

TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS

*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 : MEMOIRE TECHNIQUE ET PROGRAMME DES TRAVAUX

**PERM dit de « la Fabrié »
Commune de Fontrieu (81)**

Déembre 2018

Rapport n° R 1802301 – T2 – V1



La gestion de l'environnement, la reconnaissance du sous-sol
et l'application de la réglementation au service de votre projet.

e-mail: geo.plus.environnement@orange.fr

SARL au capital de 120 000 euros - RCS : Toulouse 435 114 129 - Code NAF : 7112B

Siège social et Agence Sud	Le Château	31 290 GARDOUCH	Tél : 05 34 66 43 42 / Fax : 05 61 81 62 80
Agence Centre et Nord	2 rue Joseph Leber	45 530 VITRY AUX LOGES	Tél : 02 38 59 37 19 / Fax : 02 38 59 38 14
Agence Ouest	5 rue de la Rome	49 123 CHAMPTOCE SUR LOIRE	Tél : 02 41 34 35 82 / Fax : 02 41 34 37 95
Agence Sud-Est	1175 route de Margès	26 380 PEYRINS	Tél : 04 75 72 80 00 / Fax : 04 75 72 80 05
Agence Est	7 rue du Breuil	88 200 REMIREMONT	Tél : 03 29 22 12 68 / Fax : 09 70 06 14 23
Antenne PACA	Saint-Anne	84 190 GIGONDAS	Tél : 06 88 16 76 78 / Fax : 05 61 81 62 80

Site Internet : www.geoplusenvironnement.com

PREAMBULE

La SAS TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS (TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS) sollicite l'attribution d'un **Permis Exclusif de Recherches de Mine (PERM)** dit de « **la Fabrié** » pour **tungstène**, or, bismuth, étain, molybdène, tellure, antimoine, zinc, cuivre, indium, scandium et substances connexes, pour une **durée de 5 ans**.

L'emprise demandée couvre une **superficie de 4,5 km²**, entièrement localisée sur le territoire de la **commune de Fontrieu**, dans le Sud-Est du département du Tarn (81).

Le projet d'exploration porté par le demandeur s'articule autour de **2 objectifs principaux** :

- **poursuivre l'étude du gîte de tungstène de Fumade** (ou Fumade - « la Fédial »), qui a été identifié à l'occasion de l'inventaire minier dans les années 60-80 et au potentiel jugé très intéressant, mais sur lequel des données plus précises doivent encore être réunies avant de pouvoir déterminer s'il sera possible de le mettre en exploitation (étude de faisabilité) ;
- **étudier la possible extension vers le Nord de la minéralisation**, ce qui n'a jusqu'ici jamais été entrepris, et ainsi potentiellement découvrir de nouvelles ressources à lui associer.

Les travaux devront ainsi permettre de progressivement déterminer, avec une meilleure fiabilité, les ressources en tungstène et éventuellement en substances connexes. Pour cela, le **programme prévisionnel de travaux d'exploration** inclut notamment la réalisation d'un modèle géologique numérique, des campagnes de sondages carottés, de géochimie et de géophysique, des essais minéralurgiques... En parallèle, des études environnementales seront menées durant quasiment toute la durée du permis. Les données ainsi accumulées nourriront finalement une **étude de faisabilité économique, environnementale et technique d'un éventuel projet d'exploitation**.

Au cours des 5 années de la demande, TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS prévoit des **investissements totaux à hauteur de 11,5 M €**.

Au travers de ce projet d'exploration, TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS a pour objectif technique et financier de **valoriser une ressource française stratégique en tungstène**, métal stratégique aux multiples applications. Pour ce faire, la société développera une activité minière locale dans le respect le plus strict de la réglementation dans tous les secteurs, qu'il s'agisse des règles de sécurité, des règles environnementales, des règles portant sur l'emploi ou des règles portant sur les relations avec les parties prenantes. D'une manière plus générale elle entend se comporter de manière **responsable**, notamment en :

- **consultant** les parties prenantes (administrations, mairies, professionnels, association, riverains) et **en communiquant en toute transparence** à chaque phase de la démarche d'exploration, dans le contexte global du projet minier ainsi que les possibles impacts en lien avec les activités ;
- mettant en œuvre de **techniques** (d'exploration, d'extraction, de traitement du minerai) **modernes et respectueuses de l'environnement** à toutes les étapes du projet minier ;
- **prenant en compte des attentes des parties prenantes** dans la conception du projet d'exploitation qui sera basé sur une évaluation environnementale et sociale objective ;
- faisant **bénéficier à la population locale** des retombées économiques du projet : création d'emploi local direct et induit, création d'infrastructures, ouverture du capital aux investisseurs locaux, rétrocession d'une partie du capital à la collectivité (commune, département, région) ;
- développant un **projet industriel sur le long terme** intégrant la recherche de nouvelles ressources, le recyclage et la filière aval de l'exploitation minière.

Le présent dossier de demande de PERM est établi conformément à la réglementation en vigueur et en particulier :

- les Art. L. 122-1 à 3 du Code Minier ;
- le Décret n°2006-648 du 2 juin 2006 relatif aux titres miniers et aux titres de stockage souterrain ;
- les Décrets n°2001-205 et 2001-209 du 6 mars 2001 ;
- l'Arrêté du 28 juillet 1995 fixant les modalités selon lesquelles sont établies les demandes portant sur les titres miniers et leurs annexes

Il comporte ainsi 3 tomes :

- **Tome I : Document Administratif** ;
- le présent **Tome II : Mémoire Technique et Programme des Travaux** ;
- **Tome III : Notice d'Impact.**

Ce Tome constitue le Mémoire Technique de la présente demande.

Le Mémoire Technique présente essentiellement le **bilan des connaissances** de TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS sur ce sujet, puis les raisons qui en découlent pour **justifier** cette demande de PERM.

Il présente également le Programme des Travaux d'exploration envisagés.

GLOSSAIRE

Altération	L'altération est la réponse des minéraux, et donc des roches, à l'attaque de l'air, de l'eau et des autres agents réactifs présents dans la partie supérieure de la croûte terrestre. Les minéraux soumis à l'action de ces agents réactifs se transforment alors en d'autres minéraux appelés minéraux d'altération, stables dans ces nouvelles conditions. On distingue schématiquement deux types d'altérations : l'altération météorique, due à l'action des agents atmosphériques (eau, air, gel, etc.) et biologiques, et l'altération hydrothermale, réponse à la circulation de fluides hydrothermaux en général chauds et salés et donc très corrosifs.
Andradite	Grenat de formule $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$ avec des traces de Ti, Cr, Al et Mg.
APT	Ammonium Para Tungstate ou paratungstate d'ammonium,) de formule $(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_{12}\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, c'est le principal produit intermédiaire pour la production de la plupart des composés du tungstène métal. C'est aussi le principal produit commercialisé sur le marché entre les producteurs primaires et les industries de transformation.
Cornéenne	Une cornéenne est une roche du métamorphisme de contact des granitoïdes, habituellement très dure. Sa composition minéralogique varie selon la nature des roches encaissantes : - les roches pélitiques donnent des cornéennes micacées à andalousite et cordiérite, évoluant vers des cornéennes feldspathiques; - les marno-calcaires et les pélites calcareuses donnent des cornéennes calciques, de composition minéralogique variable, habituellement riches en grenat, épidote et hornblende; - les roches carbonatées donnent des skarns et des marbres; - les autres roches évoluent en fonction de leur composition minéralogique originelle (par exemple, pour les grès quartzeux les cornéennes seront des quartzites).
Code JORC	Le Code JORC (Joint Ore Reserve Committee) est le code australien pour le reporting des résultats d'exploration, des ressources minérales et des réserves minières. Au même titre que les normes déclaratives NI 43-101 des compagnies canadiennes d'exploration minière, il constitue un standard international pour la classification des résultats d'exploration minière, des ressources minérales et des réserves minière en fonction des niveaux de confiance dans les connaissances géologiques et des considérations techniques et économiques dans les rapports publics. Les rapports publics préparés conformément au Code JORC sont des rapports préparés dans le but d'informer les investisseurs ou les investisseurs potentiels et leurs conseillers. Ils comprennent, sans toutefois s'y limiter, les rapports d'entreprise annuels et trimestriels, les communiqués de presse, les notes d'information, les documents techniques, les affichages sur le Web et les présentations publiques des estimations des ressources minérales et des réserves minières.
Diopside	Clinopyroxènes de formule $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
Dolomie	La dolomie est une roche sédimentaire carbonatée composée d'au moins 50 % de dolomite, c'est-à-dire d'un carbonate double de calcium et de magnésium, de composition chimique $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, qui cristallise en prismes losangiques (rhomboèdres).
Exploration minière	L'exploration est l'étape préalable à tout projet d'exploitation. Elle vise à mettre en évidence l'existence d'un gisement de minerais métalliques ou de minéraux industriels qui soit exploitable tant sur les plans technique et économique que sur le plan de la préservation de l'environnement.

Flottation	Découverte au début du XX ^{ème} siècle et appliquée pour la première fois à Broken Hill (Australie), la flottation est l'opération de traitement la plus répandue dans l'industrie minérale, appliquée aux minerais et aux minéraux industriels. Elle utilise les processus physiques de mouillage des particules broyées (matérialisés par les forces de tension superficielle) pour séparer les différents minéraux d'un minerai. Le minerai finement broyé est mélangé à une solution aqueuse et placé dans des bacs munis d'un agitateur, les cellules de flottation, généralement de l'ordre de 1 m ³ . On fait alors « flotter » sélectivement les particules du minéral à récupérer en les rendant hydrophobes ce qui a pour effet de les « coller » sur les bulles d'air et de les entraîner vers le haut ou elles sont recueillies dans une mousse. Les minéraux non récupérés ne sont pas rendus hydrophobes et coulent au fond de la cellule de flottation d'où ils seront ensuite rejetés.
Fluorine	La fluorine est une espèce minérale composée de fluorure de calcium, de formule idéale CaF_2 mais comportant des traces de Y, Ce, Si, Al, Fe, Mg, Eu, Sm, O, Cl et composés organiques.
Forstérite	De composition Mg_2SiO_4 , la forstérite est le pôle pur magnésien de l'olivine
Géochimie sols	La géochimie sols est une technique d'exploration minière qui a pour objet de découvrir des gisements métallifères, subaffleurants ou cachés, d'après les auréoles de dispersion des éléments chimiques qui les constituent. Elle dispose, à cette fin, de diverses méthodes spécifiques d'investigation et de moyens analytiques appropriés qui sont sans cesse améliorés.
Géostatistique	La géostatistique est l'étude des variables régionalisées, à la frontière entre les mathématiques et les sciences de la Terre. Son principal domaine d'utilisation a historiquement été l'estimation des gisements miniers, mais son domaine d'application actuel est beaucoup plus large et tout phénomène spatialisé peut être étudié en utilisant la géostatistique.
Gisement	Un gisement est un site de concentration d'un ou plusieurs éléments ou objets (gisements de minéraux, de pétrole, de fossiles). Cependant, le terme de gisement possède essentiellement un sens économique restrictif et désigne une concentration de substances qui peut être exploitée avec profit. On parle alors de gisement d'or, de cuivre, du tungstène, de diamant, de pétrole, de barytine, etc.
Gîte	Un gîte est le site de concentration d'un ou plusieurs minéraux utiles, notamment des minerais métalliques, sans connotation de taille ou d'importance. Un gîte devient un gisement lorsqu'il est économiquement exploitable.
Grossulaire	Le grossulaire est une variété calcique et d'aluminium de la famille des grenats. Il est blanc, jaune, jaune-vert, brun-rouge, orange à noir. Formule chimique : $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
Hydrothermalisme	L'hydrothermalisme désigne les circulations d'eaux chaudes de la croûte terrestre, le plus souvent liées aux systèmes volcaniques, plutoniques, ainsi qu'au métamorphisme. Les fluides hydrothermaux sont chauds (50 à plus de 350 °C), salés, corrosifs et chargés en substances dissoutes acquises dans le magma ou lors de la percolation à travers les roches. Ils transportent, concentrent et redéposent ces sels dissous sous forme de minéraux dans certains sites particuliers : les gîtes hydrothermaux (filons, amas sulfurés, skarns, gîtes de substitution, etc.). Les sources chaudes, geysers, fumerolles, ou lacs acides constituent des manifestations actuelles de l'hydrothermalisme. Ces gîtes hydrothermaux constituent fréquemment des gisements de minerais (Pb, Zn, F, Ba, Au, Ag, etc.), largement exploités sur la planète. Les minéraux formés par dépôt des substances dissoutes dans ces fluides sont appelés hydrothermaux (barytine, fluorine, nombreux sulfures, soufre natif, etc.).

Krigeage	Le krigeage est, en géostatistique, la méthode d'estimation linéaire garantissant le minimum de variance. Le krigeage réalise l'interpolation spatiale d'une variable régionalisée par calcul de l'espérance mathématique d'une variable aléatoire, utilisant l'interprétation et la modélisation du variogramme expérimental. C'est le meilleur estimateur linéaire non-biaisé ; il se fonde sur une méthode objective. Il tient compte non seulement de la distance entre les données et le point d'estimation, mais également des distances entre les données deux-à-deux.
Métamorphisme	Le métamorphisme désigne l'ensemble des transformations subies par une roche sous l'effet de modifications des conditions de température, de pression, de la nature des fluides et, parfois, de la composition chimique de la roche. Ces transformations, qui peuvent être minéralogiques, texturales, chimiques ou encore structurales, amènent à une réorganisation des éléments dans la roche et à une recristallisation des minéraux à l'état solide
Métamorphisme de contact	Le métamorphisme de contact est celui qui se produit dans la roche encaissante au contact d'intrusifs. Lorsque le magma encore très chaud est introduit dans une séquence de roches froides, il y a transfert de chaleur et cuisson de la roche encaissante aux bordures.
Métasomatisme	Le métasomatisme est un processus de transfert d'éléments par des fluides qui s'accompagne d'un changement de la composition chimique globale des roches originelles (ou métasomatose). Cette mobilité d'éléments peut conduire à de très importants remplacements (les massifs de dolomies sont fréquemment formés par métasomatose magnésienne de calcaires) ainsi qu'à des concentrations minérales notables, comme certains gisements de zinc ou de plomb en domaine carbonaté.
Minéralurgie	La minéralurgie désigne l'ensemble des techniques industrielles d'extraction et de concentration permettant d'obtenir, à partir des minerais bruts extraits des mines (minerais au sens large), un concentré minéral commercialisable (minerai au sens strict). Les techniques de minéralurgie sont des procédés industriels complexes qui utilisent les propriétés physiques et chimiques des minéraux. Parmi les plus courants on peut citer : - la flottation, dans laquelle l'adjonction de produits moussants stimule les propriétés d'adsorption des minéraux à récupérer pour les faire « flotter » dans des cellules de flottation - la cyanuration, qui dissout sélectivement l'or et l'argent à l'aide de solutions cyanurées avant de les récupérer par électrodéposition - la lixiviation qui emploie des acides pour dissoudre sélectivement certains minéraux dans un minerai, avant de récupérer le métal utile par précipitation.
Pegmatite	Une pegmatite est une roche magmatique de composition granitique se présentant sous forme de filons ou d'amas à la périphérie ou la proximité immédiate des massifs de granitoïdes, représentant la fin de cristallisation de magmas granitiques. Leurs minéraux essentiels sont ceux du granite auxquels s'ajoutent fréquemment des minéraux rares, dits pneumatolytiques, (béryl, lépidolite, topaze, cassitérite, phosphates de terres rares, tourmaline, etc.). Les pegmatites particulières, dépourvues de quartz et associées aux syénites néphéliniques ou aux massifs mafiques et ultramafiques, sont appelées pegmatoïdes.

Permis Exclusif de Recherche de Mines (PER-M)	Le Code minier donne à une entreprise la possibilité de pratiquer des travaux d'exploration de substances minières, via l'obtention d'un Permis Exclusif de Recherches de Mines (PER-M). Le PER-M permet la reconnaissance des droits immobiliers de son détenteur mais n'autorise pas l'ouverture des travaux d'exploration qui font l'objet d'une procédure distincte. Le PER-M est délivré par le ministre chargé des mines au demandeur qui a notamment justifié de ses capacités techniques et financières. Les procédures sont réglementées par le décret n° 2006-648 du 2 juin 2006 relatif aux titres miniers et aux titres de stockage souterrain.
Pneumatolytique	Cet adjectif désigne tout événement survenant à la fin de la cristallisation d'un magma, entre 374 et 600 °C. Les fluides expulsés lors de cette étape, appelée pneumatolyse, concentrent l'essentiel des gaz et des métaux rares du magma (B, Be, F, Li, La, Ce, Nb, Sn, etc.), qui s'expriment sous forme de minéraux dits pneumatolytiques (béryl, tourmaline, topaze, cassitérite, phosphates de terres rares, lépidolite, etc.) dans des pegmatites, des greisens ou des filons pneumatolytiques, souvent situés dans des fractures en périphérie du granite générateur. Le stade hydrothermal fait suite au stade pneumatolytique par baisse de température.
Porphyre	Un porphyre est un gisement métallique localisé dans une intrusion de granodiorite ou de monzogranite (habituellement porphyrique, d'où son nom) appartenant à des chaînes montagneuses récentes associées aux zones de subduction. Selon le métal dominant, on parle de porphyre cuprifère, de porphyre à molybdène, de porphyres à or, etc. Les plus grands gisements de porphyres cuprifères se situent dans les chaînes circumpacifiques, dans les Andes (Chuquicamata et El Teniente au Chili) et les Rocheuses (Bingham, Utah). Les tonnages de ces gisements, exploités à ciel ouvert, se comptent par centaines de millions de tonnes de minerai, parfois bien davantage (10 milliards de tonnes à Chuquicamata, 4 milliards à Bingham). Les porphyres cuprifères constituent les plus grosses réserves mondiales de cuivre et assurent actuellement l'essentiel de l'approvisionnement en ce métal. Ils fournissent également des quantités importantes de molybdène et souvent d'or.
Ressources minérales indiquées	Mes ressources minérales indiquées (indicated mineral resources) présentent également un intérêt économique intrinsèque, mais leurs caractéristiques sont connues avec un degré de certitude moins élevé que celui des ressources minérales mesurées. La fiabilité est cependant plus élevée qu'en ce qui concerne les ressources minérales inférées.
Ressources minérales inférées (ou présumées)	Les ressources minérales inférées (ou présumées) (inferred mineral resources) sont celles qui présentent un intérêt économique intrinsèque, mais avec un degré de certitude limité, et un faible degré de confiance. Elles ne sont que des espérances dont la probabilité de devenir des ressources mesurées est faible.
Ressources minérales mesurées	Les ressources minérales mesurées (measured mineral resources) sont celles qui présentent un intérêt économique intrinsèque, et dont on connaît, avec un haut degré de certitude, le tonnage, la densité, la forme, les caractéristiques physiques, la qualité, la teneur et la continuité.
Scheelite	Tungstate de calcium de composition générale CaWO_4
Skarn	Un skarn est une roche formée par le métamorphisme de roches carbonatées au contact d'intrusions de roches grenues (granites, syénites, diorites ou gabbros). L'intrusion apporte un certain nombre d'éléments (Si, Al, Fe), qui se combinent à ceux de la roche carbonatée pour former une grande variété de minéraux, notamment des silicates calciques par métagénèse. Les masses de skarn comportent fréquemment des niveaux monominéraux (grenatites par exemple) et peuvent renfermer des concentrations exploitables (Fe, Cu, Mo, W, etc.).

Stockwerk	Ce mot d'origine allemande, désigne un réseau dense de filonnets s'entrecroisant dans toutes les directions. En anglais, on emploie le terme de stockwork. Bien que ce mot ne porte aucune signification minéralogique ou pétrologique, les stockwerks sont généralement composés de filonnets de quartz à sulfures, avec de la tourmaline et/ou des carbonates.
Teneurs de coupure	L'extraction minière doit procéder à un tri en fonction d'une teneur au-dessus de laquelle le produit abattu sera considéré comme minerais et envoyé à l'usine de traitement, et en dessous de laquelle le produit sera considéré (parfois momentanément) comme stérile. Cette teneur critique est la teneur de coupure. Le tonnage exploité, c'est-à-dire la taille du gisement est fonction de la teneur de coupure : plus elle est élevée, plus le tonnage extrait sera faible.
Variogramme	Le variogramme est une fonction mathématique utilisée en géostatistique, en particulier pour le krigeage. On parle également de semivariogramme, de par le facteur ½ de sa définition.
Wolframite	Tungstate mixte de manganèse et de fer de composition générale (Fe,Mn,Mg)WO ₄ . Le terme Wolfram désigne initialement le tungstène en allemand, et explique son symbole chimique. La wolframite n'est pas une espèce mais un groupe minéral formant une série dont les termes extrêmes sont : - la ferbérite, FeWO₄, pôle ferreux - la hübnérite, MnWO₄, pôle manganique
Wollastonite	La wollastonite est une espèce minérale du groupe des silicates sous-groupe des inosilicates de la famille des pyroxénoïdes de formule CaSiO ₃ avec des traces : Al, Fe, Mn, Mg, Na, K, H ₂ O, S.

Table des matières

PREAMBULE	1
GLOSSAIRE	3
1. CONTEXTE GEOLOGIQUE DU PERM DE FUMADE	10
1.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL	10
1.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE LOCAL	12
1.2.1 La « Série noire »	12
1.2.2 Les granitoïdes du Sidobre et le métamorphisme associé	16
1.3 CONTEXTE STRUCTURAL	19
2. HISTORIQUE DES TRAVAUX D'EXPLORATION	23
2.1 TRAVAUX MENES PAR LE BRGM (1968-78)	23
2.2 TRAVAUX MENES PAR ELF-AQUITAINE (1980-85)	25
2.3 BILAN DES TRAVAUX D'EXPLORATION.....	27
2.4 REEVALUATION DES RESSOURCES PAR LE BRGM (2013).....	29
2.4.1 Réévaluation pour « Fumade profond »	30
2.4.2 Réévaluation pour « la Fédial »	30
2.4.3 Réévaluation pour « Fumade superficiel »	30
2.4.4 Bilan de la réévaluation du gîte	31
3. CONTEXTE GITOLOGIQUE	33
3.1 GITOLOGIE DE « FUMADE PROFOND »	33
3.2 GITOLOGIE DE « LA FÉDIAL »	33
3.3 GITOLOGIE DE « FUMADE SUPERFICIEL »	36
4. CONTEXTE METALLOGENIQUE.....	38
4.1 GENERALITES SUR LES RESSOURCES MINERALES EN TUNGSTENE	38
4.2 METALLOGENIE DES SKARNS A TUNGSTENE DE LA MONTAGNE NOIRE.....	39
4.2.1 Formation des skarns	41
4.2.2 Skarns minéralisés en tungstène de Fumade - « la Fédial »	41
5. JUSTIFICATION DE LA DEMANDE DE PERM	44
5.1 CHOIX DU TUNGSTENE, METAL STRATEGIQUE AU MULTIPLES APPLICATIONS	44
5.1.1 Propriétés et usages du tungstène.....	44
5.1.2 Procédés de production du tungstène.....	46
5.1.3 Recyclage du tungstène	47
5.1.4 La filière tungstène en France	49
5.1.5 Criticité du tungstène.....	50
5.2 CHOIX DE LA CIBLE DE FUMADE - « LA FÉDIAL »	52
5.2.1 Un gîte avéré déjà identifié	52
5.2.2 Une cible prospective jugée prioritaire à l'échelle nationale	52
5.2.3 Recommandations des études menées par le passé.....	55
5.3 CHOIX DES AUTRES SUBSTANCES DE LA DEMANDE	57
5.4 CHOIX DE L'EMPRISE SOLLICITEE.....	57
5.5 CHOIX DE LA DUREE SOLLICITEE.....	58

6. SURFACE DEMANDEE, LOCALISATION ET ACCES	59
7. PROGRAMME GENERAL DES TRAVAUX PROJETES	61
7.1 PHASE 1 : DETERMINATION DES RESSOURCES « INFEREES » OU PRESUMEEES.....	61
7.2 PHASE 2 : DETERMINATION DES RESSOURCES « INDIQUEES ».....	64
7.3 PHASE 3 : ETUDE DE PRE-FAISABILITE.....	65
7.4 PHASE 4 : DETERMINATION DES RESSOURCES « MESUREES »	66
7.5 PHASE 5 : ETUDE DE FAISABILITE	68
7.6 PHASE 6 : RECHERCHE DE NOUVELLES RESSOURCES	68
7.7 PHASE 7 : ETUDES ENVIRONNEMENTALES.....	70
7.8 CALENDRIER ET BUDGET PREVISIONNEL DES TRAVAUX PROJETES	71
8. CONCLUSION	74
ANNEXES	75

Table des illustrations

Figure 1 : Contexte géologique régional.....	11
Figure 2 : Emplacement du PERM sollicité sur fond de carte géologique	13
Figure 3 : Unités composant le Versant Nord de la Montagne Noire.....	14
Figure 4 : Colonne lithostratigraphique au niveau du lieu-dit « la Fédial »	15
Figure 5 : Coupes géologiques au droit du PERM sollicité.....	18
Figure 6 : Carte structurale générale du Nord de la Montagne Noire	20
Figure 7 : Principaux gisements métalliques de la province métallogénique de la Montagne Noire	24
Figure 9 : Comparaison entre les 3 cibles étudiées (ressources « inférées » ou présumées de 2013) et des gisements mondiaux connus de type skarns à scheelite.....	32
Figure 10 : Corps minéralisés de la cible de "« Fumade profond »".....	34
Figure 11 : Corps minéralisés de la cible de "« la Fédial »".....	35
Figure 12 : Représentation conceptuelle des recoupes minéralisées de la cible de « Fumade superficiel »	37
Figure 13 : Principaux gisements de tungstène dans le monde	40
Figure 14 : Schéma illustrant la diversité morphologique des skarns.....	42
Figure 15 : Illustration de quelques applications du tungstène dans l'industrie et au quotidien.....	45
Figure 16 : Schéma simplifié de production de paratungstate d'ammonium	48
Figure 17 : Sites favorables aux travaux de prospection dans la Montagne Noire	54
Figure 18 : Emplacement du PERM sollicité sur fond de carte IGN	60
Figure 19 : Secteurs des travaux d'exploration	62
Figure 20 : La mine de tungstène de Mittersill, un exemple d'intégration environnementale et industrielle	67

Table des annexes

Annexe 1 : Fiche de criticité de la ressource en tungstène, Version 2 (BRGM, juillet 2017)
Annexe 2 : Fiche de sujet minier FRA-00249, Fumade (BRGM, décembre 2013)

1. CONTEXTE GEOLOGIQUE DU PERM DE FUMADE

La description des contextes géologique, gîtologique et métallogénique dans le présent chapitre et les suivants s'appuie principalement sur les sources bibliographiques ci-après :

- Etude pilote d'une cible minière en métropole : le gisement de tungstène de Fumade (Tarn) (BRGM, décembre 2013)
- Le district à tungstène de la Montagne Noire (BRGM, mars 2016)
- Carte Géologique de la France à 1 / 50 000, n°986, Castres et sa Notice (BRGM, 2013)
- Base de données en ligne Infoterre (BRGM)
- Dictionnaire de Géologie, 6^{ème} édition (2005, A. FOUCAULT, J-F. RAOULT)

1.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

Le projet est localisé au sein de la région géologique dite de la **Montagne Noire**, qui correspond à l'extrémité Sud du Massif Central [Cf. Figure 1]. Ce dernier a été formé lors de l'orogénèse hercynienne (ou varisque), qui s'est étendue à la fin de l'ère paléozoïque, du Dévonien inférieur à la fin du Permien (approximativement entre -400 et -290 Ma).

La Montagne Noire est ainsi essentiellement composée de **terrains métamorphiques âgés du Néoprotérozoïque supérieur au Paléozoïque inférieur, recoupés par des intrusions granitiques**.

Cette région géologique peut être décomposée selon 3 domaines principaux allongés selon une direction Est-Nord-Est / Ouest-Sud-Ouest qui sont, du Nord au Sud [Cf. Figure 1] :

- le Versant Nord ;
- la Zone Axiale ;
- le Versant Sud.

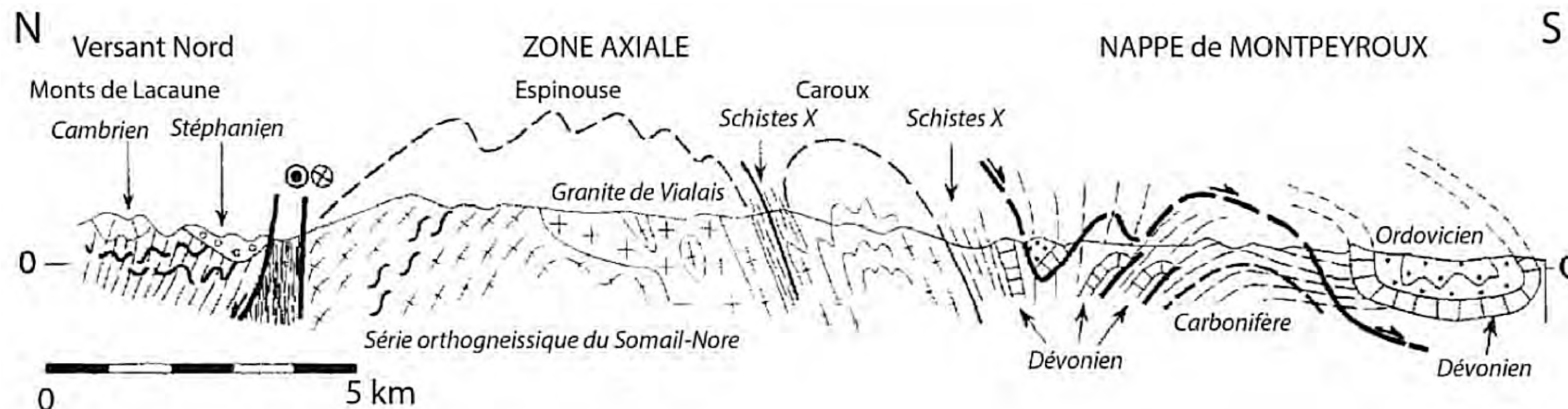
L'emprise de la demande se trouve **au niveau du Versant Nord** de la Montagne Noire. Ce domaine est constitué par des écailles paléozoïques déversées vers le Sud-Est, formant les **Monts de Lacau**. Cet ensemble est recouvert au Nord-Ouest par les nappes métamorphiques de l'Albigeois, elles-mêmes étant finalement recouvertes au Nord par la nappe de Saint-Sernin-sur-Rance. La lithologie y est dominée par les **carbonates**, les **alternances grés-carbonatées** et les **schistes**, datés du **Cambrien inférieur**.

