impact

Le § 1.3.1 p. 17 rappelle que l'échelle d'étude des notices d'impact est souvent beaucoup trop large par rapport à la zone concernée par les travaux d'exploration projetés, ce qui peut mener à des évaluations imprécises.

► Identification des entités aquifères

Concernant l'identification des entités aquifères locales, le porteur de projet détaille l'approche choisie (*Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 19*) :

« La consultation de la Base de Données des Limites de Systèmes Aquifères (BDLISA) a permis d'identifier 1 entité hydrogéologique locale dans laquelle est inclus le secteur du projet de PERM : 370AC01 : « Socle du bassin versant de l'Agoût de sa source au confluent du Gijou ».

Cette entité hydrogéologique correspond à une unité semi-perméable à nappe libre, liée à un socle fissuré. Les eaux souterraines du secteur du projet de PERM sont donc liées à un aquifère de socle fissuré, dont les roches sont intrinsèquement imperméables, mais où l'eau circule dans les diverses fissures de la roche [...] Aucune donnée plus précise n'est actuellement disponible sur le niveau et le sens d'écoulement des eaux souterraines au droit de la demande de PERM. »

La BDLISA est une base de données cartographique, élaborée au 1/50000, qui propose un découpage du territoire national en entités hydrogéologiques. Si cet outil est adapté à l'étude d'objets régionaux, il ne tient pas compte des spécificités locales comme dans le cas du PERM de la Fabrié dont l'emprise est kilométrique (surface de 4,5 km²).

L'entité hydrogéologique 370AC01 utilisée dans la notice d'impact environnemental du porteur de projet présente une surface très grande (environ 40 km de long sur 15 km de large), plus de 100 fois plus grande que celle du PERM (*Figure 33*). Aussi, considérer que les aquifères sont similaires pour toute l'entité hydrogéologique est une approximation. De plus, l'étude hydrogéologique réalisée par SystExt, décrite précédemment, démontre que, sur l'emprise du PERM, les terrains aquifères ne sont pas liés à un socle fissuré mais à des roches dolomitiques et calcaires.

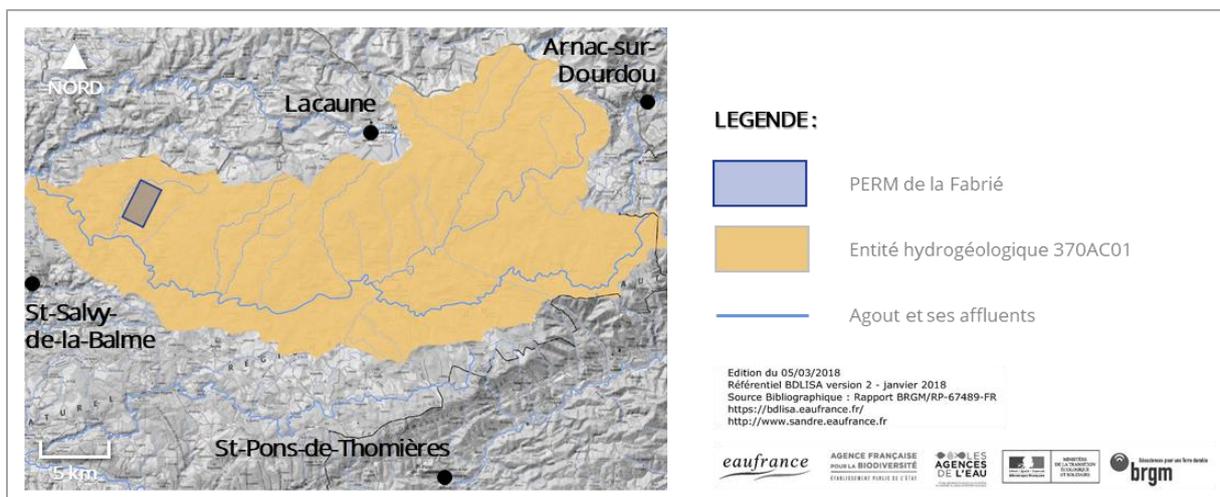


Figure 33 : Carte de l'entité hydrogéologique 370AC01 et localisation du PERM de la Fabrié ; modifié d'après BDLISA, consultée en février 2020

► Sources et forages

Le référencement des sources et forages du secteur d'étude s'appuie également sur une base de données nationale ([Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 19 et p. 24](#)) :

« Après consultation de la base de données ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines), 5 stations avec qualitomètres sont présentes au sein et aux environs immédiats du projet de PERM : [...] 09864X0035/HY [...] 09864X0039/HY [...] 09864X0040/HY [...] 09864X0006/F [...] 09864X0080/F [...] Seule la station 09864X0035/HY a été observée sur le terrain. A noter qu'aucun captage AEP n'est recensé par l'ARS sur le secteur. »

Le captage d'eau potable du forage d'Arcanic (A1) n'a donc pas été pris en compte dans le dossier de demande de PERM. Toutefois, les stations référencées 09864X0006/F et 09864X0080/F de la première citation correspondent respectivement aux forages Arcanic A0 et Arcanic A1.

La station référencée 09864X0039/HY correspondrait à la source de Cadoul. Elle n'a pas été décrite dans la notice d'impact environnemental. **La plupart des sources et puits** décrits pas SystExt dans le § 7.1.2 p. 79 **ne sont pas mentionnés**, comme les sources de Fumade, de la Fédial, de Palus, et puits FL9.

Concernant la sensibilité des eaux souterraines, le porteur du projet estime que ([Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 24](#)) :

« Aucun captage AEP recensé par l'ARS n'est localisé dans le périmètre de demande de PERM. Il existe malgré tout des puits privés dans l'emprise du PERM. La sensibilité des usages de l'eau peut donc être considérée comme moyenne. »

Tel que rappelé dans le § 1.2.2 p. 12, l'analyse critique des documents du porteur du projet réalisée par SystExt n'a pas vocation à corriger, ni à améliorer, le dossier de demande de PERM. Ainsi, l'objet de la présente étude n'est pas de faire une nouvelle estimation de la sensibilité des eaux souterraines bien que, au regard des éléments répertoriés ci-dessus, elle semble sous-évaluée. **La non prise en compte d'entités hydrogéologiques et de caractéristiques du secteur d'étude parmi les plus sensibles, font craindre une mauvaise intégration des enjeux environnementaux en cas de poursuite du projet et donc une minimisation des risques associés aux eaux souterraines.**

7.3.2. Rencontre d'horizons aquifères

SystExt estime qu'en phase exploratoire, **les risques hydrogéologiques portent principalement sur la réalisation des sondages (carottés ou destructifs) et la rencontre d'horizons aquifères.** Sur le secteur d'étude, ces forages traverseront nécessairement ce type d'horizons (dits aussi « productifs »). En effet, pour rappel, les faciès minéralisés se sont mis en place lorsque l'intrusion granitique a rencontré les roches carbonatées de la base de la série sédimentaire. Ainsi, les skarns fissuraux¹¹⁹ se trouvent principalement dans les dolomies massives (K2a) et viennent en remplissage de fissures dans ces roches carbonatées. **La formation dolomitique K2a sera donc nécessairement reconnue par sondage, alors qu'elle porte les terrains aquifères majoritaires du secteur d'étude.**

¹¹⁹ Les skarns fissuraux correspondent à l'un des deux principaux faciès minéralisés dans le gisement de Fumade ; les autres étant les skarns stratiformes de type II (voir § 2.2.2 p. 26).

A cet égard, le porteur de projet mentionne que (Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 70) :

« Si un sondage devait rencontrer un aquifère isolé ou des minéraux sensibles (sulfures, gypse, anhydrite, sel) ou encore mettre en relation deux aquifères superposés, l'ensemble du sondage sera cimenté pour éviter ces circulations à long-terme. »

Des **zones karstiques** ont été identifiées par l'hydrogéologue agréé (Rey, 2009) ainsi que par la SNEAP. En effet, l'explorateur a rapporté à plusieurs reprises dans ses relevés de sondage (disponibles dans la BSS) des **cavités métriques à décimétriques dans les horizons calcaires et dolomitiques**. A titre d'illustration, lors de la réalisation du forage FU 44, une cavité de près de 30 m de profondeur a ainsi été traversée (entre les profondeurs 117,15 m et 144,80 m).

De plus, on rappelle également que le compartiment « Centre » précédemment décrit correspond géologiquement à un pli anticlinal* segmenté par au moins 4 failles d'importance. La zone comporte **des vides, comme des fissures, ainsi que des zones bréchiques***, au sein et en bordure des failles.

SystExt souligne que dans ces conditions (zones karstiques ou bréchiques, roches fissurées, etc.), le cimentage des sondages concernés pourrait ne pas être possible.

Le porteur de projet complète ses propositions de mesures par (Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 70) :

« Si un horizon productif était rencontré, sans risque lié à la présence de minéraux sensibles, il pourra être décidé, en concertation avec les parties-prenantes (propriétaire, marie, autorités compétentes de l'Administration), d'utiliser le forage pour la production d'eau.

A cet égard, **SystExt insiste sur le fait que la rencontre d'horizons productifs est certaine sur le secteur d'étude.**

Concernant la possibilité d'utiliser un forage présentant une arrivée d'eau suffisante pour « la production d'eau », SystExt signale que cela pourrait ne pas être permis par les autorités. A titre d'illustration, le forage Arcanic A0, mis à disposition de la commune de Castelnau-de-Brassac dans les années 70, a été abandonné lors de la mise aux normes du réseau d'eau potable de la commune dans les années 2005-2010. Cette mise aux normes a d'ailleurs requis le creusement du forage d'Arcanic (A1), désormais utilisé comme captage d'eau potable.

7.3.3. Cas particulier des phénomènes d'artésianisme

D'après l'étude hydrogéologique réalisée par SystExt, le secteur d'étude a pour caractéristique remarquable de comprendre une zone où les dolomies aquifères sont captives : le compartiment « Centre ». **A cet endroit, un forage atteignant ces couches sera nécessairement soumis à une arrivée d'eau artésienne.** Ce type de phénomène est un facteur qui complexifie la gestion de ces eaux à leur arrivée en surface notamment lorsque les pressions sont élevées (environ 4 bars au niveau d'Arcanic A0).

Lorsque les explorateurs de la SNEAP y ont été confrontés, d'après le témoignage de riverains alors présents, le choix a été fait d'attendre la stabilisation du jaillissement et de laisser s'écouler les eaux « naturellement » vers les fonds de vallon et les ruisseaux. **La mise en œuvre d'une telle pratique sera discutée au regard des risques hydrologiques** dans le § 8.3.2 p. 117.

SystExt interroge de plus la possibilité que ce dernier type de phénomène puisse perturber les sources environnantes, en cas de maintien prolongé de l'écoulement des eaux. En effet, des diminutions de débit importantes ont été observées au niveau des sources du plateau de Fumade lors de l' « épisode A0 » (fuite au niveau des Planquettes Basses en lien avec le forage A0) et de l' « épisode A1 » (vidange du forage d'Arcanic) (voir § 7.1.2 et plus particulièrement Tableau 10 p. 84)¹²⁰.

Par ailleurs, encore aujourd'hui, ces effets sont observés sur certaines sources environnantes (comme au niveau de FL9), lorsque la vidange du forage d'Arcanic (A1) est prolongée aux fins de diminuer la turbidité des eaux. **Lors des sondages dans le compartiment « Centre », SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet d'être particulièrement vigilant aux équilibres hydrogéologiques et de surveiller l'évolution des débits et niveaux d'eaux dans les sources du secteur d'étude.**

Le phénomène d'artésianisme n'a été considéré que de façon hypothétique par le porteur de projet (Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 70) :

« Les formations géologiques prospectées sont des roches de socle, massives et imperméables, dont la fabrique structurale est fortement inclinée. Ces formations sont donc très peu compatibles avec l'existence de nappes captives ou d'aquifères quelconques susceptibles de provoquer un phénomène d'artésianisme si elles étaient rencontrées en sondage.

Tel que détaillé dans le § 7.3.1 p. 95, la description des entités aquifères locales proposée par le porteur de projet est erronée, ce qui induit une **sous-estimation des risques associés à la mise en place d'arrivée d'eau artésiennes**. La notice de la carte géologique (Guérangé-Lozes, et al., 2013) décrit pourtant ce phénomène et les formations aquifères associées, tel qu'indiqué sur la Figure 34.

| N° BSS | Commune | Site | Aquifère | Profondeur en mètres | Niveau statique et débit | X | Y | Altitude |
|--------|----------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------|---|---------|---------|----------|
| 4-0006 | CASTELNAU de BRASSAC | Pessols | Dolomie (-220) | 301 eau:202 | artésien | 612,85 | 150,3 | 555 |
| 4-0017 | CASTELNAU de BRASSAC | La Fumade FL 9 | Dolomie (-65) | 369,55 eau:165 | artésien (26 m ³ /h) | 613,125 | 150,49 | 580 |
| 4-0017 | CASTELNAU de BRASSAC | La Fédial FL 10 | Dolomie (-95) | 302,4 eau:95 | Artésien (78 m ³ /h) cimenté | 613,03 | 150,56 | 585 |
| 4-0017 | CASTELNAU de BRASSAC | La Fédial FL 7 | Dolomie brèche karstique (-171) | 347,45 eau:171 | artésien (30m ³ /h) cimenté | 613,155 | 150,575 | 590 |
| 4-0017 | CASTELNAU de BRASSAC | La Fédial FL 11 | Dolomie (-65m) | 83,10 eau:65 | artésien 9.5 m ³ /h | 613,015 | 150,46 | 568 |
| 4-0022 | CASTELNAU de BRASSAC | La Fumade Fu 44 | Dolomie | 212 | -45 cavités :(-51 ; -88 et 117/150) | 612,71 | 150,93 | 637 |

Figure 34 : Extrait de la notice de la carte géologique de la Feuille 986 – Castres, décrivant des horizons aquifères et le phénomène d'artésianisme associé, dans l'environnement des hameaux de Pessols, la Fédial et Fumade (Guérangé-Lozes, et al., 2013)

¹²⁰ Pour rappel, les forages A0 et A1 se situent au cœur du compartiment « Centre ».

Le porteur de projet propose néanmoins des mesures, en cas de venues d'eaux artésiennes lors des sondages (Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 73) :

Si malgré tout un tel cas de figure se produisait [...], les autorités compétentes de l'Administration seraient consultées afin de décider quelles modalités adopter pour la fermeture ou l'équipement du sondage :

- le sondage est entièrement colmaté par du ciment de façon à éviter toute remontée d'eau ou tout contact entre les eaux de nappe et les eaux de surface ou de subsurface [...]
- ou, le sondage est équipé d'un tubage, d'une crépine et d'une pompe adaptés afin de permettre des prélèvements d'eau [...]

A cet effet, SystExt rappelle que les limites discutées dans le § 7.3.2 précédent, associées au cimentage des sondages ou à leur utilisation comme point d'eau, restent valables ici.

7.4. Risques potentiels associés à la phase d'exploitation

Tel que décrit dans le § 2.3.2 p. 27, SystExt suppose que toutes les roches sédimentaires de la Série Noire ainsi que les cornéennes et les skarns pourraient être travaillés en cas d'exploitation (les granites et les schistes noirs (K2b3) le seraient dans une moindre mesure). **Les horizons aquifères du gisement de Fumade (dolomies¹²¹ et niveaux calcaires), seront donc nécessairement exploités, ou a minima traversés.** La mise en place de travaux miniers souterrains dans ces horizons nécessite le pompage des eaux, afin d'assécher les terrains et de procéder à leur extraction : on parle alors d' « exhaure »¹²².

Dans les documents fournis par le porteur de projet, il n'est pas fait mention de la gestion éventuelle de l'exhaure. A ce stade très préliminaire du projet minier, il n'est en effet pas possible d'évaluer précisément les modalités de gestion de cette dernière. Cela requiert une étude dédiée qui doit être réalisée par le porteur de la demande de concession minière. **Ce paragraphe s'attache uniquement à pointer, de manière prospective, des principaux risques hydrogéologiques associés à la phase d'exploitation, sans prétention d'exhaustivité.**

7.4.1. Caractéristiques attendues de l'exhaure

Presque tous les projets miniers, qu'ils reposent sur une exploitation à ciel ouvert ou en souterrain, sont confrontés à la problématique des eaux d'exhaure. Celles-ci peuvent être à l'origine d'impacts majeurs, tant en termes quantitatifs que qualitatifs.

En ce qui concerne le gisement de Fumade, l'étude hydrogéologique réalisée par SystExt rappelle que les travaux d'exploration du BRGM et de la SNEAP des années 1970-1980 ont rencontré des venues d'eaux importantes sur plusieurs sondages (parfois artésiennes), présentant des débits de plusieurs dizaines de m³/h¹²³. En cas d'exploitation, il est donc attendu des débits importants dans les terrains aquifères du gisement. Pour rappel, ce même type de terrains (dans la formation K2a), situés au niveau des sources de Peyrolle et du Merle, présentent des débits de 127 m³/h.

¹²¹ Pour rappel, les faciès minéralisés se sont mis en place lorsque l'intrusion granitique a rencontré les roches carbonatées de la base de la série sédimentaire. Il en résulte notamment que les skarns fissuraux, l'un des deux principaux faciès minéralisés, se trouvent principalement dans les dolomies massives (K2a) et viennent en remplissage de fissures dans ces roches carbonatées.

¹²² L'exhaure désigne le détournement, par puisage ou pompage, des eaux circulant dans les travaux miniers souterrains et/ou celles qui s'accumulent au niveau des zones creusées à ciel ouvert.

¹²³ 78 m³/h, par exemple, au niveau du forage FL10, situé à 6,80 m du forage d'Arcanic (A1).

A ce titre, le dossier de demande de la concession de Cadoul précise les caractéristiques attendues pour l'exhaure (SNEAP, 1988, p. 10) :

Le débit d'exhaure actuellement envisagé est de l'ordre de 100 m³/h à 200 [m³/h]. [...]
Nous aurons à faire face, pour ce qui concerne les eaux d'exhaure, deux provenances différentes :
- l'exhaure proprement dite, provenant des terrains, indépendamment de toute méthode d'exploitation minière,
- pendant les postes de remblayage, le surcroît de débit en provenance directe des chantiers.
Ces eaux seront rassemblées [...] dans les salles des pompes protégées par des bassins de décantation, qu'il y aura lieu de curer de manière périodique.
[...] ces eaux seront acheminées vers la laverie et réutilisées. L'éventuel trop-plein sera envoyé vers la digue à stériles de la laverie.

De tels débits nécessitent des installations en souterrain et en surface, pour acheminer et stocker les eaux. Une partie de ces eaux pourraient servir au fonctionnement de l'usine de traitement du minerai, en particulier si la méthode par flottation est utilisée (le volume d'eau requis augmentant alors par rapport au seul usage des techniques gravimétriques). Toutefois, **les besoins en eaux de l'usine pourraient s'avérer inférieurs à la quantité fournie par l'exhaure.** La citation précédente indique que la SNEAP prévoyait un surplus d'eau (l'usage de la flottation étant prévu par cet exploitant).

Classiquement, le trop-plein est évacué dans les parcs à résidus miniers et/ou rejeté dans l'environnement après traitement. Le traitement à appliquer dépend de la nature des eaux rejetées. A ce titre, on rappelle que l'étude géochimique menée par SystExt signale la possibilité de génération de drainage neutre contaminé et de drainage minier salin, et recommande de surveiller 23 substances (voir § 3.4 p. 46). Les risques associés au rejet d'eaux d'exhaure dans l'environnement sera traité dans le § 8.4 p. 118.

7.4.2. Tarissement des sources

Pour rappel, l'étude hydrogéologique menée par SystExt a notamment mis en évidence :

- Des couches aquifères dolomitiques sous pression au niveau du compartiment « Centre », entre la faille de la Fédial et celle de Castelnau-de-Brassac ;
- Des couches aquifères dolomitiques, localement affleurantes, dans le compartiment « Ouest », qui sont à l'origine des sources du plateau de Fumade (Cadoul Fumade et Palus en particulier) ;
- Des connexions hydrauliques probables entre les compartiments « Centre » et « Ouest » ;
- Des faits récurrents de diminutions de débit voire de tarissements au niveau des sources du compartiment « Ouest », en cas de perturbations sur des forages captant les terrains aquifères du compartiment « Centre ».

La corrélation de ces éléments met en évidence qu'un pompage intense des eaux au sein des compartiments « Ouest » et « Centre » auront des effets importants sur le fonctionnement des captages qui s'y trouvent. **En cas d'exploitation, et tenant compte des débits d'exhaure supposés par la SNEAP, il est attendu des diminutions de débit voire des tarissements au niveau des sources et forages du secteur d'étude** (situés à l'ouest de la faille de Castelnau-de-Brassac, hors compartiment « Est »).

Ainsi, un pompage intense au niveau des zones d'Arcanic et de la Fédial pourrait affecter les sources du secteur d'étude, comme celles de Fumade et de Cadoul. D'après plusieurs hydrogéologues consultés par SystExt, chaque mètre en moins pour le niveau hydrostatique des aquifères se traduira pas une réduction du débit des sources de quelques litres par seconde. Celles-ci ne devraient pas être considérablement impactées tant que le niveau hydrostatique ne descend pas en-dessous de 585 m NGF environ (altitude à laquelle elles émergent actuellement). Cependant, une exploitation minière souterraine maintenue sur plusieurs années peut abaisser le niveau hydrostatique sur des dizaines de mètres.

Les sources et forages du secteur d'étude¹²⁴ sont utilisés pour l'eau potable et l'abreuvement animal. Dans le cas de telles perturbations, des mesures devront alors être mises en œuvre pour garantir le maintien de ces usages. Le cas particulier du forage d'Arcanic est traité dans le § 7.5.2 p. 105.