A proximité du projet, les écailles de Lacau sont recoupées par une importante intrusion plutonique, le **granite du Sidobre** [Cf. Figure 1].

Au Sud du Versant Nord, la Zone Axiale est un antiformal complexe majoritairement composé de roches de haut degré métamorphique (orthogneiss, migmatites, micaschistes) et de granites intrusifs. Les roches formant le Versant Sud sont similaires à celles du Versant Nord.

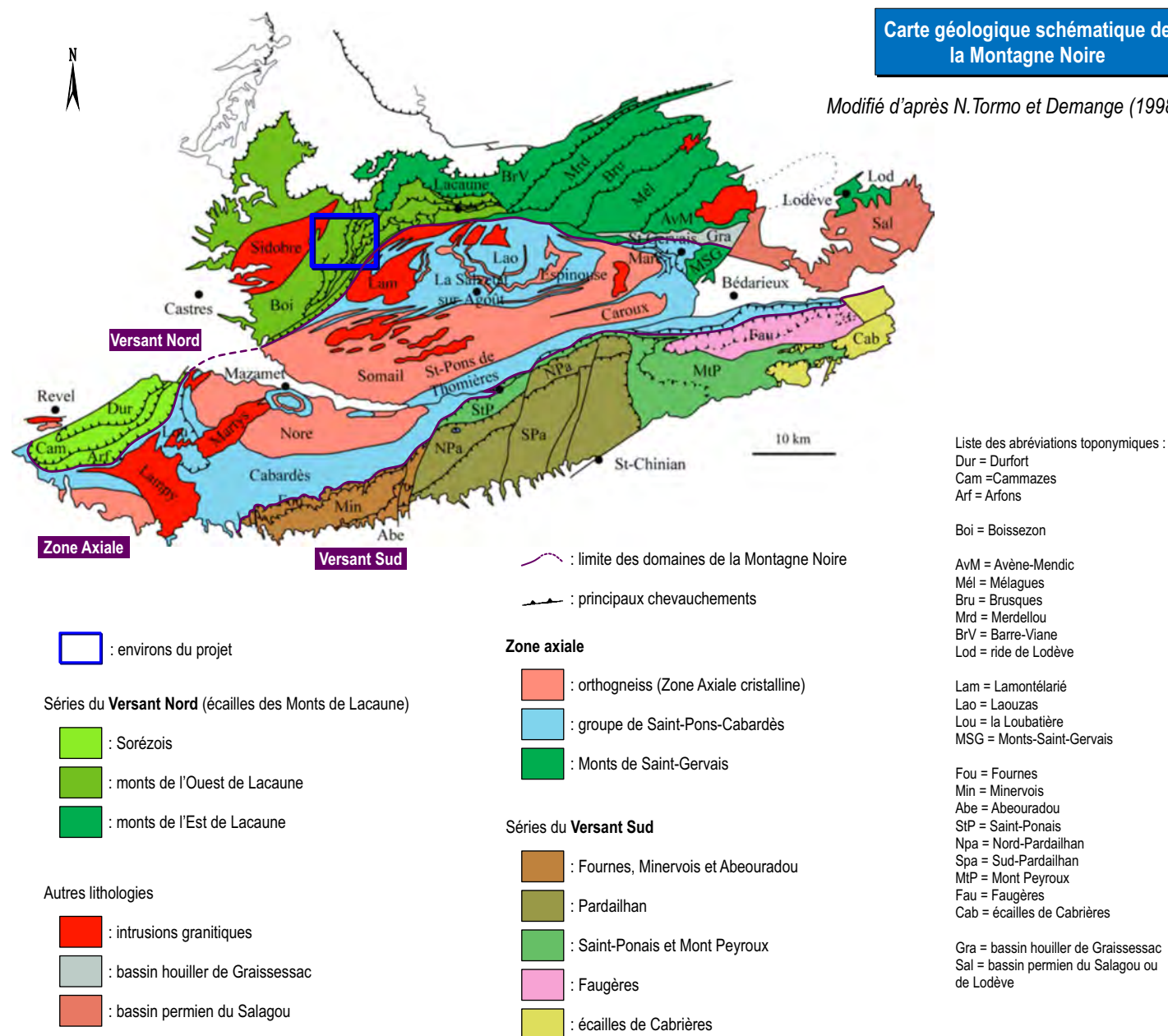
Coupe géologique schématique de la Montagne Noire

BRGM, 2016
(modifié d'après Matte et al., 1998)

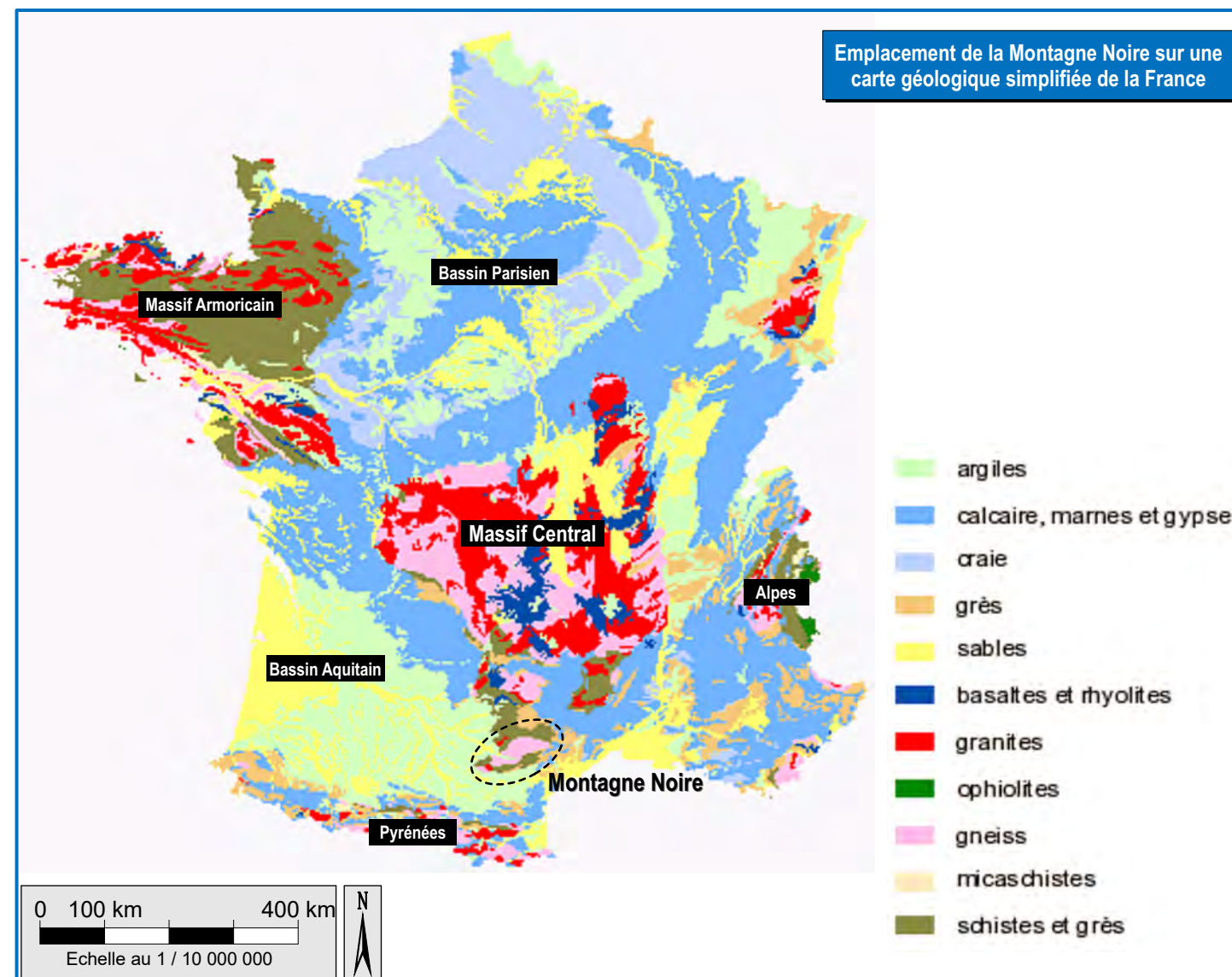


Carte géologique schématique de la Montagne Noire

Modifié d'après N.Tormo et Demange (1998)



Emplacement de la Montagne Noire sur une carte géologique simplifiée de la France



TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS - Demande de PERM de la Fabrié
Commune de Fontrieu

Tome 2 : Mémoire Technique et Programme des Travaux

Contexte géologique régional

Sources : BRGM (2016), N. TORMO ET DEMANGE

Figure 1

1.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE LOCAL

L'emprise de la demande est représentée sur fond de carte géologique au 1 / 50 000 en [Figure 2](#). Le site se trouve au niveau de la limite orientale de la carte n°986 « Castres », la carte immédiatement à l'Est étant celle de « Lacaune » (n°987).

Etant particulièrement complexe, le contexte géologique local est ici présenté de manière synthétique, comme une introduction à la compréhension de la gîtologie et de la métallogénie qui justifient la présente demande de PERM.

1.2.1 La « Série noire »

Dans ce secteur, les terrains sont caractérisés par l'affleurement, selon un découpage structural complexe, de **terrains datant du Cambrien inférieur** assemblés en « écaillés » chevauchantes, formant les reliefs des Monts de Lacaune.

Les affleurements sont regroupés d'après leur âge et leur lithologie selon des unités présentant un allongement globalement Nord-Est / Sud-Ouest. Ces subdivisions ne traduisent que partiellement les importantes variations latérales de faciès, dont la complexité est telle qu'il existe des variations au sein même des unités. Ainsi, des formations localement superposées peuvent être retrouvées en équivalents latéraux à un autre endroit.

Le PERM sollicité se trouve au niveau des unités suivantes, du Nord-Ouest vers le Sud-Est [[Cf. Figure 3](#)] :

- unités de Boissezon-Fumade ;
- unité de Fontbelle ;
- unité du Causse - Moulin - Paradou.

Les terrains affleurants correspondants sont majoritairement associés à la **Série noire**, composée de **pélites**, de **grès** et, dans une moindre mesure, de **carbonates**. L'environnement de dépôt originel de ces formations reste méconnu, pouvant être associé à un milieu marin peu profond (lagune, plateforme) ou au talus continental.

Les lithologies composant la Série noire sont décrites ci-après, selon la Notice de la [Carte Géologique au 1 / 50 000 n°986 - Castres](#) (BRGM, 2013). Une colonne lithostratigraphique établie au niveau du lieu-dit « la Fédial » est présentée en [Figure 4](#).

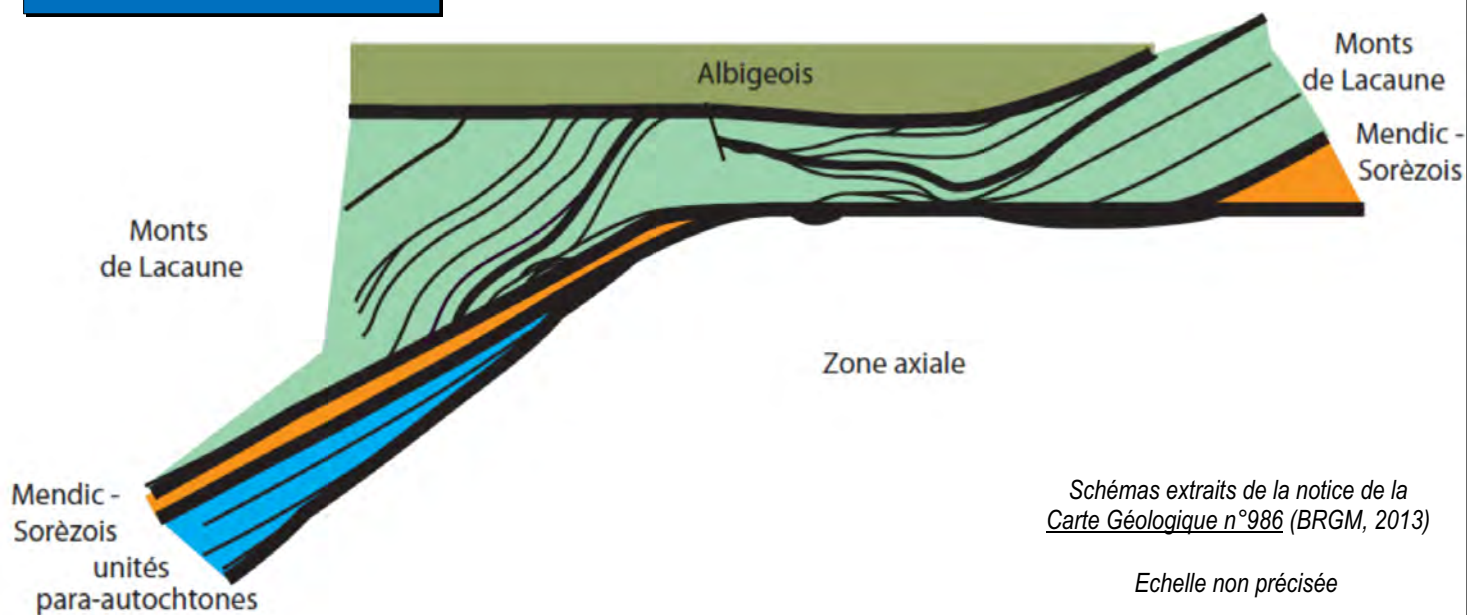
k₂₆GS : Grès supérieurs - c : calcaires

Dans le Nord-Ouest des unités de Boissezon-Fumade, la fin de la Série noire est marquée par des niveaux décamétriques de grès quartzitiques alternant avec des niveaux décamétriques de pélite noire. Le sommet de la série est constitué par un niveau de plusieurs dizaines de mètres de pélite noire.

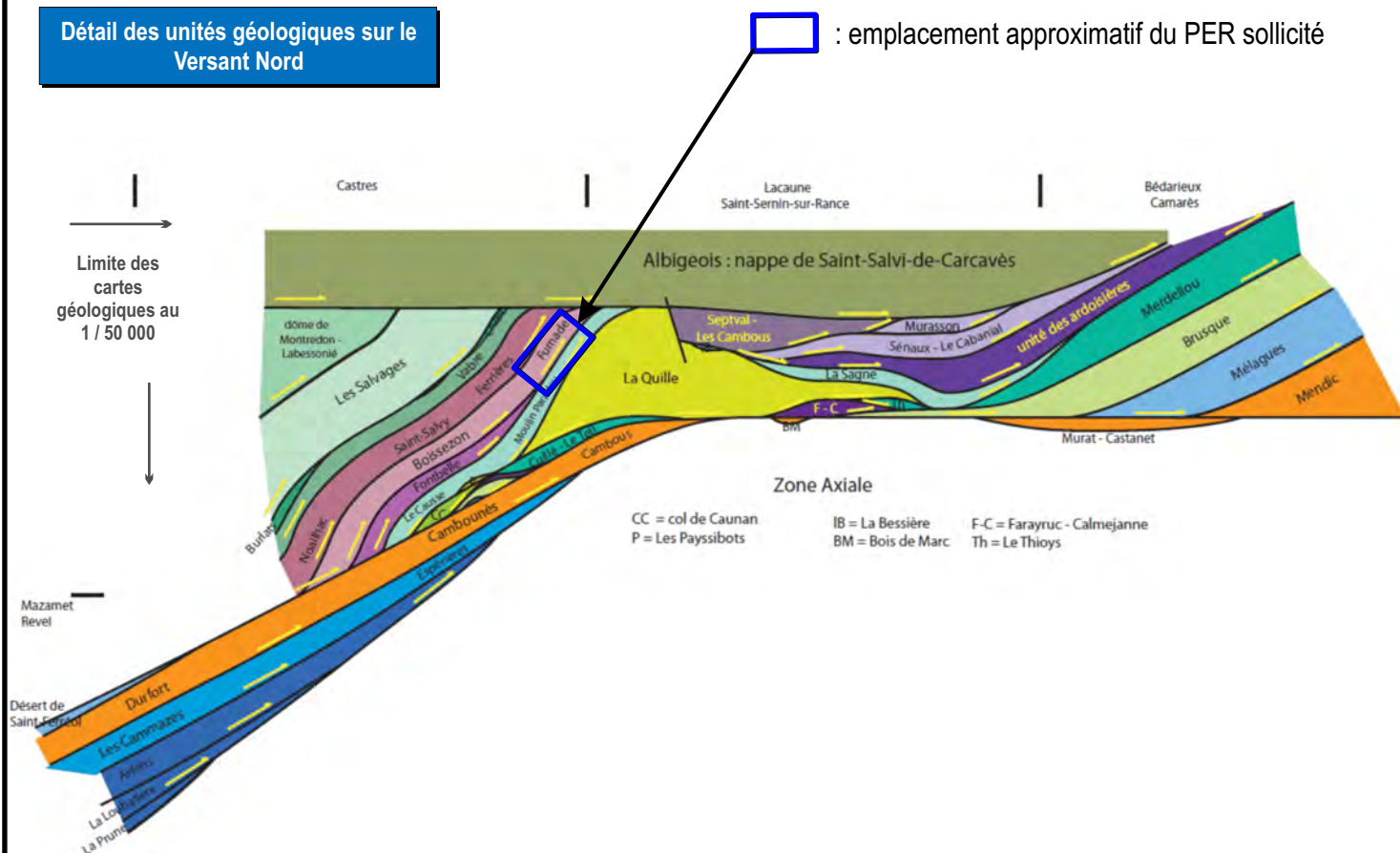
Dans le Sud de ces unités, le sommet de la série est plutôt marqué par des grès impurs, micacés, à éléments de feldspaths, en bancs métriques et à débit de schiste noir.

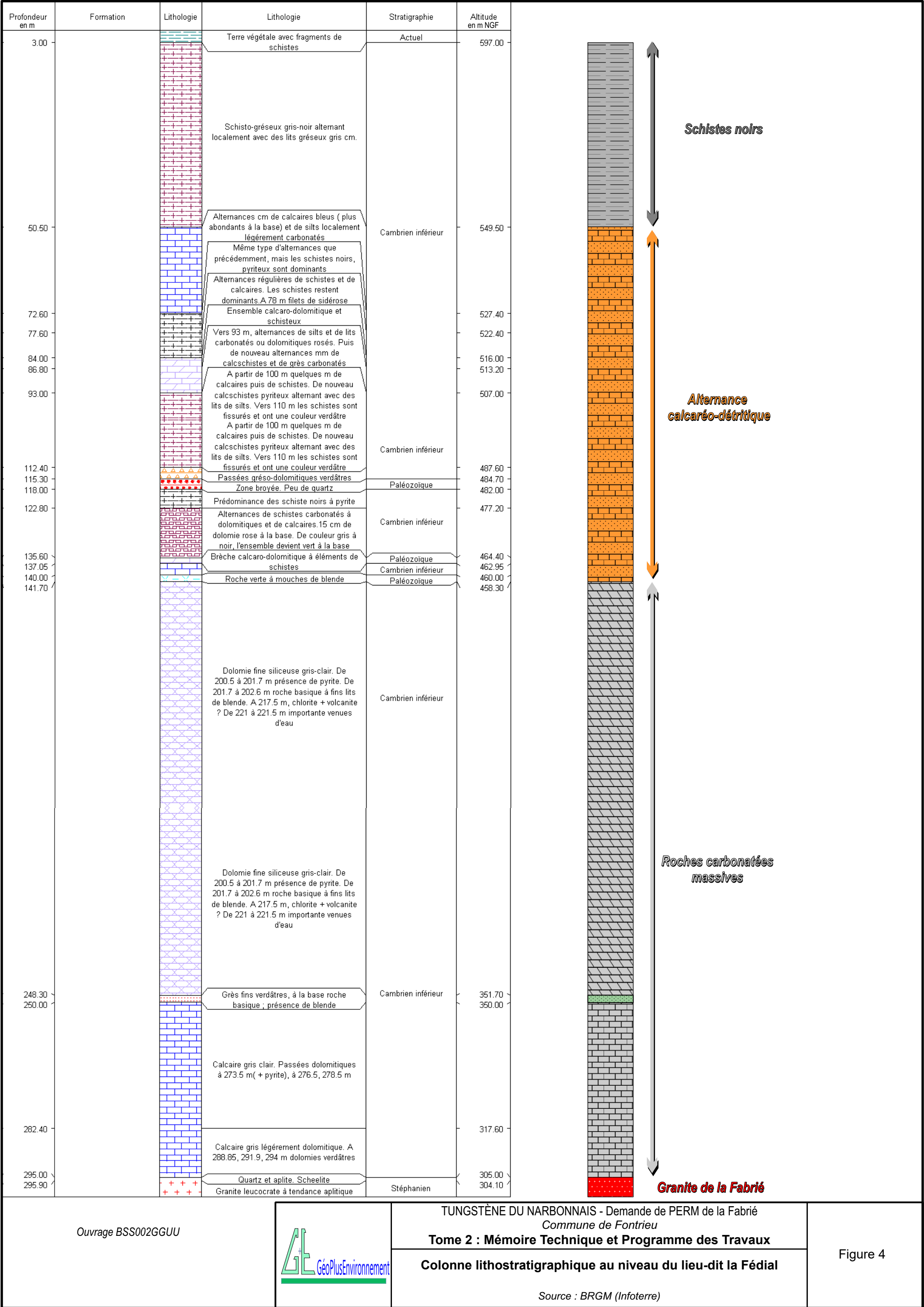
L'épaisseur de cette formation varie considérablement, pouvant dépasser 50 m ou être localement totalement absente.

Schéma représentant les ensembles formant le Versant Nord



Détail des unités géologiques sur le Versant Nord





k_{2b}S : Formation pélitique noire

Cette formation constituée de schistes noirs ampéliteux et pyriteux à nodules de phosphates représente l'essentiel de la Série noire, et est souvent désignée sous la simple appellation de « **schistes noirs** ». Ces derniers ont subi 2 types d'altération :

- un blanchiment d'origine hydrothermale ;
- une altération pédogénique ayant entraîné la formation de schistes jaunes à rougeâtres.

Les nodules phosphatés sont constitués de quartz, de séricite et d'apatite. Ils présentent une forme elliptique et une taille variant du millimètre au centimètre. Ils sont particulièrement abondants sous la forme de niveaux métriques dans le secteur du Fumade.

A la base, la formation est caractérisée par des lamines grésopélitiques centimétriques à décimétriques.

Les schistes noirs ont localement été exploités pour la production d'ardoise.

k_{2b}G : Formation grésopélitique sombre - c : calcaires

Cette formation est constituée, sur environ 20 m d'épaisseur, par une alternance de schistes noirs et de grès sombres plus ou moins quartzitiques. Elle est très développée dans l'unité de Ferrière-Noaihlac tandis que les grès se raréfient vers le Sud.

k_{2b}C : Formation à niveaux calcaires de Fumade

Cette formation peut être retrouvée soit sous la formation précédente grésopélitique sombre, soit en équivalent latéral. Elle est mieux connue en raison de son **potentiel gîtologique**.

Elle est constituée, du sommet vers la base, des lithologies suivantes :

- environ 100 m de **schistes noirs à bancs de calcaire** et de **calcschistes**, couronnés par un niveau de 30 à 50 m de calcschiste ;
- environ 150 m d'**alternance calcaréo-silteuse** comprenant un niveau de 30 à 50 m de **calcaires rubanés** à intercalations pélitiques ;
- une alternance calcaréo-argileuse.

Dans l'unité de Fumade, les sondages ont montré que **les niveaux calcaires disparaissent vers le Sud**, par variation latérale de faciès.

1.2.2 Les granitoïdes du Sidobre et le métamorphisme associé

Le **massif granitique du Sidobre** affleure selon une ellipse d'environ 15 km de longueur pour une largeur maximale de moins de 8 km, soit une superficie d'environ 105 km². Selon les datations, les intrusions remonteraient à **approximativement -315 à -220 Ma**, soit de la fin du Carbonifère au Trias supérieur (mise en place tardi-hercynienne), **recoupant ainsi les formations paléozoïques antérieures**.

Au centre de l'intrusion se retrouve un ensemble de 3 variétés granodiorites regroupé sous l'appellation de « **granite bleu** ». La Granodiorite bleue (symbole sur la carte γ^4_b) affleure surtout dans le Sud-Ouest du massif. Elle est composée de quartz, de biotite, de plagioclase et de mégacristaux d'orthose (feldspath potassique). La Granodiorite grise (γ^4_g), d'une composition minéralogique similaire, est la plus retrouvée à l'affleurement. La granodiorite gris-bleu (γ^4_{gb}) est un faciès de transition entre les 2 précédentes.

En périphérie de l'intrusion se retrouve un ensemble de monzogranites clairs regroupés sous l'appellation de « **granite blanc** ». Le Monzogranite blanc porphyroïde (γ^3_p) est un granite à grain moyen constitué de quartz, de plagioclase, de biotite et de rare muscovite comportant des macrocristaux d'orthose. Le Monzogranite blanc non porphyroïde (γ^3) présente une plus grande teneur en orthose le caractère porphyroïde est absent.

Immédiatement au Nord-Ouest du périmètre de demande affleure un petit massif plutonique, le **granite de la Fabrié [Cf. Figure 2]**. Ce massif est composé d'un granite à biotite dans sa partie centrale et d'un granite à muscovite et grenat dans sa périphérie, où il dessine des **lames intrudées dans les schistes cambriens**. Cette intrusion est en relation avec le pluton plus important du Sidobre [Cf. Figure 5], et a ainsi **recoupé les formations de la Série noire et des carbonates sous-jacents**.

Au niveau de Fumade, les sondages ont montré la présence, sous les niveaux cambriens, de **niveaux métriques à décamétriques où sont associés divers faciès granitiques** (granite à biotite blanc, granite de la Fabrié, aplite, microgranite, pegmatite, granophyre...). **Guidée par la schistosité**, l'intrusion s'y présente sous la **forme de lames et de filons**.

L'intrusion de ce pluton chaud a entraîné un **important métamorphisme thermique de contact** au sein des terrains encaissants (620 à 700°C), menant à la formation de 3 types principaux de roches :

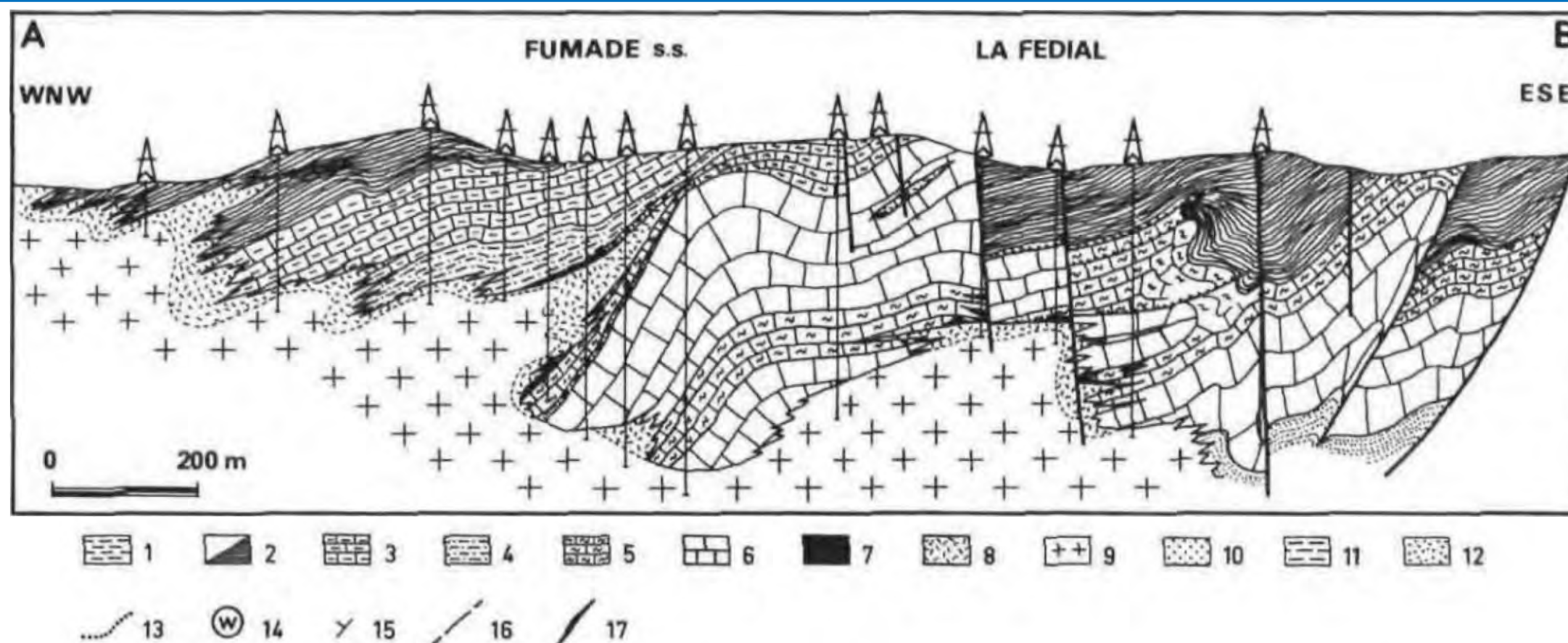
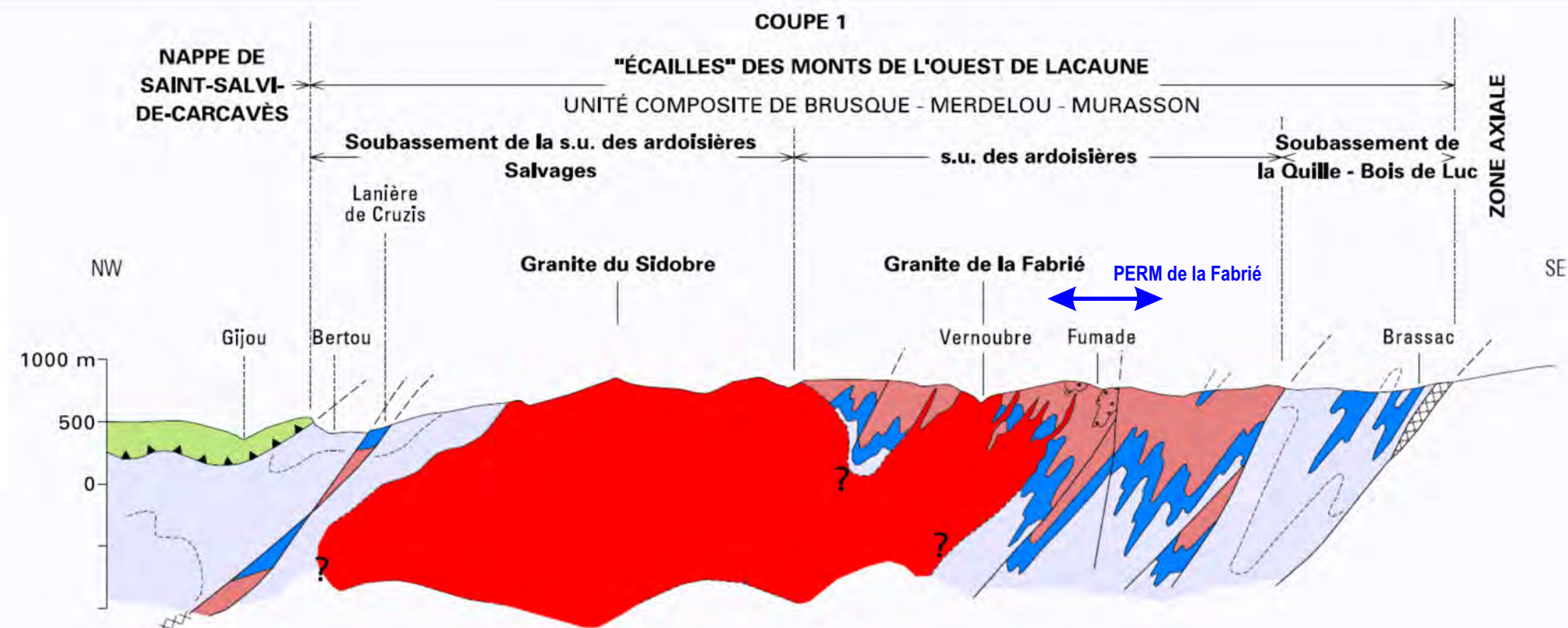
- des cornéennes, à partir des formations schisto-gréseuses ;
- des schistes tachetés, également à partir des formations schisto-gréseuses ;
- des skarns, à partir des formations schisto-gréso-carbonatées et des carbonates.

Les cornéennes constituent l'auréole de métamorphisme la plus proche du massif (chaleur la plus intense), formant une bande d'environ 600 m de largeur. Il s'agit de roches massives, dures, homogènes, présentant une teinte sombre et dont la composition dépend de la nature de la roche métamorphisée.

Les schistes tachetés forment grossièrement une auréole externe autour de la cornéenne. Il s'agit majoritairement de schistes à andalousite présentant de petites taches noires. Leur minéralogie inclut également notamment biotite, muscovite, plagioclase et hornblende.

Coupe géologique au niveau du
Versant Nord de la Montagne Noire

- O1M Série schisto-géseuse verte
 - Formation quartzitique du Moulin / Mont-Roc
 - Formation des schistes homogènes du Masnau-Massugiès / Rayssac
- K2b - Série pélito-gréso-carbonatée noire à nodules phosphatés
(1 - Grès clairs ou bruns, micacés à interlits de pélites noires ou grises)
- K2a - Formation carbonatée massive
- K1 - Formation gréso-pélitique grise (faciès "Marcory")
- Granite du Sidobre



Coupe géologique locale au niveau
de Fumade - la Fédial

- 1 : Série verte schisto-gréseuse ($K_{2.3}$);
 - 2 : Schistes noirs (K_{2b3}) - en traits serrés sur la fig. 4;
 - 3 : Alternances calcaréo-argileuses supérieures (K_{2b2});
 - 4 : Alternances calcaréo-silteuses (K_{2b1}) - voir fig. 4;
 - 5 : Alternances calcaréo-argileuses inférieures (K_{2b1});
 - 6 : Dolomies (K_{2a});
 - 7 : Zones minéralisées (skarns stratiformes) - voir fig. 4;
 - 8 : Aplite;
 - 9 : Granite à biotite et quartz globulaire - voir fig. 4;
 - 10 : Grès verts à lentilles carbonatées;
 - 11 : Calcaires rubanés;
 - 12 : Grès micacés sombres;
 - 13 : Tracé de l'enveloppe des minéralisations;
 - 14 : Indices de surface;
 - 15 : Pendage des couches avec valeur en degrés
 - 16 : Failles ou accidents;
 - 17 : Contact anormal
- Ensembles 1 à 7 : Unité de Saint-Salvy
- Ensembles 10 à 12 : Unité de Cambounès-Lacaune.

Emplacement des traits de coupe :
Coupe du haut = Coupe 1 sur la carte géologique structurale, Figure 6
Coupe du bas = Coupe A-B sur la carte du PERM sur fond géologique, Figure 2



TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS - Demande de PERM de la Fabrié
Commune de Fontrieu
Tome 2 : Mémoire Technique et Programme des Travaux
Coupes géologiques au droit du PERM sollicité

Sources : BRGM (2013-2016)

Figure 5

Au Sud du Sidobre, **les formations carbonatées ont été métamorphisées en skarns** de réaction (à idocrase, diopside et grossulaire) et en skarns à trémolite, talc et actinote.

Un skarn est une roche métamorphique issue de roches carbonatées magnésiennes (calcaire magnésien, dolomie) transformée au contact d'un granite intrusif. Les phénomènes métamorphiques impliqués sont généralement la métasomatose (modification de la composition chimique par enrichissement en silicium, en fer, en aluminium...) et la pneumatolyse (influence de fluides enrichis en chlore, fluor, bore...).

Leur texture est largement grenue, présentant souvent de gros cristaux centimétriques. La composition minéralogique est potentiellement très diverse, incluant grenat rose (grossulaire, andradite), pyroxène (diopside), phlogopite, forstérite, humite, périclase, spinelle, scapolite, idocrase, wollastonite, magnétite, molybdénite, **scheelite** [CaWO_4]... Cependant, les skarns sont souvent zonés, présentant des niveaux monominéraux ou ne comportant que 2 ou 3 minéraux différents. **Dans le cas d'un enrichissement en scheelite**, un skarn peut ainsi représenter un **gîte de tungstène**.

⇒ **C'est donc à ces formations métamorphiques de skarns qu'est associé le potentiel en tungstène de cette région.**

1.3 CONTEXTE STRUCTURAL

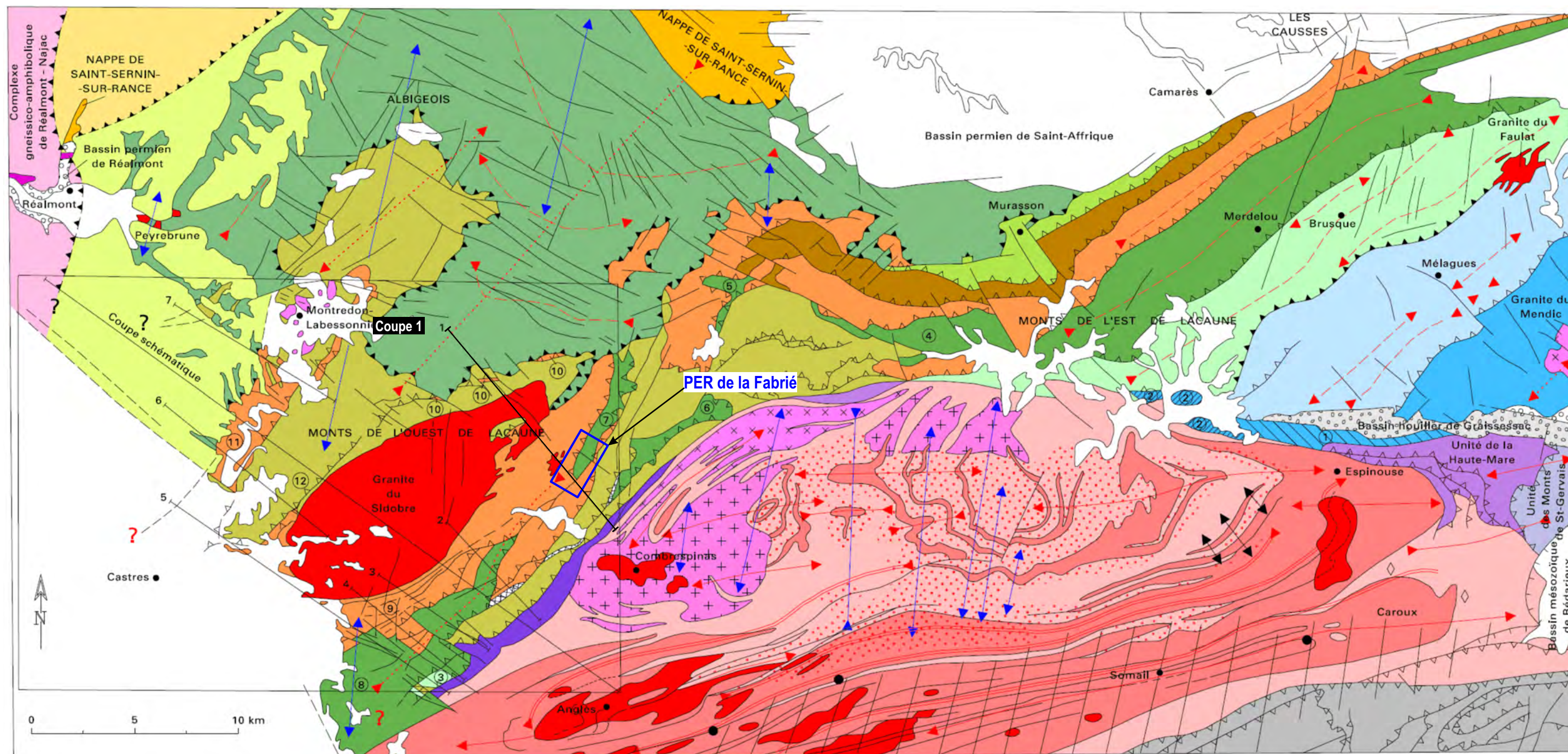
Une carte générale du Nord de la Montagne Noire est présentée en **Figure 6**, traduisant la **complexité structurale** de ce **secteur largement remanié tout au long de l'orogénèse hercynienne**.

Le périmètre de la demande se trouve au niveau du Versant Nord de la Montagne Noire, dans un secteur où affleurent de **nombreuses écailles chevauchantes** correspondant aux « écailles de Lacaune », du nom d'une localité, et associées dans le relief aux monts de Lacaune. Plus précisément, le PERM sollicité fait partie des **monts de l'Ouest de Lacaune**.

La principale structure tectonique du secteur d'étude est la **faille des monts de Lacaune**, qui sépare le Versant Nord de la Zone Axiale de la Montagne Noire. Il s'agit d'un chevauchement majeur des terrains paléozoïques faiblement métamorphisés composant les écailles de Lacaune sur les terrains magmatiques et fortement métamorphisés de la Zone Axiale. Dans les environs de Fumade, cette faille présente globalement une **direction Nord-Est / Sud-Ouest**.

Au niveau des monts de Lacaune, au moment de la mise en place de la schistosité principale, les terrains ont subi des **plissements de diverses longueurs d'onde** (centimétriques à kilométriques) présentant une direction globalement Nord-Est / Sud-Ouest (N30-45) avec un plongement des plans axiaux de 30-40° vers le Nord-Ouest. Ces plis ont par la suite été repris et modifiés lors d'épisodes tectoniques de moindre importance.

Les plissements ont entraîné, au Sud-Est du Sidobre, une succession d'**anticlinaux faisant affleurer en leur cœur la Série noire cambrienne**.



Légende page suivante

Carte extraite de la Notice de la Carte Géologique au 1 / 50 000 n°986 (BRGM, édition de 2013)

Coupe 1 présentée en Figure 5 ci-avant

	TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS - Demande de PERM de la Fabrié <i>Commune de Fontrieu</i>		Figure 6
	Tome 2 : Mémoire Technique et Programme des Travaux		
	Carte structurale générale du Nord de la Montagne Noire <i>Source : BRGM (2013)</i>		

Légende de la carte structurale générale du Nord de la Montagne Noire

 : emplacement approximatif du PERM sollicité

FORMATIONS SÉDIMENTAIRES POST-OROGENIQUES VARISQUES

-  Formations post-stéphanien Indifférenciées
-  Stéphanien B et C (bassins de Graissessac et de Réalmont)

UNITÉS STRUCTURALES DES MONTS DE LACAUNE ET DE L'ALBIGEOIS IMPLIQUANT DES FORMATIONS D'ÂGE PRÉCAMBRIEN (?) À CAMBRO-SILURIEN (du Sud vers le Nord et de bas en haut)

• Monts de Lacune

GRANDE UNITÉ STRUCTURALE COMPOSITE D'AVÈNE-MENDIC / MÉLAGUES

-  Sous-unité d'Avène-Mendic. Rapportée à cette sous-unité, les lanières de Castanet (1) et de Murat (2)
-  Sous-unité de Mélagues

GRANDE UNITÉ STRUCTURALE COMPOSITE DE BRUSQUE - MERDELOU - MURASSON

-  Sous-unité de Brusque. Rapportée à cette sous-unité la lanière de puech Sarrays (3)
-  (a) sous-unité du Merdelou s.s. prolongée :
 - à l'Ouest par les lanières de La Sagne (4), Viane (5), le Teil (6), Bessèbes (7)
 - sur la feuille Castres, la sous-unité de Boissezon (8)
-  (b) soubassement lithostratigraphique de la Quille - Bois de Luc, prolongée sur la feuille Castres, sud du Sidobre jusqu'à Cambounès, au nord du Sidobre par le soubassement de Salvages (12)
-  (a) sous-unité de Senaux-Le Cabanès
-  (b) sous-unité des ardoisières prolongée sur la feuille Castres :
 - par la sous-unité de Malacan (9) (flanc inverse du soubassement de Salvages),
 - par la lanière de Vabra-Cruzils (10) et la lanière synclinal de Montredon-Labessonnié (11)
-  Sous-unité de Murasson

• Albigeois

-  Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès (1, sous couverture tertiaire)
-  Nappe de Saint-Sernin-sur-Rance (1, sous couverture tertiaire)
-  Complexe gneissico-amphibolique de Réalmont - Najac (1, sous couverture tertiaire)

UNITÉS STRUCTURALES DE LA ZONE AXIALE

-  Unité des monts Saint-Gervais
-  Unité de la Haute-Mare
-  Écailles du versant nord de la zone axiale, sur la feuille Castres, la lanière d'Espénières (13)
-  Orthogneiss du Somail - Nore
-  Paragneiss
-  Granite précoce du Montalet

UNITÉS STRUCTURALES DU VERSANT SUD DE LA MONTAGNE NOIRE IMPLIQUANT DES FORMATIONS D'ÂGE CAMBRO-NAMURIEN A

-  Nappes Indifférenciées

GRANITOÏDES

-  Granites post-tectoniques en massifs circonscrits : Payrebrune, Sidobre (> 313 Ma (K-Ar) : 281 ± 36 (Rb-Sr)), Faulat (304 ± 51 Ma (Rb-Sr)), Secun - Combréspinas (305 - 282 ± 11 Ma (Rb-Sr)), Soulié, (207 - 276 (Rb-Sr sur micas)), Haut-Vialais (327 ± 5 Ma (U-Pb)), Anglès, Les Martyrs (300 ± 34 Ma (Rb-Sr)), La Lampy (338 ± 32 (Rb-Sr)), Escoussens
-  Granite migmatitique du Laouzas (340 ± 22 Ma (Rb-Sr))
-  Granite du Mendic en voie d'orthogneissification (600 - 507 Ma)
-  Orthogneiss de Montedon - Labessonnié (717 ± 83 - 55 Ma)

ÉLÉMENTS STRUCTURAUX

-  Faille
-  Base de nappe et limite des grandes unités structurales (1), limites des sous-unités structurales (2)
 - Monts de Lacune, Albigeois, Rouetgue : orogénèse éohercynienne d'âge dévonien moyen-sup. (380 - 350 Ma)
 - Versant sud de la Montagne noire : orogénèse hercynienne d'âge namurien A
-  Zone broyée

Phase de plissements tardifs

MONTES DE LACAUNE

Phases de plissement d'âge carbonifère supérieur (Stéphanien)

-  1 Axe cartographique D5 (1) anticlinal, (2) synclinal
-  2
-  1 Axe cartographique D4 (1) anticlinal, (2) synclinal
-  2

ZONE AXIALE

-  1 Axe cartographique P7 - P7' (1) anticlinal, (2) synclinal
-  2
-  1 Axe cartographique P6 (1) anticlinal, (2) synclinal
-  2
-  Axe cartographique P5 (1) anticlinal
-  Phase P4 : verticalisation du versant sud du massif de l'Agout, du massif de Nore et d'une partie des bases de nappes

Phase de plissements précoces

MONTES DE LACAUNE

-  1 Axe cartographique D1 des plis couchés ou (structuration tectono-métamorphique D1-D2 éohercynienne)
-  2 (1) anticlinal, (2) synclinal

ZONE AXIALE

-  1 Axe cartographique des plis couchés P3 (1) anticlinal, (2) synclinal
-  2

MÉTAMORPHISME

-  Disthène
-  Éclogite
-  Limite de la carte de Castres à 1/50.000
-  Tracé des coupes géologiques

Les écaillés des Monts de Lacauze correspondent à de relativement petits blocs imbriqués, délimités par des failles chevauchantes de moindre importance, elles aussi suivant la direction générale NE / SW.

Enfin, le massif granitique du Sidobre affleure selon une forme elliptique allongée selon cette même direction.

En conclusion sur le contexte géologique, la demande de PERM est localisée sur le **Versant Nord de la Montagne Noire**, dans le Sud du Massif Central. Dans ce secteur, les terrains sont constitués par des formations sédimentaires cambriennes plus ou moins métamorphisées, dominées par les schistes, les grès et les carbonates. Ces formations sont communément regroupées sous l'appellation de « **Série noire** », notamment du fait de la présence d'un épais niveau de schistes noirs.

Ces terrains ont été largement recoupés par d'importantes intrusions plutoniques acides, notamment l'important **massif du Sidobre**, composé de granodiorites et de monzogranites, et plus localement le **granite de la Fabrié**.

Cet événement a entraîné un important **métamorphisme de contact**, ayant donné lieu à la formation de cornéennes, de schistes tachetés et de **skarns, dont les skarns à scheelite**.

Le sous-sol du PERM sollicité, constitué d'écaillés empilées de formation méta-sédimentaires anciennes, marquées par un découpage tectonique intense et recoupées par des intrusions plutoniques ayant suivi partiellement la schistosité et entraîné un thermo-métamorphisme zoné, est caractérisé par sa **grande complexité géologique**.

2. HISTORIQUE DES TRAVAUX D'EXPLORATION

La Montagne Noire constitue une **province minière majeure** à l'échelle du territoire français, qui a longtemps abrité plusieurs mines importantes pour la production de métaux de base, rares ou précieux. Le plus célèbre d'entre elles est certainement la mine de Salsigne, qui était pendant la seconde moitié du XX^{ème} siècle la mine d'or la plus importante d'Europe de l'Ouest.

Le **Tableau 1** ci-après fournit une synthèse de quelques chiffres de production cumulée pour la province minière, selon un historique publié par le BRGM en 2016. L'emplacement des principaux gisements connus est représenté en **Figure 7**.

Tableau 1 : Production minière de la Montagne Noire (BRGM, 2016)

Substance	Principaux sites de production	Production totale
Plomb-Zinc	Saint-Salvy (81), La Rabasse (34), Peyrebrune (81), La Loubatière (11), La Caunette (11), Villeneuve-Minervois (11), Brusque (12)...	600 000 t
Cuivre	Salsigne (11)	> 30 200 t
Arsenic	Salsigne (11)	397 000 t
Bismuth	Salsigne (11)	1 708 t
Barytine	Villeneuvette (34), Font d'Arques (34), Saint-Privat (34), Peyreblanque (81)	> 1 000 000 t
Germanium	Saint-Salvy (81)	500 t
Argent	Salsigne (11), Saint-Salvy (81), La Rabasse 34), Peyrebrune (81)	700 t
Or	Salsigne (11)	120 t
Tungstène	Montredon-Labessonnié (81)	700 t

Connue de longue date pour son potentiel métallifère, la Montagne Noire a logiquement fait l'objet de nombreuses campagnes de prospection, notamment dans le cadre de l'Inventaire Minier mené par le BRGM dans les années 70.

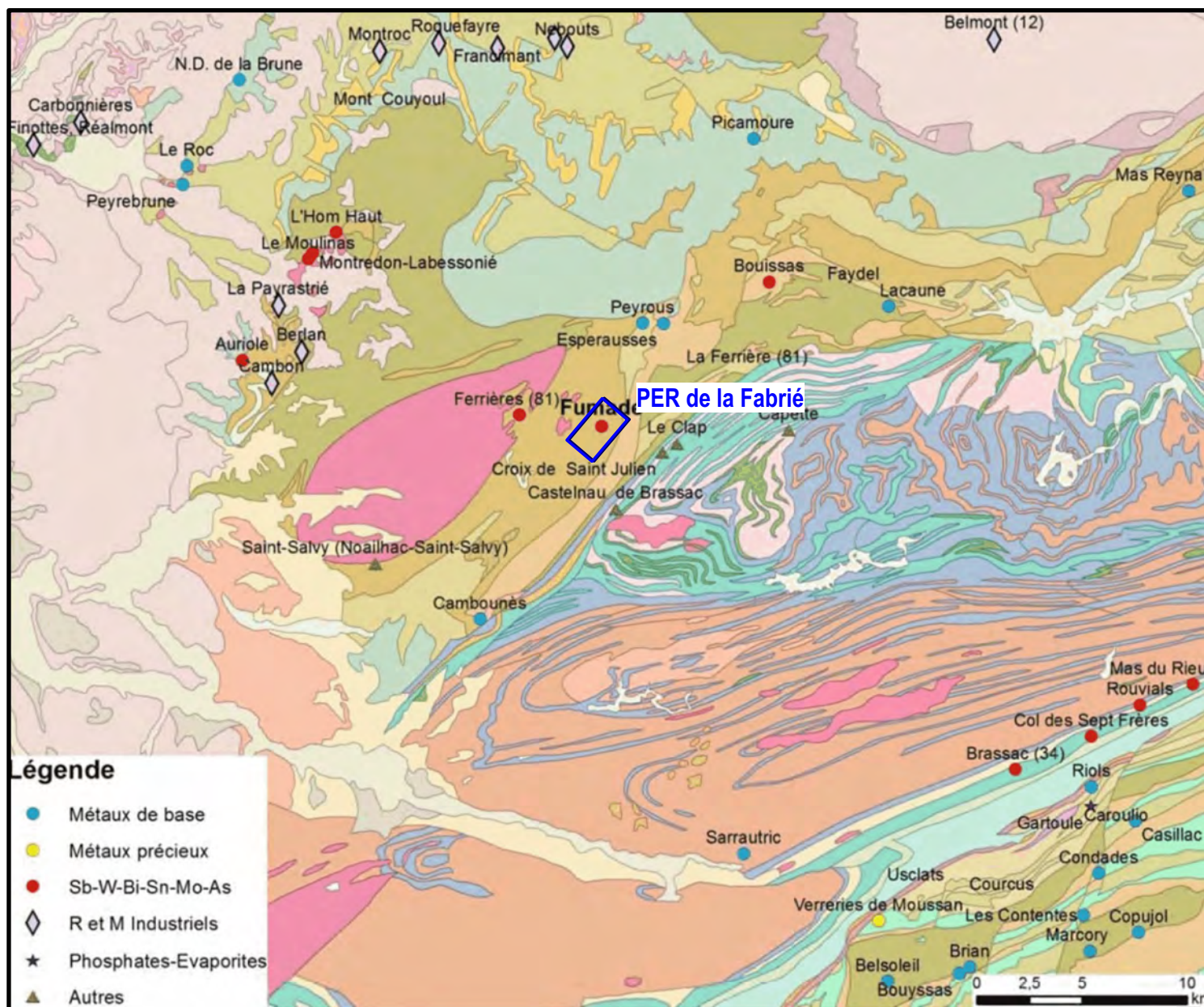
Les travaux décrits ci-après concernent les indices de tungstène connus au droit du PERM sollicité (Fumade, « la Fédial »)

2.1 TRAVAUX MENES PAR LE BRGM (1968-78)

- **1968**

Dans le cadre d'une campagne de prospection pour le plomb et le zinc, le BRGM a réalisé en 1968 **3 sondages carottés** dans le secteur de Fumade - La Fabrié qui ont fortuitement permis d'identifier, vers 300 m de profondeur, un niveau de dolomies verdâtres présentant des **indices de scheelite**, au contact avec le granite sous-jacent.

C'est donc à cette date qu'a été **découvert le potentiel en tungstène** de ce secteur.



Fond : carte géologique au 1 / 250 000 de Montpellier

TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS - Demande de PERM de la Fabrié

Commune de Fontrieu

Tome 2 : Mémoire Technique et Programme des Travaux

Principaux gisements métallique de la province métallogénique de la Montagne Noire

Source : BRGM (2013)

Figure 7

- **1975**

En 1975, dans le cadre de l'inventaire Minier, une **campagne de géochimie sols** a été réalisée selon une maille large de 500 m x 500 m sur ce même secteur. Ces travaux ont permis d'identifier une anomalie multi-éléments (plomb, zinc, argent, fer, cuivre, arsenic et tungstène) de 3 km x 2 km, incluant **3 indices à plus de 40 ppm W**.

- **1978**

En 1978, les travaux se poursuivent par une **nouvelle campagne de géochimie sols**, mais sur une maille plus resserrée (240 points avec une maille de 100 m x 200 m). A alors été identifiée une anomalie allongée entre Fumade et la Borio-Haute, sur environ 1 km², selon une direction WNW-ESE, comportant en son centre une **enveloppe à plus de 700 ppm W**.

Une **prospection** a été réalisée au marteau et à la lampe à ultraviolets, entre Fumade et « la Fédial », révélant un affleurement de dolomie à trémolite et de **skarns fissuraux localement porteurs d'une minéralisation de scheelite**.

6 tranchées sont alors creusées et échantillonnées par rainurage. Parmi elles, 4 présentent des **indices de tungstène associés à un skarn** à quartz, trémolite, idocrase, grenat et chlorite fortement altéré en faciès « vermiculé ». Les échantillonnages positifs ont montré les résultats suivants :

- 30 m à 0,54 % WO₃ ;
- 27 m à 0,27 % WO₃ ;
- 4,5 m à 0,20 % WO₃ ;
- 1 m à 0,94 % WO₃.

La prospection s'est poursuivie cette même année 1978 par la réalisation de **12 sondages carottés**, 10 sondages verticaux de 50 m de profondeur et 2 sondages verticaux plus profonds qui devaient atteindre le contact granitique sans y parvenir. 5 carottes échantillonnées ont montré des teneurs remarquables en tungstène :

- 6,5 m à 0,64 % WO₃ ;
- 2,0 m à 0,26 % WO₃ ;
- 1,5 m à 0,20 % WO₃ ;
- 0,60 m à 0,77 % WO₃ ;
- 4,7 m à 0,42 % WO₃ et 1,30 m à 1,0 % WO₃.

Le BRGM conclut à la **présence d'une cible de prospection intéressante pour le tungstène au niveau du secteur de Fumade - « la Fédial »**, associée aux carbonates fortement skarnifiés du Cambrien moyen. En 1979, le sujet est proposé à l'industrie par le Comité de l'Inventaire.

2.2 TRAVAUX MENES PAR ELF-AQUITAINE (1980-85)

En septembre 1980, la SOCIÉTÉ NATIONALE ELF-AQUITAINE (SNEA), plus tard SOCIÉTÉ NATIONALE ELF-AQUITAINE PRODUCTION (SNEAP), se voit attribuer un Permis Exclusif de Recherches (PER) de 12 km² sur le secteur de Fumade. Son emprise sera étendue vers le Nord-Est en 1983, pour atteindre 42,3 km².

- **1980**

Les travaux ont commencé en 1980 par une **campagne de géochimie** menant au prélèvement de 142 échantillons alluvionnaires pour des analyses multi-éléments.

- **1981**

L'année suivante, une importante **campagne de géochimie sols** est lancée selon une maille plus resserrée (50 m x 50 m), menant au prélèvement de **1 317 échantillons analysés pour le tungstène** et 676 analysés pour le plomb et le zinc.

Une **campagne de géophysique par magnétisme au sol** est également menée, sur 1 100 points, sans résultats probants.

1981 marque également le **début des campagnes de sondages** qui ont été progressivement menées sur **3 cibles** identifiées à partir des résultats précédents :

- « Fumade profond », ou « Fumade sens strict » ;
- « Fumade superficiel » ;
- « la Fédial ».

En 1981, seuls 3 sondages ont été réalisés au niveau de la cible de « Fumade profond », dont 1 menant à l'identification d'une minéralisation.

- **1982**

En 1982 des relevés géologiques sont menés pour la réalisation d'une **carte géologique** au 1 / 5 000 et une étude minéralogique des minéralisations de tungstène.

3 campagnes de géophysique ont été entreprises :

- la première de **Polarisation Provoquée** (PP), qui n'a donné aucun résultat probant,
- une autre de **Polarisation Spontanée** (PS), révélant les schistes noirs et les zones altérées ;
- enfin, des **sondages électriques** révélant les toits des formations résistantes.

La campagne de sondages au niveau de « Fumade profond » s'est poursuivie, avec la réalisation de 14 sondages carottés supplémentaires, dont 6 ont montré une minéralisation en tungstène.