7.4.3. Perturbations hydrogéologiques sur le long terme

Les phénomènes de diminution de débit, voire de tarissement, décrits précédemment, pourraient être considérés comme temporaires, c'est-à-dire uniquement concomitants à l'exploitation minière. En effet, le pompage des eaux d'exhaure a pour objectif d'abaisser le niveau hydrostatique d'une ou de plusieurs nappes pour les besoins de l'exploitation. Une fois l'exploitation terminée, les pompages sont généralement arrêtés¹²⁵. Le niveau d'eau dans la nappe remonte alors naturellement. De par leur nature dolomitique, les terrains aquifères drainent relativement efficacement les eaux ; la recharge des nappes pourrait donc être plutôt « rapide ».

Cependant, **les travaux miniers ont pour effet de modifier les conditions de perméabilité des terrains aquifères.** Après l'arrêt de l'exploitation, « *les travaux abandonnés, même lorsqu'ils ont été soigneusement remblayés, constituent généralement un milieu beaucoup plus perméable que l'encaissant lui-même* » (INERIS, et al., 2006, p. 36). Ce qui signifie indirectement que même en cas d'exploitation par tranches montantes remblayées faisant intervenir du remblai minier rocheux (voir § 6.2 p. 67), la perméabilité des terrains devrait être considérablement accrue.

Ceci a pour effet de former un « *court-circuit hydraulique local* » et « *le niveau hydrostatique, dans les environs de l'ancienne exploitation, ne retrouve jamais parfaitement sa position initiale* » (INERIS, et al., 2006, p. 36), tel que schématisé par la configuration ③ de la Figure 35 page suivante. **L'écoulement des eaux souterraines est ainsi perturbé, et parfois de façon intense.** L'un des phénomènes redoutés est la modification du régime des émergences (et donc la modification des écoulements d'eaux superficielles), qui peut s'exprimer de trois façons (INERIS, et al., 2006, p. 38) :

- [a] Simple modification des caractéristiques de l'écoulement à l'exutoire (augmentation ou diminution du débit moyen, modification de la distribution du débit dans le temps...);
- [b] Réapparition d'émergences qui existaient avant l'exploitation et que celle-ci avait asséchées. Les caractéristiques de l'écoulement de ces exutoires rétablis diffèrent en général des caractéristiques anciennes [...]. Il n'est pas rare que l'eau ne réapparaisse pas à l'emplacement exact de l'ancienne source [...];
- [c] Apparition de nouvelles émergences [...].

¹²⁴ Il s'agit du forage d'Arcanic (A1), du forage FL9 ainsi que des sources de Fumade, de Cadoul, de Palus et de la Fédial, pour ne citer que celles qui ont été étudiées par SystExt à l'ouest de la faille de Catslenau-de-Brassac.

¹²⁵ Les pompages d'exhaure peuvent être cependant maintenus après l'arrêt de l'exploitation, dans le cas de risques induits pour la stabilité des terrains.

La configuration ③ de la *Figure 35* illustre ce phénomène. Le niveau hydrostatique qui s'établit après exploitation (en pointillés) se situe en dessous de l'altitude de la « Source », qui ne peut donc plus jouer son rôle de point d'émergence pour les nappes souterraines (*cas [b] de la citation précédente*). L'écoulement se fait désormais préférentiellement vers le point « Écoulement » correspondant à l'exutoire des eaux drainées par les travaux miniers souterrains, anciennement exhaure (*cas [c] de la citation précédente*).

On comprend que si la « Source » était à l'origine d'un cours d'eau, celui-ci pourrait dès lors se trouver asséché. A l'inverse, le débit observé au niveau du « Cours d'eau 2 » s'en trouverait augmenté.

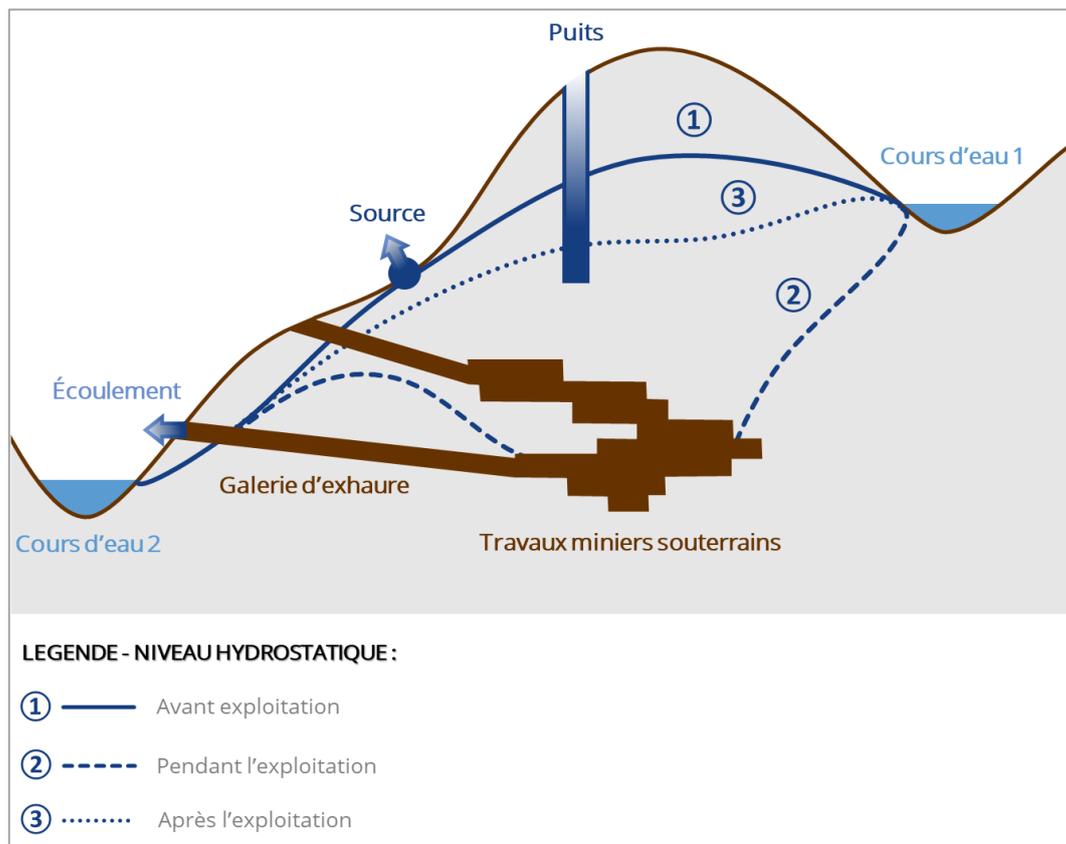


Figure 35 : Schéma de principe des impacts des travaux miniers souterrains sur l'hydrodynamique souterraine ; modifié d'après (INERIS, et al., 2006)

Dans le paragraphe précédent, SystExt conclut au fait que l'écoulement des sources et forages situés sur les compartiments « Ouest » et « Centre » serait probablement perturbé voire supprimé par une exploitation minière souterraine. Le cas échéant, **il est de plus à craindre qu'après l'arrêt de l'exploitation, les équilibres hydrodynamiques soient irréversiblement modifiés, menant à la suppression de certaines émergences et/ou à l'apparition de nouvelles.**

Tel qu'explicité précédemment, de tels phénomènes peuvent également modifier les écoulements d'eaux superficielles par changements des débits, mise en place de nouvelles zones d'écoulement, ou dans le pire des cas, assèchement partiel ou total. Cela concerne tout particulièrement les ruisseaux des Planquettes, de Cadoul et de Palus qui prennent leur source au sein de l'emprise du PERM.

7.5. Implications des prescriptions associées au captage d'Arcanic

Tel que détaillé dans le § 7.1.3 et plus particulièrement dans le Tableau 12 p. 88, le captage d'eau potable d'Arcanic dispose de périmètres de protection immédiate (PPI), rapprochée (PPR) et éloignée (PPE). Ces deux derniers sont reportés sur la Figure 36 page suivante. Des prescriptions réglementaires fortes sont définies pour le PPI et PPR, qui posent certaines limites pour le projet minier, tant à la phase exploratoire qu'à la phase d'exploitation. De façon générale, aucune activité, au stade d'exploration voire d'exploitation, ne pourra être menée sur le périmètre de protection immédiate (PPI) du forage d'Arcanic.

7.5.1. En phase d'exploration

Dans le PPR, l'objectif est de protéger la ressource alimentant le captage d'eau potable, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif (Circulaire du 24/07/1990). Pour cette raison, dans le cas du forage d'Arcanic, le « **forage de nouveaux puits** » est interdit. S'il n'est pas à proprement parler fait mention ici de sondage d'exploration minière, on peut considérer qu'un forage rencontrant des terrains aquifères s'y apparente. Or, l'étude des risques hydrogéologiques en phase d'exploration (voir § 7.3.2 p. 96 et § 7.3.3 p. 97) a mis en évidence qu'il est inévitable que certains sondages, réalisés au niveau du PPR, rencontrent des horizons productifs, voire présentent des arrivées d'eaux artésiennes. **Il est donc attendu que les travaux d'exploration par sondage soient interdits sur l'emprise du PPR.**

De même, sur cette emprise « les dépôts de tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux ; les déversements d'eaux usées de toutes natures, de produits toxiques et polluants ; et les installations de canalisations, réservoirs ou dépôts d'hydrocarbures liquides ou gazeux » sont interdits (Rey, 2009). Cette prescription est à mettre en perspective avec la description faite par le porteur du projet du fonctionnement envisagé pour les plateformes de sondage (Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 67) :

« Les hydrocarbures et les produits de sondages seront présents en quantités limitées au strict nécessaire et stockés sur rétentions adaptées. [...] Les engins seront équipés de kit anti-pollution afin de pouvoir réagir en cas de déversement accidentel d'hydrocarbures [...].

Le ravitaillement des sondeuses en carburant se fera sur une aire étanche mobile afin d'éviter tout déversement accidentel d'hydrocarbure lors de la manœuvre de ravitaillement. [...] A la fin du sondage, les bacs de décantation seront curés et les boues chargées en sédiments et contenant des produits de forage seront mises en citerne ou en fût puis évacuées vers un centre de stockage agréé [...]. »

Le stockage d'hydrocarbures, même en quantité limitée, ne pourra pas avoir lieu dans le PPR. Les citernes, fûts ou bacs de décantation, servant au stockage, même temporaire, des boues de forages ne pourront pas non plus y être entreposés. Par ailleurs, même si le porteur de projet propose des mesures préventives (ainsi que des mesures correctives) en cas de déversement accidentel d'hydrocarbures ; dans le PPR, l'objectif à atteindre est le risque zéro. **Ces limitations compromettent l'installation de plateformes de sondage dans le périmètre de protection rapprochée (PPR) et confirment que les travaux d'exploration par sondage devraient vraisemblablement y être interdits.**

Compte-tenu des prescriptions réglementaires précédentes, SystExt recommande à la mairie de demander aux autorités d'interdire tout travaux d'exploration par sondage dans l'emprise du PPR du captage d'Arcanic.

Par ailleurs, le forage d'Arcanic et son périmètre de protection éloignée (PPE) se trouve pour partie dans le compartiment « Centre ». Dans ce dernier, SystExt a recommandé précédemment de porter une attention particulière aux équilibres hydrogéologiques¹²⁶. Il revient aux autorités compétentes de définir les servitudes éventuelles sur le PPE. **Cependant, dans une approche conservatoire, et dans l'objectif de protéger les aquifères captés par le forage d'Arcanic, SystExt propose d'interdire également tout travaux d'exploration par sondage dans la zone du périmètre éloignée (PPE) qui intersecte le compartiment « Centre » (en brun sur la Figure 36).**

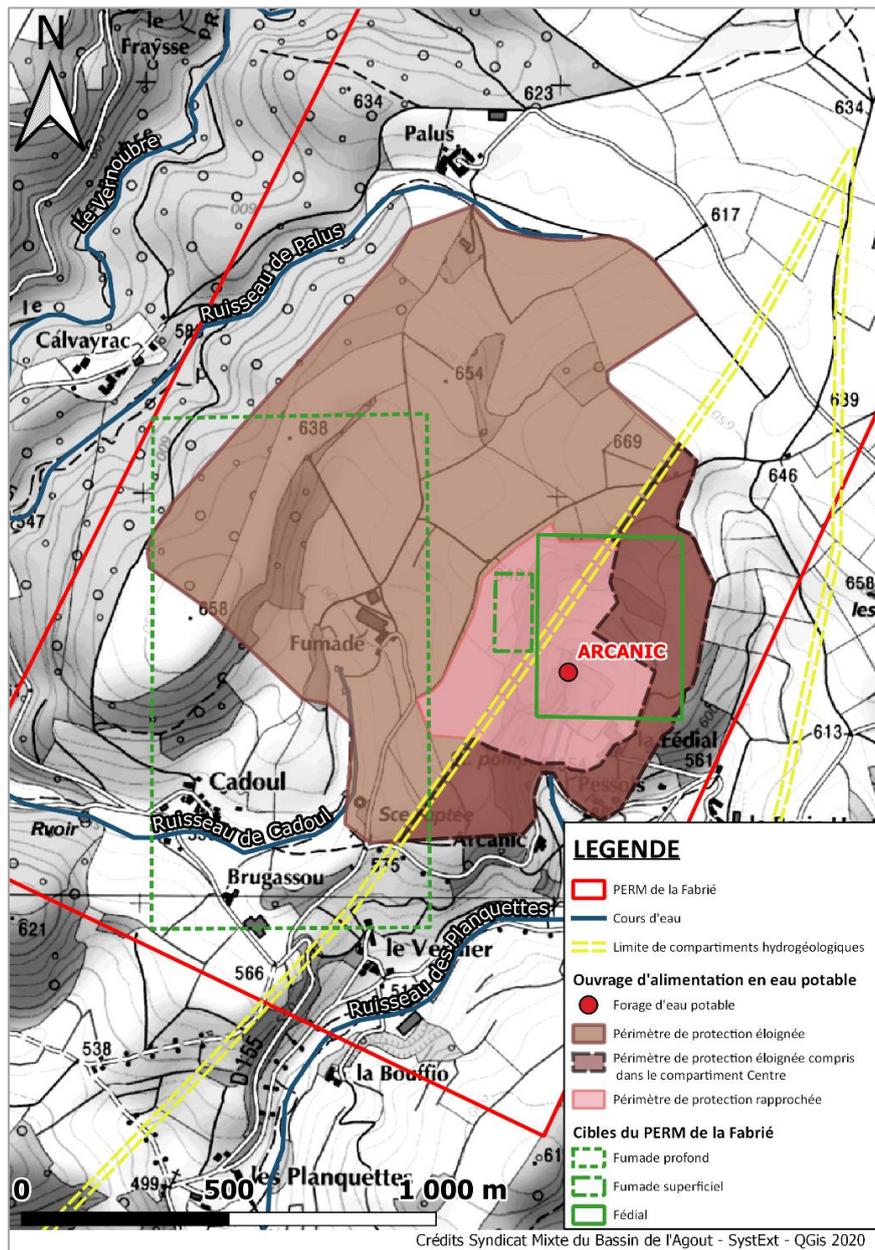


Figure 36 : Contextualisation des périmètres de protection rapprochée et éloignée, par rapport aux cibles du PERM de la Fabrié et aux limites du compartiment « Centre » défini par SystExt¹²⁷

¹²⁶ Pour rappel, au sein du compartiment « Centre », les « blocs » dolomitiques aquifères, séparés par au moins quatre failles, sont en communication hydraulique. Par ailleurs, ce compartiment serait également en connexion hydraulique avec le compartiment « Ouest ».

¹²⁷ A cette échelle, le périmètre de protection immédiate n'est pas visible car il constitue une aire de quelques dizaines de mètres carrés autour du captage.

7.5.2. En phase d'exploitation

En cas d'exploitation minière souterraine, le § 7.4 p. 99 met en évidence des **risques importants pour le fonctionnement hydraulique des sources et forages des compartiments « Ouest » et « Centre »**. Ceci est tout particulièrement pour la cible de « la Fédial », qui se situe au cœur de ce dernier compartiment (voir *Figure 36 page précédente*). Le cas échéant, les modifications des circulations d'eaux souterraines attendues par le pompage des eaux d'exhaure perturberont nécessairement les écoulements du forage d'Arcanic. Les impacts sur la ressource en eau pourraient être tant quantitatifs, que qualitatifs (par la mise en solution de substances présentes dans les zones exploitées, le relargage de matières en suspension, voir la mise en place de drainages miniers).

Par ailleurs, l'application des prescriptions règlementaires, compromet toute exploitation minière à ciel ouvert ou en souterrain dans le périmètre de protection rapproché (PPR)¹²⁸. Cela concerne les cibles de « Fumade superficielle » et de « la Fédial » (voir *Figure 36 page précédente*).

En cas d'exploitation minière, un arbitrage devra nécessairement être fait entre le maintien du captage d'eau potable d'Arcanic et la conduite des travaux miniers. **SystExt estime que si décision était prise par les autorités de poursuivre le projet minier jusqu'à son stade d'exploitation, le forage d'Arcanic devrait alors être abandonné et un nouveau captage d'eau potable mis en service sur le territoire de la commune.**

La question de l'alimentation en eau potable étant l'une des plus cruciales pour la vie d'un territoire, en cas de proposition d'un projet d'exploitation minière, cette problématique devra être abordée le plus en amont possible entre la mairie de Fontrieu et le porteur de projet.

¹²⁸ Pour rappel, dans l'emprise du périmètre de protection rapprochée (PPR), sont interdits : « le forage de nouveaux puits », « l'ouverture de carrières », « les dépôts de tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux », et « les déversements d'eaux usées de toutes natures, de produits toxiques et polluants » (Rey, 2009).

8. Hydrologie

8.1. Hydrographie et hydrodynamisme du secteur d'étude

8.1.1. Contexte hydrographique local

Le secteur d'étude appartient au bassin versant de l'Agout, et plus précisément au sous-bassin de l'Agout amont, qui englobe l'Agout (et ses affluents) de sa source, jusqu'à sa confluence avec le Sor.

Six cours d'eau parcourent le secteur d'étude, tels que représentés sur la carte de la *Figure 38 p. 109* ; avec (dans l'ordre décroissant, selon la taille) :

- **L'Agout**, s'écoulant à environ 1 km au sud du PERM de la Fabrié ;
- **Le Vernoubre**, affluent de l'Agout, qui prend sa source au nord-est du secteur d'étude et longe le PERM par l'ouest ;
- **Le Terrail**, affluent de l'Agout, qui s'écoule à environ 1 km à l'est du PERM et rejoint l'Agout à Brassac ;
- **Les Planquettes**, affluent de l'Agout, qui prend sa source à Arcanic ;
- **Le Cadoul**, affluent du Vernoubre, qui prend sa source au hameau de Fumade et rejoint le Vernoubre au sud-ouest du PERM ;
- **Le Palus**, affluent du Vernoubre, qui prend sa source à environ 300 m à l'est du hameau de Palus.

Par la suite, **on portera une attention particulière à ces trois derniers ruisseaux puisqu'ils circulent au sein du PERM¹²⁹**. Il s'agit de petits cours d'eau que l'on pourrait qualifier de fossés tant ils sont étroits et de faible débit par endroit. Le plus important des trois est le ruisseau des Planquettes, qui ne dépasse pas le mètre de large en période de fortes pluies¹³⁰.

Le ruisseau de Cadoul est un tout petit cours d'eau, fortement anthropisé et busé. Il est très étroit et son lit majeur est pratiquement égal à son lit mineur ; avec de très fortes pentes forestières à de nombreux endroits. Il traverse le hameau de Cadoul en souterrain.

Le secteur d'étude est localisé sur le versant ouest des Monts de Lacaune. Les cours d'eau s'écoulent donc en zone vallonnée, sans interruption au cours de l'année. Les caractéristiques d'écoulement des différents cours d'eau sont reportées dans le *Tableau 13 page suivante*. Les numéros se réfèrent aux vues de la *Figure 37 page suivante*. Celle-ci propose des vues récentes (en décembre 2019, janvier 2020 et février 2020) des cours d'eau de Terrail, des Planquettes, de Cadoul et de Palus. Pour ces trois derniers, celles-ci ont été prises dans la partie amont des ruisseaux, au sein de l'emprise du PERM.

¹²⁹ Les ruisseaux des Planquettes et de Cadoul trouvent respectivement leur source au droit des cibles « la Fédial » et « Fumade profond ».

¹³⁰ Observations réalisées par le Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout en février 2020 ; confirmée par SystExt lors de sa visite de terrain à la même période.

| Cours d'eau | N° | Estimation du débit | Largeur du lit | Niveau d'anthropisation |
|-----------------|----|---------------------|----------------|-------------------------|
| L'Agout | | Fort | Plurimétrique | Très fort |
| Le Vernoubre | | Moyen | Métrique | Fort |
| Le Terrail | 1 | Faible | Métrique | Fort |
| Les Planquettes | 2 | Faible | Décimétrique | Moyen |
| Le Cadoul | 3 | Très faible | Décimétrique | Fort |
| Le Palus | 4 | Très faible | Décimétrique | Faible |

Tableau 13 : Caractéristiques hydrodynamiques des cours d'eau du secteur d'étude (Source : indications du Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, corrélées aux observations de terrain de SystExt)



Figure 37 : Ruisseaux du secteur d'étude en 2019-2020 (SystExt, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

La Figure 38 représente le contexte hydrologique du secteur d'étude. Elle indique également le classement des cours d'eau et localise les zones humides connues¹³¹.