- **1983**

L'année suivante, de nouveaux levés géologiques ont été réalisés afin d'établir une carte géologique plus détaillée (au 1 / 2 500) sur une partie du PER.

1 campagne géophysique de **gravimétrie** est menée, mais les résultats ne permettent pas de clarifier l'identification de l'anomalie tungsténifère.

13 nouveaux sondages carottés ont été réalisés au niveau de « Fumade profond », parmi lesquels 6 ont montré une minéralisation en tungstène.

- **1984**

Une dernière campagne de géochimie sols est menée en 1984, avec le prélèvement de 170 échantillons. Les différentes campagnes de géochimie de 1980 à 1984 ont progressivement permis de confirmer, puis de **préciser, l'anomalie de direction N110°** identifiée par le BRGM entre Fumade et « la Fédial » / la Borio-Haute.

7 sondages carottés ont été opérés sur « Fumade profond », dont 3 ont recoupé la minéralisation.

Des tests minéralurgiques (gravimétrie, flottation) ont également été réalisés sur des échantillons de carottes de « Fumade profond ».

- **1985**

La dernière année de prospection a été marquée par l'extension des sondages aux indices de « Fumade superficiel » et « la Fédial ». Ainsi, 40 sondages ont été réalisés cette seule année :

- 12 sondages carottés sur « Fumade profond » ;
- 16 sondages carottés sur « la Fédial » ;
- 12 sondages rotatifs sur « Fumade superficiel ».

Au total, les différentes campagnes de sondages entreprises par ELF-AQUITAINE représentent un linéaire de plus de 18 500 m, dont près de **18 200 m de carottes échantillonnées**, pour **77 sondages opérés entre 1981 et 1985**.

3 tranchées ont finalement été creusées à proximité de celles qui avaient été ouvertes par le BRGM, sans que des résultats notables aient été publiés.

En 1985, une étude correspondant à un stade de « pré-faisabilité » est menée par B. BROS et F. GARNAUD de l'Ecole des Mines d'Alès sur la possibilité de mise en exploitation du gîte de « Fumade profond ». Leurs conclusions sont **très optimistes sur la possibilité de mise en exploitation du gîte de Fumade**, relevant en particulier le **potentiel pour une extension latérale et pour l'existence de lentilles enrichies** en tungstène, semblablement au gisement de Salau, en Ariège.

Cependant, **1985 marque également la cessation des activités d'exploration pour les métaux de SNEAP** en général et dans le secteur de Fumade en particulier, consécutif à l'effondrement du cours du tungstène, qui perd plus de 85 % de sa valeur sur le marché des métaux entre 1977 et 1987.

2.3 BILAN DES TRAVAUX D'EXPLORATION

Les travaux d'exploration amorcés par le BRGM, puis repris et complétés par ELF-AQUITAINE, ont permis de réunir des données relativement importantes sur le potentiel et les ressources en tungstène du secteur de Fumade. En cumulé, les investigations totalisent notamment **[Cf. Figure 8]** :

- 94 sondages (dont 80 carottés) pour un linéaire foré de près de 20 000 m ;
- plus de 1 700 échantillons de sols prélevés pour analyses ;
- 142 échantillons de sédiments ;
- 9 tranchées avec prélèvement d'échantillons par rainurage...

Dans un premier temps, sur la base de données limitées, le BRGM avait fourni une première estimation grossière pour le potentiel du secteur à 1,0 Mt de minerai à 1,0 % WO₃.

Les investigations complémentaires opérées par ELF-AQUITAINE ont abouti en 1985 à une pré-étude économique proposant une évaluation des « **réserves possibles** » réparties entre les 3 indices étudiés tel que présenté dans le **Tableau 2** ci-après.

Ses réserves possibles globales estimées à **environ 1,6 Mt de minerai à 0,95 % WO₃ font de Fumade - « la Fédial » un gîte de tungstène** comparable à celui de Salau, en Ariège (930 000 t de minerai à 1,4 % WO₃ exploités entre 1971 et 1986) ou à celui de Coat-an-Noz, dans les Cotes d'Armor (1,1 Mt à 1,0 % WO₃). L'estimation a été réalisée **en appliquant une teneur de coupure de 0,55 % WO₃**.

-  Demande de PER de la Fabrié
- Modèles SURPAC du BRGM
 -  Fumade profond
 -  Fumade superficiel
 -  la Fédial
- Géochimie sols BRGM
 -  > 20 ppm W
 -  > 100 ppm W
 -  > 700 ppm W
-  Sondages BRGM et SNEAP (1978-1985)

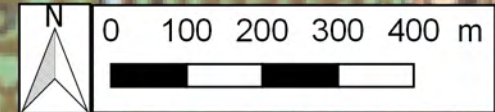


Tableau 2 : Evaluation des « réserves possibles » du district de Fumade - « la Fédial » (ELF-AQUITAINE, 1985)

Indice	Profondeur	Technique d'exploitation envisagée	Tonnage de minerai (t)	Teneur en tungstène (% WO ₃)
« Fumade profond »	0 - 200 m	Mine souterraine	716 000	1,01
« la Fédial »	200 - 300 m		570 000	1,19
« Fumade superficiel »	-	Mine à ciel ouvert	360 000	0,43
TOTAL			1 646 000	0,95

Le gîte de tungstène ainsi identifié de Fumade - « la Fédial » présente en outre **2 caractéristiques favorables, d'un point de vue minéralurgique**, dans la perspective d'une mise en exploitation :

- son minerai ne présente **pas de fluorine**, un minéral pénalisant lors du procédé de traitement ;
- **la scheelite s'y présente sous une granulométrie relativement grossière**, ce qui facilite sa concentration.

En conclusion, les travaux réalisés par Elf-Aquitaine, reprenant ceux du BRGM, aboutissent en 1985 à une **estimation, pour le gîte global de Fumade - « la Fédial », à 1,6 Mt de minerai à 0,95 % WO₃**, présentant plutôt de **bonnes propriétés minéralurgiques**. Le gîte inclut ainsi **3 cibles** (« **Fumade profond** », « **la Fédial** », « **Fumade superficiel** »).

Près des trois quarts de ces ressources nécessiteraient une exploitation par une mine souterraine, seule la cible « Fumade superficiel » pouvant être exploitée à ciel ouvert.

Cette estimation plaçait le site dans « l'enveloppe » des mines de tungstène alors en activité, mais plutôt dans sa partie basse.

2.4 REEVALUATION DES RESSOURCES PAR LE BRGM (2013)

Dans le cadre d'un **programme de réévaluation du potentiel français en ressources minérales**, le BRGM a publié en décembre 2013 un rapport (BRGM/RP-62718-FR) présentant les résultats d'une modélisation numérique du gîte de tungstène ciblé par la présente demande de PERM.

Ces travaux n'ont pas impliqué de nouveaux travaux d'exploration effectifs, mais ont consisté à numériser les données collectées par le BRGM et ELF-AQUITAINE entre 1968 et 1985 (présentées ci-avant), établir un modèle numérique tridimensionnel à l'aide du logiciel GEOVIA Surpac®, appliquer de nouvelles méthodes géostatistiques et appliquer une teneur de coupure en adéquation avec les paramètres économiques contemporains.

L'**ajustement des paramètres économiques** a été fait sur la base d'une étude comparative de la teneur de coupure utilisée pour des projets concernant des gisements de tungstène dans un contexte géologique similaire (skarn à scheelite), en distinguant l'exploitation en souterrain et à ciel ouvert.

Les **nouvelles teneurs de coupure retenues** sont alors :

- **0,3 % WO₃**, pour les ressources profondes (0-300 m) de « **Fumade profond** » et « **la Fédial** », dont l'exploitation est à envisager en souterrain dans une première approche ;
- **0,1 % WO₃**, pour les ressources de « **Fumade superficiel** », vraisemblablement valorisables à ciel ouvert.

L'emprise des trois modèles de ressources est indiquée sur la **Figure 8**.

2.4.1 Réévaluation pour « Fumade profond »

Le nouveau modèle numérique 3D appliqué a permis sur des blocs de taille plus fine (20 x 20 x 0,2 m³ voire 10 x 10 x 0,1 m³) permettant de mieux traduire la variabilité locale des teneurs mesurées lors des travaux de prospection.

Les données spatiales de répartition des teneurs ont été complétées à l'aide de 3 outils géostatistiques :

- l'inverse du carré de la distance ;
- le plus proche voisin ;
- le krigeage.

A partir de cette nouvelle géométrie plus détaillée, les **ressources associées à « Fumade profond »** ont été réévaluées en appliquant une teneur de coupure de 0,3 % WO₃, une épaisseur minimale exploitable de 2 m et une densité *in situ* de 3.

Les résultats de la modélisation donnent des **ressources « inférées » ou présumées de 2,301 Mt de minerai à 0,7 % WO₃**. Les ressources sont considérées comme « inférées » au regard des standards actuels de classification (Code *JORC Joint Ore Reserves Committee*, référence australienne ou norme canadienne NI 43-101), en raison du degré de connaissance du gîte et des incertitudes soulevées au cours de la modalisation et par le variogramme.

2.4.2 Réévaluation pour « la Fédial »

La même méthodologie a été appliquée sur la **cible de « la Fédial »**, à ceci près que le degré d'incertitude est nettement plus élevé concernant la géométrie et la répartition des concentrations par rapport à « Fumade profond ». En effet, sur les 94 sondages réalisés au total lors des travaux de prospection, seuls 16 ont concerné « la Fédial ». Le krigeage n'a pas été employé en traitement géostatistique.

Les résultats de la modélisation donnent des **ressources « inférées » ou présumées de 0,77 Mt de minerai à 1,41% WO₃**.

2.4.3 Réévaluation pour « Fumade superficiel »

Le même principe méthodologique a été appliqué pour la cible de « Fumade superficiel ». Comme pour « la Fédial », les données récoltées sont beaucoup moins nombreuses que pour « Fumade

profond » et donc l'incertitude plus élevée. Les blocs de travail sont cependant plus réduits (5 x 5 x 0,2 à 2,5 x 2,5 x 0,1 m³). Le krigeage n'a pas été employé en traitement géostatistique.

Les résultats de la modélisation donnent des **ressources « inférées » ou présumées de 141 900 t de minerai à 0,58% WO₃**. Contrairement aux 2 autres cibles, « Fumade superficiel » a donc vu ses ressources en tungstène réévaluées à la baisse lors de cette réinterprétation des données.

2.4.4 Bilan de la réévaluation du gîte

Le **Tableau 3** ci-après récapitule les **ressources « inférées » ou présumées estimées par le BRGM en 2013** pour les 3 cibles étudiées, et rappelle les résultats de la précédente estimation suite aux travaux d'ELF-AQUITAINE en 1985.

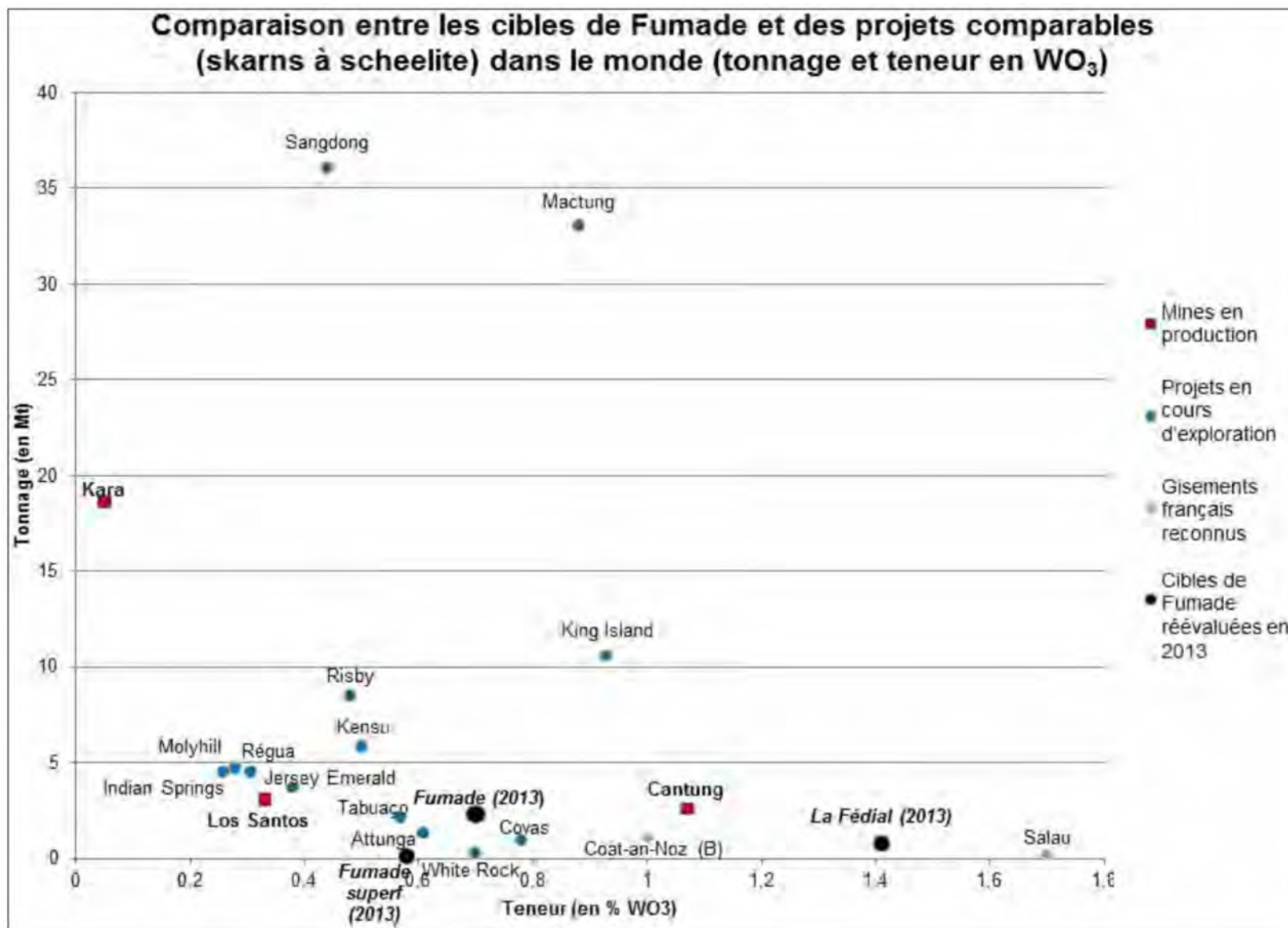
Tableau 3 : Réévaluation des ressources (« inférées » ou présumées) par le BRGM (2013)

Indice	Tonnage de minerai (t)	Teneur en tungstène (% WO ₃)	Tonnage de tungstène métal (t)	Rappel : tonnage minerai estimé en 1985
« Fumade profond »	2 301 000	0,70	12 800	716 000
« la Fédial »	770 400	1,41	8 600	570 000
« Fumade superficiel »	141 900	0,58	653	360 000
TOTAL	3 213 300	0,86	22 053	1 646 000

La **Figure 9** ci-après permet de constater que **les cibles réévaluées se classent nettement dans l'enveloppe des projets d'exploration actuels** connus de stade avancé. La plus intéressante d'entre elles, « Fumade profond », présente un tonnage comparable à 2 mines en activité, Los Santos (Espagne) et Cantung (Canada), avec même des ressources estimées supérieures à la première citée.

En conclusion, le gîte de Fumade - « la Fédial » dans sa globalité abriterait des ressources « inférées » ou présumées estimées à **plus de 3,2 Mt de minerai de tungstène à 0,86 % WO₃** en moyenne, soit un **potentiel de plus de 22 000 t de tungstène métal**.

A ce stade, au regard des incertitudes restant sur la géométrie des cibles et la répartition des teneurs, il n'a pas été possible de fournir une estimation plus précise que le grade « inféré » ou présumé.



3. CONTEXTE GITOLOGIQUE

3.1 GITOLOGIE DE « FUMADE PROFOND »

A la suite des travaux d'exploration, en 1984, la **cible de « Fumade profond »** a été interprétée comme étant constituée de **3 principaux niveaux carbonatés minéralisés en scheelite** :

- le **niveau supérieur**, constitué par les calcaires skarnifiés du toit des alternances calcaréo-argileuses inférieures ;
- le **niveau médian**, constitué par les calcaires intermédiaires des alternances calcaréo-argileuses inférieures ;
- le **niveau inférieur**, constitué par les calcaires skarnifiés du mur des alternances calcaréo-argileuses inférieures.

Dans son étude publiée sur le gîte de tungstène de Fumade en 2013, le BRGM a intégré ces résultats dans un modèle géologique numérique tridimensionnel. A cette occasion, les données issues des campagnes jusqu'en 1985 ont été prises en compte et **2 autres corps minéralisés ont été mis en évidence** dans les alternances calcaréo-silteuses qui surplombent les alternances calcaréo-argileuses (niveaux supplémentaires 1 et 2).

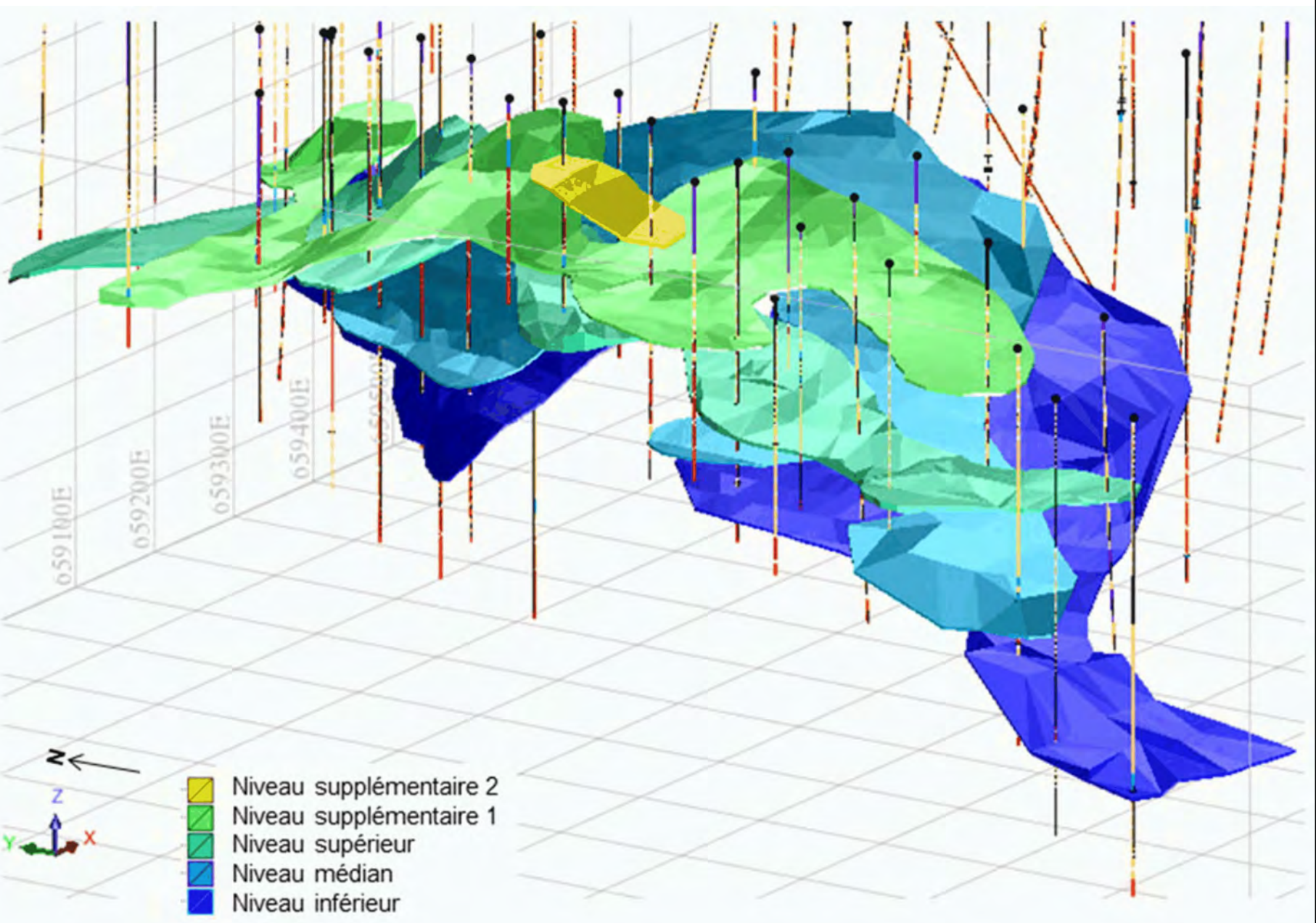
Ainsi, les travaux les plus récents sur le gîte font état de l'existence d'**au moins 5 corps minéralisés en scheelite majeurs au niveau de la cible de « Fumade profond »** [Cf. Figure 10], correspondant à des niveaux skarnifiés au sein des alternances calcaréo-détritiques des séries cambriennes.

Parmi ceux-ci, le plus important en taille est le niveau inférieur qui atteint une **extension de 1 200 m selon une direction NNE-SSW**. Le plus important en épaisseur est le niveau supérieur.

L'étude de 2013 rappelle toutefois que cette modélisation s'appuie sur des données de sondages qui restent **trop parcellaires pour pouvoir certifier la continuité de la minéralisation** au sein des corps dessinés. Des travaux complémentaires sont nécessaires afin de vérifier la géométrie modélisée.

3.2 GITOLOGIE DE « LA FÉDIAL »

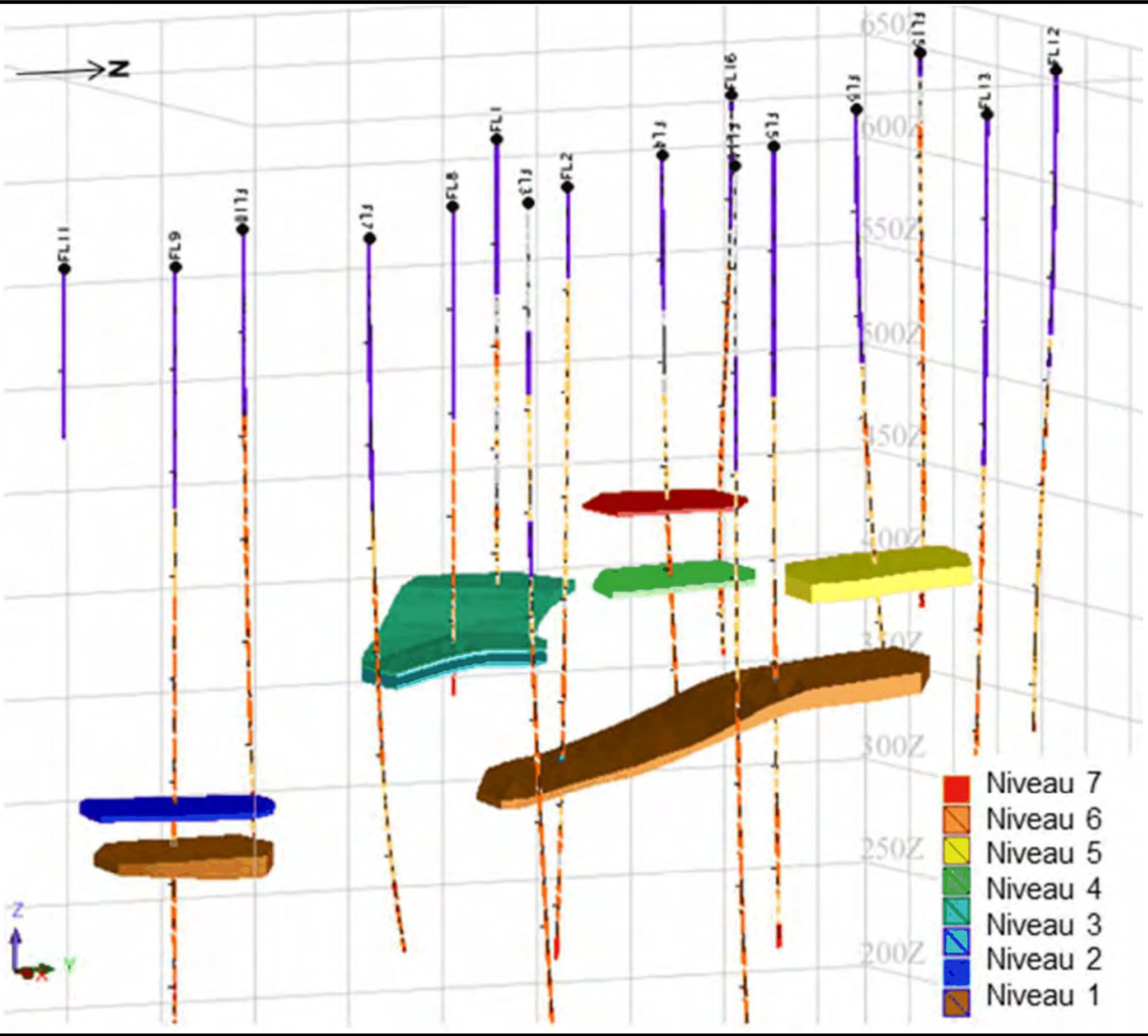
Au niveau de la **cible de « la Fédial »**, les incertitudes sont encore plus importantes en raison de la grande complexité de la géologie des formations d'intérêt. Les travaux d'exploration ont permis d'identifier **7 corps minéralisés**, mais **dont l'extension est beaucoup plus restreinte** que pour « Fumade profond » [Cf. Figure 11].



TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS - Demande de PERM de la Fabrique
Commune de Fontrieu
Tome 2 : Mémoire Technique et Programme des Travaux
Corps minéralisés de la cible de « Furnade profond »

Figure 10

Source : BRGM (2013)



Les corps ont été identifiés en fixant une puissance minimale de 2 m, revue à 1,5 m pour les niveaux présentant une très bonne teneur en tungstène. Les 7 niveaux minéralisés en scheelite correspondent à des **skarns fissuraux ou stratiformes** présents, parfois de manière discontinue, dans les formations dolomitiques et calcaréo-détritiques :

- Niveau 1 = skarn au contact des dolomies au toit des alternances calcaréo-argileuses inférieures ;
- Niveau 2 = skarn fissural encaissé dans les dolomies ;
- Niveau 3 = skarn stratiforme dans les alternances calcaréo-argileuses ;
- Niveau 4 = skarn stratiforme encaissé dans les alternances calcaréo-argileuses ;
- Niveau 5 = skarn fissural encaissé dans les dolomies ;
- Niveau 6 = skarn stratiforme encaissé dans les alternances calcaréo-silteuses ;
- Niveau 7 = skarn fissural au contact des dolomies.

Les données disponibles pour définir la continuité et la géométrie des corps minéralisés de « la Fédial » sont encore nettement moins nombreuses que pour « Fumade profond », puisqu'issues de seulement 16 sondages.

3.3 GITOLOGIE DE « FUMADE SUPERFICIEL »

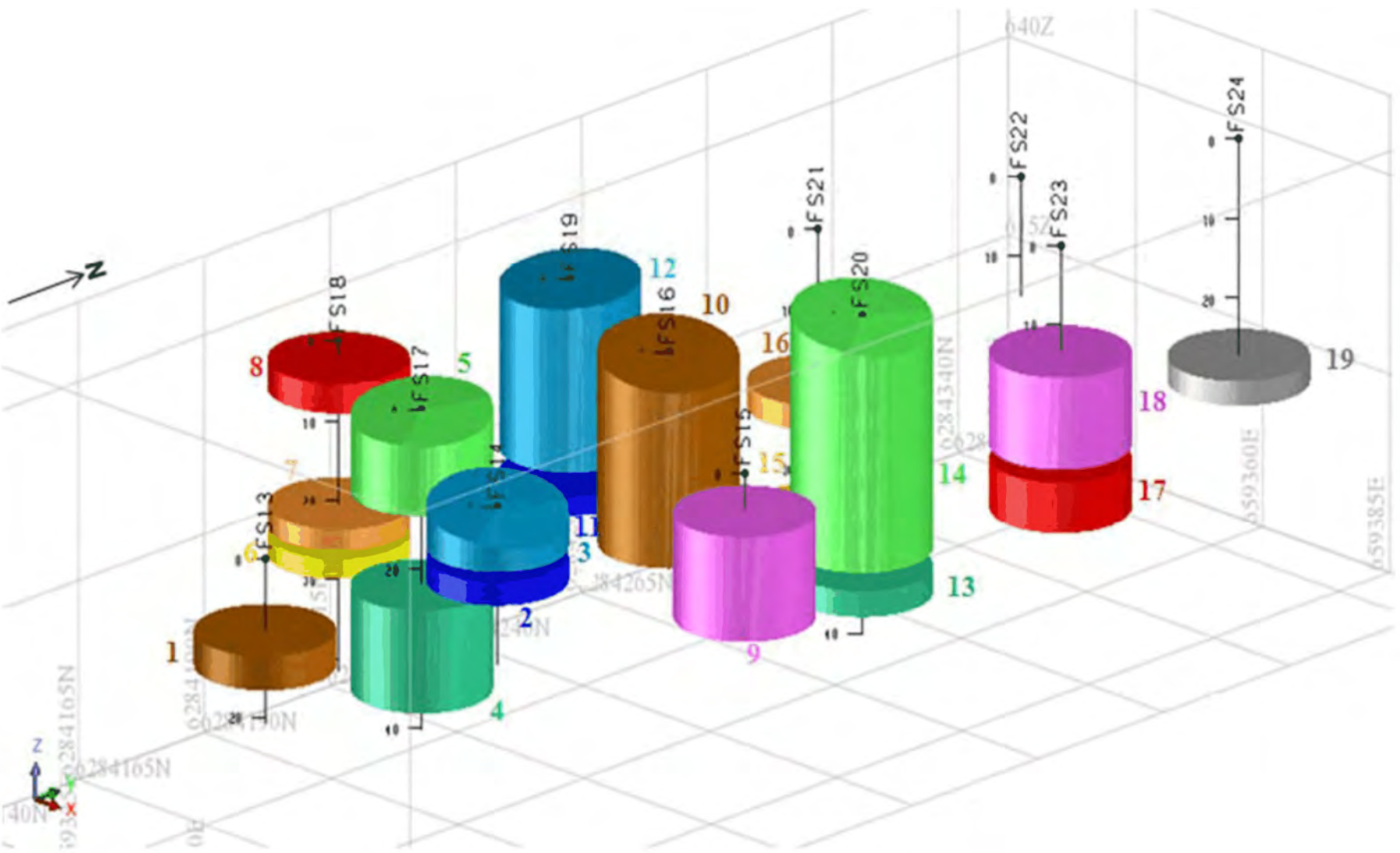
La **cible de « Fumade superficiel »** demeure la plus **méconnue** des trois, notamment car seuls 12 sondages d'exploration l'ont visée. Dans l'étude du BRGM de 2013, il n'est ainsi pas proposé de géométrie pour les minéralisations constatées. Le modèle propose simplement une « zone d'influence », fixée à 15 m, autour des minéralisations en scheelite d'une puissance de plus de 2 m recoupées par les sondages.