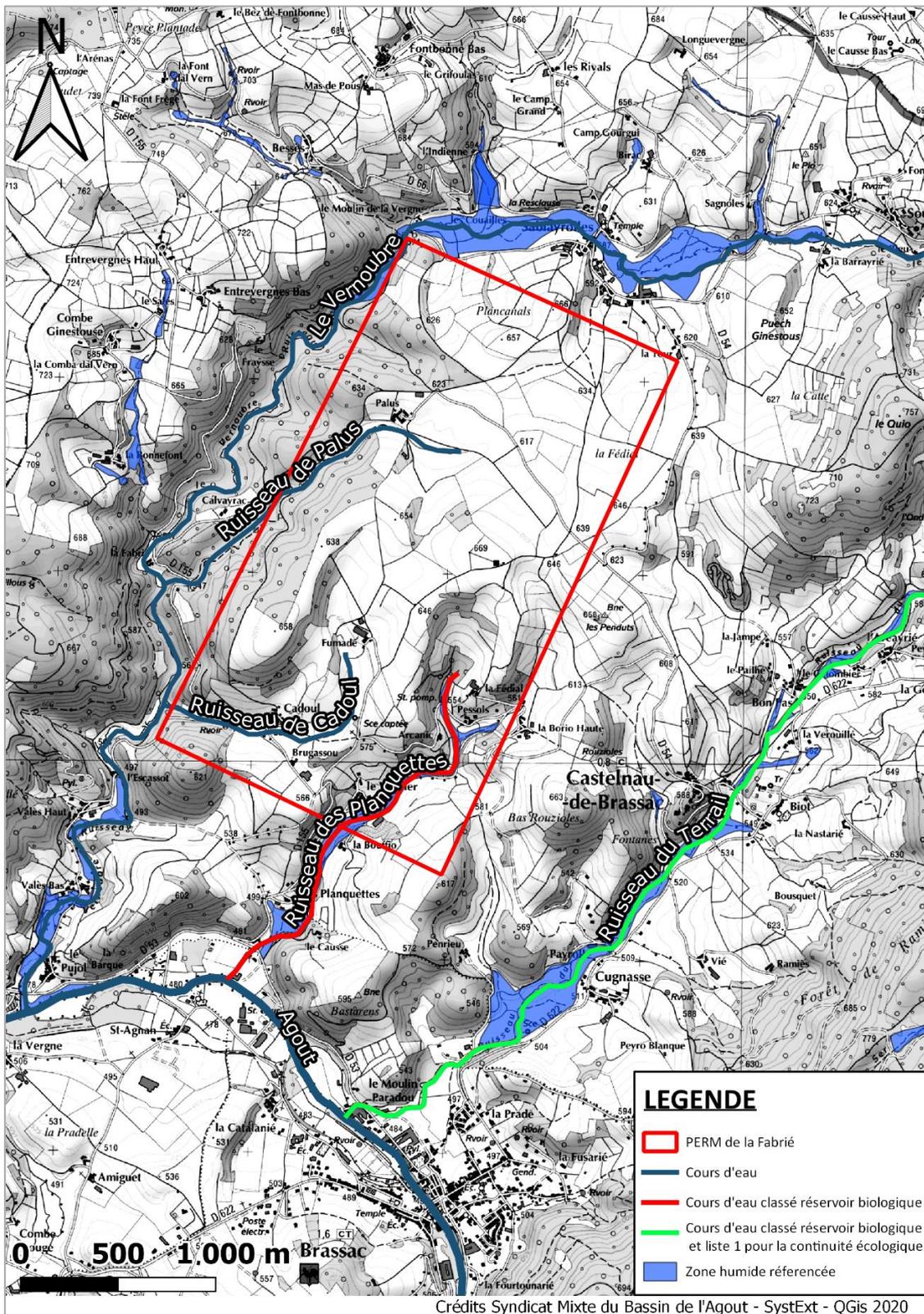


Figure 38 : Carte du contexte hydrologique du secteur d'étude

¹³¹ Ces enjeux de préservation sont détaillés dans le § 8.2 p. 113.

8.1.2. Contexte hydrodynamique local

► Climat et crues

Le bassin de l'Agout est caractérisé par un climat océanique à influence méditerranéenne. Le secteur d'étude est soumis à influence montagnarde, du fait des reliefs plus prononcés des Monts de Lacaune¹³².

Le bassin de l'Agout connaît donc un régime pluvial océanique à composante méditerranéenne (DDT Tarn, PPRI, Note de présentation, 2013)¹³³. L'influence montagnarde sur le sous-bassin de l'Agout amont se traduit par une augmentation des quantités de pluie sur les contreforts du Massif Central. Trois principaux types de phénomènes pluvieux ont lieu : pluies océaniques (hiver et printemps), pluies cévenoles (au début de l'automne généralement)¹³⁴ et pluies méditerranéennes. Chacun peut être à l'origine de crues (Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, PAGD, 2014 ; DDT Tarn, 2016).

On distingue ainsi (Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, PAGD, 2014) :

- Les crues **océaniques**, les plus nombreuses sur le bassin versant et qui sont importantes sur les reliefs des Monts de Lacaune¹³⁵ ;
- Les crues **torrentielles**, dues aux épisodes cévenols¹³⁶, principalement dans la partie orientale du bassin ;
- Les crues « **méditerranéennes complexes** », affectant fortement l'ensemble du bassin¹³⁷.

Une caractéristique propre au sous-bassin versant de l'Agout amont peut aggraver les phénomènes mentionnés ci-dessus. En effet, celui-ci est (DDT Tarn, 2016, p. 13) :

« [...] parcouru par un grand nombre de petits affluents, courts et à forte pente, qu'une averse, même de courte durée, peut affecter brutalement. Les sols assez meubles et propices aux glissements de terrains au sein desquels s'écoulent ces ruisseaux induisent de fortes possibilités de transports solides (crues torrentielles). »

Par ailleurs, deux phénomènes supplémentaires peuvent occasionner des crues sur ces petits affluents : les orages de saison chaude (mai à septembre) et la saturation en eau des sols au printemps (mai à juin) (DDT Tarn, 2016).

¹³² Source : site internet de MétéoTarn, consulté en mai 2020. Voir au [lien suivant](#).

¹³³ Les données de pluviométrie pour 2019 montrent des précipitations hivernales moyennes (avec 111 mm de pluie, contre 129 mm pour la moyenne nationale), mais des précipitations printanières élevées (avec 216 mm de pluie, contre 183 mm pour la moyenne nationale). Source : site internet de Météo-France, consulté en avril 2020.

¹³⁴ Page 'Mieux comprendre les épisodes cévenols' sur le site internet du Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), consulté en avril 2020. Voir au [lien suivant](#).

¹³⁵ Les précipitations sont en effet accentuées par le relief, qui vient bloquer les masses nuageuses océaniques (DDT Tarn, 2016).

¹³⁶ « Les épisodes cévenols sont des phénomènes qui apparaissent lorsque les vents du Sud chargés d'humidité et provenant de la Méditerranée rencontrent les versants Sud du Massif Central. [...] Pour ce type d'épisode, seule la partie orientale [du sous-bassin de l'Agout amont] est touchée jusqu'à la commune de Brassac. Les Monts de Lacaune et la Montagne Noire constituent un écran qui ne peut être franchi par les courants chauds de la Méditerranée. » (DDT Tarn, 2016)

¹³⁷ Les crues « méditerranéennes complexes » sont générées par les pluies automnales. Les pluies à l'origine de ces crues ont une influence méditerranéenne forte et peuvent s'apparenter au type cévenol. Toutefois, dans ce cas, la « Montagne Noire et les Monts de Lacaune ne constituent plus un écran contre les vents humides » (DDT Tarn, 2016). Ces crues sont dites « complexes » car les pluies méditerranéennes sont renforcées par des averses cévenoles ou océaniques.

► Plan de prévention du risque inondation (PPRI)

Les aléas inondation¹³⁸, mis en regard avec les enjeux du territoire (personnes, biens, activités, patrimoine culturel ou environnemental), permettent de caractériser et de hiérarchiser les risques encourus. Les Plans de prévention du risque d'inondation (PPRI) ont ainsi pour objectif de règlementer l'occupation des sols en fonction du risque inondation, et représentent une servitude d'utilité publique (DDT Tarn, 2016). Ils définissent ainsi un **zonage du territoire** ; avec notamment (DDT Tarn, PPRI, Règlement, 2013) :

- Les **zones bleues** qui concernent les zones urbanisées (ou susceptibles de l'être comme en périphérie urbaine) soumises à un aléa inondation faible ou moyen¹³⁹.
- Les **zones rouges** qui concernent les zones urbanisées soumises à un aléa inondation fort. Les zones rouges englobent également les zones soumises à des crues rapides et imprévisibles et les zones d'expansion des crues. L'inconstructibilité est la règle générale.

Le sous-bassin de l'Agout amont dispose d'un PPRI, en vigueur depuis 2013. Ce dernier catégorise la commune de Fontrieu comme étant soumise aux risques « inondation » et « rupture de barrage » (Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, Atlas cartographique, Carte 5, 2014). Les confluences entre l'Agout, et les ruisseaux du Terrail et des Planquettes, sont classées en zone bleue.

Le secteur d'étude comporte également plusieurs zones rouges localisées sur les cartes de la *Figure 39 page suivante* :

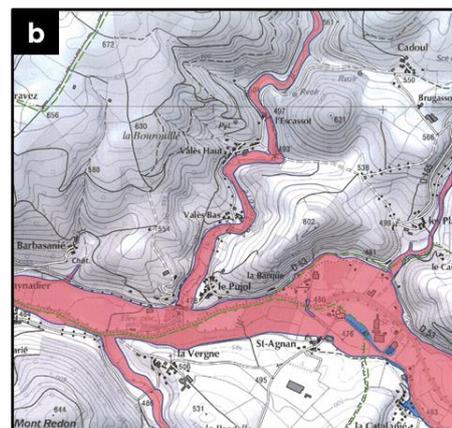
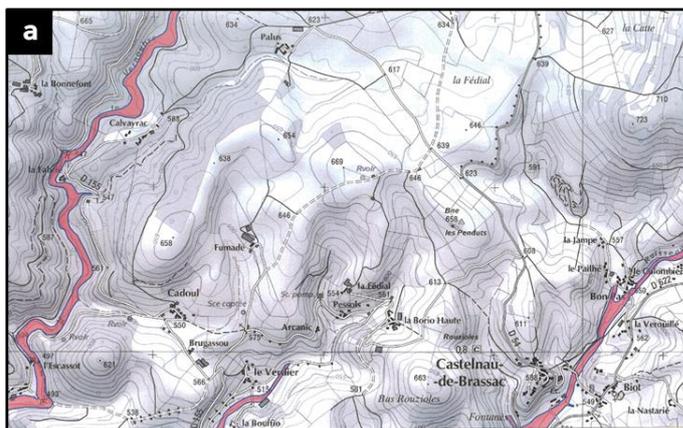
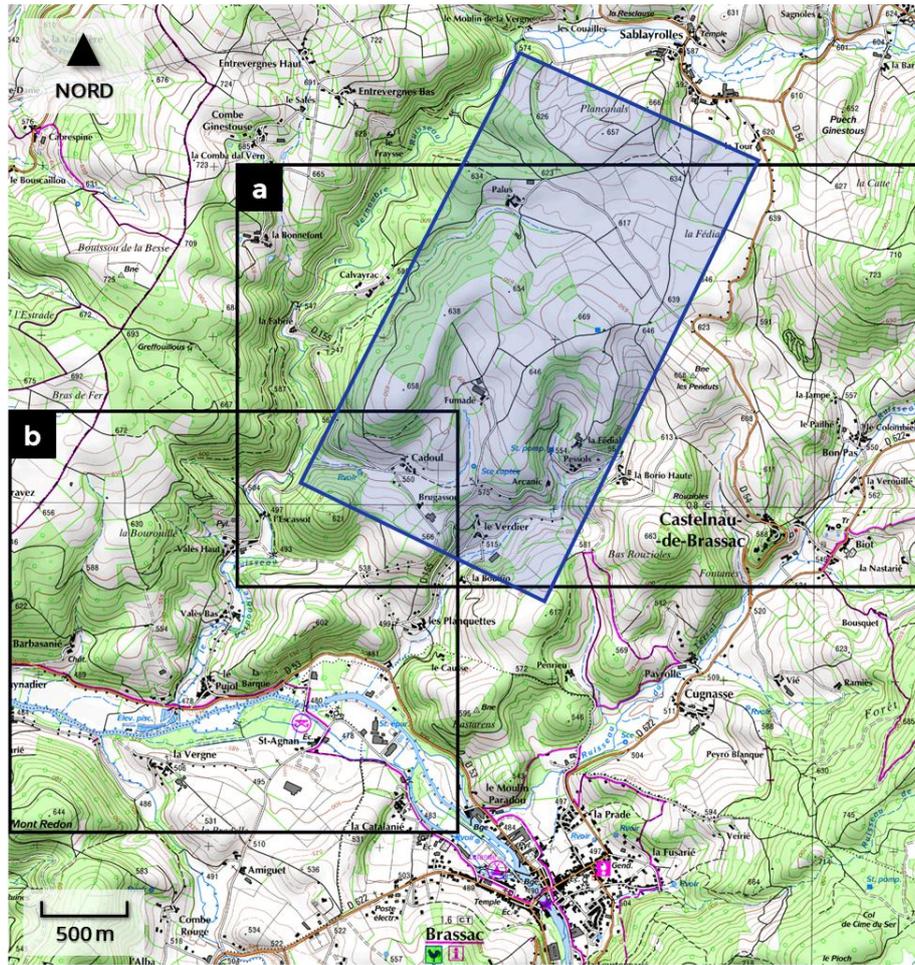
- Trois zones dans les lits majeurs du Terrail, du Vernoubre et de l'Agout ;
- Une zone dans le lit majeur du ruisseau des Planquettes, depuis le hameau du Verdier, jusqu'à sa confluence avec l'Agout.

Dans ces zones : « *il s'agit de ne pas [...] aggraver les hauteurs d'eau ou les vitesses de courant, tant localement qu'en d'autres points du territoire* » (DDT Tarn, PPRI, Règlement, 2013, p. 7), l'objectif étant de ne pas augmenter la vulnérabilité des zones d'expansion des crues. En effet, la conservation de ces dernières « *permet de réduire doublement l'aléa d'inondation et la vulnérabilité des biens et des personnes* » (Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, PAGD, 2014, p. 97).

Sur le secteur d'étude, tenant compte des mécanismes de crue précédemment décrits et de la vulnérabilité des zones rouges, il est crucial de ne pas altérer ou modifier l'hydrodynamisme des cours d'eau concernés par ces dernières. **On retiendra ici de porter une attention particulière au ruisseau des Planquettes, ainsi qu'au ruisseau du Vernoubre.**

¹³⁸ L'aléa inondation se divise en 3 types : les inondations de plaine (inondations lentes et prévisibles) ; les crues torrentielles (inondations rapides se formant lors d'averses orageuses) ; et les inondations par ruissellement urbain (inondations se produisant par un écoulement dans les rues qui n'est pas absorbé par le réseau d'assainissement superficiel ou souterrain) (DDT Tarn, PPRI, Note de présentation, 2013).

¹³⁹ En zone bleue, « *l'objectif est d'admettre certains types de constructions à condition qu'elles ne créent pas d'obstacle significatif pour une crue comparables à la crue de référence* » (DDT Tarn, PPRI, Règlement, 2013).



LEGENDE :

Situation

- PERM de la Fabrié
- Cadre de situation

P.P.R. Inondation Castelnaud-de-Brassac

- Zone bleue
- Zone rouge
- Limite de la crue de référence

Fonds cartographiques : SCAN 1/25000 © IGN

Direction Départementale des
Territoires du Tarn
Par GEOSPHAIR
Version n°1 – Septembre 2012

Figure 39 : Zonages du PPRI sur le secteur d'étude ; modifié d'après (DDT Tarn, 2013)

8.2. Enjeux de préservation des cours d'eau et des zones humides

8.2.1. Milieux à forts enjeux environnementaux

Les cours d'eau du secteur d'étude sont concernés par le Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) du bassin Adour-Garonne ([Comité de bassin Adour-Garonne, 2016](#)) ; et, à l'échelle plus locale, par le Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) du bassin de l'Agout ([Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, 2014](#)). Ces documents insistent sur la nécessité de préserver certains cours d'eau qui jouent un rôle majeur dans la préservation des milieux et de la biodiversité. A cet effet, ils définissent notamment les concepts de **continuité écologique**, de **très bon état écologique** et de **réservoir biologique**, tel que détaillé en [Annexe 6 p. 151](#).

Selon le Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES)¹⁴⁰, l'hydromorphologie est également centrale dans la qualité écologique des cours d'eau, car « *elle influe sur l'ensemble des autres éléments que sont la quantité d'eau, la variation des débits, la régénération d'habitats diversifiés, l'autoépuration, la température, etc.* ». **En ce sens, plus l'hydromorphologie est améliorée, plus grandes sont les chances d'aboutir au bon état écologique des masses d'eau.**

Le SDAGE Adour-Garonne définit notamment les mesures à mettre en œuvre dans l'objectif de préserver les milieux à forts enjeux environnementaux ; c'est-à-dire ([Comité de bassin Adour-Garonne, 2016, p. 196](#)) :

- (A) les cours d'eau à enjeu pour les poissons migrateurs amphihalins (comme le saumon)¹⁴¹ ;
- (B) les cours d'eau, ou tronçons de cours d'eau, en très bon état écologique et/ou jouant le rôle de réservoirs biologiques ;
- (C) les habitats abritant des espèces remarquables menacées ou quasi-menacées de disparition ;
- (D) les zones humides.

Sur le secteur d'étude, on compte plusieurs cours d'eau de type (A) et (B), ainsi que des zones humides (D) (tel que détaillé dans le § 8.2.2 *suivant*).

(A) Les cours d'eau de moyenne ou petite taille des zones montagneuses sont classés en **1^{ère} catégorie piscicole** ([Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, PAGD, 2014](#)). Cette catégorie caractérise les masses d'eau principalement peuplées de salmonidés (poissons amphihalins), qui sont un indicateur de la qualité de celle-ci. **Sont ici concernés tous les cours d'eau du secteur d'étude**¹⁴². Tous les travaux réalisés sur ces cours d'eau doivent faire l'objet d'une déclaration ou d'une autorisation auprès de la Police de l'eau, voire nécessiter un dossier Loi sur l'eau (en cas de risque de non maintien du bon état demandé par le SDAGE). **Le ruisseau de Terrail est également classé en liste 1 pour la préservation de la continuité écologique** (*voir Figure 38 p. 109*). Ce classement règlemente notamment la réalisation d'ouvrages hydrauliques dans le lit du cours d'eau.

¹⁴⁰ Voir page 'Cours d'eau et poissons migrateurs amphihalins' sur le site internet du MTES, consulté en mai 2020, [au lien suivant](#).

¹⁴¹ « Amphihalin » se dit d'une espèce qui migre entre le milieu marin et l'eau douce au cours de son cycle de vie.

¹⁴² Les six cours d'eau concernés sont : l'Agout, le Vernoubre, le Terrail, les Planquettes, le Cadoul et le Palus. On pourra se reporter à la carte du guide piscicole 2018 de la Fédération de Pêche en [Annexe 7 p. 153](#).

(B) **Les ruisseaux des Planquettes et de Terrail sont classés réservoirs biologiques** (voir Figure 38 p. 109). L'enjeu est majeur puisque les réservoirs biologiques participent au maintien ou à l'atteinte du bon état écologique pour l'ensemble des masses d'eau du bassin.

8.2.2. Cas particulier des zones humides

► Généralités

Les zones humides sont des secteurs règlementés par le Code de l'environnement¹⁴³ qui les définit de la façon suivante (Art. L211-1 du Code de l'environnement) :

« On entend par zone humide les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année. »

Elles rendent des services multiples, qui sont optimisés si une densité minimale de zones humides est préservée sur un territoire ; tels que représentés sur la Figure 40 :

- ① **Habitat pour la faune et la flore** dont des espèces rares et protégées, support de biodiversité ;
- ② **Épuration des eaux de ruissellement** par des processus biologiques et physico-chimiques : abattement des matières organiques et des nutriments (azote/phosphore), immobilisation des matières en suspension, piégeage d'éléments polluants, etc. ;
- ③ **Régulation hydraulique** par : ralentissement des eaux de ruissellement, maîtrise des zones d'expansion des crues, accumulation d'eau en période estivale (soutien d'étéage) ;
- ④ **Contributions socio-économiques** (élevage, chasse, paysages, etc.).

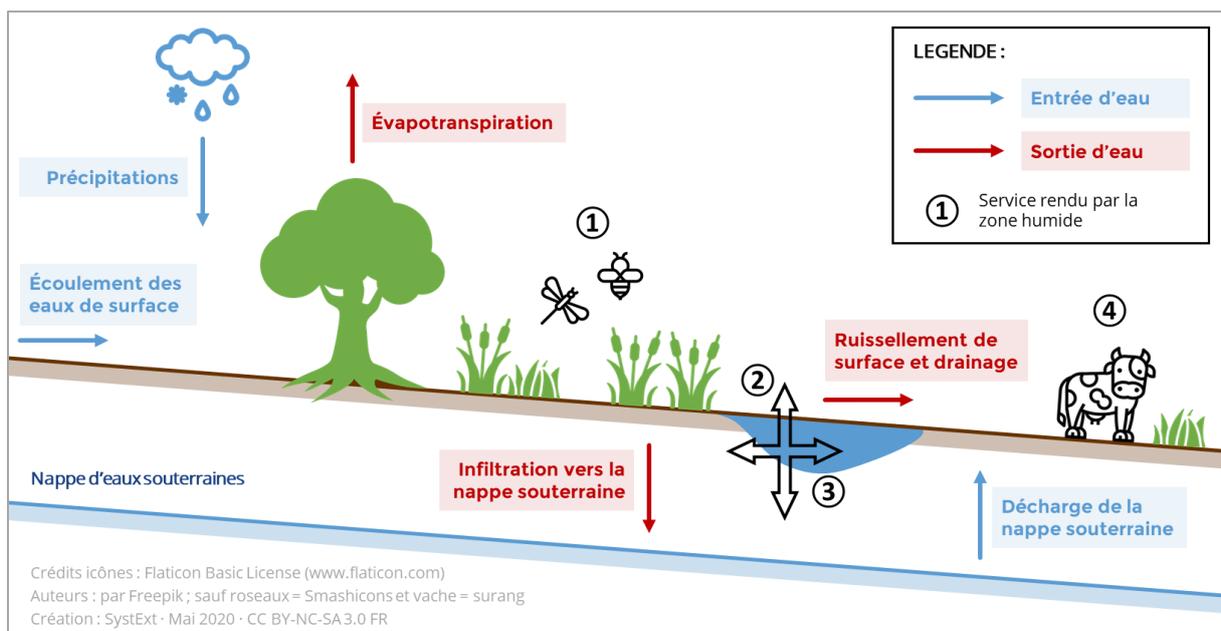


Figure 40 : Schéma de fonctionnement d'une zone humide

¹⁴³ Les zones humides sont définies par les articles L.211-1, L.214-7-1 et R.211-108 du Code de l'Environnement, ainsi que par l'arrêté ministériel du 24/06/2008, modifié par l'arrêté ministériel du 01/10/2009.