Ce sont ainsi **19 recoupes minéralisées** qui ont été identifiées, pour des puissances s'étalant de 2,4 à 29,1 m. Ces recoupes et les zones d'influence modélisées correspondantes sont représentées en **Figure 12**.

Ces modèles abstraits ont été retenus afin de pouvoir fournir une estimation chiffrée du potentiel de la cible, mais ne représentent pas une réalité géologique ni géométrique, que seuls des travaux d'exploration plus avancés permettraient d'approcher.

Les recoupes minéralisées sont associées à des **skarns stratiformes, fissuraux** ou parfois les deux, dans les alternances calcaréo-argileuses superficielles et, ponctuellement, dans les dolomies.

Une difficulté supplémentaire pour cette cible tient au fait que les niveaux supérieurs de ce secteur sont localement **marqués par une forte altération**, jusqu'à une profondeur qui peut atteindre **plusieurs dizaines de mètres**, ayant entraîné des modifications lithologiques importantes. Certains auteurs avaient ainsi par exemple employé la dénomination de « sables dolomitiques » pour décrire les dolomies altérées.



4. CONTEXTE METALLOGENIQUE

4.1 GENERALITES SUR LES RESSOURCES MINERALES EN TUNGSTENE

La teneur moyenne de la croûte terrestre en tungstène est de l'ordre de 1,5 ppm, ce qui en fait un élément **moins abondant que la plupart des terres rares**.

En tant que ressource minérale, le tungstène est exploité sous 2 formes minéralogiques principales :

- la **wolframite**, un tungstate mixte de manganèse et de fer de composition générale **(Fe,Mn,Mg)WO₄**. Le terme *Wolfram* désigne initialement le tungstène en allemand, et explique son symbole chimique ;
- la **scheelite**, un tungstate de calcium de composition générale **CaWO₄**.

La wolframite n'est pas une espèce mais un groupe minéral formant une série dont les termes extrêmes sont :

- la ferbérîte, FeWO₄, pôle ferreux ;
- la hübnerite, MnWO₄, pôle manganique.

Les minéralisations de tungstène sont généralement mises en place par des processus hydrothermaux liés à des intrusions granitiques. Les gîtes peuvent être classés selon **3 familles principales**, succinctement décrites dans le **Tableau 4** ci-après :

- les **minéralisations filoniennes** ;
- les **skarns** ;
- les **porphyres** et les **stockwerks**.

Tableau 4 : Typologie des gîtes de tungstène

Type de gîte	Filonien	Skarn	Porphyre, stockwerk
Géologie	Filon quartzeux épais du décimètre au mètre, au sein d'un granite	Dans un carbonate, au contact d'une intrusion acide, remplacement des minéraux par des calcosilicates	Porphyre souvent retrouvé au sommet d'une intrusion felsique Stockwerk au sein de l'intrusion
Ordre de grandeur de tonnage	10 à 100 000 t	Quelques millions de tonnes	Centaines de millions de tonnes
Ordre de grandeur de teneur	0,5 à 5 % WO ₃	0,3 à 1 % WO ₃	0,1 à 0,3 % WO ₃
Minéraux porteurs	Ferbérîte	Scheelite	Wolframite et scheelite

En 2017, la Chine était à la fois le plus gros producteur mondial et le pays disposant, très largement, des plus grosses réserves en tungstène devant la Russie, le Vietnam, la Mongolie, l'Espagne et le Royaume-Uni (données de l'UNITED STATES GEOLOGY SURVEY).

Les principaux gisements de tungstène dans le monde sont cartographiés en [Figure 13](#).

4.2 METALLOGENIE DES SKARNS A TUNGSTENE DE LA MONTAGNE NOIRE

Traditionnellement, **3 types de minéralisation en tungstène sont distingués dans la province minière de la Montagne Noire** :

- des minéralisations de type skarn (exemples de gîtes : Fumade - « la Fédial », Ferrières, Espérausses, le Teil, Guzanes, les Cadets...) ;
- des minéralisations stratiformes à scheelite disséminée (exemples de gîtes : l'Auriole, l'Hom-Haut, Olargues/Saint-Pons - la Gineste...) ;
- des minéralisations filoniennes à quartz-wolframite associées aux granites (exemples de gîtes : la Fregère/Montredon - Labessonnié, Brousses...).

Le **gîte de tungstène de Fumade - « la Fédial »**, découvert lors des travaux d'exploration menés par le BRGM puis par Elf-Aquitaine entre 1968 et 1985 [\[Cf. § 2\]](#), cible de la présente demande de PERM, a été identifié comme un **gîte de tungstène de type skarn à scheelite**.

C'est donc ce type métallogénique qui sera détaillé par la suite.

Les minéralisations filoniennes sont localisées au sommet d'intrusions de granite fractionné hyperalumineux, issus de la fusion partielle d'anciennes roches sédimentaires et ainsi enrichis en éléments lithophiles (Si, Al, P, Li, Be, Sn, W, Nb, Ta...). Elles se présentent sous la forme de veines de quartz à wolframite.

Les champs filoniens de Montredon - Labessonnié, à une vingtaine de kilomètres au Nord-Ouest de Fumade, ont été exploités de 1958 à 1962.

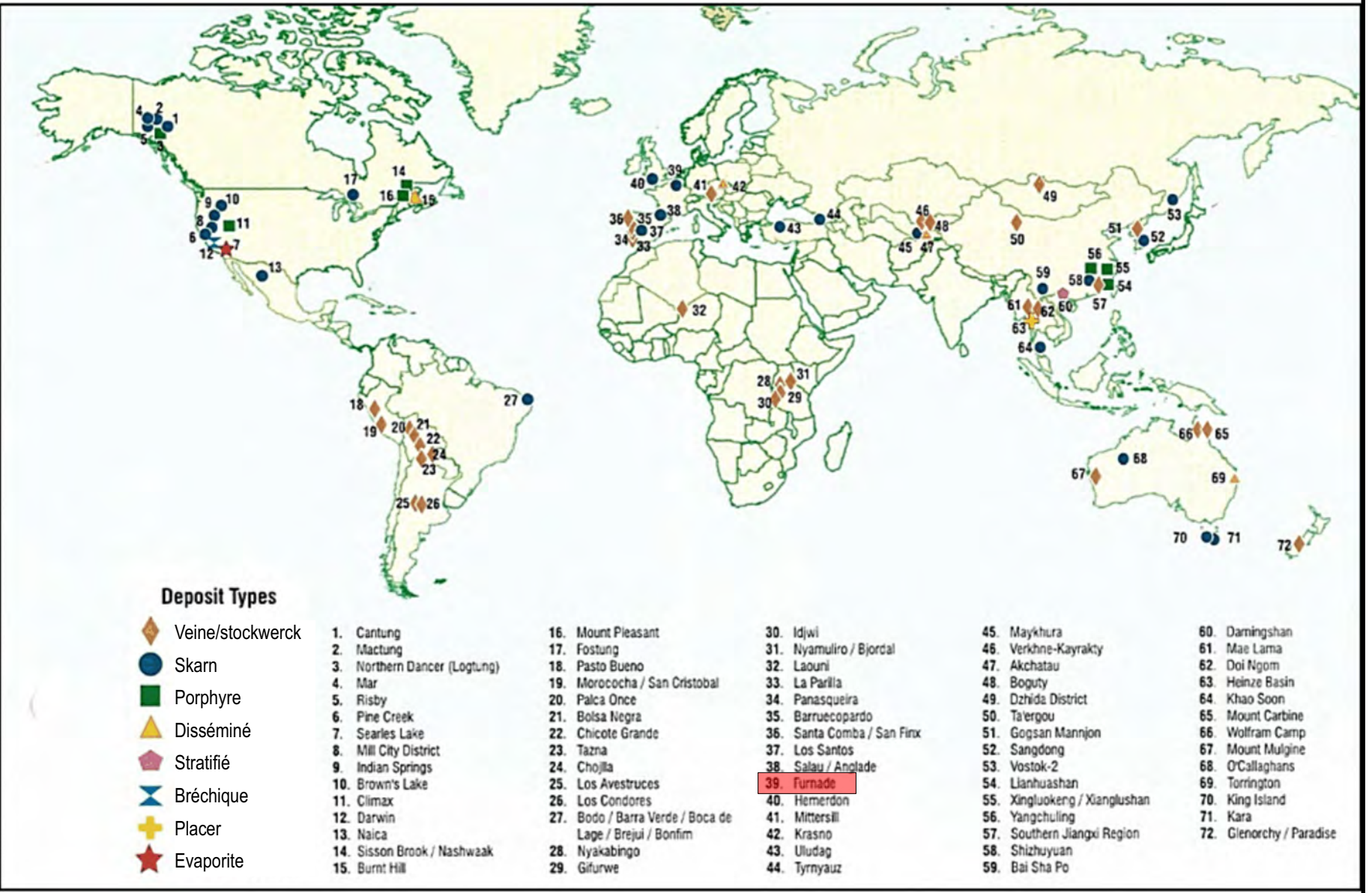


Figure 13

Les gîtes de type stratiforme à scheelite disséminée ont vu leur classement évoluer ces dernières années. Dans son rapport BRGM/RP-6553-FR de mars 2016, le BRGM indique que ce type est désormais rattaché au type skarn, et serait ainsi issu d'une intrusion granitique.

Ces minéralisations se présentent sous la forme de quartzites ou de gneiss à silicates calciques et à scheelite disséminée, suivant une grande extension latérale, de l'ordre du kilomètre.

4.2.1 Formation des skarns

Les **skarns** sont des **roches métamorphiques** formées par **circulation de fluides au niveau de la zone de contact entre une intrusion granitique et son encaissant carbonaté (calcaire, dolomie)**. Leur composition minéralogique est dominée par les **silicates calciques** (grenat, pyroxènes). Le processus métamorphique correspondant est simplement appelé « skarnification ». Cette dernière peut affecter :

- les roches carbonatées encaissantes, menant à la formation d'un exoskarn (souvent simplement appelé « skarn », s'agissant du cas le plus commun) ;
- l'intrusion granitique elle-même, formant alors un endoskarn.

La formation des skarns se déroule selon 3 grandes étapes qui se superposent dans le temps :

- l'étape thermométamorphique, qui correspond à la mise en place de l'intrusion et à la déshydratation des formations carbonatées encaissantes (libération de fluides) ;
- l'étape métasomatique prograde, qui correspond à une décarbonatation et un apport en fer, manganèse et aluminium par les fluides magmatiques, menant à la formation des silicates calciques ;
- l'étape hydrothermale rétrograde, qui correspond à l'envahissement du système par des fluides de plus basse température (300 à 450°C), à la formations de minéraux hydratés (amphiboles, épidotes, chlorites) et au dépôt de sulfures.

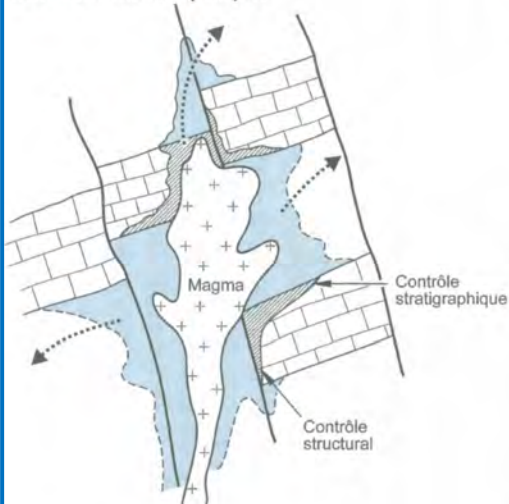
La nature du skarn obtenu est marquée par une grande diversité car elle dépend de la composition du pluton intrusif, de la composition de l'encaissant carbonaté et de la profondeur de mise en place. 7 types de skarns sont actuellement reconnus : à fer, à cuivre, à zinc, à tungstène, à étain, à molybdène et à or.

La morphologie des skarns est également très variable [Cf. Figure 14], car dépendant de la géométrie de l'intrusion, de la géométrie de l'encaissant carbonaté, du type de déformation/fracturation (et donc de la profondeur) et des volumes de fluides circulant (liés au régime thermique).

4.2.2 Skarns minéralisés en tungstène de Fumade - « la Fédial »

Dans le cas du gîte de tungstène ciblé par le PERM, le pluton ayant entraîné la skarnification est le **granite de la Fabrié**, qui affleure peu dans le secteur mais a été identifié par sondages sous les formations cambriennes. Il s'agit d'un granite à biotite du même type que le granite du Sidobre, qui forme un important affleurement au Nord-Ouest de Fumade.

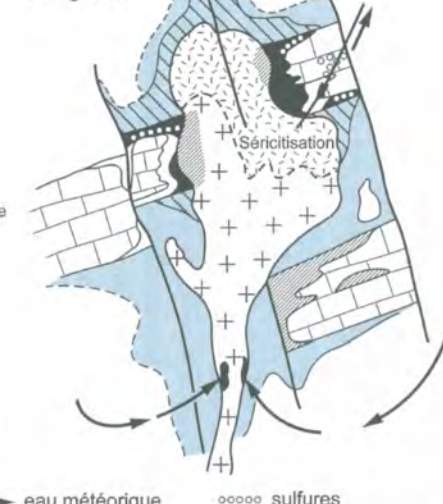
Stade 1
thermométamorphique



Stade 2
prograde



Stade 3
rétrograde



intrusion
déshydratation

cristallisation
séparation de fluides magmatiques

- eau météorique
- fluides magmatiques
-→ fluides de déshydratation métamorphique
- oooo sulfures
- altération rétrograde des skarns
- ▨ altération rétrograde des cornéennes
- skarns
- cornéennes

Schéma de principe de formation des skarns en 3 étapes

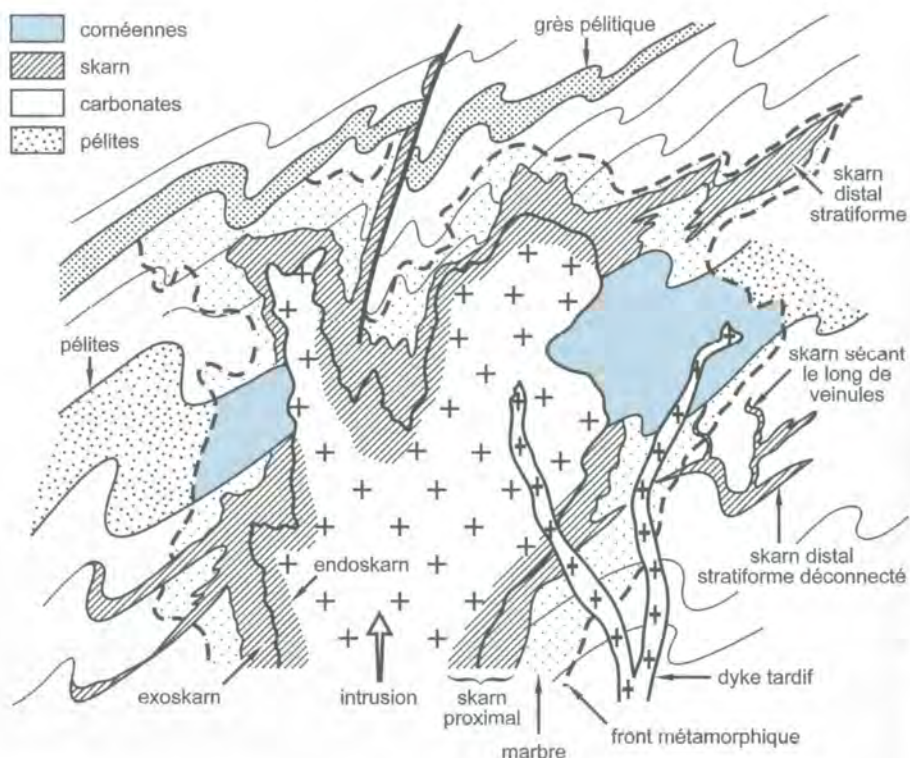


Schéma de principe des différents skarns pouvant être formés autour d'une intrusion

L'**encaissant carbonaté** correspond aux niveaux **calcaires et dolomitiques alternant avec les pélites au sein de la Série noire**, datant du Cambrien (lithologies k₂b décrites au § 1.2.1).

L'intrusion aplo-granitique dans les formations schisto-carbonatées a engendré la **mise en place de 2 catégories de skarns** :

- ❖ des **skarns fissuraux**, à calcite, diopside et trémolite, **parfois minéralisés en scheelite**, surtout développés dans les dolomies massives de la base de la Série noire (k₂a) à partir de fractures grossièrement orientées Est-Ouest ;
- ❖ des **skarns stratiformes**, dans les alternances calcaréo-détritiques sus-jacentes, au sein de la Série noire, dont ils conservent généralement le litage. Au sein de ces skarns stratiformes sont distingués :
 - les **skarns stratiformes de type I**, clairs à clinopyroxène, épidote, grossulaire, idocrase, wollastonite. Bien lités et à zonalités minérales nettes, ils affectent l'ensemble des alternances calcaréo-détritiques sur quelques dizaines de mètres. Ils sont **rarement et**, le cas échéant, **faiblement minéralisés en scheelite** ;
 - les **skarns stratiformes de type II**, sombres, à idocrase, quartz rare et prépondérance de grenat. Ces skarns massifs, à gros grain, sont retrouvés uniquement au niveau des barres carbonatées des alternances inférieures de la série, à proximité voire au contact de l'intrusion. Ce sont ces skarns de type II qui **abritent les plus fortes concentrations en scheelite**.

5. JUSTIFICATION DE LA DEMANDE DE PERM

5.1 CHOIX DU TUNGSTENE, METAL STRATEGIQUE AU MULTIPLES APPLICATIONS

Source : [BRGM, 2012, Panorama 2011 du marché du tungstène, BRGM/RP-61341-FR](#)

5.1.1 Propriétés et usages du tungstène

Le **tungstène** (symbole chimique **W**, numéro atomique 74) est un **métal** de **grande densité** (19,25, équivalente à celle de l'or). Il est aussi **très dur** et **réfractaire**, avec la plus haute température de fusion de tous les métaux (3 422 °C). L'ajout de **tungstène à l'acier** augmente notablement sa dureté et sa résistance à la chaleur. Le tungstène se combine au carbone pour former un **carbure de tungstène** très dur largement utilisé dans l'industrie. Le tungstène métallique résiste bien à la corrosion et ne s'oxyde à l'air qu'à partir de 400°C. Le tungstène n'a pas de rôle biologique connu et n'a **pas de toxicité** aux doses d'exposition usuelles.

La **Figure 15** illustre quelques applications du tungstène dans l'industrie et les objets du quotidien.

Les usages du tungstène se répartissent de la manière suivante :

- Le **carbure de tungstène** et les **carbures cémentés** : 55%

Les carbures de tungstène cémentés sont utilisés, pour leur dureté et leur ténacité, dans une large gamme d'applications telles que les outils d'usinage et de coupe (scie, forets, outils de tour, poignons), les filières de tréfilage, des revêtements de protection d'usure, des outils de gros œuvre (travaux publics, forages, tunneliers), mais aussi les billes des stylos, les munitions, ou même la bijouterie.

- Les **aciers au tungstène**, les **alliages** et superalliages de tungstène : 21%

Les aciers au tungstène sont utilisés pour les aciers à outils de travail à chaud ou à froid (aciers rapides pouvant contenir jusqu'à 12 à 18% de tungstène). Des aciers inoxydables au tungstène (1 à 6% de tungstène) sont utilisés de meilleures résistances à la chaleur, à la corrosion ou à la déformation sont recherchées (ex : turbines).

Les alliages et superalliages au tungstène sont utilisés pour des matériaux qui doivent résister à des environnements de haute température comme les aubes des turbines des moteurs d'avion, des centrales à gaz, mais aussi des fours métallurgiques. Les alliages lourds à 90-98% de tungstène sont utilisés pour leur densité (contrepoids, munitions) ou la radioprotection.

- Le **tungstène métal** : 17%

Le tungstène métal est utilisé pour l'éclairage (filament des ampoules à incandescence et des ampoules halogènes, électrodes des tubes et ampoules à décharge (ampoules et tubes fluorescents pour l'éclairage domestique et lampes à décharge haute pression pour l'éclairage public)), les contacteurs électroniques, les résistances chauffantes de fours industriels, les appareils à rayons . Il devrait être utilisé à terme comme partie de revêtement de la chambre à plasma d'ITER.



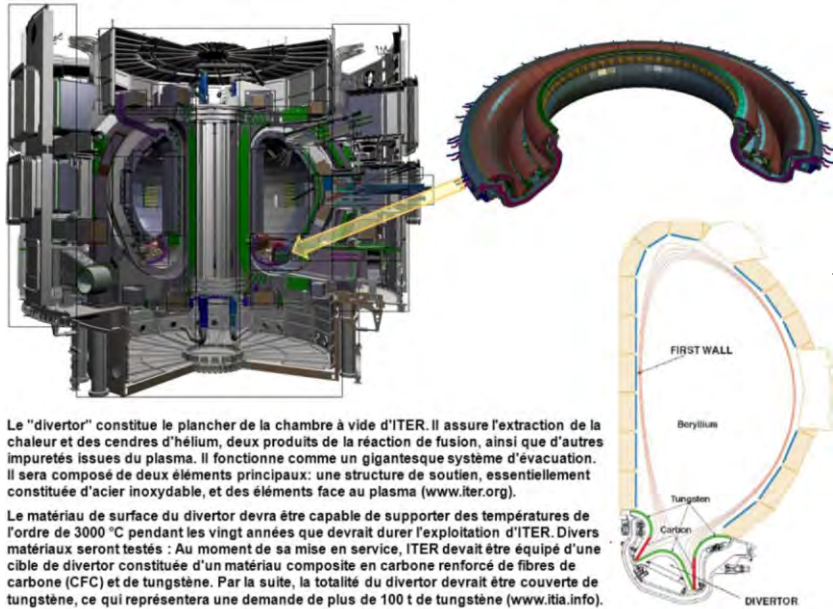
Les volets et ailerons d'avion ont des systèmes de contrepoids en alliage lourd de tungstène (source : <https://itia.info>)



CFLs exist in different shapes, wattages and colour temperatures
L'émission d'électron nécessaire à la production de lumière est réalisée par une électrode revêtue de tungstène



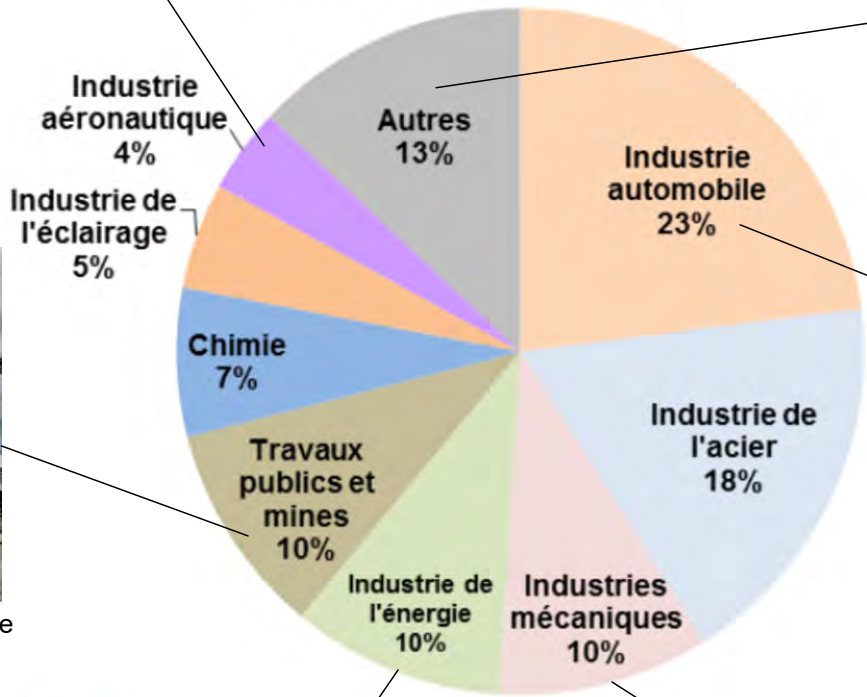
Tunnelier du Grand Paris dont les dents sont en carbure de tungstène (source : société du Grand Paris)



Le "divertor" constitue le plancher de la chambre à vide d'ITER. Il assure l'extraction de la chaleur et des cendres d'hélium, deux produits de la réaction de fusion, ainsi que d'autres impuretés issues du plasma. Il fonctionne comme un gigantesque système d'évacuation. Il sera composé de deux éléments principaux: une structure de soutien, essentiellement constituée d'acier inoxydable, et des éléments face au plasma (www.iter.org).
Le matériau de surface du divertor devra être capable de supporter des températures de l'ordre de 3000 °C pendant les vingt années que devrait durer l'exploitation d'ITER. Divers matériaux seront testés : Au moment de sa mise en service, ITER devait être équipé d'une cible de divertor constituée d'un matériau composite en carbone renforcé de fibres de carbone (CFC) et de tungstène. Par la suite, la totalité du divertor devrait être couverte de tungstène, ce qui représentera une demande de plus de 100 t de tungstène (www.iter.org).

Schéma de la chambre à vide d'ITER et de son « divertor » en carbone et tungstène (source : www.iter.org)

Répartition des usages du tungstène par filière industrielle en 2014
(source : Argus Media, 2014)



Le tungstène est utilisé comme anode dans les tubes à rayons X des appareils médicaux (scanner, radiographie...)



Les masses oscillantes des mécanismes d'horlogerie, les billes de stylo, les vibreurs de téléphone portable, les bouchons de flacons de parfum, les pointes de bâtons de ski ou de marche ou encore les forets de perceuse comprennent des composés à base de tungstène (carbure de tungstène ou alliages)



Les vilebrequins, pistons et leviers de vitesses comprennent des pièces usinées en tungstène



Turbines en acier renforcé au tungstène (1 à 2%) pour augmenter la résistance à la chaleur et la déformation (source : <https://itia.info>)

	TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS - Demande de PERM de la Fabrié Commune de Fontrieu Tome 2 : Mémoire Technique et Programme des Travaux	Figure 15
	Illustration de quelques applications du tungstène dans l'industrie et au quotidien	

- les **composés chimiques** du tungstène et autres usages : 7%

Des composés chimiques du tungstène sont utilisés en catalyse (hydrocrackage en raffinerie pétrolière, traitement des gaz d'échappement pour réduire la concentration en oxydes d'azote, conversion du gaz naturel en hydrogène...), pour la fabrication de pigments luminophores, les lasers...

5.1.2 Procédés de production du tungstène

Les minerais bruts de tungstène titrent en général moins de 1% WO₃. Ils doivent donc être traités au niveau de la mine, soit pour obtenir des concentrés commercialisables à 65-75% WO₃, soit, dans le cas d'opérations intégrées, pour obtenir un pré concentré à partir duquel sont produits le paratungstate d'ammonium (APT), les oxydes, ou même le tungstène métal, comme sur l'exploitation de Mittersill en Autriche ([La mine de Mittersill, un exemple d'intégration environnementale, Mines et Carrières, mars 2014](#)).

5.1.2.1 Minéralurgie, concentration des minerais

Les procédés minéralurgiques ou de concentration des minerais consistent en un broyage à la maille de libération du minéral tungstifère suivi de traitements pouvant inclure des classements granulométriques, gravimétriques, par flottation, magnétiques, électrostatiques et/ou photométriques.

A titre d'exemple, le **minerai de Fumade est un skarn à scheelite**, pauvre en sulfures, où la fluorine est absente et où la scheelite est grossière.

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.

La flottation utilise les processus physiques de mouillage des particules broyées (matérialisés par les forces de tension superficielle) pour séparer les différents minéraux d'un minerai. Le minerai finement broyé est mélangé à une solution aqueuse et placé dans des bacs munis d'un agitateur, les cellules de flottation, généralement de l'ordre de 1 m³. On fait alors « flotter » sélectivement les particules du minéral à récupérer en les rendant hydrophobes ce qui a pour effet de les « coller » sur les bulles d'air et de les entraîner vers le haut où elles sont recueillies dans une mousse. Les minéraux non récupérés ne sont pas rendus hydrophobes et coulent au fond de la cellule de flottation d'où ils seront ensuite rejetés.

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**.

5.1.2.2 Production de paratungstate d'ammonium (APT)

Le **paratungstate d'ammonium**, ou **APT** (Ammonium Para Tungstate), de formule (NH₄)₁₀W₁₂O₄₁.5H₂O, est le principal produit intermédiaire pour la production de la plupart des composés du tungstène métal. C'est aussi le **principal produit commercialisé sur le marché entre les producteurs primaires et les industries de transformation**.

Il est obtenu à partir des concentrés de scheelite et de wolframite ou de déchets de tungstène, en général par attaques alcalines (fusion alcaline à haute température pour les déchets, lixiviation

alcaline sous pression pour les concentrés de wolframite et de scheelite), parfois par une attaque acide (concentrés riches de scheelite).

Après attaque alcaline, on obtient du tungstate de sodium impur qui subit plusieurs étapes de purification (résines échangeuses d'ion, extraction par solvant, etc.). L'attaque acide donne de l'acide tungstique H_2WO_4 . Ces produits sont ensuite traités par l'ammoniaque pour donner des solutions de tungstates d'ammonium, qui sont ensuite cristallisées en paratungstate d'ammonium.

La **Figure 16** synthétise de façon schématique le procédé de fabrication de l'APT.

5.1.2.3 Production des oxydes de tungstène et de l'acide tungstique

L'oxyde bleu de tungstène (WO_{3-x}) est obtenu par calcination de l'APT sous conditions réductrices. Le trioxyde de tungstène, ou oxyde jaune, est obtenu par calcination de l'APT à l'air.