► Zones humides du secteur d'étude

Sur le secteur d'étude, **les ruisseaux des Planquettes, du Terrail et du Vernoubre abritent des zones humides** (voir Figure 38 p. 109).

D'après les recensements actuels, le sous-bassin de l'Agout amont comprend environ 2 000 ha de zones humides (Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, PAGD, 2014). Il s'agit principalement de tourbières ou de prairies tourbeuses sur le socle cristallin ; et des prairies humides, sur les terrains sédimentaires. Sur le secteur, on retrouve surtout des prairies humides, et quelques tourbières (ou « sagnes »).

Comme explicité précédemment, les zones humides sont d'importance majeure en ce qu'elles permettent notamment de réguler le débit des cours d'eau, d'atténuer les phénomènes d'inondation, et de limiter l'apparition de ruptures d'écoulement. A ce titre, l'étude *IMAGINE2030*¹⁴⁴ fait apparaître un risque de baisse des volumes ruisselés ainsi qu'une baisse des débits de référence à l'horizon 2030 sous l'effet du changement climatique ; et ceci de façon homogène sur l'ensemble du bassin de l'Agout (Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, PAGD, 2014). Selon le Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, il est ainsi à prévoir des diminutions de débit de minimum 30 à 50 %. Sur le petit chevelu de cours d'eau, ceci entraînerait des ruptures de débits et sur des périodes pouvant impacter les périodes reproduction des poissons. **Il est attendu que les zones humides limitent l'apparition de ces ruptures d'écoulement. Leur maintien est donc crucial afin d'atténuer ces phénomènes.** Ceci doit être mis en regard avec la temporalité habituelle d'un projet minier. Si le projet minier devait se poursuivre vers une phase exploratoire puis une phase d'exploitation, cette dernière pourrait se dérouler vers 2030.

Suivant les recommandations du Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, SystExt considère les zones humides comme un enjeu environnemental essentiel. **SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet d'intégrer prioritairement la question des zones humides dans les études de risques environnementaux qui seront menées tout au long du projet minier. Une attention particulière devra être portée au ruisseau des Planquettes.**

Par ailleurs, bien que le Vernoubre s'écoule hors de l'emprise du PERM, **SystExt propose également de prendre en compte ses affluents, les ruisseaux de Cadoul et de Palus.** Des perturbations qualitatives ou quantitatives de ces cours d'eau pourraient indirectement déstabiliser les zones humides situées au niveau du Vernoubre.

¹⁴⁴ Le projet *IMAGINE2030* examine l'évolution de la ressource en eau et ses conséquences sur la gestion sur le bassin de la Garonne à Lamagistère à l'horizon 2030. Voir au [lien suivant](#).

8.3. Risques potentiels associés à la phase d'exploration

Selon le Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, peu de perspectives d'amélioration sont envisagées pour l'Agout, qui est fortement artificialisé. L'enjeu primordial de préservation de son bassin versant réside donc dans les affluents de cette rivière. **A ce titre, les petits cours d'eau encore préservés (en particulier les ruisseaux des Planquettes, du Terrail, de Cadoul et de Palus) et les zones humides, constituent la plus grande richesse du bassin versant.**

8.3.1. Limites méthodologiques de la notice d'impact

Le § 1.3.1 p. 17 rappelle que l'échelle d'étude des notices d'impact est souvent beaucoup trop large par rapport à la zone concernée par les travaux d'exploration projetés, ce qui peut mener à des évaluations imprécises.

Dans la notice d'impact du dossier de demande de PERM ([Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018](#)), seuls l'Agout, le Vernobre et le Terrail sont mentionnés et décrits. **Le ruisseau des Planquettes n'a pas été pris en compte.** Quant aux ruisseaux de Cadoul et de Palus, ils ne sont évoqués qu'à deux reprises et de façon sommaire : « 2 affluents sans nom prennent leur source dans le périmètre du PERM. » ([Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 21](#)).

Les enjeux de préservation précédemment décrits (classements en 1ère catégorie piscicole, et/ou en réservoir biologique et/ou en en liste 1 pour la préservation de la continuité écologique) **ne sont pas mentionnés.** S'agissant des zones humides, elles ne sont évoquées que rapidement ([Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 28](#)) :

« L'aire d'étude ne recoupe aucun autre zonage officiel du patrimoine naturel [...], ni aucun réservoir de biodiversité [...] La demande de PERM recoupe cependant une maille d'1 km sur 1 km recensée en zone humide et probablement associée au réseau hydrographique identifié à l'extrême Sud du projet.

Les affirmations précédentes se basent sur deux cartes. La carte des zonages du patrimoine naturel ([Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 30, Fig. 11](#)) ne prend en compte que les zones d'inventaire (ZNIEFF de type I et de type II) et les zonages réglementaires (Natura 2000 et Parc naturel régional). La carte de la trame des zones humides fournie dans le rapport ([Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 32, Fig. 13](#)) se place à une échelle trop large par rapport au secteur d'étude pour identifier précisément la situation des zones humides.

Concernant la sensibilité des eaux de surface, le porteur du projet estime que ([Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 22](#)) :

« Du fait de la relative proximité des cours d'eau et de leur bon état actuel, la sensibilité des eaux superficielles du secteur du projet du PERM par rapport aux eaux superficielles peut être considérée comme moyenne à forte. »

Tel que rappelé dans le § 1.2.2 p. 12, l'analyse critique des documents du porteur du projet n'a pas vocation à corriger, ni à améliorer, le dossier demande de PERM. Ainsi, l'objet de la présente étude n'est pas de faire une nouvelle estimation de la sensibilité des eaux de surface ; bien que, au regard des éléments répertoriés ci-dessus, elle semble sous-évaluée **La non prise en compte d'entités hydrographiques et de caractéristiques du secteur d'étude parmi les plus sensibles, font craindre une mauvaise intégration des enjeux environnementaux en cas de poursuite du projet et donc une minimisation des risques associés aux eaux de surface.**

8.3.2. Risques potentiels sur les écoulements de surface

SystExt estime qu'en phase exploratoire, **les risques hydrologiques portent principalement sur la réalisation des sondages (carottés ou destructifs) et la construction des plateformes de sondage associées**. Ces opérations peuvent en effet perturber les écoulements de surface. Qualitativement d'abord, par le drainage de particules en suspension, issues du ruissellement sur les zones travaillées en surface ainsi que des venues d'eaux provenant des forages. Quantitativement ensuite, par le déversement des volumes d'eaux associés à ce dernier phénomène.

Cette dernière question est d'autant plus importante sur le secteur d'étude, que la rencontre d'horizons productifs est certaine (voir § 7.3.2 p. 96) et qu'il est attendu des phénomènes d'artésianisme dans le compartiment « Centre ». Pour rappel, dans les années 1980, lorsque les explorateurs de la SNEAP y ont été confrontés, d'après le témoignage de riverains alors présents, le choix a été fait d'attendre la stabilisation du jaillissement et de laisser s'écouler les eaux « naturellement » vers les fonds de vallon et les ruisseaux.

Le porteur de projet identifie ces impacts potentiels pour les travaux de sondages et d'échantillonnage en vrac (Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 74) :

« Les terrassements nécessaires à la réalisation des plateformes de sondages, des tranchées et puits d'échantillonnage en vrac ou des pistes d'accès [...] pourront cependant modifier localement les conditions de ruissellement et une augmentation de la mise en suspension de particules argileuses dans les eaux superficielles. [...] »

Il propose des mesures de gestion associées (Tungstène du Narbonnais, Tome III, 2018, p. 74) :

« L'emplacement des sites de sondages et d'échantillonnage en vrac sera déterminé avec l'assurance que ceux-ci ne puissent pas être inondés suite à des mauvaises conditions météorologiques (débordement d'un cours d'eau, remontée de nappes ou ruissellement et coulées de boue). Les sites de sondages seront conçus de manière à ce que l'excédent d'eau remontant à la surface ne soit pas pris au piège par les puits de forage. Les eaux pluviales seront drainées vers un puisard conforme à la réglementation, dimensionné à cet effet. »

Il est fréquent que les conditions de ruissellement soient modifiées et que la turbidité des eaux soit augmentée dans l'environnement des sites d'exploration minière. Ces phénomènes présentent généralement des impacts faibles. Dans le cas présent, le PERM est parcouru par des cours d'eau « sensibles », connectés à des zones humides. **Cela concerne tout particulièrement le ruisseau des Planquettes¹⁴⁵, ainsi que les ruisseaux de Cadoul et de Palus**. Ainsi, SystExt considère que ces trois cours d'eau et les fonds de vallon associés pourraient être perturbés par les deux phénomènes précédents (modification des conditions de ruissellement et augmentation de la turbidité des eaux) mais aussi et surtout par le déversement des eaux provenant des forages productifs.

SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de limiter autant que possible les apports d'eaux turbides et/ou à débit conséquent dans les trois cours d'eau susmentionnés.

¹⁴⁵ Pour rappel, le ruisseau des Plaquettes est classé en 1^{ère} catégorie piscicole. Cependant, ce qui les distingue des autres cours d'eau circulant au sein de l'emprise du PERM est le fait qu'il soit également classé réservoir biologique et que son linéaire soit marqué par la présence d'une zone humide (depuis sa source à Arcanic jusqu'à 200 m avant sa confluence avec l'Agout) (voir § 8.2 p. 113).

8.4. Risques potentiels associés à la phase d'exploitation

Dans les documents fournis par le porteur de projet, il n'est pas fait mention des risques hydrologiques à la phase d'exploitation. A ce stade très préliminaire du projet minier, il n'est en effet pas possible de les évaluer avec précision. Cela requiert une étude dédiée qui doit être réalisée par le porteur de la demande de concession minière. **Ce paragraphe s'attache uniquement à pointer, de manière prospective, les principaux risques hydrologiques associés à la phase d'exploitation, sans prétention d'exhaustivité.**

Le § 7.4.1 p. 99 démontre qu'une exploitation éventuelle du gisement de Fumade s'accompagnerait d'une exhaure à débit élevé ; de 100 à 200 m³/h, si on se base sur les évaluations de la SNEAP (SNEAP, 1988). De plus, les besoins en eaux de l'usine pourraient s'avérer inférieurs à la quantité fournie par l'exhaure ; ce qui nécessiterait alors une évacuation du trop-plein associé. **L'une des options choisies pourrait être le rejet dans l'environnement après traitement.**

Le cas échéant, et tel que discuté avec des représentants du Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout et de la Fédération de Pêche, il n'est pas assuré que les ruisseaux qui circulent au sein du PERM puissent s'accommoder d'une telle évolution de débit sans modification hydromorphologique. Ainsi, **de grandes quantités d'eau ou, tout du moins, des quantités bien supérieures à leur flux habituel, ne pourront pas être rejetées dans ces cours d'eau.** Dans le meilleur des cas, ces rejets entraîneraient un débordement important, voire la création d'un nouveau cours d'eau n'ayant pas la possibilité de s'écouler dans la configuration actuelle des terrains. Dans le pire des cas, cela pourrait provoquer de très importantes inondations, des ravinements et des glissements de terrain, impossibles à prévoir et à maîtriser.

Un risque hydrologique majeur en phase d'exploitation pourrait donc être associé au déversement de volumes d'eau conséquents¹⁴⁶ dans les cours d'eau qui circulent au sein du PERM (les Planquettes, le Cadoul et le Palus). Tenant compte de la « sensibilité environnementale »¹⁴⁷ de ces ruisseaux, de la présence de zones humides, du zonage de certaines parties de leur linéaire en zone rouge pour le risque inondation, **SystExt considère qu'il n'est pas envisageable d'y effectuer de tels rejets. Ce positionnement est également valable pour les ruisseaux du Vernoubre et du Terrail, pour les mêmes raisons.**

Il semble donc que seul l'Agout, présentant un débit élevé et fortement anthropisé, puisse s'en accommoder. Cette rivière est cependant inscrite en zone Natura 2000, plus spécifiquement en Zone spéciale de conservation (ZSC)¹⁴⁸. Aussi, l'implantation éventuelle d'un tel déversement devra se conformer aux prescriptions du Document d'Objectif (DOCOB) associé.

En cas de proposition d'un projet d'exploitation minière, cette problématique devra être abordée le plus en amont possible entre la mairie de Fontrieu, les acteurs spécialisés du territoire (Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, Fédération de Pêche, Parc Naturel Régional, etc.) et le porteur de projet.

¹⁴⁶ L'impact qualitatif éventuel n'est pas considéré puisque SystExt part du principe que les eaux concernées seraient traitées avant rejet.

¹⁴⁷ Voir § 8.2 p. 113 qui détaille leurs classements en 1^{ère} catégorie piscicole, et/ou en réservoir biologique et/ou en liste 1 pour la préservation de la continuité écologique.

¹⁴⁸ Zone référencée FR7301631 - Vallées du Tarn, de l'Aveyron, du Viaur, de l'Agout et du Gijou. Voir au [lien suivant](#).

9. Informations complémentaires sur le projet

Au cours de l'étude, la mairie de Fontrieu a demandé à SystExt de lui fournir des informations complémentaires sur :

- Les capacités techniques du porteur du projet, en particulier en termes de passif et de retour d'expérience sur d'autres projets miniers ;
- Les intérêts et limites associés à une prise de participation par la mairie au capital de la société exploitante.

Le présent paragraphe propose une analyse de ces questions sur la base du retour d'expérience de SystExt et d'une revue bibliographique à l'international. Il se donne pour objectif de fournir des éléments d'information précis, sans prétention d'exhaustivité.

9.1. Capacités techniques

9.1.1. Capacités techniques de Tungstène du Narbonnais

Tungstène du Narbonnais est une Société par Actions Simplifiée (SAS) au capital de 1 000 €, créée en juillet 2018, dont le siège social se situe à Paris ([Tungstène du Narbonnais, Tome I, 2018](#)). Cette société est actuellement détenue à 100 % par RUSSELL BROOKS LIMITED, une société d'investissement de Guernesey ([Tungstène du Narbonnais, Tome I, 2018](#)). Afin de financer le projet présenté dans le dossier de demande de PERM, deux partenaires financiers se joindraient à RUSSELL BROOKS : la société SPH Kundalila et un investisseur indépendant sud-africain (Michael Nunn). Un accord de financement entre ces trois entités régulerait la réalisation d'investissements. L'objectif à l'issue de l'étude de faisabilité est d'atteindre la répartition d'actionnariat suivante ([Tungstène du Narbonnais, Tome I, 2018, p. 18](#)) :

- SPH Kundalila : 51 %
- Michael Nunn : 30 %
- Russell Brooks Limited : 19 %

Lors de la demande d'un permis recherches minières, le demandeur doit justifier de ses capacités techniques et financières¹⁴⁹ ([Décret n°2006-648 du 02/06/2006, Art. 4](#)) :

« Afin de justifier de ses capacités techniques, le demandeur d'un titre fournit à l'appui de sa demande [...] :

a) Les titres, diplômes et références professionnelles des cadres de l'entreprise chargés de la conduite et du suivi des travaux d'exploration [...] ;

b) La liste des travaux d'exploration ou d'exploitation de mines ou des travaux de recherches, de création, d'essais, d'aménagement et d'exploitation de stockage souterrain auxquels l'entreprise a participé au cours des trois dernières années, accompagnée d'un descriptif sommaire des travaux les plus importants ;

c) Un descriptif des moyens humains et techniques envisagés pour l'exécution des travaux. »

¹⁴⁹ Les capacités financières du porteur de projet ne sont pas discutées dans ce rapport. Ce sujet ne relève pas de la demande faite à SystExt, ni de l'expertise de l'association.

Pour évaluer les capacités techniques du porteur de projet, on se base dans un premier temps sur les dispositions réglementaires susmentionnées.

(a) Références professionnelles

Les diplômes et CV des principaux cadres de Tungstène du Narbonnais sont fournis dans le dossier de demande de PERM (*Tungstène du Narbonnais, Tome I, 2018, Ann. 7*). Cette société est dirigée par un Président qui a nommé trois directeurs généraux, eux aussi investis de la totalité des pouvoirs de représentation de la société (*Tungstène du Narbonnais, Tome I, 2018*). Le président détient une licence en économie et sciences politiques ainsi qu'une licence en droit, spécialisée en législation sur les ressources minérales de l'Université de Stellenbosch, Afrique du Sud. Parmi les 3 directeurs généraux, deux sont géologues miniers. L'entreprise est également accompagnée d'un chef géologue ayant travaillé pendant plus de 40 ans dans l'industrie minière, et d'un consultant pour mener les travaux d'exploration (*Tungstène du Narbonnais, Tome I, 2018*).

(b) Liste des travaux d'exploration ou d'exploitation

L'entreprise Tungstène du Narbonnais étant nouvellement créée, **elle n'a pas pu participer ou mener des travaux d'exploration ou d'exploitation minière au cours des trois années précédant sa demande**. Par ailleurs, l'entreprise ne détient aucun titre d'exploration ou d'exploitation (*Tungstène du Narbonnais, Tome I, 2018, p. 18*) :

« TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS ne détient aucun titre minier d'exploration ou d'exploitation, ni en France ni à l'étranger. »

(c) Descriptif des moyens humains et techniques

Le Tome II du dossier de demande de PERM détaille le programme des travaux d'exploration sur le secteur. Chaque phase de travaux présente les méthodes envisagées (*Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018*). Cependant, on n'y retrouve pas de description des moyens humains qui seraient mis en œuvre¹⁵⁰.

9.1.2. Situation des partenaires financiers

Tungstène du Narbonnais étant une entreprise nouvellement créée, **les capacités techniques des trois principaux investisseurs du projet ont été étudiées**. Parmi eux, seule l'entreprise SPH Kundalila¹⁵¹ exécute des activités techniques dans le secteur de l'industrie minière. Celle-ci est spécialisée dans les solutions et services pour l'industrie minière¹⁵².

Selon son site internet¹⁵³, l'entreprise SPH Kundalila intervient sur six sites. SystExt a étudié les opérations qu'elle y menait, tel que détaillé dans le *Tableau 14 page suivante*.

¹⁵⁰ Seuls les montants attribués aux salaires des 4 membres de la direction, ainsi que ceux de 4 membres de l'équipe technique sont présentés dans le budget prévisionnel des dépenses (*Tungstène du Narbonnais, Tome II, 2018, Tabl. 10, p. 73*).

¹⁵¹ SPH Kundalila est une filiale du groupe de travaux publics RAUBEX, qui fait partie des cinq leaders sud-africains de la construction.

¹⁵² « *SPH's primary focus is providing comprehensive surface materials handling solutions to mining houses, and we have successfully done so, since 1969.* » [L'objectif principal de SPH est de fournir des solutions complètes de manutention de matériaux et de travaux de surface aux sociétés minières, et nous l'avons fait avec succès, depuis 1969.] Voir page d'accueil, section « What We Do » sur le site de SPH Kundalila, consulté en mai 2020 au [lien suivant](#).

¹⁵³ Source : Page 'About Us', section « Our current projects and initiatives » sur le site de SPH Kundalila, consulté en mai 2020, au [lien suivant](#).

| Entreprise exploitante | Site minier, localité | Substance | Statut du projet | Services fournis par SPH Kundalila |
|---------------------------------|---|-----------------------------------|---|--|
| Sibanye-Stillwater | Driefontein, Gauteng | Or | En activité | <ul style="list-style-type: none"> - Criblage et transport de déchets miniers et de gravats - Réhabilitation des surfaces exploitées - Location de matériel pour les opérations d'exploitation et de traitement - Travaux de manutention pour les opérations d'exploitation et de traitement |
| Vedanta Zinc International | Black Mountain, Aggeneys | Argent, Cuivre, Plomb, Zinc | En activité | <ul style="list-style-type: none"> - Criblage et Concassage - Chargement et transport de matériaux - Location de matériel - Approvisionnement en granulats |
| AngloAmerican | Kumba Iron Ore, Centre logistique du port de Saldanha, Saldanha | Fer | En activité | <ul style="list-style-type: none"> - Criblage - Chargement et transport de minerai - Location de matériel |
| Arcelor Mittal | Usine d'acier de Saldanha, Langebaan | Acier | Fermée en début d'année 2020 ¹⁵⁴ | <ul style="list-style-type: none"> - Manutention |
| Assmang | Centre logistique du port de Saldanha, Saldanha | Fer, Chrome, Manganèse | En activité | <ul style="list-style-type: none"> - Fournitures d'équipements - Manutention de matériaux |
| Sedibelo Platinum Mines Limited | Pilanesberg Platinum Mines (PPM), Parc National de Pilanesberg | Platine, Palladium, Rhodium et Or | En activité | <ul style="list-style-type: none"> - Concassage - Chargement et transport de matériaux |

Tableau 14 : Description des activités actuellement réalisées par SPH Kundalila

Le *Tableau 14* met tout d'abord en évidence que toutes les activités de SPH Kundalila sont réalisées en Afrique du Sud et qu'aucune d'entre elles ne porte sur un gisement de tungstène. Par ailleurs, la moitié des sites ne correspond pas à des sites miniers, mais à des centres logistiques et à une usine d'acier.