L'acide tungstique est produit par réaction de l'acide chlorhydrique sur une pulpe aqueuse d'APT.

5.1.2.4 Production du tungstène métallique

Le tungstène métallique est obtenu d'abord sous forme de poudre de tungstène par réduction d'oxydes de tungstène par l'hydrogène à haute température (700 à 1 000 °C).

Les pièces finies en tungstène sont ensuite élaborées par métallurgie des poudres ou par frittage. Ces procédés permettent d'élaborer des filaments, tiges, aiguilles et tôles de tungstène, par compression des poudres et recuit, ce qui permet de former des pièces métalliques sans atteindre la température de fusion du tungstène.

5.1.2.5 Production de la poudre de carbure de tungstène

Le carbure de tungstène s'obtient par réaction du carbone de haute pureté (noir de carbone ou graphite) avec de la poudre de tungstène entre 1 300 et 2 200 °C sous atmosphère d'hydrogène.

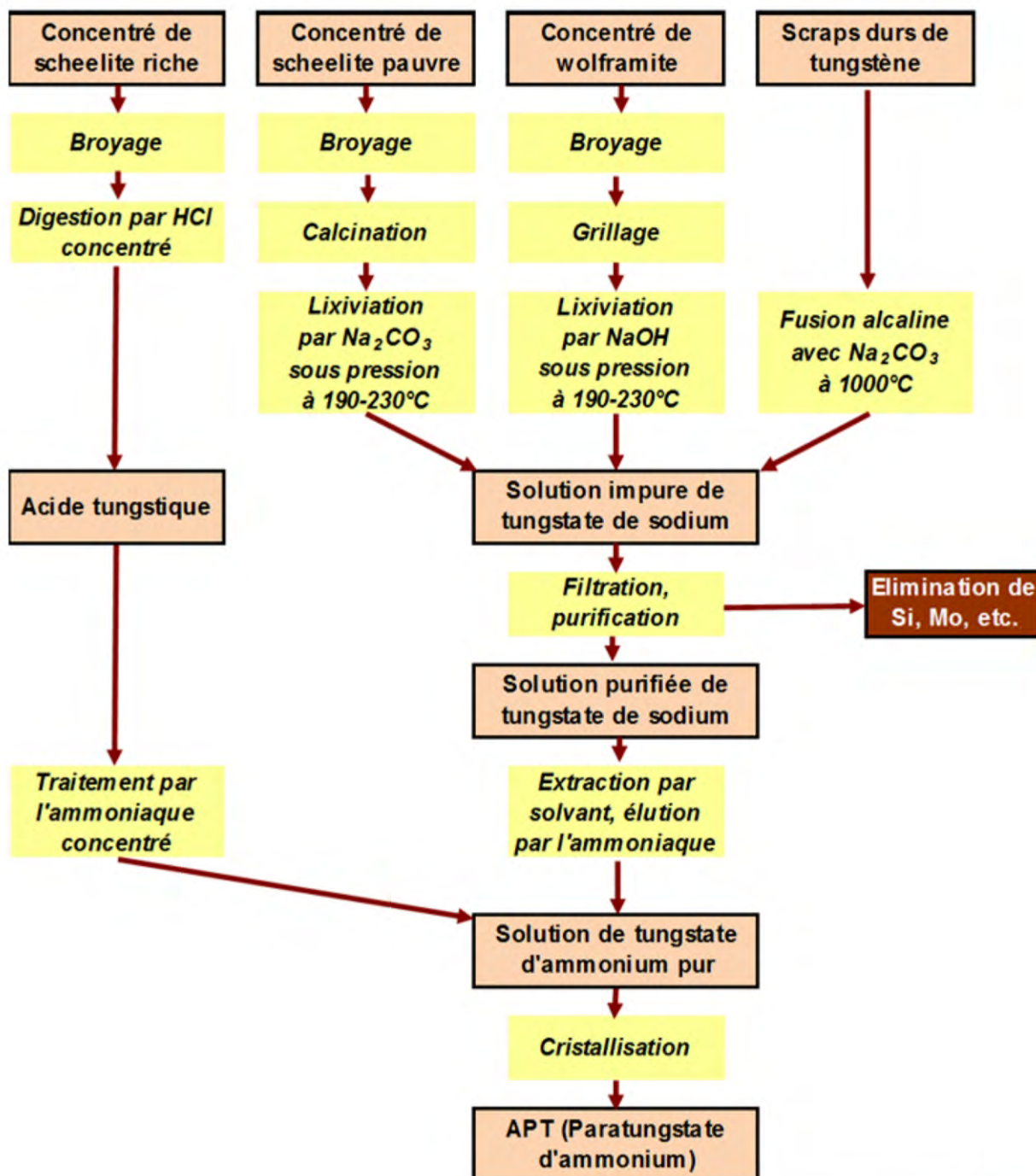
5.1.2.6 Production du ferrotungstène

Le ferrotungstène à 75-85% de tungstène est l'alliage de base pour la production des aciers au tungstène. Il peut être obtenu par réduction de concentrés riches de wolframite ou de scheelite par le carbone dans des fours à arc électrique ou encore par réduction par le silicium ou l'aluminium.

5.1.3 Recyclage du tungstène

Le **taux de recyclage** du tungstène à partir des produits finis en fin de vie est de l'ordre de **10 à 25%** (UNEP 2011 (Recycling Rates of Metals) ; ITIA ; MSP Refram, tungsten mars 2017).

Le **tungstène dit secondaire** issu du recyclage contribuerait à **34% de la demande mondiale** (UNEP 2011 ; ITIA; MSP Refram, tungsten mars 2017), dont 10% de chutes de production (new scrap) et 24% de produits en fin de vie (old scrap)



Paratungstate d'ammonium
(©www.itia.info)

5.1.4 La filière tungstène en France

La France n'extraît plus de tungstène de son sous-sol depuis 1986, malgré des ressources potentielles significatives comme celles du gîte de Fumade, objet de cette demande e PERM.

Elle a **importé 3 400 t de produits bruts à base de tungstène** (oxydes, hydroxydes, APT, ferrotungstène, métal, carbures, lampes et tubes) en 2016 (source : le Kiosque de Bercy, 2017).

La quantité de déchets de tungstène collectés pour le recyclage n'est pas évaluée mais le **gisement collectable pour le recyclage est évalué à 470 t/an, soit 20% de la consommation apparente française** (Etude Ademe/BioIS, juillet 2010).

5.1.4.1 *Entreprises métallurgiques*

UMICORE SPECIALITY POWDERS France (<http://www.unicore.fr/fr/a-propos/nos-sites/grenoble/>), filiale du groupe métallurgique belge UMICORE, fabrique des poudres de tungstène, de cobalt, de carbure de tungstène, et des poudres pré-alliées à partir de matières premières importées (oxydes de tungstène importés principalement de Chine).

PLANSEE TUNGSTEN ALLOYS (<https://www.plansee.com/fr/a-propos-de-nous/sites-de-production/france.html>) exploite une usine à La Roche-sur-Foron (74) qui produit des poudres de tungstène, de molybdène et des alliages destinés à la métallurgie des poudres pour la production de barres, filaments, feuilles et pièces usinées.

ERASTEEL SAS (<http://www.erasteel.com>), filiale de la branche alliages du groupe minier et métallurgique français ERAMET, cette entreprise produit entre autres des aciers rapides au tungstène. Ses sites de production français sont basés à Commentry (03) et Champagnolles (39).

TECHNOGENIA SA (<http://www.technogenia.com/fr/>), basée à Saint-Jorioz, cette entreprise produit de la poudre de tungstène et des carbures de tungstène, notamment sous forme de billes à partir d'un procédé de fusion breveté.

5.1.4.2 *Entreprises de produits intermédiaires*

HEXAMETAL (<https://www.hexametal.com/>), basée à Chazelles-sur-Lyon (42), cette entreprise produit des pièces préformées en carbure cémenté (carbure de tungstène dans un liant de cobalt).

AEROMETAL (<http://www.aerometal.fr/>), basée à Gergy (71), cette entreprise récupère des déchets d'alliages et superalliages à nickel, chrome, cobalt, molybdène, tungstène, titane et zirconium, en particulier les chutes de fabrication, et les trie, les prépare et les conditionne pour les métallurgistes.

5.1.4.3 *Industries aval utilisatrices*

5.1.4.3.1 *Industrie aéronautique, spatiale et de défense*

La plupart des industries françaises de l'aéronautique, du spatial et de la défense utilisent des alliages et superalliages au tungstène pour les turbines et moteurs, pour des lests, des contrepoids, pour certains blindages et munitions, et aussi dans des outils de coupe et d'usinage. Parmi ces sociétés on peut citer :

- **SAFRAN-AIRCRAFT-ENGINES**, (<https://www.safran-aircraft-engines.com/f>), filiale du groupe **SAFRAN**, conçoit et fabrique des moteurs pour l'aéronautique civile et militaire ainsi que des moteurs spatiaux pour la fusée Ariane notamment ;

- **SAFRAN-HELICOPTER-ENGINES** (<https://www.safran-helicopter-engines.com/fr>), une autre filiale du groupe **SAFRAN**, spécialisée dans les turbines pour hélicoptères ;
- **MBDA** (<https://www.mbda-systems.com/>), concepteur et fabricant de missiles ;
- Le Groupe **THALES**, et en particulier sa filiale **TDA ARMEMENTS SAS** (<http://www.tda-armements.com/fr/>) qui fabrique des roquettes, mortiers, munitions et charges ;
- **AIRBUS SAS**, du groupe EADS, conçoit et construit des avions de ligne ;
- **DASSAULTS AVIATION**, conçoit et construit des avions civiles (Falcon) et militaires (Rafale par exemple).

5.1.4.3.2 Industrie automobile

Les groupes français **RENAULT** ou **PSA-PEUGEOT-CITROËN** et nombre de leurs sous-traitants utilisent des outils de découpe et d'usinage de métaux au carbure de tungstène.

5.1.4.3.3 Eclairage

Les fabricants d'éclairage utilisent des filaments et électrodes de tungstène. Parmi les fabricants français, on peut citer :

- 5 usines de production d'ampoules de la branche éclairage **SIGNIFY** (<https://www.signify.com/fr-fr>) de la société néerlandaise **PHILIPS**, à Châlons-sur-Saône (71), Charte (28), Longvic (21), Lamotte-Beuvron (41) et Miribel (01) ;
- **ARIC SA** (<http://www.aric-sa.com>) qui exploite deux usines à Aubervilliers (93 et Segré (49) ;
- **OSRAM SASU** (<https://www.osram.fr/cb/>), filiale de l'allemand OSRAM exploite une usine à Molsheim (67).

5.1.4.3.4 Matériaux

SAINT-GOBAIN, et en particulier sa branche **MATERIAUX INNOVANTS / MATERIAUX HAUTE PERFORMANCE**, produit des revêtements en carbure de tungstène cémenté au nickel pour divers usages tels que les outils de forage, le dragage, les fonderies, les cimenteries etc. (<https://www.ceramicmaterials.saint-gobain.com/>).

5.1.5 Criticité du tungstène

Le **tungstène** fait partie des **métaux stratégiques**, un ensemble d'éléments pour lesquels le Gouvernement français, par l'intermédiaire du Comité des métaux stratégiques (COMES) a demandé ces dernières années au BRGM de réaliser un bilan actualisé abordant les thématiques suivantes :

- état de la demande ;
- état de l'offre ;
- évolution des prix ;
- principaux acteurs en France et dans le monde ;
- évaluation de la criticité pour l'industrie française.

La liste des substances concernées inclut notamment les terres rares, les platinoïdes, le graphite, le tellure... Il s'agit de **composants essentiels pour le développement des hautes technologies et des technologies dites « durables » ou « vertes »**.

La fiche de criticité établie en 2017 pour le tungstène est fournie en **Annexe 1**.

La principale observation faite est l'**extrême domination de la Chine** dans le marché international du tungstène, avec plus de 80 % de la production minière mondiale de tungstène et plus de 60 % des réserves connues, tel que présenté dans les tableaux ci-après. Le pays devance très nettement les autres principaux acteurs internationaux que sont la Russie, le Vietnam et le Canada.

Tableau 5 : Production et réserves mondiales de tungstène

PRODUCTION MINIERE MONDIALE DE TUNGSTENE EN 2015 (d'après WMD)											
Pays	Chine	Vietnam	Russie	Canada	Bolivie	Rwanda	Mongolie	Autriche	Espagne	Autres	TOTAL MONDIAL
kt W	72,2	4,1	3,3	1,8	1,4	1,1	0,9	0,9	0,8	2,3	88,75
%	81,4	4,6	3,7	2,0	1,6	1,2	1,0	1,0	0,9	2,6	100

RESERVES EN TUNGSTENE EN 2016 (d'après l'USGS)										
Pays	Chine	Canada	Vietnam	Russie	Royaume-Uni	Espagne	Autriche	Portugal	Autres	TOTAL MONDIAL
kt W	1 897	288,9	94,2	81,6	50,2	31,4	9,4	3,1	678,2	3 140
%	60,4	9,2	3	2,6	1,6	1	0,3	0,1	21,6	100

A contrario, la France n'a plus produit de tungstène depuis 1986 et la fermeture de la mine de Montredon-Labessonnié, située à 20 km de la présente demande de PERM de la Fabrié. Le pays est donc **entièrement dépendant des importations** pour son approvisionnement. Le tungstène reste malgré tout un métal clé dans bon nombre de secteurs industriels, et notamment dans les domaines stratégiques de l'aéronautique, du spatial et de la défense.

Le cours des composés de commercialisation du tungstène (le principal étant le paratungstate d'ammonium) ont atteint leur plus haut historique en 2012, hors prise en compte de l'inflation. Parallèlement, la production mondiale de tungstène a suivi une augmentation globale depuis le début du XX^{ème} siècle, la plus forte production annuelle ayant été enregistrée en 2015, avec près de 90 000 tW.

La **balance commerciale globale de l'industrie française en 2016** concernant le tungstène métal et les produits à base de tungstène était ainsi **déficitaire de 56,4 M€**. Les principaux fournisseurs de la filière sont la Russie, la Chine, l'Autriche et l'Allemagne.

En conclusion de son évaluation, le BRGM attribuait en 2017 une **criticité pour le tungstène** :

- **très forte** concernant son **importance stratégique pour l'industrie française** ;
- **forte** concernant son **risque sur les approvisionnements**.

Au travers de cette demande de PERM et des travaux d'exploration qui en découleront, TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS souhaite **développer les ressources françaises en tungstène**, métal clé pour un certain nombre d'entreprises industrielles françaises, et notamment dans les domaines stratégiques de l'aéronautique, du spatial et de la défense.

5.2 CHOIX DE LA CIBLE DE FUMADE - « LA FÉDIAL »

5.2.1 Un gîte avéré déjà identifié

L'historique des travaux d'exploration menés dans le secteur du projet, et plus particulièrement sur la **cible de Fumade - « la Fédial »** fait l'objet du § 2. Ces travaux ont été interrompus dans les années 80 dans un contexte économique d'effondrement du cours du tungstène, mais ils avaient abouti à la découverte d'un gîte qui, d'après les premières estimations, offrait des perspectives économiques intéressantes. Les réévaluations récentes ont depuis confirmé ce potentiel.

La seule cible de « Fumade profond », qui est largement la plus connue, comporte un rapport tonnage / teneur qui la classe **au niveau des gisements actuellement en cours d'exploration avancée** dans le monde, **voire de mines** en activité comme celles de Los Santos, en Espagne, ou de Candung, au Canada [Cf. Figure 13].

De plus, les travaux se sont essentiellement concentrés sur « Fumade profond » et seuls quelques sondages ont été consacrés à « la Fédial » et « Fumade superficiel ». Les extensions latérales (vers le Nord et le Sud) n'ont pas fait l'objet d'études à l'heure actuelle.

5.2.2 Une cible prospective jugée prioritaire à l'échelle nationale

Face à la problématique de la forte dépendance de la France pour son approvisionnement en ressources minérales, les pouvoirs publics ont lancé en 2012 un **programme général de réévaluation du potentiel français en ressources minérales**. Celui-ci implique en premier lieu le BRGM, mais également la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB) rattachée au Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM) et mise à disposition du Ministère de l'Économie et des Finances.

Le programme mis en place comporte les actions suivantes :

- caractérisation des cibles minières ;
- catalogue hiérarchisé des anomalies polymétalliques ;
- promotion des districts miniers métropolitains.

C'est dans ce cadre qu'ont récemment été publiés les rapports déjà mentionnés du BRGM sur le gîte de tungstène de Fumade (BRGM/RP-62718-FR, décembre 2013) et sur le district à tungstène de la Montagne Noire (BRGM/RP-65553-FR, mars 2016).

Le dernier cité comporte une étude de favorabilité qui propose une hiérarchisation des différentes cibles à tungstène connue dans la Montagne Noire.

Le classement se base sur les données historiques d'exploration disponibles et sur 2 **méthodes de prédictivité** usuelles, la *Weight Of Evidence (WOE)* et la *Cell-Based Association (CBA)*. Ces dernières ont permis d'**établir des secteurs favorables à la présence de gîtes de tungstène** à l'échelle régionale.

La **méthode WOE** a permis de faire ressortir des grands ensembles géologiques, dont les pélites noires à nodules phosphatés de la Série noire cambrienne. Parmi les secteurs d'intérêt, le site de Fumade se classe avec une bonne favorabilité [Cf. Figure 17], mais reste en apparence moins intéressant que la zone de Montredon-Labessonnié, au Nord-Ouest, de l'autre côté du massif du Sidobre.

En intégrant les données géochimiques (prise en compte de la signature géochimique particulière à W-Sn-Be, WOE qualifié en approche « expert »), la méthode fait ressortir **5 zones d'intérêt prospectif élevé** au sein de la Montagne Noire, dont Fumade :

- n°1 - Montredon-Labessonnié ;
- n°2 - Fumade (étendu vers le Nord-Est à un secteur dénommé Bouissas) ;
- n°3 - zone ou secteur 3, la Rabasse ;
- n°4 - la Gineste ;
- n°5 - zone ou secteur 5.

La méthode CBA a mis en évidence **8 types géologiques favorables** au sein de la Montagne Noire, parmi lesquels le site de Fumade est concerné par le Type 2 (k1-k2b-k2a) qui inclut la Série noire et les carbonates massifs sous-jacents, et le Type 6 (k2b-a3_4) qui correspond à ces mêmes formations au contact de granites à biotite.

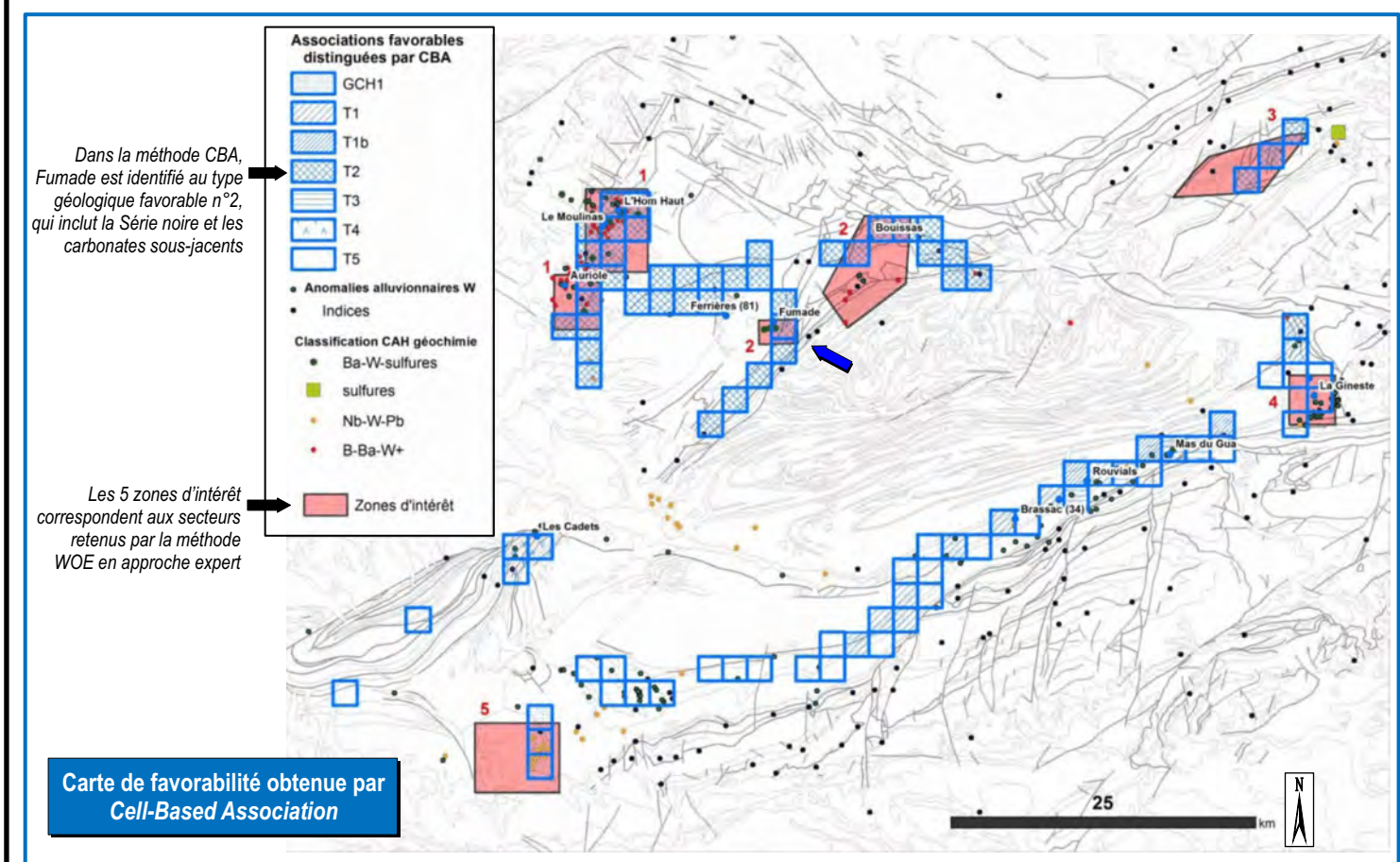
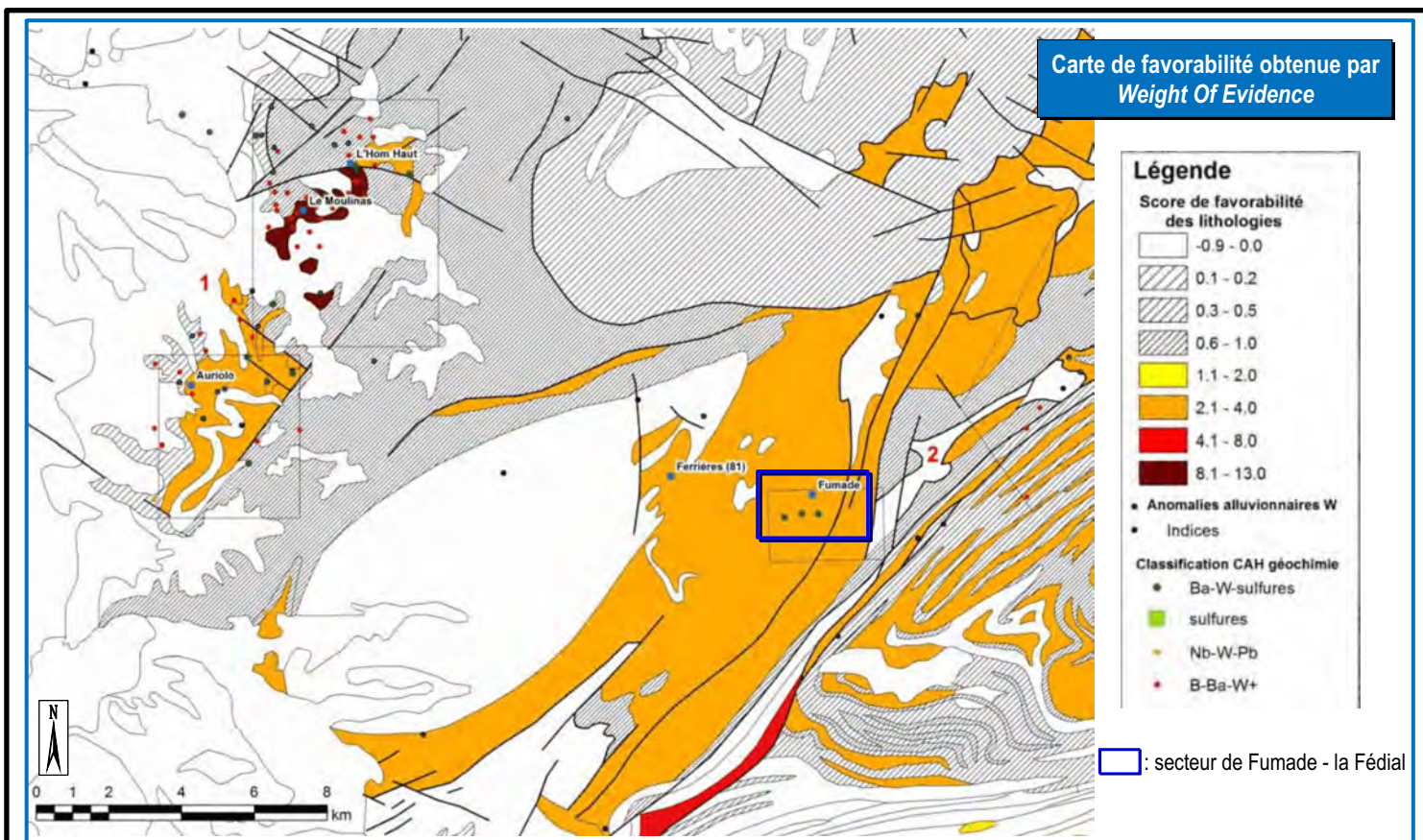
La seconde carte de la Figure 17 permet de visualiser le recoupement entre les zones d'intérêt obtenues par WOE et les cellules retenues par CBA.

Il est également pris en compte que les Types 2 et 6 sont connus dans la région pour être associés à des gîtes avérés de tungstène et présentent donc un potentiel renforcé.

L'étude conclut sur l'existence, au sein de la Montagne Noire, de 6 zones présentant un intérêt prospectif remarquable pour le tungstène :

❖ **3 zones d'intérêt majeur :**

- les **monts de Lacaune (Fumade-Bouissas)** ;
- le dôme de Montredon-Labessonnié, où sont notamment connus les gîtes d'Auriole, de l'Hom-Haut et du Moulinas ;
- la « zone Nord-Est », autour du gisement de plomb et de zinc de la Rabasse, qui correspond à la limite NE des monts de Lacaune et où des occurrences de scheelite et de wolframite ont été identifiées par géochimie alluvionnaire, ainsi qu'une importante anomalie en béryllium ;



❖ 3 zones d'intérêt modéré :

- le secteur de la Gineste - la Capoulade ;
- le secteur des Cadets, qui correspond au prolongement Sud-Ouest des monts de Lacaune ;
- le secteur 5, repéré par recoupage des méthodes WOE et CBA, et connu pour une importante anomalie en béryllium.

Les auteurs soulignent également les limites atteintes par les méthodes de prospection employées jusqu'alors à large échelle, ne permettant pas de détecter efficacement une minéralisation qui serait présente uniquement en profondeur.

Ils proposent les recommandations stratégiques suivantes sur la poursuite des travaux de prospection à l'échelle du district minier ou des prospects retenus :

- réinterpréter les données des campagnes de géochimie en appliquant des seuils de détection moins élevés, ce qui pourrait conduire à la découverte de nouvelles minéralisations ;
- **réaliser un modèle géologique 3D** du Cambrien, et en particulier des contacts entre les formations du Cambrien inférieur et les intrusions granitiques ;
- réaliser de **nouveaux relevés géophysiques** avec une meilleure résolution ;
- mesurer les concentrations en indium (In) et en scandium (Sc), notamment, qui pourraient atteindre des concentrations intéressantes au niveau des cibles tungsténifères.

Toujours, dans le cadre de la **réévaluation du potentiel en ressources minières du territoire français**, le BRGM a publié un ensemble de **fiches de sujet minier** dressant un récapitulatif très synthétique des caractéristiques des prospects connus et **fixant leur degré de priorité pour la réalisation de nouveaux travaux de prospection**.

La fiche réalisée pour le **gîte de tungstène de Fumade** est fournie en **Annexe 2**. Celui-ci se voit attribuer la **priorité maximale** (niveau 1, ce qui vient confirmer la priorité qui lui avait été attribuée à la suite de l'Inventaire minier).

Parmi les fiches établies pour le potentiel en tungstène de la Montagne Noire, il s'agit de la note maximale et donc de **l'objectif prioritaire pour la reprise de l'exploration pour cette substance et les substances connexes éventuelles au sein de ce district minier**.

Les récentes études de stratégie prospective à l'échelle nationale ont ainsi désigné le **secteur de Fumade** comme la **cible prioritaire d'exploration pour ses ressources en tungstène** au sein de la Montagne Noire.

5.2.3 Recommandations des études menées par le passé

Le **Tableau 6** ci-après récapitule les principales conclusions favorables et les recommandations en matière de travaux d'exploration nécessaire pour la compréhension du gîte de Fumade. Ils sont extraits des études récentes réalisées par le BRGM mentionnées au **§ 1** ou bien d'études réalisées dans les années 80 dans le cadre des travaux historiques de prospection pilotés par ELF-AQUITAINE.