L'entreprise n'est pas une société d'exploration ou d'exploitation minière à proprement parler ; elle fournit des services, matériaux ou équipements, ainsi que des solutions d'ingénierie à des sociétés minières. D'après les informations recueillies par SystExt, elle ne mène pas de travaux d'exploration, ni de planification d'exploitation (SPH Kundalila, 2017 ; site internet de SPH Kundalila, 2020).

¹⁵⁴ Fermeture annoncée dans la presse (Sunday Times, 13/11/2019).

9.2. Prise de participation au capital par la commune

Le porteur de projet envisage la participation de la « collectivité locale concernée » à l'actionnariat de l'entreprise exploitante (Tungstène du Narbonnais, Tome I, 2018, p. 25) :

« Les actionnaires envisagent également la possibilité de rétrocéder une partie des actions de la société à la collectivité locale concernée, afin de la faire bénéficier de l'exploitation de la ressource minérale locale. Cette rétrocession pourrait se faire au moment de la mise en exploitation, avec des termes de jouissance prenant en compte l'investissement et des engagements des actionnaires, et dans le cadre des règles applicables aux collectivités territoriales françaises. »

Il confirme cette possibilité sur son site internet, en précisant qu'elle s'adresse notamment à la commune¹⁵⁵ :

« Ainsi, Tungstène du Narbonnais s'engage à associer le territoire à toutes les phases de développement du projet : [...] Associer la commune au capital de l'entreprise pour lui permettre de participer à la gouvernance et de percevoir les bénéfices du projet s'il arrive à son terme. »

L'éventualité que la commune puisse être associée au capital de la société minière exploitante est discutée ci-après au regard du cadre législatif et réglementaire français, puis du retour d'expérience à l'international.

9.2.1. Cadre législatif et réglementaire

► Code des collectivités territoriales

L'article L2253-1 du Code des collectivités territoriales interdit généralement aux collectivités territoriales de prendre part au capital d'entreprises privées¹⁵⁶ :

« Sont exclues, sauf autorisation prévue par décret en Conseil d'Etat, toutes participations d'une commune dans le capital d'une société commerciale et de tout autre organisme à but lucratif n'ayant pas pour objet d'exploiter les services communaux ou des activités d'intérêt général dans les conditions prévues à l'article L. 2253-2. »

Ce même article précise une exception dans le cadre de la production d'énergies renouvelables¹⁵⁶ :

« Par dérogation au premier alinéa, les communes et leurs groupements peuvent, par délibération de leurs organes délibérants, participer au capital d'une société anonyme ou d'une société par actions simplifiée dont l'objet social est la production d'énergies renouvelables [...] »

¹⁵⁵ Page 'Engagements sur le projet' ; section « Nos engagements tout au long du développement ». Voir au [lien suivant](#). Voir également l'*Annexe 3* p. 144.

¹⁵⁶ Version en vigueur au 10/11/ 2019. Voir au [lien suivant](#).

L'article L1521-1 du Code des collectivités territoriales précise par ailleurs¹⁵⁷ :

« Les communes, les départements, les régions et leurs groupements peuvent, dans le cadre des compétences qui leur sont reconnues par la loi, créer des sociétés d'économie mixte locales qui les associent à une ou plusieurs personnes privées et, éventuellement, à d'autres personnes publiques pour réaliser des opérations d'aménagement, de construction, pour exploiter des services publics à caractère industriel ou commercial, ou pour toute autre activité d'intérêt général [...] »

Étant donné que l'activité minière ne relève pas des deux dernières dispositions du Code des collectivités territoriales, il semble que seul un décret en Conseil d'État puisse permettre à la commune de Fontrieu de participer au capital de l'entreprise exploitante.

► Code minier et textes règlementaires associés

SystExt n'a pas identifié dans le Code minier de mention concernant la prise de participation au capital¹⁵⁸ par une collectivité ou par l'État, tant pour un projet d'exploration que d'exploitation minière. Le Code minier traite cependant de l'exploitation de gisements par l'État mais sans évoquer une association possible avec une entreprise minière privée.

En ce qui concerne les textes règlementaires (décrets et arrêtés), plus particulièrement ceux afférant à l'exploration, l'exploitation et la Police des mines, SystExt n'a pas non plus identifié de mention d'intérêt sur cette question¹⁵⁹.

9.2.2. Retour d'expérience à l'international

Lors de sa revue bibliographique, SystExt n'a pas trouvé de publications étudiant la question de la prise de participation au capital par une collectivité territoriale, **le retour d'expérience à l'international portant principalement sur les États**. Bien que les échelles d'intervention et d'influence soient différentes entre une collectivité et un État, les mécanismes sont comparables puisqu'il s'agit d'autorités institutionnelles dans les deux cas.

► Intérêts de la prise de participation par l'État au capital d'une société minière

Ces données sont tirées de l'ouvrage 'Governments And Mining Companies In Developing Countries' (Cobbe, 2019).

- Le point de vue des représentants de l'État peut être partagé au sein du conseil d'administration et lors de l'élaboration des politiques de l'entreprise ;
- La participation de l'État lui permet un meilleur accès aux informations sur la société minière et sur les activités qu'elle mène ;
- Une partie des bénéfices tirés de l'activité minière sont reversés à l'État, via les actions acquises dans l'entreprise minière. Cependant, cette dernière acquisition ne doit pas modifier les taxes et impôts à payer par l'entreprise à l'État, ni autoriser de potentiels avantages fiscaux.

¹⁵⁷ Version en vigueur au 01/01/2015. Voir au [lien suivant](#).

¹⁵⁸ Ou la participation au conseil d'administration d'une société minière, ou un autre type d'association.

¹⁵⁹ Seul l'Art. 56 du ([Décret n°2006-648 du 02/06/2006](#)) rappelle les dispositions préalables à l'exploitation de gisements miniers par l'Etat.

► Limites de la prise de participation par l'État au capital d'une société minière

La représentation de l'État au conseil d'administration peut s'avérer minime voire inexistante ; les représentants étatiques cumulant cette fonction et un mandat « officiel ». En outre, ces administrateurs doivent s'efforcer de considérer les besoins de l'entreprise en tant qu'entité distincte, et pas seulement les objectifs de l'État. À ce titre, [Cobbe \(2019\)](#) recommande la mise en place d'un secrétariat technique permanent au sein de l'État pour fournir aux administrateurs étatiques des analyses, des informations et des conseils, afin que les intérêts gouvernementaux soient préservés.

Les intérêts de l'actionnaire publique divergent nécessairement de ceux de l'entreprise privée. Ceci ne doit pas conduire à la diminution, qualitativement et quantitativement, des travaux de surveillance et de contrôle réalisés par les organismes étatiques. L'institution se retrouve alors à la fois « régulateur » et « organisme régulé » ([FIDH, 2007](#) ; [Cobbe, 2019](#)). En ce sens ([Christmann, et al., 2016](#)), rappellent les principales fonctions à maîtriser lors d'un projet minier, ainsi que les rôles respectifs de l'État et de l'opérateur industriel (*Figure 41*).

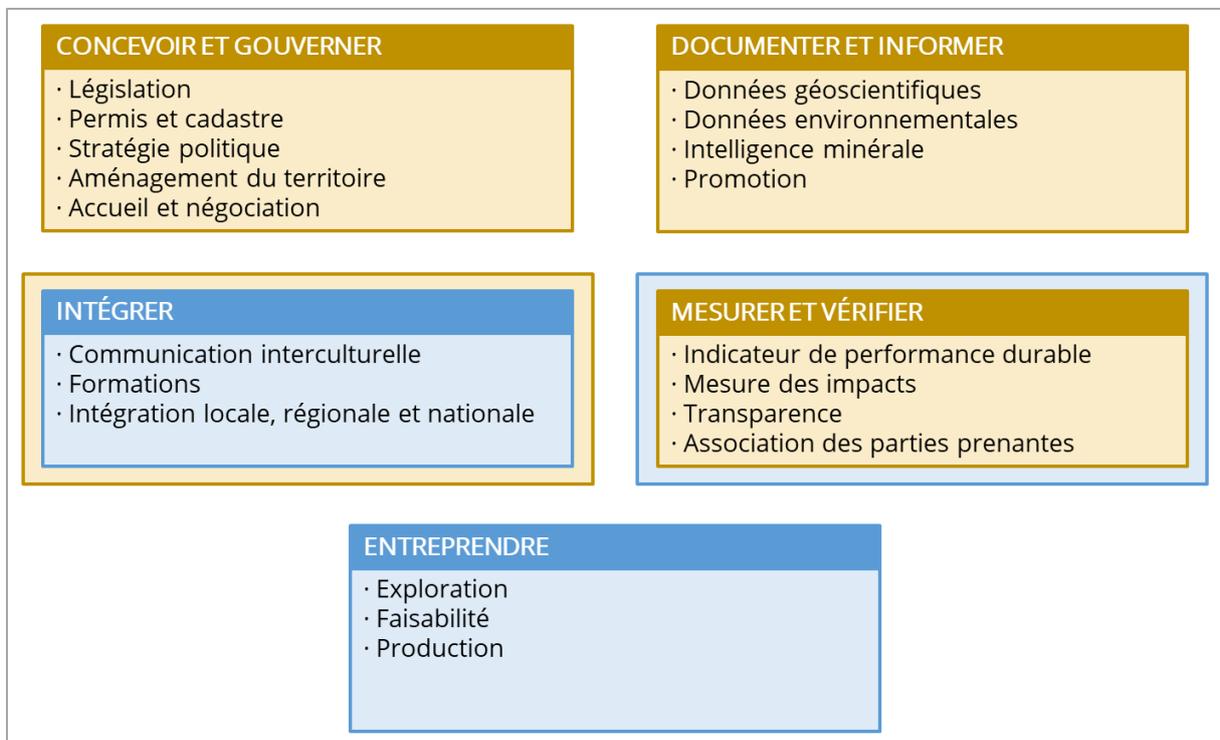


Figure 41 : Schéma de principe des grandes fonctions à maîtriser au cours d'un projet minier et des rôles respectifs simplifiés de l'État (aires jaunes) et de l'opérateur industriel (aires bleues) ; modifié d'après ([Christmann, et al., 2016](#))¹⁶⁰

La divergence des intérêts provient notamment de la temporalité d'un projet minier (de 5 à 20 ans, la plupart du temps). A titre d'illustration, on prend l'exemple de la gestion de la cadence de production en fonction des cours de la(les) substance(s) exploitées(s) ([FIDH, 2007](#)). En effet, lorsque les cours sont bas, l'entreprise minière pourrait avoir intérêt à produire plus, pour maintenir un revenu stable, tandis que l'État pourrait avoir intérêt à attendre la remontée des cours pour valoriser cette ressource.

¹⁶⁰ Sur ce schéma, SystExt note toutefois qu'un grand nombre de fonctions incombent à l'État. D'autres modèles d'organisation seraient possibles pour les rôles respectifs de l'État et de l'opérateur minier.

Des difficultés sont rencontrées pour instaurer un rapport de force équilibré entre l'État et l'entreprise minière. Il est en effet fréquent que les actionnaires étatiques ne disposent pas d'une expertise suffisante sur les sujets techniques abordés au sein des organes décisionnels de la société minière. En ce sens, la recommandation de [Cobbe \(2019\)](#) peut permettre d'y pallier en partie.

Des difficultés apparaissent également souvent dans la gestion de la fiscalité. On prend par la suite l'exemple du Mali, où l'État peut être actionnaire des sociétés minières jusqu'à hauteur de 20 % ([FIDH, 2007](#)). D'un côté, l'État malien cherche à maximiser les recettes fiscales générées par le secteur minier, secteur phare de son économie. De l'autre, en tant qu'actionnaire des entreprises minières, il cherche à maximiser les profits, en procédant à des allègements fiscaux. En assignant deux rôles à l'Etat, la réglementation malienne le contraint à des « grands écarts » permanents. Ceci a pour effet de diminuer sa capacité à défendre ses intérêts et ceux de sa population. De plus, « *selon l'OCDE, les compagnies minières tendent à attendre que les exonérations [de taxes] dont elles bénéficient en principe soient effectivement appliquées pour verser leurs dividendes à l'Etat actionnaire.* » ([FIDH, 2007, p. 42](#)).

9.2.3. Intérêts et limites de la prise de participation au capital d'une entreprise minière

Le retour d'expérience précédent, bien que portant sur des prises de participation d'États, met en évidence des mécanismes qui pourraient également se produire dans le cas d'une commune. Les intérêts et limites identifiés par SystExt sont synthétisés dans le *Tableau 15*.

| Intérêts | Limites |
|--|---|
| Partage du point de vue au sein du conseil d'administration | Représentation minimale, cumul avec mandat « officiel » |
| Influence possible sur la politique de l'entreprise minière | Difficultés pour instaurer un rapport de force équilibré, manque d'expertise |
| | Difficultés à considérer les besoins de l'entreprise en tant qu'entité distincte |
| Meilleur accès aux informations sur la société minière et sur les activités qu'elle mène | Intérêts divergents |
| | <ul style="list-style-type: none"> · Rôle de « régulateur » et d'organisme « régulé » · Difficultés pour continuer à faire appliquer la réglementation · Risque de diminution, qualitativement et quantitativement, de la nature des travaux de surveillance et de contrôle réalisés |
| Reversement d'une partie des bénéfices tirés de l'activité minière | Risque de modification des taxes et impôts à payer par l'entreprise minière |
| | Risque de mise en place d'allègements fiscaux pour maximiser les bénéfices |

Tableau 15 : Intérêts et limites identifiés par SystExt pour une commune qui participerait au capital d'une entreprise minière

L'analyse précédente n'a été réalisée qu'aux fins d'apporter des éléments d'informations à la mairie. SystExt rappelle, en effet, que la législation actuelle interdit la prise de participation par la mairie au capital d'une société minière (*voir § 9.2.1 p. 122*).

Si toutefois cette possibilité se présentait, SystExt recommanderait à la mairie de ne pas participer au capital d'une société minière, compte-tenu des limites et risques que cette démarche pourrait comporter (Tableau 15). Selon SystExt, cette option semble la plus prudente et la plus appropriée pour une entité publique, qui peut alors jouer pleinement son rôle de régulateur.

10. Conclusion

10.1. Géologie, géochimie et risque amiantifère

Les roches sédimentaires majoritairement présentes sur le secteur d'étude appartiennent à la Série Noire. Elles peuvent être regroupées selon quatre faciès : les dolomies, les calcaires, les argilo-siltites, ainsi que les schistes et niveaux argileux. Dans le gisement de Fumade, les formations géologiques ont été recoupées par une intrusion granitique, à l'origine de phénomènes de métamorphisme et d'hydrothermalisme. Ces derniers ont conduit à la mise en place de cornéennes, ainsi que de **skarns, qui sont les principaux porteurs de la minéralisation en tungstène** (en particulier les skarns fissuraux, dans la formation des dolomies massives (K2a) et les skarns stratiformes de type II dans les alternances calcaréo-argileuses et calcaréo-silteuses (K2b1 et K2b2)).

En cas d'exploitation minière, on suppose que **toutes les roches sédimentaires de la Série Noire, ainsi que les cornéennes et les skarns, pourraient être extraites et traitées** (les granites et les schistes noirs (K2b3) le seraient dans une moindre mesure). Les minéraux qui composent ces faciès sont : des carbonates (calcite et dolomite principalement), des micas, des feldspaths, des amphiboles, des clinopyroxènes, des grenats, d'autres silicates (alumineux, calciques et sodiques), mais aussi de rares sulfures, des oxydes de fer et de titane, ainsi que de la scheelite.

SystExt propose une **liste de 23 éléments à surveiller** : Aluminium (Al), Arsenic (As), Baryum (Ba), Béryllium (Be), Bismuth (Bi), Bore (B), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Étain (Sn), Fer (Fe), Gallium (Ga), Lanthane (La), Lithium (Li), Manganèse (Mn), Molybdène (Mo), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Rubidium (Rb), Strontium (Sr), Titane (Ti), Tungstène (W), Zinc (Zn) et Zirconium (Zr). Dans la littérature, la toxicité est reconnue pour l'arsenic (As) et le plomb (Pb) mais reste mal connue pour onze des substances listées, en particulier pour le tungstène (W) qui est considéré comme un contaminant émergent.

Concernant les drainages miniers, SystExt ne dresse que des hypothèses sur ceux qui pourraient survenir le plus probablement et à l'échelle du gisement, tenant compte des données minéralogiques et géochimiques acquises. Le gisement de Fumade contient majoritairement des faciès carbonatés (dolomies et calcaires) et des faciès argileux et silteux. Les sulfures (et en particulier la pyrite et la pyrrhotite) sont présents, mais en très faible quantité, et seulement dans certains types de faciès (dont les skarns). Dans ce contexte, **SystExt estime ainsi que le risque de génération de drainage minier acide (DMA) est faible. L'abondance de minéraux carbonatés conduit plutôt à privilégier le drainage neutre contaminé (DNC).**

L'abondance de minéraux tels que les minéraux argileux (apophyllite, chlorite), les minéraux carbonatés (calcite, dolomite), les feldspaths ou les clinopyroxènes peut être à l'origine de grandes quantités de solides dissous. En corrélant ce constat avec la chimie des eaux déjà présentes au sein du gisement (au sein des dolomies massives, K2a), **SystExt considère que le drainage minier salin (DMS) pourrait également se produire et recommande de le prendre en compte avec autant de vigilance que les autres types de drainages miniers.**

La présence de trémolite (et, dans une moindre mesure, d'actinolite) dans les dolomies et les skarns du gisement de Fumade (hors skarns stratiformes de type I) est avérée, mais aucune donnée n'existe quant à leur caractère asbestiforme ou leur abondance relative dans les roches concernées. En l'absence de données plus précises, **le risque amiantifère existe.**

Même s'il était démontré que la trémolite et l'actinolite du gisement de Fumade ne sont pas asbestiformes, le risque de production et de libération de fragments de clivage pour ces deux minéraux subsiste et devrait donc être pris en compte dans l'analyse des risques associés. Suivant les recommandations de l'Anses, SystExt estime que les risques associés à la génération de fragments de clivage sont similaires à ceux portant sur les fibres d'amiante.

► Ces questions n'étant pas abordées dans la notice d'impact environnemental, **SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de la prendre en compte lors des éventuelles étapes ultérieures du projet minier et de l'étudier avant tout travaux d'exploitation minière.** Dans une approche conservatoire, SystExt propose d'ajouter la prise en compte des travaux d'exploration dans cette recommandation.

10.2. Schéma d'exploitation et gestion des déchets miniers

A ce stade très précoce du projet minier, le schéma d'exploitation du gisement de Fumade (extraction et traitement du minerai) ne peut être défini précisément. Le travail de SystExt a consisté à identifier et à comprendre, au regard des caractéristiques du gisement, les projections et engagements du porteur de projet, et les limites éventuelles associées.

► S'il est légitime que certaines informations ne soient pas connues à ce stade, **SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de clarifier les engagements écrits déjà pris.** Cela concerne : le type et la méthode d'exploitation envisagés, ainsi que la technique de traitement du minerai et les réactifs qui pourraient être utilisés à cette fin.

SystExt considère que toutes les cibles du gisement de Fumade pourraient faire l'objet d'une exploitation (y compris celle de « Fumade superficielle »). Concernant les deux cibles requérant une exploitation souterraine (« Fumade profond » et « la Fédial »), SystExt retient l'hypothèse que celle-ci pourrait être réalisée par la technique des **tranches montantes remblayées.**

En termes de procédés de traitement du minerai, SystExt considère que ceux-ci pourraient consister en l'association d'une préconcentration gravimétrique et d'une flottation. Concernant cette dernière technique, l'étude de la bibliographie afférente aux techniques actuelles de traitement de la scheelite, et la corrélation de ces données avec les caractéristiques du gisement de Fumade, mettent en avant l'intérêt technique et économique de cette méthode de traitement. **Dans le cas d'une mise en exploitation du gisement de Fumade, le recours à la flottation pourrait s'avérer nécessaire.** SystExt signale cependant que les produits chimiques mis en avant par le porteur de projet peuvent ne pas offrir de rendement satisfaisant pour le minerai concerné.

De façon générale, quel que soit le site minier concerné, SystExt considère qu'il est nécessaire d'étudier la nature potentielle des déchets miniers, et leurs modalités de gestion, dès la phase exploratoire.

► **SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de clarifier les engagements écrits déjà pris.** Cela concerne : les taux de remblayage atteignables pour les déchets miniers ainsi que leur potentiel de relargage de substances polluantes (considéré comme faible à nul par le porteur de projet).

La possibilité de remblayer les chantiers miniers souterrains avec des résidus provenant de l'usine de traitement du minerai reste à étudier. Dans tous les cas, SystExt considère que le remblayage hydraulique devrait être évité (seul ou en association avec du remblai rocheux) et qu'il est préférable de privilégier le remblai en pâte. **Quoiqu'il en soit, la totalité des déchets miniers (stériles et résidus) ne pourra pas être réintroduite dans les vides créés par l'exploitation minière souterraine.**

Bien que les phénomènes de drainage et de lixiviation soient favorisés lorsque les déchets miniers sont stockés en surface, ils peuvent également se produire lorsque ces derniers le sont en souterrain. Une attention particulière devra être portée à cette question, dans la mesure où certains des faciès qui pourraient être exploités sont aquifères (dolomies et calcaires).

10.3. Eaux souterraines

SystExt a mis en évidence certaines limites dans la notice d'impact environnemental. La non prise en compte d'entités hydrogéologiques, ainsi que de caractéristiques du secteur d'étude parmi les plus sensibles, **font craindre une mauvaise intégration des enjeux environnementaux en cas de poursuite du projet et donc une minimisation des risques associés aux eaux souterraines.**

L'étude hydrogéologique menée par SystExt a notamment mis en évidence :

- Des **couches aquifères dolomitiques sous pression** au niveau du compartiment « Centre », entre la faille de la Fédial et celle de Castelnau-de-Brassac ;
- Des **couches aquifères dolomitiques, qui se trouvent à leur niveau d'équilibre dans le compartiment « Ouest », et qui sont à l'origine des sources du plateau de Fumade** (Cadoul, Fumade et Palus en particulier) ;
- Des **couches aquifères calcaires, qui se trouvent proche de leur niveau d'équilibre dans le compartiment « Est », et qui sont à l'origine des sources de Peyrolle et du Merle ;**
- Des **connexions hydrauliques probables entre les compartiments « Centre » et « Ouest »,** avec des faits récurrents de diminutions de débit voire de tarissements au niveau des sources du compartiment « Ouest », en cas de perturbations sur des forages captant les terrains aquifères du compartiment « Centre » ;
- Des **connexions hydrauliques peu probables entre les compartiments « Centre » et « Est ».**

En phase d'exploration, les risques hydrogéologiques portent principalement sur la réalisation des sondages (carottés ou destructifs) et la rencontre d'horizons aquifères. La formation dolomitique K2a sera en effet nécessairement reconnue par sondage, alors qu'elle porte les terrains aquifères majoritaires du secteur d'étude. SystExt souligne à cet égard que du fait de certaines caractéristiques du gisement (zones karstiques, brèches, roches fissurées, etc.), le cimentage des sondages concernés pourrait ne pas être possible. De plus, l'utilisation d'un forage productif pour la production d'eau, pourrait ne pas être permis par les autorités.

Dans le compartiment « Centre », un forage atteignant les couches aquifères sera nécessairement soumis à une arrivée d'eau artésienne. Ce type de phénomène est un facteur qui complexifie la gestion de ces eaux à leur arrivée en surface, notamment lorsque les pressions sont élevées.

SystExt interroge de plus la possibilité que ce dernier type de phénomène puisse perturber les sources environnantes, en cas de maintien prolongé de l'écoulement des eaux.

► Lors des sondages dans le compartiment « Centre », **SystExt recommande donc à la mairie de demander au porteur de projet d'être particulièrement vigilant aux équilibres hydrogéologiques et de surveiller l'évolution des débits et niveaux d'eaux dans les sources du secteur d'étude.**

En phase d'exploitation, les horizons aquifères du gisement de Fumade (dolomies et niveaux calcaires), seront nécessairement exploités, ou a minima traversés. **Il est attendu des débits d'exhaure conséquents (de 100 à 200 m³/h)**, tandis que les besoins en eaux de l'usine pourraient s'avérer inférieurs à la quantité fournie par l'exhaure. Classiquement, le trop-plein est évacué dans les parcs à résidus miniers et/ou rejeté dans l'environnement après traitement.

En cas d'exploitation, il est à prévoir des diminutions de débit voire des tarissements au niveau des sources et forages du secteur d'étude. Or, ceux-ci sont utilisés pour l'eau potable et l'abreuvement animal. Dans le cas de telles perturbations, des mesures devront alors être mises en œuvre pour garantir le maintien de ces usages.

Les travaux miniers souterrains ont également pour effet de modifier les conditions de perméabilité des terrains exploités. L'écoulement des eaux souterraines s'en trouve perturbé sur le long terme, même après l'arrêt de l'exploitation. **L'un des phénomènes redoutés est la modification du régime des émergences.** De tels phénomènes sont à même de modifier les écoulements d'eaux superficielles par changements des débits, mise en place de nouvelles zones d'écoulement, ou dans le pire des cas, assèchement partiel ou total. Cela concerne tout particulièrement les ruisseaux des Planquettes, de Cadoul et de Palus qui prennent leur source au sein de l'emprise du PERM.

Les dispositions réglementaires de protection du forage d'Arcanic compromettent les travaux de reconnaissance et l'installation de plateformes de sondage dans le périmètre de protection rapprochée (PPR) du captage.

► **SystExt recommande à la mairie de demander aux autorités d'interdire tout travaux d'exploration par sondage dans l'emprise du PPR du captage d'Arcanic.** Dans une approche conservatoire, et dans l'objectif de protéger les aquifères captés par le forage d'Arcanic, SystExt propose d'interdire également tout travaux d'exploration par sondage dans la zone du périmètre de protection éloignée (PPE) qui intersecte le compartiment « Centre ».

Par ailleurs, l'application de ces mêmes prescriptions réglementaires compromet toute exploitation minière à ciel ouvert ou en souterrain dans le périmètre de protection rapproché (PPR). Cela concerne les cibles de « Fumade superficielle » et de « la Fédial ». **SystExt estime que si décision était prise par les autorités de poursuivre le projet minier jusqu'à son stade d'exploitation, le forage d'Arcanic devrait alors être abandonné et un nouveau captage d'eau potable mis en service sur le territoire de la commune.**

10.4. Eaux superficielles

SystExt a mis en évidence certaines limites dans la notice d'impact environnemental. La non prise en compte d'entités hydrographiques, ainsi que de caractéristiques du secteur d'étude parmi les plus sensibles, **font craindre une mauvaise intégration des enjeux environnementaux en cas de poursuite du projet et donc une minimisation des risques associés aux eaux superficielles.**

Six cours d'eau parcourent le secteur d'étude : l'Agout, le Vernoubre, le Terrail, les Planquettes, le Cadoul et le Palus. **Les zones humides et les petits cours d'eau encore préservés (en particulier les ruisseaux des Planquettes, du Terrail, de Cadoul et de Palus), constituent la plus grande richesse du bassin versant.** Ces derniers sont classés en 1ère catégorie piscicole, et/ou en réservoir biologique et/ou en en liste 1 pour la préservation de la continuité écologique. On portera une attention particulière aux ruisseaux des Planquettes, de Cadoul et de Palus qui circulent au sein du PERM.

En phase d'exploration, les risques hydrologiques portent principalement sur la réalisation des sondages (carottés ou destructifs) et la construction des plateformes de sondage associées. Ces opérations peuvent en effet perturber les écoulements de surface. Qualitativement d'abord, par le drainage de particules en suspension, issues du ruissellement sur les zones travaillées en surface ainsi que des venues d'eaux provenant des forages. Quantitativement ensuite, par le déversement des volumes d'eaux associés à ce dernier phénomène.

SystExt considère que les ruisseaux des Planquettes, de Cadoul et de Palus et les fonds de vallon associés pourraient être perturbés par les deux phénomènes précédents (modification des conditions de ruissellement et augmentation de la turbidité des eaux) mais aussi et surtout par le déversement des eaux provenant des forages productifs.

► **SystExt recommande à la mairie de demander au porteur de projet de limiter autant que possible les apports d'eaux turbides et/ou à débit conséquent dans les trois cours d'eau susmentionnés.**

En cas d'exploitation, l'une des options choisies pour la gestion des eaux d'exhaure pourrait être le rejet dans l'environnement après traitement. **Le déversement de grandes quantités d'eau ou, tout du moins, des quantités bien supérieures à leur flux habituel, risqueraient de perturber durablement les ruisseaux** des Planquettes, le Cadoul et le Palus. SystExt considère qu'il n'est pas envisageable d'y effectuer de tels rejets. Ce positionnement est également valable pour les ruisseaux du Vernoubre et du Terrail.

10.5. Questions complémentaires

Au cours de l'étude, la mairie de Fontrieu a demandé à SystExt de lui fournir des informations complémentaires sur : les capacités techniques du porteur du projet, ainsi que sur les intérêts et limites associés à une prise de participation par la mairie au capital de la société exploitante.

S'agissant des prescriptions réglementaires associées à la justification des capacités techniques du porteur de projet, on note que l'entreprise Tungstène du Narbonnais est nouvellement créée et n'a pas pu participer ou mener des travaux d'exploration ou d'exploitation minière au cours des trois années précédant sa demande.

Parmi les trois principaux investisseurs du projet, seule l'entreprise SPH Kundalila exécute des activités techniques dans le secteur de l'industrie minière. Celle-ci n'est pas une société d'exploration ou d'exploitation minière à proprement parler ; elle fournit des services, matériaux ou équipements, ainsi que des solutions d'ingénierie à des sociétés minières.

Le porteur de projet envisage la participation de la commune à l'actionnariat de l'entreprise exploitante. La législation actuelle l'interdit. Si toutefois cette possibilité se présentait, **SystExt recommanderait à la mairie de ne pas participer au capital d'une société minière**, compte-tenu des limites et risques que cette démarche pourrait comporter (difficultés pour instaurer un rapport de force équilibré, intérêts divergents, difficultés pour assurer ses activités de surveillance et de contrôle, etc.).

BIBLIOGRAPHIE

- affset. (2009). *Les fibres courtes et les fibres fines d'amiante - Prise en compte du critère dimensionnel pour la caractérisation des risques sanitaires liés à l'inhalation d'amiante.*
- Agence de l'eau Adour-Garonne. (2011). *Stratégies de protection des ressources karstiques utilisées pour l'eau potable - Guide pratique.*
- Agence régionale de santé (ARS) Occitanie. (2019, Mai 7). *Courrier à l'attention du Préfet du Tarn. Demande de permis exclusif de recherche de substances minières (PERM) sur la commune de Fontrieu, déposée par la société "Tungstène du Narbonnais".*
- Anses. (2015). *Comité d'experts spécialisé « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » - Procès-verbal de la réunion du 15 octobre 2015.*
- Anses. (2015). *Effets sanitaires et identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective.*
- Arrêté du 02/02/1998. (s.d.). *Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.*
- Arrêté du 11/01/2007. (s.d.). *Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.*
- Arrêté du 14/08/2012. (s.d.). *Arrêté du 14 août 2012 relatif aux conditions de mesurage des niveaux d'empoussièrement, aux conditions de contrôle du respect de la valeur limite d'exposition professionnelle aux fibres d'amiante et aux conditions d'accréditation des organismes [...].*
- Arrêté du 19/08/2011. (s.d.). *Arrêté du 19 août 2011 relatif aux conditions d'accréditation des organismes procédant aux mesures d'empoussièrement en fibres d'amiante dans les immeubles bâtis. Version consolidée au 07 mars 2020.*
- Article R4412-128 du 01/07/2012. (s.d.). *Article R4412-128 du Code du travail, version en vigueur au 1er juillet 2012.*
- Article R4412-60 du 06/06/2015. (s.d.). *Article R4412-60 du Code du travail, version en vigueur au 6 juin 2015.*
- Aubert, C., & Sabet, B. (2013). *Qualité environnementale des matériaux en comblement de cavités (phase 1). Rapport BRGM RP-62579-FR.*
- Audion, A.-S. (2013). *Etude pilote d'une cible minière en métropole : le gisement de tungstène de Fumade (Tarn). Rapport BRGM RP-62718-FR.*
- Banks, D., Parnachev, V., Frengstad, B., Holden, W., Vedernikov, A., & Karnachuk, O. (2002). *Alkaline mine drainage from metal sulphide and coal mines: examples from Svalbard and Siberia. Geological Society of London, pp. 287-296.*
- BDLISA. (2018, Mars). *Carte de l'entité hydrogéologique 370AC01 - Socle du bassin versant de l'Agout de sa source au confluent du Gijou.*
- Belem, T., & Benzaazoua, M. (2004). *An overview on the use of paste backfill technology as a ground support method in cut-and-fill mines. Proceedings of the 5th Int. Symp. on Ground support in Mining and Underground Construction. Villaescusa & Potvin (eds.), 637-650.*
- Benzaazoua, M., Bois, D., Tikou, B., Gauthier, P., Ouellet, S., Bussière, B., . . . St-Onge, J.-F. (2020). *Remblais souterrains, évolution des connaissances et de la pratique.*

- Bernhart, W. (2015). Processing of tungsten bearing ores - Mineral processing and metallurgy.
- Bisson, M. (2018). *Profil toxicologique du Tungstène et composés. Rapport INERIS DRC-18-170856-11668A.*
- Bornuat, M. (2012, Novembre). Le gisement de tungstène de Salau : bref aperçu. *Géologues*(155).
- Boulmier, J. (1984). *Etude de l'empoussièrément fibreux à la mine de Salau (Ariège).*
- BRGM. (1994). *Inventaire des concessions minières valides et inactives de la Midi-Pyrénées (substances métalliques, uranium et sel). Rapport BRGM R38198. Concession de Cadoul (81).*
- BRGM. (s.d.). Fumade. Skarns à tungstène.
- Bril, H., Marignac, C., Cathelineau, M., Tollon, F., Cuney, M., & Boiron, C. (1992). Metallogenesis of the French Massif Central: Time-Space Relationships Between Ore Deposition and Tectono-Magmatic Events. *Pre-Mesozoic Geology in France and Related Areas*, pp. 379-402.
- British Geological Survey. (2011, Janvier). Tungsten.
- Broussaud, A., & Brecl, Y. (1980). *Traitement du minerai de scheelite de la favière (Var) - Caractérisation du minerai, essais en laboratoire et en pilote, proposition d'un schéma de laverie. Rapport BRGM 80 SGN 618 MIN.*
- Cañedo-Argüelles, M., Kefford, B., Piscart, C., Prat, N., Schäfer, R., & Schulz, C.-J. (2012). Salinisation of rivers: An urgent ecological issue. *Environmental Pollution*, 157-167.
- Carso Laboratoire Santé Environnement Hygiène Lyon. (2019, Novembre 28). *Analyse - Eau de ressource souterraine - Forage Arcanic.*
- Carso Laboratoire Santé Environnement Hygiène Lyon. (2019, Septembre 11). *Analyse - Eau de ressource souterraine - Captage de Peyrolles.*
- Cassard, D., Feybesse, J.-L., & Lescuyer, J.-L. (1992). Variscan crustal thickening, extension and late overstacking during the Namurian-Westphalian in the western Montagne Noire (France). *Tectonophysics*, pp. 33-53.
- Chambre d'Agriculture du Tarn. (2016). *Carte des sols du Tarn de 2016 - Carte pédopaysagère des unités cartographiques de sols (UCS).*
- Chambre d'Agriculture du Tarn. (2016). *Unités Cartographiques de Sols (UCS) de la carte des sols IGCS du Tarn au 1/250 000 ème.*
- Cheilletz, A., Pelleter, E., Martin-Izard, A., & Tornos, F. (2005). World Skarn Deposits - Skarns of Western Europe. *Society Economic Geologists*, pp. 1-10.
- Chou, L. (2012). *Caractérisation des propriétés mécaniques du remblai minier rocheux cimenté par des méthodes non-destructives.* Université de Montréal.
- Christmann, P., Arndt, N., Cochonat, P., Geronimi, V., & Le Meur, P.-Y. (2016). Introduction : spécificités et phases du projet minier. Dans IRD, *Expertise collégiale - Ressources minérales profondes en Polynésie française* (pp. 24-57).
- Circulaire du 24/07/1990. (s.d.). *Circulaire du 24/07/90 relative à la mise en place des périmètres de protection des points de prélèvements d'eau destinée à la consommation humaine (Article L. 20, Code de la santé publique) ; JO du 13 septembre 1990.*
- Cobbe, J. (2019). *Governments And Mining Companies In Developing Countries.*
- Comité de bassin Adour-Garonne. (2016). *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) du bassin Adour-Garonne 2016-2021.*

- Commission européenne. (2008, décembre 16). Règlement n°1272/2008 - Annexe I. *Règlement (CE) n°1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges. Annexe I.*
- Commission européenne. (2009). *Document de référence sur les meilleures techniques disponibles - Gestion des résidus et stériles des activités minières.*
- Communauté de Communes Sidobre Vals et Plateaux. (2018, Décembre 10). *P.L.U.I. Plan Local d'Urbanisme Intercommunal « Vals et Plateaux des Monts de Lacaune ». Règlement applicable aux zones figurées sur le plan de zonage.*
- Couilloud, D. (1988). *Étude pétrographique, minéralogique et géochimique des skarns à Tungstène de Fumade (Tarn, Montagne Noire).* Université Toulouse 3 Paul Sabatier.
- Datta, S., Vero, S., Hettiarachchi, G., & Johannesson, K. (2017). Tungsten Contamination of Soils and Sediments: Current State of Science. *Curr Pollution Rep*, 55–64.
- Décret n°2006-648 du 02/06/2006. (s.d.). *Décret n°2006-648 du 2 juin 2006 relatif aux titres miniers et aux titres de stockage souterrain. Version consolidée au 04 mai 2020.*
- Décret n°96-1133 du 24/12/1996. (s.d.). *Décret n°96-1133 du 24 décembre 1996 relatif à l'interdiction de l'amiante, pris en application du code du travail et du code de la consommation. Version consolidée au 07 mars 2020.*
- Décret n°98-588 du 09/07/1998. (s.d.). *Décret n°98-588 du 9 juillet 1998 complétant et modifiant le règlement général des industries extractives institué par le décret no 80-331 du 7 mai 1980 modifié.*
- Delaunois, A. (s.d.). *Extrait du Guide des sols de Midi-Pyrénées - Unité UC38 - Hautes collines et Monts sur schistes.*
- Dermatas, D., Christodoulatos, C., Braida, W., & Strigul, N. (2004). Solubility, Sorption, and Soil Respiration Effects of Tungsten and Tungsten Alloys. *Environmental Forensics*, pp. 5-13.
- Direction Départementale des Territoires du Tarn. (2012). *PPR Inondation - Commune de Castelnaud-Brassac - Cartes des zonages.*
- Direction Départementale des Territoires du Tarn. (2013). *Plan de prévention des risques naturels prévisibles - Risque inondation du bassin de l'Agoût amont - Note de présentation.*
- Direction Départementale des Territoires du Tarn. (2013). *Plan de prévention des risques naturels prévisibles - Risque inondation du bassin de l'Agoût amont - Règlement.*
- Direction Départementale des Territoires du Tarn. (2016). *Stratégie locale de gestion du risque inondation - Territoire à risque important (TRI) de Castres-Mazamet.*
- Ecole Nationale de la Santé Publique (ENSP). (2004). *Atelier Santé-Environnement. Evaluation des risques sanitaires liés au tungstène.*
- FIDH. (2007). *Mali - L'exploitation minière et les droits humains - Mission internationale d'enquête. .*
- Filippov, L.-O., Foucaud, Y., Filippova, I.-V., & Badawi, M. (2018). New reagent formulations for selective flotation of scheelite from a skarn ore with complex calcium minerals gangue. *Minerals Engineering*, pp. 85-94.
- Galin, R., Urien, P., Charles, N., & Bailly, L. (2017). *Projet minier et parties-prenantes.* Collection « La mine en France ». Tome 3.
- Gaul, F. (2014, Mars). La mine de Mittersill, un exemple d'intégration environnementale. (S. d. (SIM), Éd.) *mines & carrières*, pp. 64-67.