Tableau 6 : Typologie du gîte de tungstène de Fumade – la Fédial

Auteurs	Date	Commentaires / recommandations
B. Bros, F. Garnaud	1985	Conclusion optimiste sur la faisabilité technico-économique d'une mise en exploitation du gîte de tungstène de Fumade Souligne la possibilité de découvrir les extensions latérales du gîte, qui n'ont pas été étudiées Souligne la possibilité de découvrir des lentilles plus concentrées en tungstène, par analogie avec le site ariégeois de Salau (09)
R. Bouteloup, J-P. Dumas	1985	Le minerai de Fumade est pauvre en sulfures et ceux-ci pourront être aisément séparés par flottation
J-P. Prouhet	1987	Avance la possibilité d'exploiter conjointement les cibles de « Fumade profond » et « la Fédial » Souligne les besoins en travaux d'exploration pour étudier la possible coalescence des minéralisations La granulométrie grossière de la scheelite échantillonnée à Fumade est favorable au procédé de concentration gravimétrique Souligne la nécessité de travaux d'exploration plus poussés pour vérifier la continuité des niveaux minéralisés connus Souligne la nécessité de travaux d'exploration pour étudier les possibles extensions vers le Nord ou le Sud des minéralisations connues
A-S. Audion	2013	L'absence de fluorine dans le minerai échantillonné à Fumade est favorable au procédé de concentration par flottation Souligne la nécessité de travaux d'exploration plus poussés pour vérifier la continuité des niveaux minéralisés connus et mieux connaître les variations de teneur Souligne le peu de données actuellement disponibles sur les cibles de « la Fédial » et « Fumade superficiel » Nécessité de réaliser une étude préliminaire voire une étude de préfaisabilité pour définir les réserves économiquement exploitables
J. Melleton, E. Cloaguen, B. Tourlière, D. Cassard, G. Bertrand	2016	La cible de « Fumade superficiel » possède un potentiel de ressources comparable à certaines mines de tungstène en exploitation dans le monde Le secteur de Fumade s'est vu attribuer la priorité maximale lors de la réévaluation du potentiel minier français Recommande la réalisation d'un modèle géologique 3D des formations Recommande la réalisation de nouveaux levés géophysiques plus précis Recommande la prospection parallèle pour l'indium et le scandium, métaux rares qui, en raison de leur processus de concentration, peuvent se retrouver associés à des minéralisations de tungstène

Ces auteurs convergent vers le double constat suivant, qui constitue un argument de poids en faveur du projet de PERM de la Fabrié :

- il existe un **gîte avéré de tungstène** au niveau du site de Fumade, que ses ressources estimées placeraient **au niveau de certaines mines en exploitation actuellement** dans le monde et qui constitue ainsi une **cible d'exploration a priori très favorable** ;
- de **nombreuses incertitudes** demeurent avant de pouvoir conclure sur la possibilité de mise en exploitation de ces ressources, qui **ne pourront être levées que par la réalisation de travaux d'exploration plus avancés** (précisions sur la minéralisation de « Fumade profond », exploration des cibles « la Fédial » et « Fumade superficiel », exploration des possibles extensions latérales du gîte...).

5.3 CHOIX DES AUTRES SUBSTANCES DE LA DEMANDE

En plus du potentiel déjà connu et restant à définir plus précisément pour le tungstène, l'emprise du PERM sollicité **pourrait recéler des ressources économiques** pour d'autres substances minérales, qui n'ont pas fait l'objet d'études approfondies d'après la bibliographie consultée, mais pouvant être présentes sur le secteur à explorer..

Tableau 7 : Justification des substances connexes sollicitées dans le cadre du PERM de la Fabrié

Substance	Choix
Or (Au)	Important gisement identifié et exploité sur le Versant Sud de la Montagne Noire (Salsigne) Substance très rarement retrouvée en association avec le tungstène
Bismuth (Bi)	Substance exploitée à Salsigne Substance rarement retrouvée en association avec le tungstène
Etain (Sn)	Substance souvent associée aux minéralisations de tungstène (contexte métallogénique commun d'intrusion acide), gisements Sn-W
Molybdène (Mo)	Substance pouvant être associée aux minéralisations de tungstène (contexte métallogénique commun d'intrusion acide)
Tellure (Te)	Métal rare souvent trouvé en association avec l'or, le plomb, le bismuth, l'antimoine...
Antimoine (Sb)	Substance retrouvée dans d'autres districts à tungstène (massif armoricain)
Zinc (Zn)	Plusieurs exploitations connues dans les carbonates de la Montagne Noire (Saint-Salvy, la Rabasse...)
Cuivre (Cu)	Plusieurs gisements connus sur le Versant Nord (Saint-Salvy) et Sud (Salsigne) de la Montagne Noire Substance pouvant être associée aux minéralisations de tungstène (contexte métallogénique commun d'intrusion acide)
Indium (In)	Métal rare recommandé comme élément à rechercher car potentiellement associé au tungstène par le BRGM (2016)
Scandium (Sc)	Métal rare recommandé comme élément à rechercher car potentiellement associé au tungstène par le BRGM (2016)

5.4 CHOIX DE L'EMPRISE SOLLICITEE

L'emprise sollicitée pour le PERM de la Fabrié représente une **superficie de 4,5 km²**, selon une forme rectangulaire allongée dans une direction Nord-Est / Sud-Ouest [\[Cf. § 6\]](#).

Il s'agit d'une superficie relativement restreinte pour un permis d'exploration, qui a été choisie en tenant compte de **2 objectifs principaux** [\[Cf. § 7\]](#) :

- inclure le « **secteur de ressources connues** », c'est-à-dire le secteur où se sont concentrés les travaux historiques d'exploration menés par le BRGM puis ELF-AQUITAINE et qui ont conduit à l'identification du **gîte de tungstène de Fumade - « la Fédial »**, dans la **partie Sud du PERM demandé** ;

- inclure un « **secteur cible d'exploration** », c'est-à-dire un secteur où **seront étudiées les possibles extensions latérales** du gîte déjà connu. A ce stade des connaissances, le choix s'est porté **vers le Nord** du gîte, en raison du prolongement à l'affleurement des formations potentiellement minéralisées suivant la direction structurale principale de la géologie de ce secteur (grossoirement Nord-Est / Sud-Ouest).

5.5 CHOIX DE LA DUREE SOLLICITEE

Le calendrier prévisionnel des travaux d'exploration est fourni au § 7.8 et leur description dans les paragraphes précédents. La **durée de la demande de 5 années** permettra de réaliser l'ensemble des opérations et démarches nécessaires pour :

- d'une part **préciser les données quantitatives** sur le gîte de tungstène déjà connu de Fumade - « la Fédial », qui ne sont actuellement considérées que comme étant « inférées », et qui devront être portées au grade de « mesurées » afin d'étayer l'étude de faisabilité technique, environnementale et financière indispensable avant d'envisager tout développement d'un projet minier ;
- d'autre part, et dans un même temps, **étudier le possible prolongement vers le Nord du gîte** tel qu'il est connu et, le cas échéant, intégrer les nouvelles ressources découvertes dans l'estimation faite pour le gîte ;
- tout au long de la durée du titre, faire réaliser les **études environnementales** nécessaires qui viendront ultimement nourrir l'étude de faisabilité, en particulier des études écologique, hydrogéologique, hydrologique...

6. SURFACE DEMANDEE, LOCALISATION ET ACCES

Le PERM sollicité de la Fabrié est entièrement localisé sur le territoire de la commune de **Fontrieu**, dans le Sud-Est du département du **Tarn (81)**. Les cartes de localisation exigées pour la présente demande sont fournies dans le **Tome 1 : Document Administratif**.

L'emprise du projet présente la forme d'un rectangle d'une **superficie de 4,5 km²** dont les coordonnées des sommets [Cf. **Figure 18**] sont fournies dans le **Tableau 8** ci-après.

Tableau 8 : Coordonnées des sommets du périmètre de la demande

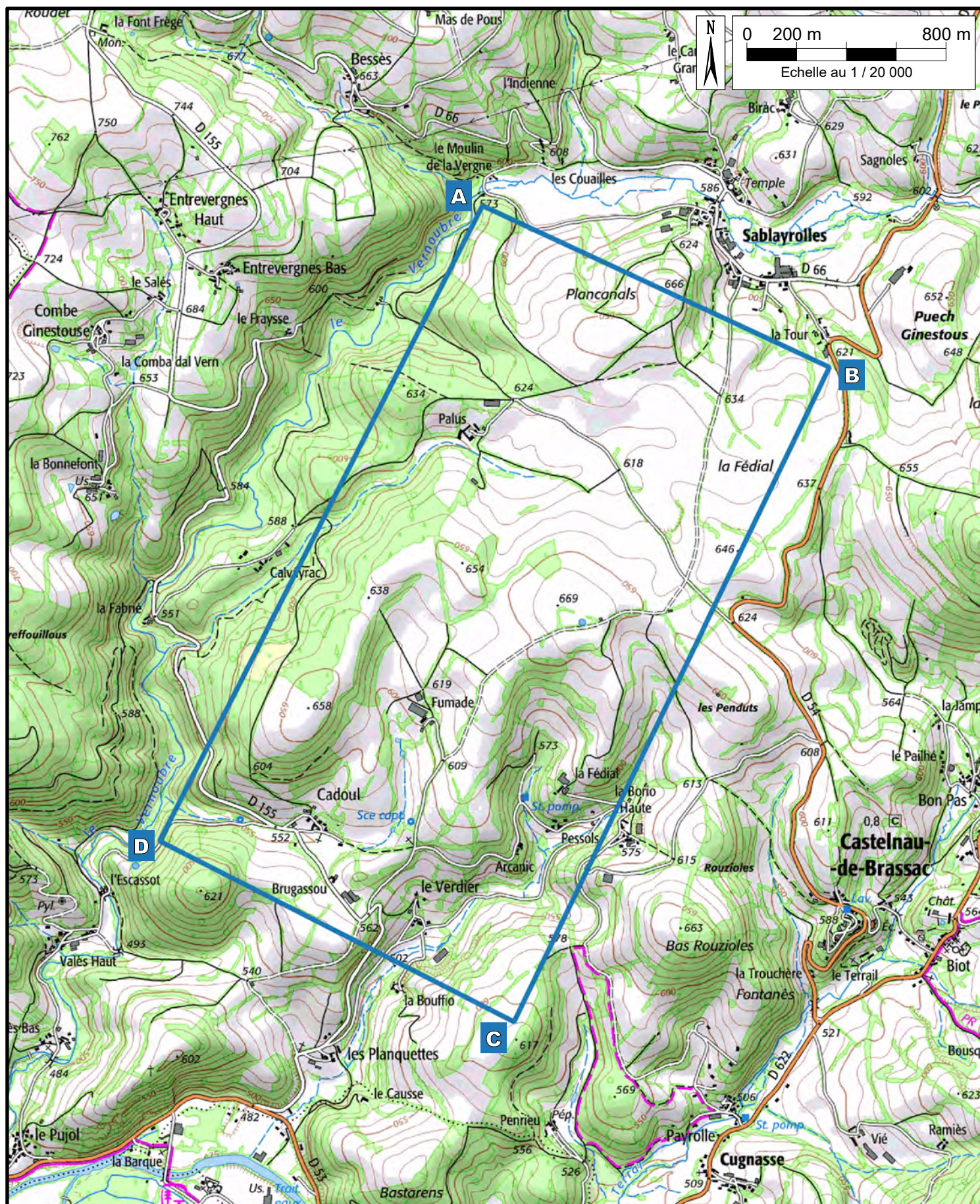
Sommet	X Lambert93	Y Lambert93
A	659 285,83	6 286 265,23
B	660 675,53	6 285 618,70
C	659 412,33	6 282 999,18
D	657 992,77	6 283 723,02

L'emprise est ainsi localisée dans un **environnement rural, essentiellement agricole** et très faiblement peuplé. En effet, la commune de Fontrieu compte en tout 933 habitants (population légale de 2013) et le bourg principal, de Castelnau-de-Brassac, n'est pas inclus dans le PERM. Ainsi, seules quelques habitations se trouvent au sein de la demande (hameau de Cadoul, fermes de Fumade et de « la Fédial »...).

Le bourg de Castelnau-de-Brassac se trouve à environ 1 km au Sud-Est du périmètre sollicité. La ville la plus importante dans les environs proches est Castres, qui se trouve à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest-Sud-Ouest.

Les terrains de la demande sont **facilement accessibles par voie routière**, la RD 155 traversant le Sud de l'emprise qui est également sillonnée par plusieurs voies communales. Une route plus importante, la RD 54, longe le Nord-Est du périmètre.

L'environnement naturel et anthropique dans lequel s'inscrit la demande de PERM est décrit plus en détail dans le **Tome 3 : Notice d'Impact**.



TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS - Demande de PERM de la Fabrié

Commune de Fontrieu

Tome 2 : Mémoire Technique et Programme des Travaux

Emplacement du PERM sollicité sur fond de carte IGN

Source : TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS

Figure 18

7. PROGRAMME GENERAL DES TRAVAUX PROJETES

Le **programme d'exploration** établi par TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS pour le PERM sollicité de la Fabrié s'étalera sur une **durée de 5 ans**, jugée nécessaire pour la collecte de données suffisamment précises pour permettre la réalisation d'une étude de faisabilité quant à la mise en exploitation du gîte de tungstène.

Les travaux sont répartis selon **6 phases principales** :

- les **phases 1 à 5** concernent la **minéralisation en tungstène de Fumade - « la Fédial »**, tel qu'il est actuellement déjà connu ;
- la **phase 6** concerne l'étude de sa **possible extension vers le Nord**.

Les **travaux prévisionnels** au cours de chacune de ces phases sont décrits ci-après, sur la base des données actuellement disponibles. Il est toutefois à noter que, par essence, lors d'un programme d'exploration, chaque étape dépend des résultats de la précédente et qu'il est **régulièrement nécessaire d'adapter le programme des travaux** en conséquence.

Les travaux programmés sont répartis selon **2 secteurs d'étude** [Cf. Figure 19] :

- le **secteur de ressources connues**, centré autour de l'anomalie Fumade - « la Fédial » et des travaux historiques menés ;
- le **secteur cible d'exploration**, qui correspond au prolongement vers le Nord de la formation carbonatée porteuse de la minéralisation.

7.1 PHASE 1 : DETERMINATION DES RESSOURCES « INFEREES » OU PRESUMEEES

Phase 1.A - Compilation des données historiques

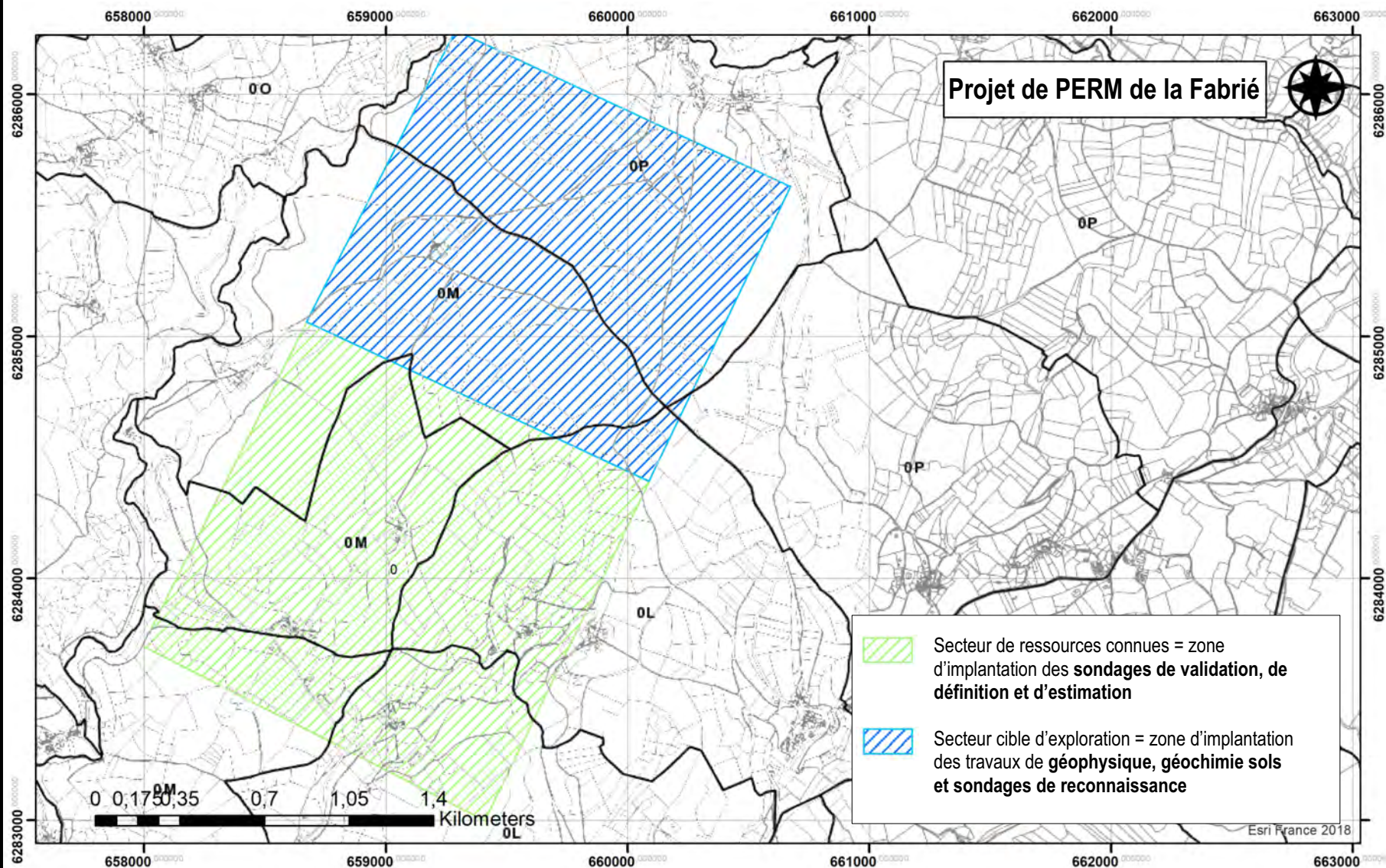
Cette phase préliminaire consistera à reprendre l'ensemble des données issues des précédents travaux d'exploration menés sur le site : cartes géologiques, analyses chimiques, levés géophysiques, sondages, tests minéralurgiques...

Toutes ces données seront compilées dans une base de données et géoréférencées. Un **modèle géologique 3D** sera alors créé à l'aide du logiciel *Micromine*.

Phase 1.B - Levé topographique

Une **reconnaissance par un drone** au droit du secteur minéralisé connu permettra d'obtenir et d'intégrer dans le modèle numérique :

- un **levé topographique** détaillé (5 cm de précision) et géoréférencé ;
- des **photographies aériennes** précises de la zone, elles-aussi géoréférencées, qui pourront éventuellement permettre d'identifier des lieux sensibles à éviter dans la suite des travaux (en particulier les sondages).



Phase 1.C - Sondages de validation

Conformément aux standards internationaux, afin de pouvoir utiliser d'anciennes données de sondage, il est d'abord nécessaire de contrôler leur précision en reprenant au moins 10 % des ouvrages (réalisation d'un sondage de validation parallèle et à proximité de l'ancien).

Pour la validation des 82 anciens sondages carottés [Cf. § 2], TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS prévoit ainsi la réalisation de **8 sondages carottés de validation** dont la zone prévisionnelle d'implantation est représentée en **Figure 19**. Ces ouvrages atteindront une profondeur comprise entre 20 et 430 m.

Sur le terrain, l'emplacement des sondages sera repéré au GPS et chaque site sera préalablement contrôlé afin de vérifier qu'il n'abrite pas de sensibilité particulière, et déplacé le cas échéant.

Les sondages carottés seront réalisés au diamètre HQ (63 mm) à l'aide d'une foreuse au diamant. Un géologue supervisera en permanence les travaux et l'emménagement des échantillons dans la **carothèque** aménagée à cet effet.

Les travaux suivants seront réalisés sur les carottes :

- étude géologique de détail (minéralogie, stratigraphie, structure...) ;
- calcul du taux de récupération ;
- mesure de la densité ;
- essais géotechniques ;
- échantillonnage pour analyses dans un laboratoire accrédité ISO, selon un programme rigoureux de QA/QC avec insertion de blancs et de standards ;
- les normes internationales d'échantillonnage seront appliquées et 10 % des échantillons seront testés dans un laboratoire différent à titre de comparaison ;

Toutes les données réunies seront intégrées dans les bases de données et dans le modèle géologique numérique.

Les plateformes de sondage seront réaménagées à la fin des travaux (Cf. Tome 3 : Notice d'Impact).

Phase 1.D - Analyses minéralogiques

3 échantillons de chaque carotte à différentes profondeurs seront analysés pour déterminer la **composition minéralogique**, la concentration de chaque minéral, leur distribution en taille, leur forme cristalline et les possibles inclusions.

Un test de séparation en liqueur dense (*Heavy Medium Fluid*) sera réalisé sur la scheelite afin d'obtenir des informations sur les mécanismes de concentration du minerai.

Phase 1.E - Calcul des ressources « inférées » ou présumées

Le terme de ressources « inférées » (inferred) ou présumées est défini de la manière suivante dans le Code JORC, code australien pour le reporting des résultats d'exploration, des ressources minérales et des réserves minières (édition 2012) :

« Partie des ressources minérales pour laquelle le tonnage et la teneur sont estimés à partir de données parcellaires. Les données géologiques sont suffisantes pour estimer mais non pour contrôler la continuité de la minéralisation et de la teneur. »

En bilan de la Phase 1, le **calcul des ressources « inférées » ou présumées en tungstène** sera confié au bureau d'études spécialisé indépendant et agréé au titre du code JORC : SNOWDENS AND INTERNATIONAL RESOURCE CONSULTANCY COMPANY.

Phase 1.F - Etude préliminaire

Sur la base des données acquises en Phase 1 et de l'estimation des ressources « inférées » ou présumées, une **étude préliminaire** sera réalisée qui devra déterminer si les travaux doivent être poussés plus avant. Cette étude développera les paramètres suivants :

- évaluation des réserves potentielles ;
- conception d'un plan et d'un calendrier d'exploitation minière ;
- conception d'un procédé minéralurgique de récupération du tungstène ;
- évaluation des coûts de développement et de mise en œuvre (mine, usine) ;
- études logistique, environnementale, sociale, commerciale nécessaires ;
- modèle financier.

7.2 PHASE 2 : DETERMINATION DES RESSOURCES « INDIQUEES »

Phase 2.A - Sondages de définition

20 sondages carottés de définition seront réalisés afin cette fois-ci de compléter les données géologiques dans le secteur de ressources connues. Leur zone de localisation est cartographiée en **Figure 19**.

Les techniques mises en œuvre lors de cette phase seront les mêmes que celles décrites précédemment pour les sondages de validation. Les sondages atteindront une profondeur comprise entre 55 et 380 m.

Phase 2.B - Echantillons en vrac

2 échantillons « en vrac » (*bulk samples*) seront prélevés :

- l'un, de 100 kg, dans une zone saine de la minéralisation, en profondeur, par le biais de sondages carottés de diamètre élevé PQ (85 mm) ;
- l'autre, de 500 kg, dans une zone superficielle altérée, par le biais de puits creusés dans le secteur où la minéralisation est sub-affleurante.

Phase 2.C - Essais minéralurgiques

Les échantillons en vrac seront alors envoyés en laboratoire agréé pour y subir une **batterie d'essais** qui comportera, toujours conformément aux standards d'échantillonnage :

- essai de broyage ;
- essai de récupération d'un concentré ;
- mesure de la teneur du concentré ;
- rétablissement en masse ;
- essai de plusieurs méthodes de récupération...

Phase 2.D - Calcul des ressources indiquées

Le but de la Phase 2 est de pouvoir **déterminer les ressources « indiquées »** du gîte, qui correspond au grade immédiatement supérieur aux ressources « inférées », au regard de la référence australienne JORC (Joint Ore Reserves Committee), en termes de degré de précision et de connaissance.

Les ressources indiquées sont suffisamment précises et fiables pour **permettre l'établissement d'un projet planifié d'exploitation minière et d'une étude sur sa viabilité économique**.

En bilan de la Phase 2, le **calcul des ressources indiquées en tungstène** sera également confié à la SNOWDENS AND INTERNATIONAL RESOURCE CONSULTANCY COMPANY.

7.3 PHASE 3 : ETUDE DE PRE-FAISABILITE

L'**étude de pré-faisabilité** constitue une **phase de réflexion** sur les différentes méthodes d'extraction, de traitement du minerai et de gestion des stériles d'extraction et résidus traitement :

- 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 ;
- 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 ;
- Un procédé de concentration optimum et respectueux de l'environnement sera défini à partir des essais minéralurgiques réalisés. La délocalisation de tout ou partie du procédé de concentration (gravimétrie / flottation) vers une zone adaptée, à une distance acceptable et peu sensible d'un point de vue environnemental (ancien site industriel, ancienne carrière) sera analysé ;
- 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.

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.

Sachant que la filière française du tungstène ne débute actuellement qu'au stade de la production de poudres de tungstène ou carbures de tungstène à partir d'oxydes de tungstène importés en grande partie de Chine, il se pourrait que le projet vise à produire des concentrés de tungstène à transformer ensuite ailleurs en Europe.

Cependant, l'étude de pré-faisabilité évaluera l'opportunité de la **création d'un aval industriel à la mine**, à savoir la création d'une **usine de production de paratungstate d'ammonium et/ou d'oxydes de tungstène intégrant une filière de recyclage** [Cf. § 5.1.2.2 p 46, 5.1.2.3 p 47, et 5.1.3 p 47]. Ce type de projet intégré, à l'image de la mine de Mittersill en Autriche [Cf. Figure 20] permettrait la production de substances à forte valeur ajoutée pour l'industrie française. Sa localisation éventuelle reste à déterminer, et n'est pas obligatoirement liée au site minier.

L'objectif final de cette étude de pré-faisabilité sera d'aboutir à un **projet minier intégré à son territoire d'un point de vue environnemental, économique et industriel**. Ce projet sera ensuite analysé plus finement au stade de l'étude de faisabilité.

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

7.4 PHASE 4 : DETERMINATION DES RESSOURCES « MESUREES »

Phase 4.A - Sondages à maille resserrée

A partir des résultats de l'étude de pré-faisabilité, une cible d'exploitation pour les 5 premières années aura éventuellement été déterminée. Une **campagne de sondages suivant une maille resserrée** sera alors réalisée au droit de cette cible prioritaire (constituant de nouveaux sondages carottés de définition). Leur emplacement et leur nombre ne peuvent être dès à présent déterminés, mais il peut être estimé que 3 000 m de linéaire sondés cumulés seront suffisants pour quantifier raisonnablement les ressources ciblées.

La méthodologie définie pour la Phase 1.F sera de nouveau appliquée.

Phase 4.B - Echantillons en vrac

Un grand **échantillon en vrac de 20 t** sera prélevé, selon un emplacement déterminé là encore au stade de l'étude de pré-faisabilité.

Les critères de sélection incluront la meilleure représentativité de la cible d'exploitation et le moindre impact environnemental.

Phase 4.C - Essais minéralurgiques

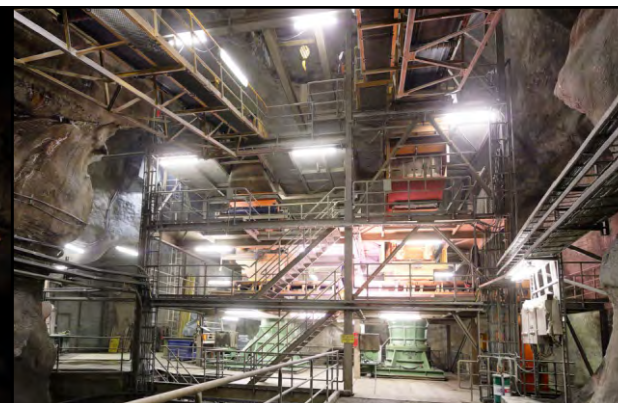
Des **essais minéralurgiques** semblables à ceux décrits en Phase 2.C seront réalisés sur le grand échantillon en vrac. Les résultats devront permettre de **réunir tous les paramètres de conception de l'usine de traitement du minerai**.



Entrée de la mine souterraine



Extraction et chargement du minerai



Station de concassage/criblage souterraine



Usine de concentration du minerai à 3 km en aval de la mine



Usine métallurgique de St. Martin im Sulmtal
(production d'APT, oxydes de tungstène,
poudres de tungstène, carbures de tungstène)

A&M

À Mittersill, en Autriche, une intégration environnementale réussie

Située dans la province de Salzbourg, dans l'ouest autrichien, la mine de tungstène de Mittersill se trouve au cœur d'un espace protégé adjacent au parc national des Hohe-Tauern, l'un des plus importants du pays : un contexte environnemental particulièrement sensible constamment pris en compte dans l'exploitation de la mine par la compagnie minière Wolfram Bergbau und Hütten, et ce depuis la fin des années 1970. Ainsi, la plupart des infrastructures sont souterraines : les uniques constructions visibles sont un petit chalet utilisé par le département engineering et l'entrée principale du site à 1 175 mètres d'altitude. Pour sa part, l'usine de concentration du minerai a été construite en surface à 3 kilomètres plus en aval du site minier de Mittersill, dans une zone éloignée du parc national peu exposée aux avalanches. La mine, qui contient une station de concassage souterraine, et l'usine sont reliées par un convoyeur à bande pour transporter le minerai. L'essentiel des résidus de la mine sont utilisés comme remblai pour combler les cavités arrivées en fin d'exploitation ou sont vendus comme granulat pour les travaux publics. Seuls les résidus finement broyés, chimiquement inertes, sont stockés dans des digues à stériles qui sont revégétalisées une fois remplies. Grâce à toutes ces précautions prises dès sa mise en exploitation, la mine de Mittersill a été la première mine de tungstène au monde à recevoir en 1999 la certification environnementale ISO 14001.

TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS - Demande de PERM de la Fabrice

Commune de Fontrieu

Tome 2 : Mémoire Technique et Programme des Travaux

La mine de tungstène de Mittersill, un exemple d'intégration
environnementale et industrielle

Sources : <http://www.wolfram.at/>, A3M

Figure 20

Phase 4.D - Calcul des ressources « mesurées »

Les **ressources dites « mesurées »** correspondent au degré le plus avancé et le plus fiable de connaissance selon le Code JORC. Elles ne peuvent être estimées qu'une fois les travaux d'exploration avancée achevés. Les données géologiques et les résultats d'essais sont suffisamment nombreux et fiables pour connaître l'évolution de la minéralisation et de sa teneur en tungstène entre les points de sondage.

En bilan de la Phase 4, le **calcul des ressources mesurées en tungstène** sera également confié à la SNOWDENS AND INTERNATIONAL RESOURCE CONSULTANCY COMPANY.