- Gbaruko, B.-C., & Igwe, J.-C. (2007). Tungsten: Occurrence, Chemistry, Environmental and Health Exposure Issues. *Global Journal of Environmental Research*, pp. 27-32.
- Gibert, F., Moine, B., Schott, J., & Dandurand, J.-L. (1992). Modeling of the transport and deposition of tungsten in the scheelite-bearing calc-silicate gneisses of the Montagne Noire, France. *Mineralogy and Petrology*, pp. 371-384.
- Gloaguen, E., Melleton, J., Lefebvre, G., Tourlière, B., & Yart, S. (2018). *Ressources métropolitaines en lithium et analyse du potentiel par méthodes de prédictivité. Rapport BRGM RP-68321-FR.*
- Gombert, P. (2015). *Evaluation des risques liés à une relance de l'activité minière en phase d'exploration. Rapport INERIS DRS-15-149516-11621A.*
- Grano, B., & Soulé, J.-C. (1980). *Hydrogéologie des massifs cristallins du département du Tarn - Sidobre et Zone Axiale de la Montagne Noire. Rapport BRGM 80 SGN 563 MPY.*
- Guérangé-Lozes, J., Demange, M., & Mouline, M. (2013). Notice de la carte géologique - Feuille 986 Castres.
- Hameau, P., Feigher, J., Robert, M., & Deydier, C. (2019). Mining Arbitration in Africa. Dans J. Fry, & L.-A. Bret, *Global Arbitration Review - The Guide to Mining Arbitrations* (pp. 160-172).
- Hugues, P. (2014). *Design guidelines: underhand cut and fill cemented paste backfill sill beams*. The University of British Columbia.
- INERIS, GEODERIS, Ecole des Mines de Paris, BRGM, & CSTB . (2006). *L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers - Guide Méthodologique - Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa - Les risques de mouvements de terrain, d'inondations et d'émissions de gaz de mine. Rapport INERIS DRS-06-51198/R01.*
- INRS. (2018, Juillet). Fiche toxicologique Amiante. *Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES. Amiante. Fiche toxicologique n°145.*
- International Network for Acid Prevention (INAP). (2012, Mai 9). *Chapter 2 - The Acid Rock Drainage Process*. Consulté le Avril 23, 2020, sur Global Acid Rock Drainage (GARD) Guide: http://www.gardguide.com/index.php?title=Chapter_2
- International Tungsten Industry Association (ITIA). (2012). *From Deposit to Concentrate: The Basics of Tungsten Mining. Part 1: Project Generation and Project Development.*
- International Tungsten Industry Association (ITIA). (2012). *From Deposit to Concentrate: The Basics of Tungsten Mining. Part 2: Operational Practices and Challenges.*
- IRSST. (2012). *Substances chimiques et agents biologiques. Synthèse des connaissances sur la trémolite contenue dans le talc.*
- Jébrak, M., & Marcoux, É. (2008). *Géologie des ressources minérales.*
- Koutsospyros, A., Braida, W., Christodoulatos, C., Dermatas, D., & Strigul, N. (2006). A review of tungsten: From environmental obscurity to scrutiny. *Journal of Hazardous Materials*, pp. 1-19.
- Kupka, N., & Rudolph, M. (2018). Froth flotation of scheelite - A review. *International Journal of Mining Science and Technology*, 373-384.
- LaDepeche.fr. (2019, 08 4). Fontrieu. L'association Stop Mines 81 est créée. Consulté le Février 3, 2020, sur <https://www.ladepeche.fr/2019/08/04/lassociation-stop-mines-81-est-creee,8345997.php>
- Lahondère, D., & Zammit, C. (2013). *Exposition aux fibres asbestiformes dans les industries extractives : Identification des sites potentiellement concernés en France métropolitaine. Rapport BRGM RP-61977-FR.*

- Larson, S., & Dermatas, D. (2009). Tungsten in the geo-environment. *Land Contamination & Reclamation*, pp. 1-6.
- Leal-Ayala, D., Allwood, J., Petavratzi, E., Brown, T., & Gunn, G. (2015). Mapping the global flow of tungsten to identify key material efficiency and supply security opportunities. *Resources, Conservation and Recycling*, pp. 19-28.
- Lee, P.-k., Kang, M.-J., Choi, S.-H., & Touray, J.-C. (2005). Sulfide oxidation and the natural attenuation of arsenic and trace metals in the waste rocks of the abandoned Seobo tungsten mine, Korea. *Applied Geochemistry*, pp. 1687-1703.
- Lee, P.-K., Kang, M.-J., Young Jo, H., & Choi, S.-H. (2011). Sequential extraction and leaching characteristics of heavy metals in abandoned tungsten mine tailings sediments. *Environmental Earth Sciences*, pp. 1909–1923.
- Lheur, C., & Meisser, N. (2010). Les minéraux du secteur de Fumade, Castelnaud-de-Brassac (Tarn). *Le Règne Minéral*, pp. 6-26.
- Liu, C.-p., Luo, C.-l., Li, F.-b., & Lin, L.-w. (2009). Arsenic contamination and potential health risk implications at an abandoned tungsten mine, southern China. *Environmental Pollution*, pp. 820-826.
- Mairie de Fontrieu. (2019, Mai 10). *Courrier à l'attention du Préfet du Tarn. Avis sur le projet de demande de permis de recherches de substances minières.*
- Mairie de Fontrieu. (2019, Mai 14). *Courrier à l'attention du Ministre de l'Economie et des Finances. Déroulement de la consultation sur le permis de recherches dit "permis de la Fabrié".*
- MEDDE, & INERIS. (2010). *Santé et Sécurité au Travail dans les Industries Extractives (SSTIE) - Guide technique Amiante.*
- Melleton, J., Gloaguen, E., Tourlière, T., Cassard, D., & Bertrand, G. (2016). *Promotion des districts miniers métropolitains - Le district à tungstène de la Montagne Noire. Rapport BRGM RP-65553-FR.*
- Ministère de la Santé. (2009). *Protéger les captages destinés à la production d'eau potable.*
- Ministère de la Transition écologique et solidaire. (2020). *Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement.*
- MSP-REFRAM. (2017). *Factsheet - Tungsten.*
- MSP-REFRAM. (2017). *Towards a strong and sustainable european refractory metals supply-chain. MSP-REFRAM Final Report.*
- Nordstrom, D., Blowes, D., & Ptacek, C. (2015). Hydrogeochemistry and microbiology of mine drainage: An update. *Applied Geochemistry*, 3-16.
- Oliva, J., Alfonso, P., Fitzpatrick, R.-S., Ghorbani, Y., Graham, P., Graham, A., . . . Hühnerfürst, T. (2017). Optimization systems developed to improve the yield on tungsten and tantalum extraction and reduce associated costs –the EU HORIZON 2020 Optimore project (grant no. 642201). *Real Time Mining Conference*, pp. 1-19.
- Olliver, P., & Thomassin, J.-F. (1981). *Traitement du minerai de scheelite de la favière (Var) - Elimination du phosphore du concentré gravimétrique - Essais de laboratoire. Rapport BRGM 81 SGN 143 MIN.*
- Opitz, J., & Timms, W. (2016). Mine water discharge quality - a review of classification. *Proceedings IMWA 2016*, 17-26.

- Organisation mondiale de la santé. (1998). *Détermination de la concentration des fibres en suspension dans l'air - Méthode recommandée : la microscopie optique en contraste de phase (comptage sur membrane filtrante)*.
- Parc naturel régional du Haut-Languedoc (PNR). (2019, Mai 6). *Courrier à l'attention du Préfet du Tarn. Avis demande de permis exclusif de recherches de substances minières déposé par la société de Tungstène du Narbonnais sur la commune de Fontrieu*. .
- Patnaik, P. (2003). *Handbook of Inorganic Chemicals*. The McGraw-Hill Companies.
- Petrunic, B.-M., & Al, T.-A. (2004). Mineral/water interactions in tailings from a tungsten mine, Mount Pleasant, New Brunswick. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, pp. 2469–2483.
- Ponder, J., & Connolly, M. (2019, Novembre 13). Saldanha steel plant closure will be 'catastrophic' for West Coast. *Sunday Times*.
- Poulard, F., Daupley, X., Didier, C., Pokryska, Z., D'Hugues, P., Charles, N., . . . Save, M. (2017). *Exploitation minière et traitement des minerais*. Collection « La mine en France ». Tome 6.
- Prouhet, J.-P. (1987). *Note J-P. Prouhet à DAM/OP4 - Fumade*.
- Raith, J., & Schmidt, S. (2010). Tungsten deposit Felbertal, Salzburg, Austria. *Acta Mineralogica-Petrographica*, 1-24.
- Rey, J. (2009). *Commune de Castelnau-de-Brassac (Tarn). Rapport d'expertise géologique concernant l'autorisation d'exploitation pour l'alimentation en eau potable des captages de Peyrolle et du forage d'Arcanic*.
- Sacher, W. (2015). Bref résumé des pratiques des sociétés juniors dans l'industrie minière.
- Sacher, W. (2017). La dualité junior/major dans l'industrie minière globale : un partage concerté du travail. Dans W. Sacher , *Ofensiva Megaminera China en los Andes . Acumulación por desposesión en el Ecuador de la 'Revolución Ciudadana'* (pp. 381-383).
- Séverac, J.-L. (1982). *Etude géologique, minéralogique et géochimique des minéralisations en tungstène de Fumade (Tarn)*. Université Paul Sabatier.
- Sifferlinger, N., Hartlieb, P., & Moser, P. (2016). The Importance of Research on Alternative and Hybrid Rock Extraction Methods. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*.
- Société Nationale Elf Aquitaine Production (SNEAP). (1988). *Annexe 4 de la demande de concession de Cadoul de la SNEAP - Concession de Cadoul - Notice d'impact - Description d'un avant-projet d'exploitation par mine souterraine - Incidence sur l'environnement*.
- SPH Kundalila. (2017). Brochure. *Crushing & Screening Experts*.
- Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout. (2014). *Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau du bassin de l'Agout. Atlas cartographique. Adopté par le CLE le 14 janvier 2014*.
- Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout. (2014). *Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau du bassin de l'Agout. Plan d'aménagement et de gestion durable. Adopté par le CLE le 14 janvier 2014*.
- Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout. (2014). *Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau du bassin de l'Agout. Règlement du SAGE. Adopté par le CLE le 14 janvier 2014*.
- Tessier, B. (1989). *Mise en place, pétrographie, géochimie et minéralogie des granites associés aux skarns minéralisés en tungstène de Fumade (Tarn, France)*. Université Pierre et Marie Curie.
- Thalhammer, O.-A.-R. (1989). The Mittersill scheelite deposit, Austria. *Economic Geology*, pp. 1153-1171.

- Thébaud-Mony, A. (2015). *Rapport concernant les risques sanitaires de l'ancienne mine de tungstène Salau (Ariège)*.
- Tungstène du Narbonnais. (2018). *DEMANDE DE PERMIS EXCLUSIF DE RECHERCHES DE MINES (PERM) pour tungstène, or, bismuth, étain, molybdène, tellure, antimoine, zinc, cuivre, indium, scandium et substances connexes. Tome I : Document Administratif*.
- Tungstène du Narbonnais. (2018). *DEMANDE DE PERMIS EXCLUSIF DE RECHERCHES DE MINES (PERM) pour tungstène, or, bismuth, étain, molybdène, tellure, antimoine, zinc, cuivre, indium, scandium et substances connexes. Tome II : Mémoire technique et programme des travaux*.
- Tungstène du Narbonnais. (2018). *DEMANDE DE PERMIS EXCLUSIF DE RECHERCHES DE MINES (PERM) pour tungstène, or, bismuth, étain, molybdène, tellure, antimoine, zinc, cuivre, indium, scandium et substances connexes. Tome III : Notice d'impact environnemental*.
- Tungstène du Narbonnais. (2019, Octobre 7). *Courrier à l'attention de Monsieur le Ministre de l'Economie et des Finances, Ministre en charge des Mines*.
- Van der Voet, G. B., Todorov, T. I., Centeno, J. A., Jonas, W., Ives, J., & Mullick, F. G. (2007). Metals and Health: A Clinical Toxicological Perspective on Tungsten and Review of the Literature. *Military Medicine*, pp. 1002-1005.
- Vic, G. (2017). *Mines européennes. Quelques exemples de mines de métaux*. Collection « La mine en France ». Tome 10.
- Weiss, F., Leuzinger, M., Zurbrügg, C., & Eggen, R. (2016). *Chemical Pollution in Low- and Middle-Income Countries*. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Wu, D. (2020). *Mine Waste Management in China: Recent Development*. Springer Nature.
- Yang, X. (2018). Beneficiation studies of tungsten ores - A review. *Minerals Engineering*, pp. 111-119.
- Yilmaz, E., & Fall, M. (2017). *Paste Tailings Management*. Springer Nature.
- Zahm, A. (1987). *Pétrologie, minéralogie et géochimie des cornéennes calcaïques et des skarns minéralisés, dans le gisement de scheelite de Salau (Ariège)*. Université Pierre et Marie Curie.

ANNEXES

ANNEXE 1

Glossaire

| Terme | Définition |
|---|---|
| Alluvions | Sédiments des cours d'eau. |
| Amphiboles | Famille de minéraux silicatés, qui se distingue en 3 groupes : les ferromagnésiennes, calciques et sodiques. Dans les roches de la Série noire, on trouve majoritairement des amphiboles calciques. |
| Anticlinal | Des roches sont plissées en anticlinal lorsque les couches les plus anciennes se situent à l'intérieur de la courbure. |
| Arène | Sable résultant de l'altération sur place de roches magmatiques ou métamorphique riches en quartz et feldspath. |
| Argilite | Roche sédimentaire détritique issue de la compaction d'argiles. |
| Argilo-siltite | Roche sédimentaire détritique issue de la compaction d'argiles et de silts. Les silts sont des particules plus grossières que des argiles mais plus fines que des sables. |
| Brèche | Désigne toute roche formée d'au moins 50% d'éléments anguleux fins à grossiers. Une brèche peut être sédimentaire (conglomérat d'éléments détritiques ayant subi un transport faible), tectonique (résultant de la fragmentation de roches lors d'un épisode tectonique) ou volcanique. |
| Calcaire | Roche carbonatée très majoritairement composée du minéral "calcite" [CaCO ₃]. |
| Colluvion | Dépôt de bas de pente, relativement fin, et dont les éléments ont subi un faible transport (à la différence des alluvions). |
| Cornéenne | Roche métamorphique issue de la mise en contact d'un magma granitique et de roches sédimentaires. Elle a une structure rubanée et est généralement composée de grès et de silts. |
| Dolomie | Roche carbonatée plus magnésienne que calcaire, très majoritairement constituée du minéral "dolomite" [CaMg(CO ₃) ₂]. |
| Épaississeur (pour résidus miniers ou concentrés) | Appareil permettant de densifier des boues en procédant à un retrait d'eau (par décantation ou par action d'une force centrifuge). Les matériaux épaissis présentent généralement un pourcentage solide compris entre 50% et 70%. |
| Études de pré faisabilité et de faisabilité | Études faisant suite aux travaux d'exploration (qui ont permis d'estimer plus précisément les ressources et réserves d'un gisement), et précédant la préparation de la mise en production. L'étude de pré faisabilité a plusieurs objectifs : déterminer la viabilité économique d'un projet minier en effectuant une première estimation des coûts à prévoir, cibler d'éventuels enjeux requérant des études détaillées, et mettre en place un scénario de mise en œuvre du projet. L'étude de faisabilité poursuit ces travaux. Elle a pour objectifs de démontrer la viabilité technique et économique de l'exploitation. (Christmann, et al., 2016), voir au lien suivant . |
| Filtre (pour résidus miniers ou concentrés) | Appareil permettant de densifier des boues en procédant à un retrait d'eau. Un filtre-pressé utilise la pression pour réaliser l'extraction d'eau, un filtre sous vide met en œuvre des actions "d'aspiration". Les matériaux filtrés présentent généralement un pourcentage solide compris entre 70% et 85%. En combinant l'action d'épaississeurs et de filtres, on peut atteindre un pourcentage solide très élevé, supérieur à 85%. |
| Formation (géologique) | Ensemble de couches géologiques possédant des propriétés communes, telles que l'âge ou la nature des roches. |

| Terme | Définition |
|-----------------------------|--|
| Granite | Roche magmatique caractérisée par sa composition minéralogique : quartz, feldspaths potassiques (orthoses), plagioclases et micas (biotite ou muscovite). |
| Granulométrie | Caractérisation des dimensions des grains d'un mélange, par détermination de leur forme et étude de leur répartition dans différents intervalles dimensionnels. |
| Grès | Roche sédimentaire détritique issue de la compaction de sables. |
| Karst | Désigne les reliefs (en surface) ou cavités (en souterrain) résultant de la dissolution de roches calcaires (dont les dolomies) par des eaux chargées en gaz carbonique. |
| Lité | Se dit d'une roche (généralement sédimentaire) composée d'une succession de couches de faible épaisseur (quelques centimètres à quelques décimètres). |
| Log stratigraphique | Représentation schématique verticale d'une succession de couches sédimentaires, considérées suivant leur ordre chronologique. On trouve donc les plus anciennes en bas du log, et les plus récentes, en haut. |
| Métamorphisme | Altération et transformation d'une roche sous l'effet de changements de conditions de pression et de température du milieu. |
| Minerai | Ensemble de minéraux contenant des minéraux "utiles", en proportion suffisamment intéressante pour justifier une exploitation minière, et nécessitant une transformation (ou traitement) pour être utilisés par l'industrie. |
| Nappe captive | Une nappe d'eau souterraine est dite "captive" lorsque la nappe est limitée vers le haut par une formation imperméable (schistes ou argilites, par exemple). L'eau est alors sous pression. |
| NGF | Nivellement général de la France. On parle de mètres NGF lorsqu'une altitude est calculée par rapport au niveau "zéro" de référence français. Ce niveau zéro correspond au niveau moyen de la mer, à Marseille, dans l'Anse Calvo, entre 1884 et 1896. |
| Niveau Hydrostatique | Pour les eaux souterraines, le niveau hydrostatique correspond à leur niveau d'équilibre. |
| Puissance | Paramètre s'apparentant à l'épaisseur, et pouvant varier en fonction des déformations subies. |
| Rejet de faille | Correspond à l'ampleur du déplacement occasionnée par une faille. Il prend en compte la combinaison des déplacements verticaux et horizontaux. |
| Roche magmatique | Roche issue de la cristallisation d'un magma en profondeur (et non en surface comme une roche volcanique). |
| Roche métamorphique | Roche résultant des phénomènes de métamorphisme (voir "métamorphisme"). |
| Schiste | Roche présentant un aspect feuilleté (appelé "schistosité"). Le terme peut faire référence à une roche sédimentaire argileuse ou à une roche métamorphique (voir "métamorphisme"). Ici, il s'agit majoritairement de roches métamorphiques, issues de la compaction d'argiles puis de l'augmentation de pression et de chaleur (phénomènes liés à la formation de la Montagne Noire et à l'intrusion du granite de la Fabrié). |
| Schistosité | Plans presque parallèles et régulièrement espacés selon lesquels les roches se débitent facilement en feuillets (cas des schistes, en particulier). Les plans de schistosité peuvent être liés à la nature de la roche (roche sédimentaire argileuse) ou se mettre en place sous l'effet de divers mécanismes : plissements, failles et cisaillements, métamorphisme. |
| Silicification | Transformation d'une roche préexistante ou d'un minéral en silice. Le remplacement est lent, molécule par molécule, avec conservation de la forme originelle. |
| Sulfure | Minéral dont la composition consiste en une association de soufre et de métal. |

ANNEXE 2

Principaux minéraux identifiés dans le gisement de Fumade et formules chimiques associées ; d'après (Séverac, 1982 ; Couilloud, 1988 ; mindat.org, consulté en avril 2020 ; webmineral.com, consulté en avril 2020)

| Minéral | Formule chimique | Minéral | Formule chimique |
|--|--|---------------------------|---|
| Carbonates | | | |
| Calcite | CaCO ₃ | Sidérite | FeCO ₃ |
| Dolomite | CaMg(CO ₃) ₂ | Ankérite | Ca(Fe,Mg,Mn)(CO ₃) ₂ |
| Silicates Micas | | | |
| Muscovite | KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂ | Séricite | NaAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂ |
| Biotite | K(Mg,Fe) ₃ [AlSi ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂ | Phlogopite | KMg ₃ (Si ₃ Al)O ₁₀ (F,OH) ₂ |
| Silicates Feldspaths | | | |
| Microcline | KAlSi ₃ O ₈ | Albite ¹⁶¹ | NaAlSi ₃ O ₈ |
| Andésine | (Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈ | Anorthite ¹⁶¹ | CaAl ₂ Si ₂ O ₈ |
| Silicates Amphiboles | | | |
| Trémolite | Ca ₂ Mg ₅ (Si ₈ O ₂₂)(OH) ₂ | Magnésio-hornblende | Ca ₂ [Mg ₄ (Al,Fe)]Si ₇ AlO ₂₂ (OH) ₂ |
| Actinolite | Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂ | | |
| Silicates Clinopyroxènes | | | |
| Diopside | CaMgSi ₂ O ₆ | Salite | (Fe,Ca,Mg)Si ₂ O ₆ |
| Hédenbergite | CaFeSi ₂ O ₆ | Johannsenite | CaMnSi ₂ O ₆ |
| Silicates Grenats | | | |
| Grossulaire | Ca ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ | Spessartine | Mn ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ |
| Almandin | Fe ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ | | |
| Silicates Autres | | | |
| Quartz | SiO ₂ | Forstérite | Mg ₂ SiO ₄ |
| Idocrase | Ca ₁₀ Mg ₂ Al ₄ (SiO ₄) ₅ (Si ₂ O ₇) ₂ (OH) ₄ | Zircon | ZrSiO ₄ |
| Humite | (Mg,Fe) ₇ (SiO ₄) ₃ (F,OH) ₂ | Sphène | CaTiSiO ₅ |
| Chlorite | (Fe,Mg,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈ | Wollastonite | CaSiO ₃ |
| Apophyllite | KCa ₄ (Si ₄ O ₁₀) ₂ F•8(H ₂ O) | Épidote | Ca ₂ (Fe,Al) ₃ (SiO ₄) ₃ (OH) |
| Andalousite | Al ₂ (SiO ₄)O | Prehnite | Ca ₂ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂ |
| Talc | Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ | Scapolite | (Na,Ca) ₄ [Al ₃ Si ₉ O ₂₄]Cl |
| Smectite ¹⁶² | (Na,Ca) _{0,3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ •n(H ₂ O) | Tourmaline ¹⁶² | NaMg ₃ Al ₆ (Si ₆ O ₁₈)(BO ₃) ₃ (OH) ₄ |
| Phosphates, Oxydes, Sulfures et Autres minéraux | | | |
| Pyrite | FeS ₂ | Scheelite | CaWO ₄ |
| Pyrrhotite | Fe _(1-x) S (0 ≤ x ≤ 0,17) | Hématite | Fe ₂ O ₃ |
| Sphalérite | (Zn,Fe)S | Rutile | TiO ₂ |
| Chalcopyrite | CuFeS ₂ | Ilménite | FeTiO ₃ |
| Arsénopyrite | FeAsS | Graphite | C |
| Galène | PbS | Apatite | Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,F,Cl) |

¹⁶¹ Les plagioclases constituent une famille de minéraux, allant d'une composition sodique (albite) à calcique (anorthite).

¹⁶² La smectite est un groupe de minéraux, la formule chimique de la montmorillonite a été donnée à titre d'exemple. Il en est de même pour la tourmaline, avec l'exemple de la dravite.

ANNEXE 3

Extraits du site internet de Tungstène du Narbonnais, consulté en avril 2020

► Page 'Engagements sur le projet'

NOS ENGAGEMENTS TOUT AU LONG DU DÉVELOPPEMENT

Depuis le départ, Tungstène du Narbonnais a à cœur de développer un projet en bonne intelligence avec le territoire.

Parce que les habitants sont les premiers concernés par l'étude de ce projet, l'équipe projet a décidé de se mettre à disposition de la population locale de manière à répondre à toutes les questions pouvant subsister sur ce projet.

Des échanges ont également été initiés avec les élus de Fontrieu afin de les tenir informés des principales avancées du projet et de recueillir leurs remarques.

A l'issue des premières rencontres, des premiers engagements ont été pris afin de respecter la volonté des habitants.

Ainsi, Tungstène du Narbonnais s'engage à **associer le territoire à toutes les phases de développement du projet** :

- Informer et concerter sur tous les sujets et enjeux du projet avec les élus, les riverains et les habitants. Un dispositif d'information et de concertation sera mis en œuvre afin de permettre à chacun de suivre et de participer à l'avancement du projet.
- Associer la commune au capital de l'entreprise pour lui permettre de participer à la gouvernance et de percevoir les bénéfices du projet s'il arrive à son terme.

NOS ENGAGEMENTS DURANT LA PÉRIODE D'EXPLORATION (5 ANS)

- L'accord des propriétaires ou exploitants concernés par la réalisation de travaux (forages ou autres) sera demandé ; il est de toute façon nécessaire. Les objectifs de ce projet ne seront imposés à aucun propriétaire ou exploitant qui ne le souhaite.
- Une compensation financière, établie en fonction de la surface concernée, sera versée. Le montant sera fixé selon les usages agricoles locaux.
- Les travaux effectués se feront uniquement en journée durant les jours ouvrés.
- Les périodes de travaux seront définies en concertation avec les personnes concernées en fonction des activités agricoles et des usages du site.
- Les surfaces concernées seront remises en l'état après chaque forage.
- Une étude fine sera réalisée sur les impacts potentiels des activités d'exploration et d'exploitation sur l'eau. Les atteintes potentielles à la qualité et à la quantité des ressources en eau feront l'objet de démarches de prévention.

NOS ENGAGEMENTS POUR LA PÉRIODE D'EXPLOITATION SI CELLE-CI A LIEU (15 À 20 ANS ENVIRON)

- L'entreprise extraira et exploitera uniquement du minerai de tungstène.
- L'exploitation envisagée se fera en souterrain et non en surface.
- Le procédé de traitement utilisé ne fera appel à aucun produit chimique ou contaminant.
- Le choix de l'emplacement de l'usine de traitement se fera en concertation avec les acteurs locaux et avec le consentement du ou des propriétaires fonciers concernés.
- Après extraction du tungstène, les matériaux extraits du sous-sol seront réintroduits au maximum en continu à l'intérieur de la mine ou mis à disposition pour réutilisation en vue d'autres usages.
- Des emplois seront créés avec une priorité pour les habitants du territoire. Des actions de formation seront mises en place pour cela.

ET APRÈS ?

Une des principales inquiétudes exprimées jusque-là porte sur "l'après mine" : que deviendra la mine lorsque l'exploitation sera terminée ? Y a-t-il des risques de pollution ? ... Les interrogations à ce sujet sont nombreuses et légitimes. Tungstène du Narbonnais ne souhaite pas éluder cet aspect majeur. Néanmoins, il est un peu tôt dans la vie du projet pour prendre des engagements précis. Les spécificités techniques de mise en œuvre de la mine ne pouvant pas encore être définies.

Malgré tout, Tungstène du Narbonnais a déjà pris l'engagement de mettre en sécurité les stériles après l'exploitation, grâce à un procédé qui s'appelle le remblayage. Les matériaux dont sera extrait le tungstène seront compactés et remis de 80% à 90% dans les galeries de la mine, empêchant toute diffusion dans la nature. Pour les 10% à 20% restants ne pouvant être réintroduits et qui ne sont pas dangereux, ils formeront un tas d'environ 200 x 200 x 4 m qui sera végétalisé ; leur réutilisation pour d'autres usages, routiers par exemple, sera étudiée.

Parmi les évolutions pressenties du Code minier, la question de l'après-exploitation fait partie des sujets évoqués. Mais quelles que soient ces évolutions réglementaires, Tungstène du Narbonnais prendra des engagements, en concertation avec le territoire, sur la gestion de l'après-exploitation. Il s'agit d'un engagement long terme puisque les mesures prendront effet dans plus de 20 ans.

« Les résidus miniers [ou stériles] peuvent être définis comme tout produit ou dépôt qui résulte de la recherche et de l'exploitation minière ou du traitement du minerai ; ces résidus peuvent être des produits artificiels, plus ou moins transformés, issus des phases de traitement et d'enrichissement du minerai (rejets de laverie, scories) contenant d'éventuels additifs chimiques, minéraux ou organiques. »

► Page 'Un projet de taille raisonnable et respectueux du territoire'

UNE MINE SOUTERRAINE : QUELLE EMPRISE AU SOL ?



Vidéo : Un projet de mine responsable

► Page 'Les étapes du projet'



Vidéo : Le traitement du minerai par gravimétrie

ANNEXE 4

Description des 20 points étudiés par SystExt pour l'étude du fonctionnement hydrogéologique, et corrélation avec les données de la Banque du Sous-Sol (BSS) du BRGM

Données géographiques et géologiques

| Dénomination | Type | Altitude (m) | Contexte géologique |
|--------------------------|-----------|---------------------------|---|
| Source de Cadoul | Source | 580 <i>(selon IGN)</i> | Bordure Ouest Faille majeure K3/K2b2-K2b1 + Bordure Colluvions fond de vallon |
| Source de Fumade | Source | 585 <i>(selon IGN)</i> | - |
| Arcanic Forage A0 | Forage | 555 | - |
| Arcanic Forage A2 | Forage | 565 | - |
| Arcanic Forage A1 & FL10 | Puits AEP | 580 | - |
| Palus 1 & Palus 0 | Source | 590 <i>(selon IGN)</i> | Bordure Ouest Faille K3/K2b2-K2b1 + Bordure colluvions fond de vallon |
| Palus 2 | Source | 590 <i>(selon IGN)</i> | Idem précédent |
| Source du Merle | Puits AEP | 520 <i>(selon IGN)</i> | Bordure Est Faille majeure K3/K2a |
| Source de Peyrolle | Puits AEP | 516 | Bordure Est Faille majeure K3/K2a |
| Fédial Forage FL9 | Forage | 580 | - |
| Source Fédial | Source | 580 <i>(selon IGN)</i> | Bordure Ouest Formation calcaires dans K3 |
| Fédial Forage FL1 | Forage | 615 <i>(selon IGN)</i> | - |
| Fédial Forage FL2 | Forage | 615 <i>(selon IGN)</i> | - |
| Fumade Forage FU4 | Forage | 625 <i>(selon IGN)</i> | - |
| Fumade Forage FU44 | Forage | 638 | - |
| Fédial Forage FL7 | Forage | 590 | - |
| Fumade Forage FU22 | Forage | 595 | <i>Proche Source de Fumade</i> |
| Fumade Forage FU29 | Forage | 596 | <i>Proche Source de Fumade</i> |

Données hydrogéologiques

| Dénomination | Description | Débit/pression | Profondeur de l'arrivée d'eau(m) | Couche aquifère |
|--------------------------|---|--|----------------------------------|------------------------------|
| Source de Cadoul | Zone d'émergence naturelle à l'affleurement | - | 0 | - |
| Source de Fumade | Source ancienne | - | 0 | - |
| Arcanic Forage A0 | Arrivée d'eau artésienne | actuel 4-5 bars | 221 | K2a Dolomie |
| Arcanic Forage A2 | Arrivée d'eau artésienne | Débit de 9,5 m3/h actuel : < 1 bar | 65 | Schistes (zone fracturée ?) |
| Arcanic Forage A1 & FL10 | Arrivée d'eau artésienne | Essais de débits à 63 m3/h en 2005 Débit de 78 m3/h mentionné sur FL10 | 91 | K2a Dolomie |
| Palus 1 & Palus 0 | Source ancienne Cf. source Palus 0 | - | 0 | - |
| Palus 2 | Fonçage à une dizaine de m suite diminution pression sur Palus 1 | - | 0 | - |
| Source du Merle | Captage de secours de Peyrolle | - | 0 | K2a Calcaires |
| Source de Peyrolle | Source historique de Castelnau-de-Brassac Niveau hydrostat. 1m | 127 m3/h Débit constant été hiver | 0 | K2a Calcaires |
| Fédial Forage FL9 | Arrivée d'eau artésienne | Débit de 25 m3/h actuel : 1 bar (sous réserve) | 165 | K2a Dolomie |
| Source Fédial | Source ancienne | actuel : < 1 bar (sous réserve) | 0 | - |
| Fédial Forage FL1 | <i>Pas d'arrivée d'eau (selon témoins)</i> | - | - | - |
| Fédial Forage FL2 | <i>Pas d'arrivée d'eau (selon témoins)</i> | - | - | - |
| Fumade Forage FU4 | Arrivée d'eau | - | 51 <i>(supposé)</i> | K2a Dolomie Brèche karst. |
| Fumade Forage FU44 | Arrivée d'eau Niveau hydrostatique mentionnée à 45m | - | 50 <i>(supposé)</i> | K2a Dolomie |
| Fédial Forage FL7 | Arrivée d'eau artésienne | Débit de 30 m3/h | 171 | K2a Dolomie |
| Fumade Forage FU22 | <i>Pas d'arrivée d'eau mentionnée</i> | - | - | - |
| Fumade Forage FU29 | <i>Pas d'arrivée d'eau mentionnée</i> | - | - | - |

Données de la BSS

| Dénomination | Lithostratigraphie schématique | Réf. BSS | Réf BRGM SNEAP | Fin de sondage (m) |
|--------------------------|---|---|----------------|--------------------|
| Source de Cadoul | - | | | |
| Source de Fumade | - | | | |
| Arcanic Forage A0 | 0-50m = Schistes noirs 50-143 = Alternances calcaréo-schisteuses et grès 143- 221m = Dolomie gris clair siliceuse 222-295m = Dolomie grise ou verte, calcaires 295-302m = Aplite et granite aplitique | BSS002GGUU 09864X0006/F | S3-69 | 302 |
| Arcanic Forage A2 (FL11) | 0-30m = Schistes noirs graphiteux 30- 65m = Schistes beiges altérés 66-81m = Schistes noirs 81-83m = Grès fins et calcaires gréseux | BSS002GGXX 09864X0082/F | FL11 | 83 |
| Arcanic Forage A1 & FL10 | 0-40m = Schistes noirs graphiteux avec arrivée d'eau à 15/18m 40-91m = Schistes altérés beiges avec arrivée d'eau à 49/52m <i>Fin de forage à 91m pour A1 mais données FL10 (situé à 6,80m de A1) :</i> 91-248m = Dolomie grise feuilletée 248-293m = Calcaires rubanés 293-302m = Aplogranite et granite | A1 = BSS002GGXV 09864X0080/F FL10 (à 6.80m) = BSS002GGZS 09864X0125/FL10 | FL10 | 302 |
| Palus 1 & Palus 0 | - | | | |
| Palus 2 | - | | | |
| Source du Merle | - | | | |
| Source de Peyrolle | Calcaires gris massifs dès 2,7m de profondeur | BSS002GHVB 09868X0087/F | | |
| Fédial Forage FL9 | 0-117m = Schistes noirs graphiteux 117-159m = Calcaires gréseux rubanés 159-165m = Argile 165-366m = Dolomie (avec calcaire et aplite à la base) 366-370m = Granite | BSS002GGXW 09864X0081/F | FL9 | 370 |
| Source Fédial | - | | | |
| Fédial Forage FL1 | 0-170m = Alternances calcaréo-schisteuses 170-230m = Calcaires et dolomies siliceux avec skarns 230-250m = Aplogranite | BSS002GGZP 09864X0122/FL1 | FL1 | 250 |

| Dénomination | Lithostratigraphie schématique | Réf. BSS | Réf BRGM SNEAP | Fin de sondage (m) |
|-----------------------------|--|-------------------------------|----------------|--------------------|
| Fédial Forage FL2 | 0-180m = Alternances calcaréo-schisteuses 180-365m = Calcaires et dolomies siliceux avec skarns 365-376m = Granite | BSS002GGZR 09864X0124/FL2 | FL2 | 376 |
| Fumade Forage FU4 | 0-51m = Alternances calcaréo-schisteuses (Perte totale à 30m) 51-327m = Dolomies massives 327-412m = Alternances calcaréo-argileuses 412-448m = Dolomies massives 448-477m = Granite | BSS002GGXF 09864X0066/FU4 | FU4 | 477 |
| Fumade Forage FU44 | 0-50m = Argilites 50-88m = Calcaires lités clairs avec cavités et perte totale 88-305 = Dolomie avec siltes et grès à la base 305-319m = Granite | BSS002GGYN 09864X0097/FU44 | FU44 | 319 |
| Fédial Forage FL7 | 0-168m = Schistes noirs 168-174m = Dolomie brèche karstique 174-275m = Dolomie 275-344m = Alternances calcaréo-schisteuses 344-347m = Granite | BSS002GGXY 09864X0083/F | FL7 | 347 |
| Fumade Forage FU22 - | | | | 192 |
| Fumade Forage FU29 - | | | | 175 |

ANNEXE 5

Définitions de référence et réglementaires afférentes aux périmètres de protection de captage

Un périmètre de protection de captage (PPC) est un dispositif visant à protéger les points de captage public d'eau destinée à la consommation humaine d'éventuels risques de pollutions susceptibles d'altérer la qualité des eaux prélevées (Ministère de la Santé, 2009). Ces périmètres de protection sont rendus obligatoires pour tout captage d'eau potable public par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, confortée par la loi du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique (article L-1321-2 et R. 1321-13 du code de la santé publique). Ils sont délimités après avis d'un hydrogéologue agréé et sont rendus officiels par Déclaration d'Utilité Publique (DUP)¹⁶³.

Trois types de périmètres de protection sont ou peuvent être mis en place autour d'un captage (Ministère de la Santé, 2009, p. 3) :

- **Le périmètre de protection immédiate (PPI)**, « pour lequel les terrains sont à acquérir en pleine propriété par la collectivité [...] et à clôturer, a pour fonctions principales d'empêcher la détérioration des ouvrages et d'éviter les déversements de substances polluantes à proximité immédiate de l'ouvrage » ;
- **Le périmètre de protection rapprochée (PPR)**, « généralement de quelques dizaines à quelques centaines d'hectares (pour les captages en eau de surface, jusqu'à quelques kilomètres en amont de la prise d'eau), dans lequel peuvent être interdits ou réglementés toutes les activités, dépôts ou installations de nature à nuire directement ou indirectement à la qualité de l'eau prélevée » ;
- **Le périmètre de protection éloignée (PPE)**, « qui est facultatif et correspondant à tout ou partie de la zone d'alimentation du captage¹⁶⁴, est créé afin de réglementer toutes les activités, dépôts ou installations de nature à nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux ».

Le PPE est généralement mis en place lorsque l'on considère que l'application de la réglementation générale, même renforcée, n'est pas suffisante, « en particulier s'il existe un risque potentiel de pollution que la nature des terrains traversés ne permet pas de réduire en toute sécurité, malgré l'éloignement du point de prélèvement » (Circulaire du 24/07/1990).

L'établissement de ces périmètres donne par ailleurs à la collectivité, propriétaire d'un captage d'eau (ou à son concessionnaire), « tous les moyens juridiques d'assurer la protection effective de celui-ci » (Ministère de la Santé, 2009, p. 3). Enfin, « l'instauration des PPC peut également être complétée, dans le cadre d'une politique globale de reconquête de la qualité de l'eau vis-à-vis des pollutions diffuses [...], par les zones de protection des aires d'alimentation des captages (outil introduit par l'article 21 de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006) » (Ministère de la Santé, 2009, p. 3).

¹⁶³ Voir également Page 'Périmètres de protection des captages (PPC)' sur le site du SIGES Seine-Normandie. Voir au [lien suivant](#).

¹⁶⁴Le concept d'aire d'alimentation des captages apparaît d'abord dans le code de l'environnement (article L.211-3) et est modifié par la loi sur l'eau de 2006. Cet outil réglementaire, non obligatoire, permet d'identifier une zone soumise à un programme d'actions visant à protéger la ressource contre les pollutions diffuses (Ministère de la Santé, 2009).

ANNEXE 6

Définitions de référence et réglementaires afférentes aux enjeux de préservation des cours d'eau

La **qualité biologique** d'un cours d'eau est régie par des éléments de qualité hydromorphologique¹⁶⁵ (débits, continuité, faciès du lit) et de qualité physico-chimique¹⁶⁶, qui interagissent entre eux. Selon le Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), la qualité biologique caractérise le bon état écologique d'une masse d'eau et « *repose sur une évaluation de la diversité et de l'abondance des éléments biologiques*¹⁶⁷ présents dans le cours d'eau ». Cette évaluation est par ailleurs effectuée en comparaison avec une situation de référence (milieux de même type non perturbés).

Les cours d'eau du secteur d'étude sont concernés par le **Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) du bassin Adour-Garonne** (Comité de bassin Adour-Garonne, 2016) ; et, à l'échelle plus locale, par le **Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) du bassin de l'Agout** (Syndicat Mixte du Bassin de l'Agout, 2014).

Ces documents ont pour objectif de planifier la gestion des masses d'eau et de réaliser les actions à entreprendre pour atteindre les objectifs de bon état écologique (fixés par la Directive-cadre sur l'eau ou « DCE »). Pour ce faire, ils mettent en place des axes directeurs et identifient « *les zones à forts enjeux environnementaux qui justifient une attention particulière pour la protection de leurs fonctionnalités* » (Comité de bassin Adour-Garonne, 2016, p. 196).

Le SDAGE précise par ailleurs : « *généralement conservés en bon état écologique, ces milieux à forts enjeux environnementaux constituent des éléments du territoire stratégiques pour la gestion de l'eau et la préservation de la biodiversité. Ils contribuent au bon état écologique des masses d'eau. Leur conservation constitue un enjeu patrimonial majeur sur le bassin.* » (Comité de bassin Adour-Garonne, 2016, p. 196).

En ce sens, l'orientation D du SDAGE est de : « *préserver et restaurer les fonctionnalités des milieux aquatiques* » (Comité de bassin Adour-Garonne, 2016, p. 196).

¹⁶⁵ La qualité hydromorphologique dépend du niveau de perturbation :

- du régime hydrologique : quantité et dynamique des débits, connexion aux nappes souterraines ;
- de la continuité de la rivière dont la qualité s'évalue en fonction du niveau de liberté de circulation des organismes aquatiques et du transport des sédiments (supports de la diversité d'habitats) ;
- de la morphologie du lit : types de chenaux, largeur et profondeur du lit, état du substrat, structure et état des berges).

Voir page 'Cours d'eau et poissons migrateurs amphihalins' sur le site du Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) [au lien suivant](#).

¹⁶⁶ La qualité physico-chimique dépend :

- du niveau de perturbation de la température, de l'oxygène, de l'acidité, de la salinité, de la concentration en nutriments ;
- de la présence de certains polluants spécifiques.

Voir même page que note de bas de page précédente, [au lien suivant](#).

¹⁶⁷ Les éléments biologiques sont constitués de :

- la flore (macrophytes, phytoplanctons et diatomées) ;
- la faune invertébrée benthique (qui vit au fond du lit) ;
- les poissons (pour ces derniers, la répartition par classe d'âge est également un élément d'évaluation, en plus de leur diversité et de leur quantité).

Voir même page que note de bas de page précédente, [au lien suivant](#).

L'orientation D du SDAGE comporte ainsi un volet listant les actions à mener afin de préserver et restaurer la **continuité écologique**. La continuité écologique repose sur quatre dimensions :

- Une dimension longitudinale : dans les directions amont et aval ;
- Une dimension transversale : entre le lit mineur et le lit majeur ;
- Une dimension verticale : entre le lit mineur et les nappes ;
- Une dimension temporelle : en fonction des saisons hydrologiques et du rythme biologique des espèces.

Selon le MTES, « *la continuité écologique se définit par la libre circulation des organismes aquatiques ou encore des espèces biologiques, c'est-à-dire de tous les éléments vivants de la rivière et le transport naturel des sédiments. [...] La réglementation française simplifie la continuité écologique à la libre circulation des poissons et au transport sédimentaire* »¹⁶⁸.

L'orientation D du SDAGE Adour Garonne contient un autre volet définissant les mesures à mettre en œuvre dans l'objectif de préserver les **milieux à forts enjeux environnementaux**. Ils sont définis comme (Comité de bassin Adour-Garonne, 2016, p. 196) :

- (A) les cours d'eau à enjeu pour les poissons migrateurs amphihalins¹⁶⁹ ;
- (B) les cours d'eau, ou tronçons de cours d'eau, en **très bon état écologique** au sens de l'article L. 214-17-1 du code de l'environnement et/ou jouant le rôle de **réservoirs biologiques** qui sont identifiés dans les listes D26 annexées et les cartes associées ;
- (C) les habitats abritant des espèces remarquables menacées ou quasi-menacées de disparition ;
- (D) les zones humides, au sens réglementaire du L.211-1 du code de l'environnement.

Concernant le milieu de type (B), on rappelle les définitions suivantes :

- « *Un cours d'eau, ou une portion de cours d'eau est considéré en « très bon état écologique » [...], s'il présente au moins l'un des critères traduisant un niveau suffisant de préservation écologique :*
 - *absence ou quasi-absence de perturbation du fonctionnement hydromorphologique ;*
 - *présence d'une ou des espèces remarquables directement inféodées au cours d'eau.* » (Comité de bassin Adour-Garonne, 2016, p. 196)
- « *Les réservoirs biologiques, au sens de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006, sont des cours d'eau ou parties de cours d'eau ou canaux qui comprennent une ou plusieurs zones de reproduction ou d'habitat des espèces aquatiques et permettent leur répartition dans un ou plusieurs cours d'eau du bassin versant. Ils sont nécessaires au maintien ou à l'atteinte du bon état écologique des cours d'eau d'un bassin versant.* » (Comité de bassin Adour-Garonne, 2016, p. 197)

Concernant ces derniers, le MTES précise que « *la préservation de la faune aquatique nécessite d'assurer le [...] bon fonctionnement du mécanisme naturel de transport des sédiments, lui-même lié au régime d'écoulement des eaux (variations des débits et des vitesses)* »¹⁶⁸.

¹⁶⁸ Voir page 'Cours d'eau et poissons migrateurs amphihalins' sur le site du Ministère de la Transition, Ecologique et Solidaire (MTES) [au lien suivant](#).

¹⁶⁹ « Amphihalins » se dit d'une espèce qui migre entre le milieu marin et l'eau douce au cours de son cycle de vie.

ANNEXE 7

Carte du guide piscicole (Fédération de Pêche, 2018)