7.5 PHASE 5 : ETUDE DE FAISABILITE

Phase 5.A - Etude de faisabilité

En cas de résultats probants lors des phases précédentes, l'**étude de faisabilité du projet minier défini en phase 3 et sur la base des ressources validées en phase 4** sera confiée à un bureau d'études spécialisé indépendant, sous la supervision de TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS.

Elle reprendra les mêmes thématiques que l'étude de pré-faisabilité de la Phase 3, mais, disposant de l'ensemble des données d'exploration et de tests, elle présentera une encore bien meilleure fiabilité.

Phase 5.B - Demande de Concession minière

Si l'étude de faisabilité aboutit à une conclusion favorable quant à la mise en exploitation, TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS entamera avant la fin de la durée du PERM les **procédures nécessaires à l'obtention d'une concession et d'Autorisation d'exploiter au titre des ICPE et du Code Minier**, centrées sur le projet défini dans l'étude de faisabilité.

Conformément au Code de l'Environnement, ces procédures feront l'objet d'une évaluation environnementale et d'une enquête publique.

7.6 PHASE 6 : RECHERCHE DE NOUVELLES RESSOURCES

La Phase 6 n'est en réalité pas subséquente à la Phase 5, mais correspond aux travaux d'étude de la possible extension de la minéralisation déjà connue vers le Nord. Elle se déroulera au cours des 3 premières années de la durée du PERM, donc en amont de la réalisation de l'étude de faisabilité.

Elle portera sur la partie Nord du PERM **[Cf. Figure 19]**.

Phase 6.A - Compilation des données historiques

Cette étape sera similaire à la Phase 1.A, si ce n'est que les données sur le secteur cible d'extension seront par définition beaucoup moins nombreuses.

Phase 6.B - Levé topographique

Cette étape consistera en le passage d'un drone, de la même manière que pour la Phase 1.B et pour les mêmes résultats (topographie, photographies aériennes...).

Phase 6.C - Géochimie sols - MMI

La méthode **Mobile Metal Ion (MMI)** est une approche géochimique intégrée appliquée dans l'exploration des métaux, métaux de base et kimberlites. Elle met en œuvre une faible extraction partielle et une spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (sigle en anglais *ICP-MS*) pour obtenir de meilleurs résultats pour l'exploration des cibles souterraines par la géochimie sols.

Les résultats permettent le plus souvent d'obtenir nettement la projection au sol de la géométrie de l'anomalie.

La méthodologie de la *MMI* comporte les étapes suivantes :

- un échantillonnage de 200-250 g est réalisé au niveau de la tranche se trouvant environ 10 à 25 cm sous l'horizon humique ;
- les échantillons ne subissent pas de préparation particulière ;
- les ions mobiles sont libérés à l'aide d'une solution multi-élémentaire ;
- une analyse par *ICP-MS* de haute précision permet alors de mesurer les teneurs des éléments recherchés.

Les échantillons seront pour cela envoyés à un laboratoire accrédité dans l'Ontario, au Canada.

Le programme prévoit la réalisation de **196 prélèvements pour MMI** selon une maille constituée de 5 lignes avec un prélèvement tous les 20 m, selon une **direction NW-SE orthogonale aux principales structures géologiques**.

A partir de cette première approche, les secteurs d'intérêt éventuellement identifiés seront soumis à un nouvel échantillonnage pour affiner localement les résultats. Ce programme dépendra des résultats de la première approche.

Phase 6.D - Levés géophysiques

Les anomalies éventuellement détectées par la géochimie sols seront ensuite analysées par gravimétrie et magnétisme au drone, selon un programme qui devra lors être défini.

La gravimétrie a donné des résultats intéressants lors de la campagne exploratoire menée en 1983 par ELF-AQUITAINE.

Phase 6.E - Sondages carottés

Si une cible était identifiée puis confirmée lors des campagnes de géochimie et de géophysique, une campagne de sondages carottés serait entreprise afin d'échantillonner la minéralisation.

Il n'est pas possible, à ce stade, de décrire le programme précis de cette campagne, mais le linéaire cumulé à sonder devrait être de l'ordre de 2 000 m.

Cette campagne aura pour but d'identifier de nouvelles ressources en vue d'inscrire le projet minier dans la durée.

7.7 PHASE 7 : ETUDES ENVIRONNEMENTALES

Cette Phase 7 n'est pas non plus subséquente à la Phase 5, mais correspond à des travaux d'étude à réaliser pendant la durée du PERM.

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. Les thématiques étudiées comprendront :

- les milieux naturels ;
- les eaux superficielles et souterraines ;
- la qualité de l'air ;
- le patrimoine archéologique et culturel ;
- l'ambiance sonore et lumineuse ;
- l'environnement socio économique...

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.**

7.8 CALENDRIER ET BUDGET PREVISIONNEL DES TRAVAUX PROJETES

Le **calendrier prévisionnel des travaux projetés** pour les 6 phases détaillées ci-avant et **au cours des 5 années de la demande** est présenté dans le **Tableau 9** ci-après.

Ce dernier permet de bien visualiser la **démarche progressive** de précision des ressources associées au gîte de tungstène déjà connu de Fumade - « la Fédial » (inférées $\Rightarrow$ indiquées $\Rightarrow$ mesurées), et de réflexion sur la possibilité de mise en exploitation (étude préliminaire $\Rightarrow$ étude de pré faisabilité $\Rightarrow$ étude de faisabilité), tandis que certaines activités **seront menées en parallèle** :

- les **études environnementales** qui seront menées tout au long des 5 phases afin de disposer de données suffisamment fiables pour nourrir l'étude de faisabilité ;
- l'**exploration de la possible extension vers le Nord** de la minéralisation, qui sera menée aura cours des phases 1 à 3 afin, éventuellement, de pouvoir être intégrée au calcul des ressources « mesurées » en Phase 4 et à l'étude faisabilité en Phase 5.

En page suivante, le **Tableau 10** fournit l'estimation du budget attribué à chacune des opérations programmées et à chacune des phases d'exploration. Le **budget total estimé** pour la réalisation de l'ensemble des travaux au cours des 5 ans de la durée demandée est de **près de 11,5 M€**. Cela représente un **investissement annuel de 2,3 M€/an**. Le calcul a été effectué en appliquant une majoration de 10 % qui représente d'éventuels frais additionnels imprévus qui pourraient s'appliquer au cours de la campagne.

Les principaux pôles de dépenses seront donc les campagnes de sondage, les études technico-environnementales successives et les frais de direction.

Ainsi, **la TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS prévoit d'investir environ 11,5 M€** au cours des 5 années demandées pour le PERM de la Fabrié.

Tout au long de la durée de ce PERM, TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS **consultera régulièrement les parties prenantes** (administrations, mairies, professionnels, association, riverains) pour recueillir leurs attentes et inquiétudes afin de pourvoir les intégrer dans la conception du projet minier qui pourra découler des travaux d'exploration.

Toutes les phases de ce PERM seront menées dans **la plus grande transparence** et TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS **communiquera auprès des parties prenantes**, à chaque phase de la démarche d'exploration, sur le contexte global du projet minier ainsi que les possibles impacts en lien avec ses activités

Tableau 9 : Calendrier prévisionnel de déroulement des activités d'exploration

		Année		1												2												3												4												5																					
		Mois		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																						
Phase	Activité																																																																								
1. Détermination de ressources « inférées »	1.A Compilation des données historiques																																																																								
	1.B Levé topographique																																																																								
	1.C Sondages de validation																																																																								
	1.D Analyses minéralogiques																																																																								
	1.E Calcul des ressources inférées																																																																								
	1.F Etude préliminaire																																																																								
2. Détermination de ressources « indiquées »	2.A Sondages de définition																																																																								
	2.B Echantillons en vrac																																																																								
	2.C Essais minéralurgiques																																																																								
	2.C Calcul des ressources indiquées																																																																								
3. Etude de pré faisabilité																																																																									
4.. Détermination de ressources « mesurées »	4.A Sondages à maille resserrée																																																																								
	4.B Echantillons en vrac																																																																								
	4.C Essais minéralurgiques																																																																								
	4.D Calcul des ressources mesurées																																																																								
5. Etude de faisabilité	5.A Etude de faisabilité																																																																								
	5.B Demande de concession																																																																								
6. Recherche de nouvelles ressources	6.A Compilation des données historiques																																																																								
	6.B Levé topographique																																																																								
	6.C Géochimie sol - MMI																																																																								
	6.D Levés géophysiques																																																																								
	6.E Sondages carottés																																																																								
Etude environnementales																																																																									

Tableau 10 : Budget prévisionnel des dépenses (en €) au cours des 5 années de la demande

Phase	Activité	Durée en mois	An 1 (€)	An 2 (€)	An 3 (€)	An 4 (€)	An 5 (€)	TOTAL (€)
-	Direction	-	400 000	420 000	440 000	460 000	480 000	1 800 000
-	Géologue en chef	-	80 000	90 000	20 000	120 000	30 000	260 000
-	Géologue de terrain, consultant	-	150 000	160 000	20 000	180 000	20 000	380 000
-	Ingénieur minier	-	30 000	10 000	90 000	20 000	120 000	240 000
-	Métallurgiste	-	30 000	10 000	90 000	20 000	120 000	240 000
-	Conseil légal	-	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	80 000
-	Conseil financier	-	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	60 000
-	Déplacements	-	40 000	50 000	60 000	70 000	80 000	260 000
-	Administration	-	100 000	110 000	120 000	130 000	140 000	500 000
SOUS-TOTAL GESTION ET EXPERTISE (€)			865 000	885 000	875 000	1 035 000	1 025 000	3 820 000
1.A	Compilation des données historiques	3	5 000					
1.B	Levé topographique	2	15 000					
1.C	Sondages de validation	3	400 000					
1.D	Analyses minéralogiques	2	10 000					
1.E	Calcul des ressources inférées	3	35 000					
1.F	Etude préliminaire	3	30 000					
2.A	Sondages de définition	5		900 000				
2.B	Echantillons en vrac	3		250 000				
2.C	Essais minéralurgiques	3		50 000				
2.D	Calcul des ressources indiquées	3		40 000				
3	Etude de préfaisabilité	12			750 000			
4.A	Sondages à maille resserrée	4				600 000		
4.B	Echantillons en vrac	3				300 000		
4.C	Essais minéralurgiques	3				150 000		
4.D	Calcul des ressources mesurées	3				40 000		
5.A	Etude de faisabilité	8					1 000 000	
5.B	Etude environnementales	57	20 000	30 000	50 000	50 000	100 000	250 000
5.C	Demande de titre minier	4					150 000	
6.A	Compilation des données historiques	3	5 000					
6.B	Levé topographique	2		15 000				
6.C	Géochimie sol - MMI	7	7 000	8 000				15 000
6.D	Levés géophysiques	12				25 000		
6.E	Sondages carottés	12					700 000	
SOUS-TOTAL EXPLORATION (€)			527 000	1 293 000	825 000	1 840 000	1 250 000	5 735 000
SOUS-TOTAL (€)			1 392 000	2 178 000	1 700 000	2 875 000	2 275 000	10 420 000
AVEC MAJORATION DE 10 % (€)			1 531 200	2 395 800	1 870 000	3 162 500	2 502 500	11 462 000
Cumulatif (€)			1 531 200	3 927 000	5 797 000	8 959 500	11 462 000	11 462 000

Montants indiqués en €

8. CONCLUSION

Le projet d'exploration objet de la demande de PERM de la Fabrié vise à **valoriser une ressource française stratégique en tungstène**.

Le tungstène est un métal industriel essentiel. Ses propriétés uniques et l'absence de substituts viables en font un élément critique pour de nombreuses industries, notamment l'aérospatiale, l'industrie électronique, l'industrie nucléaire, l'usage militaire et les outils de coupe.

En raison de ses applications dans un certain nombre d'industries clés et des préoccupations en matière de sécurité d'approvisionnement, le tungstène est considéré comme la « matière première critique » n°2 en Europe.

Le gîte de tungstène de Fumade-La Fédial abrite un potentiel d'au moins **3,2 Mt de minerai de tungstène à 0,86 % WO₃** en moyenne, soit un **potentiel de plus de 22 000 t de tungstène métal, ce qui en fait une cible de premier ordre au niveau européen**.

Le projet de TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS permettra, en 5 ans, d'améliorer la fiabilité des ressources en tungstène du gîte au travers d'un programme de sondages carottés de validation et de définition et d'aboutir à une **étude de faisabilité technique, économique et environnementale d'un éventuel projet d'exploitation**.

Des **études environnementales** et une **concertation étroite** avec les parties prenantes du projet seront menées tout au long de la durée du permis.

Au cours des 5 années de la demande, TUNGSTÈNE DU NARBONNAIS prévoit des **investissements totaux à hauteur de 11,5 M €**.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche de criticité de la ressource en tungstène, Version 2 (BRGM, juillet 2017)

Le tungstène (W) – éléments de criticité

Le tungstène (W)

		Sources
1 - USAGES ET CONSOMMATION		
1.1 - Principaux usages dans le Monde (2015)	-Carbures cémentés (outils de coupe) : 55% -Aciers au tungstène (aciers rapides, inox spéciaux) : 21% -Tungstène métal (éclairage, résistances chauffantes, munitions) : 17% -Autres (Superalliages, chimie, divers) : 7%	Argus media 2016
1.2 - Principaux usages en Europe	-Carbures cémentés (outils de coupe) : 72% -Aciers au tungstène (aciers rapides, inox spéciaux) : 9% -Tungstène métal (éclairage, résistances chauffantes, munitions) : 8% -Autres (superalliages, chimie, divers) : 11%	ITIA, nov.2014
1.3 - Principales applications dans les domaines de haute technologie	Superalliages (aéronautique) ; Outils de coupe (toutes industries) ; Armement	
1.4 - Applications dans le domaine de l'énergie	Outils de forage pour l'industrie du pétrole, du gaz et de la géothermie ; Turbines à gaz ; Eclairage ; Toutes machines-outils destinées à la fabrication de centrales et générateurs.	
1.5 - Consommation	Consommation mondiale estimée à 100 kt de W en 2016 (dont 80 kt primaire)	ITIA, juin 2017
1.6 - Perspectives d'évolution de la consommation mondiale	La consommation mondiale primaire de tungstène pourrait augmenter de 3 à 4% jusqu'en 2020. La demande des industries électroniques pourrait augmenter de 5,4%, à l'inverse celle de l'industrie de l'éclairage devrait s'amenuiser, avec une baisse attendue de 5% en 2018.	Argus media 2016; Roskill 2017
2 - PRODUCTION MONDIALE ET RESSOURCES		
2.1 - La substance est-elle un sous-produit	Non (ou marginalement)	
2.2 - Métaux principaux dont la substance est un sous-produit	Le tungstène est généralement le produit principal de ses mines	
2.3 - Production minière mondiale 2015 (W contenu)	88,7 kt (WMD 2017) - 89,4 kt (USGS 2017)	WMD 2017, USGS 2017
2.4 - Principaux pays producteurs miniers	Chine 81,5% ; Vietnam 5,45% ; Russie 3,3% ; Canada 2%	WMD 2017
2.5 - Concentration géographique de la production minière	Forte concentration (IHH : 0,66 en 2015)	
2.6 – Variation sur 10 ans de la concentration de la production minière mondiale	En dix ans (2005-2015) la part de la Chine est passée de 87,2% à 81,3% et l'indice IHH est passé de 0,76 à 0,66. La Chine reste néanmoins en situation très dominante.	WMD 2017
2.7 - Production métallurgique mondiale primaire (2015)	Estimée à 80 kt	Argus media 2016; ITIA 2015
2.8 - Production métallurgique mondiale secondaire (2015)	Estimée à 20 kt	Argus media 2016; ITIA 2016
2.9 - Principaux pays producteurs métallurgiques	Chine	
2.10 - Concentration géographique de la production métallurgique	Statistiques précises non disponibles. Production métallurgique moins concentrée que la production minière, avec métallurgistes dans de nombreux pays, dont la France (IHH non déterminé).	
2.11 - TCAM lissé sur 5 ans de la production minière sur 30 ans (1985-2015)	+2.0%	WMD 2017, USGS 2017
2.12 - TCAM lissé sur 2 ans de la production minière sur 10 ans (2005-2015)	+3.9%	WMD 2017, USGS 2017
2.13 - Réserves connues en janvier 2017	3 150 kt (équivalent à 39 ans de la production 2015)	USGS 2017
2.14 - Evolution des réserves 1997-2017 (années de production)	Réserves connues en 1997 : 65 ans de la production de 1996 Réserves connues en 2017 : 39 ans de la production de 2015	USGS 2017
2.15 - Principaux pays détenteurs de réserves	Chine 60% ; Canada 9,2% ; Vietnam 3% ; Russie 2,6%	USGS 2017
2.16 - Concentration géographique des réserves minières	Concentration modérée des réserves. IHH = 0,38	USGS 2017
2.17 - Perspectives d'évolution de la production	Plusieurs projets de mines de tungstène hors Chine ont été mis en exploitation ces dernières années (Vietnam, Espagne, Royaume-Uni) et des dizaines de projets sont en cours de développement, ce qui devrait permettre de poursuivre la hausse de la production. Toutefois, la Chine peut continuer à influencer, de par sa position dominante, sur les prix et donc sur la rentabilité des autres mines à travers le monde.	Roskill 2017 (Tungsten: Market Outlook to 2026, 12th Edition) ; Investing News, tungsten 2015

		Sources
3 - SUBSTITUABILITE		
3.1 - Potentiel de substitution dans les principaux usages	Substitutions possibles, mais avec des performances moindres : Mo, Ti ou composites dans les carbures cémentés ; Mo pour les aciers au W ; Uranium appauvri ou plomb pour leur densité.	CE 2014
4 - RECYCLAGE		
4.1 - Taux de recyclage	Recyclage en fin de vie : 10 à 25% . D'environ 5 kt en Europe, la production de tungstène secondaire devrait continuer à croître d'environ 8% par an durant les cinq prochaines années. Les programmes de collecte s'améliorent et de nouvelles installations de recyclage sont en construction.	UNEP 2011 (Recycling Rates of Metals) ; ITIA ; MSP Refram, tungsten mars 2017
4.2 - Contenu en matériaux recyclés	Contenu des approvisionnements en tungstène secondaire : 34% répartis entre 10% de chutes de production (new scrap) et 24% de produits en fin de vie (old scrap)	UNEP 2011 ; ITIA ; MSP Refram, tungsten mars 2017
5 - PRIX		
5.1 - Etablissement des prix	Pas de cotation publique sur les marchés boursiers. Prix établis par négociations directes de contrats entre producteurs primaires et transformateurs ou utilisateurs. La majorité des échanges internationaux concerne soit des concentrés (~65 % WO ₃), du paratungstate d'ammonium (APT), du ferrotungstène (~75 % W), des oxydes de tungstène jaune ou bleu, et de la poudre de carbure de tungstène. Metal Bulletin et Argus-Media publient des fourchettes des prix d'échanges relevés de ces différents produits. Prix du ferrotungstène donnés en US\$/kg de W contenu. Prix de l'APT et des concentrés donnés en US\$/mtu (de WO ₃). La "mtu" est la "metric ton unit" (de WO ₃), qui est la quantité qui contient 10 kg de WO ₃ (1 % d'une tonne métrique), soit 7,93 kg de tungstène élémentaire (W) contenu. Pas de publication de prix du tungstène métallique pur.	Panorama BRGM 2012
5.2 - Prix moyen sur au 1er semestre 2017 (janv.-juin 2017)	26,66 US\$/kg W contenu sous forme d'APT (Paratungstate d'ammonium)	Metal-Pages
5.3 - Ecart-type relatif des prix sur les 12 derniers mois (juil.2016-juin 2017)	+/- 6.2%	Metal-Pages
5.4 - Evolution du prix sur un an (moyenne juil.2016-juin 2017 /moyenne juil.2015-juin 2016)	+ 7,8%	Metal-Pages
5.5 - Evolution du prix depuis 2002-2003 (moyenne 1er sem.2017/moyenne 2002-2003)	+259%	Metal-Pages
5.6 - Ordre de grandeur de la valeur de marché de la production minière annuelle de la substance	2,37 GUS\$ (88,75 kt (production annuelle la plus récente estimée, 2015) x 26,66 US\$/kg (prix moyen (juillet - juin. 2017))	
6 - RESTRICTIONS AU COMMERCE INTERNATIONAL, REGLEMENTATIONS		
6.1 - Restrictions au commerce international	- Le tungstène est concerné par la loi étatsunienne Dodd-Frank de juillet 2010 et par la directive de la Commission Européenne sur les minerais de conflit de 2015, exigeant une diligence pour prouver que les approvisionnements ne proviennent pas de wolframite extraite dans des zones de conflit. L'impact pour le tungstène est jugé très marginal, puisque la production minière susceptible concernée est bien inférieure à 1% de la production mondiale.	
6.2 - Réglementation REACH	Le tungstène et ses composés ne sont pas concernés par REACH (version du 1/07/2013), à l'exception du tungstate de nickel (NiWO ₄) cité comme cancérigène à l'appendice 1 de l'annexe XVII en tant que composé de nickel.	Règlement (CE) No 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil
7 - PRODUCTION FRANCAISE ET RESSOURCES		
7.1 - Production minière française 2016	0 (dernière mine fermée en 1986)	
7.2 - Production minière française historique	Production historique cumulée (1884 -1986) : 25,7 kt WO ₃ (20,4 kt W contenu)	BRGM
7.3 - Part dans la production minière mondiale 2016	0	
7.4 - Ressources évaluées en France métropolitaine	83,1 kt WO ₃ (65,9 kt W contenu) sur 15 gisements	Panorama BRGM 2012 ; Béziat & Coulomb 1990 ; http://sigminesfrance.brgm.fr
7.5 - Production métallurgique française	Production récente non publiée. Production d'Eurotungstène estimée à 200 t/an	SCF

		Sources
8 - LA FILIERE INDUSTRIELLE EN FRANCE		
8.1 - Entreprises minières françaises	0	
8.2 - Entreprises métallurgiques en France	- Eurotungstène (anciennement filiale d'Eramet, désormais filiale d'Umicore depuis son acquisition le 3/04/2017 ; 38-Grenoble, www.eurotungstene.fr) ; - Plansee Tungsten Alloys (74-St Pierre de Faucigny, anciennement Cime-Bocuze, rachetée par l'autrichien Plansee, www.plansee.com)	<i>Panorama BRGM 2012</i>
8.3 - Entreprises de produits intermédiaires en France	- Erasteel SAS (filiale d'Eramet, Paris, www.erasteel.fr) ; - Technogenia SA (74-St Jorioz, www.technogenia.fr) ; - Hexametal (42-Chazelles-sur-Lyon, www.hexametal.com) ; - Aerometal (71-Gergy, www.aerometal.com).	<i>Panorama BRGM 2012</i>
8.4 - Industries françaises aval dépendantes de cette matière première	Aéronautique, Spatial, Défense, Fusion nucléaire, Automobile, Construction ferroviaire, Chantiers Navals (outils de coupe), Eclairage, Matériaux innovants, Génération électrique (turbines), Fusion nucléaire (ITER), etc.	<i>Panorama BRGM 2012</i>
9 - COMMERCE EXTERIEUR ET CONSOMMATION FRANCAISE		
9.1 - Commerce extérieur français	Déficit commercial de 56,4 M€ en 2016 (tous produits bruts et intermédiaires de tungstène), en hausse de 45% par rapport à 2015.	<i>Le Kiosque de Bercy 2017</i>
9.2 - Consommation française apparente (production + imports - exports)	3,4 kt de produits bruts (oxydes, hydroxydes, tungstates, ferrotungstène, métal, carbures, lampes et tubes) en 2016.	<i>Le Kiosque de Bercy 2017</i>
9.3 - Recyclage en France	Gisement collecté non évalué ; Gisement collectable évalué à 470 t/an, soit 20% de la consommation apparente française.	<i>Etude Ademe/BioIS, juillet 2010</i>
10 - DIVERS		
10.1 - Monographie BRGM disponible ?	Oui, juin 2012	http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61341-FR.pdf
10.2 - Remarques spécifiques		

Acronymes : IHH : Indice d'Herfindahl-Hirschmann ; TCAM : Taux de Croissance Annuel Moyen

USGS : United States Geological Survey ; NBSC : National Bureau of Statistics of China ; SCF : Société Chimique de France

ITIA : International Tungsten Industry Association (www.itia.info)

WMD : World Mining Data (Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Autriche)

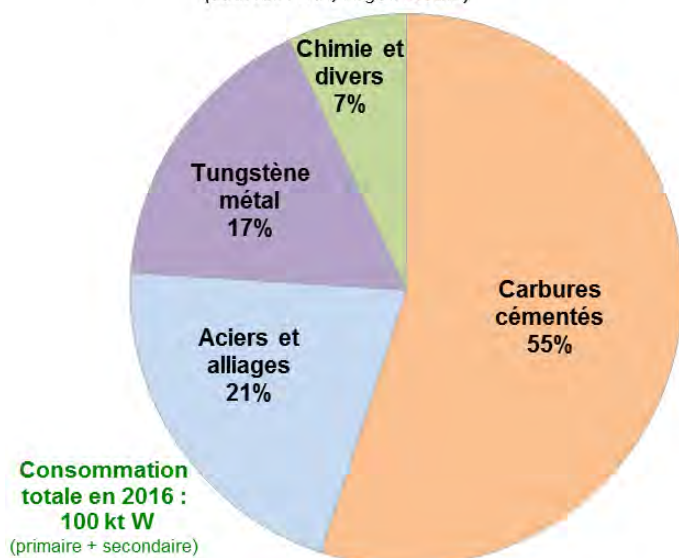
Note : Détails et explications sur l'obtention et la lecture des champs à consulter sur le rapport BRGM/RP-64269-FR

Le tungstène en graphiques

USAGES

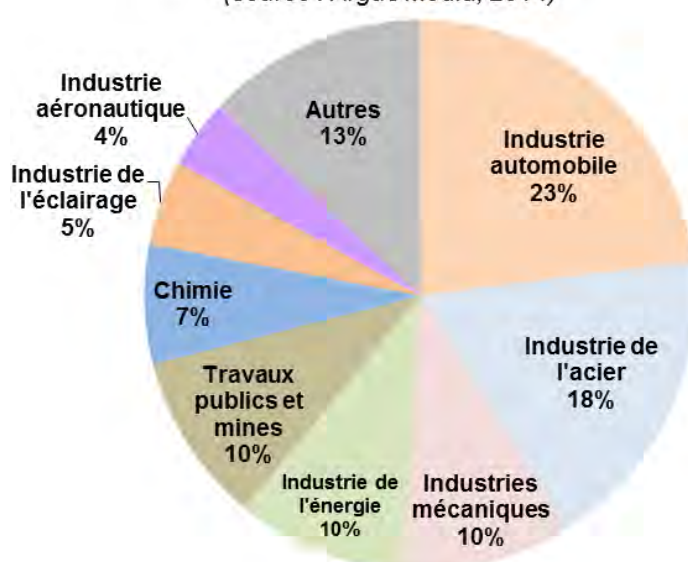
Répartition approximative des filières d'usages du tungstène dans le monde en 2015

(sources : ITIA, Argus Media)



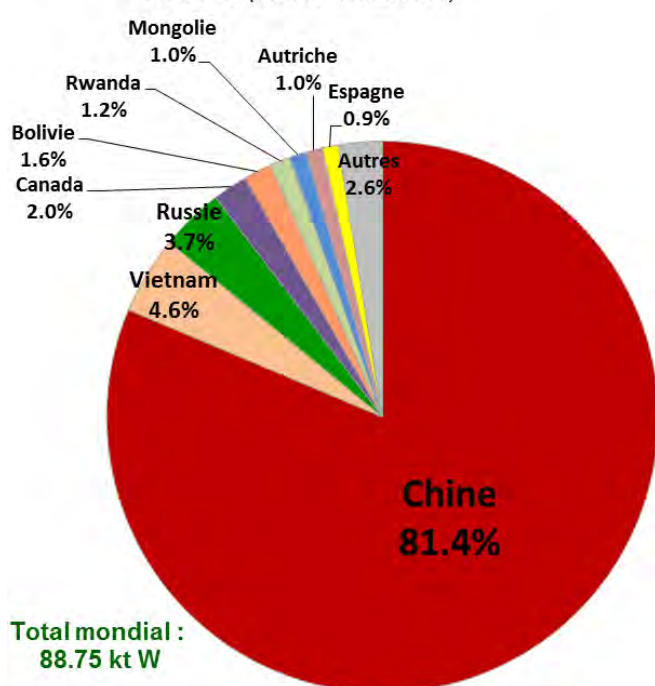
Répartition des usages du tungstène par filière industrielle en 2014

(source : Argus Media, 2014)

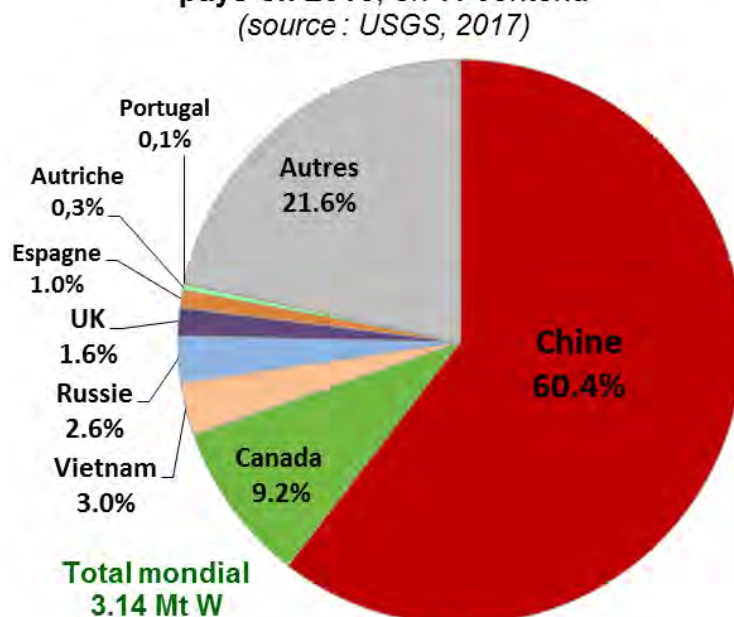


PRODUCTION ET RESERVES MONDIALES

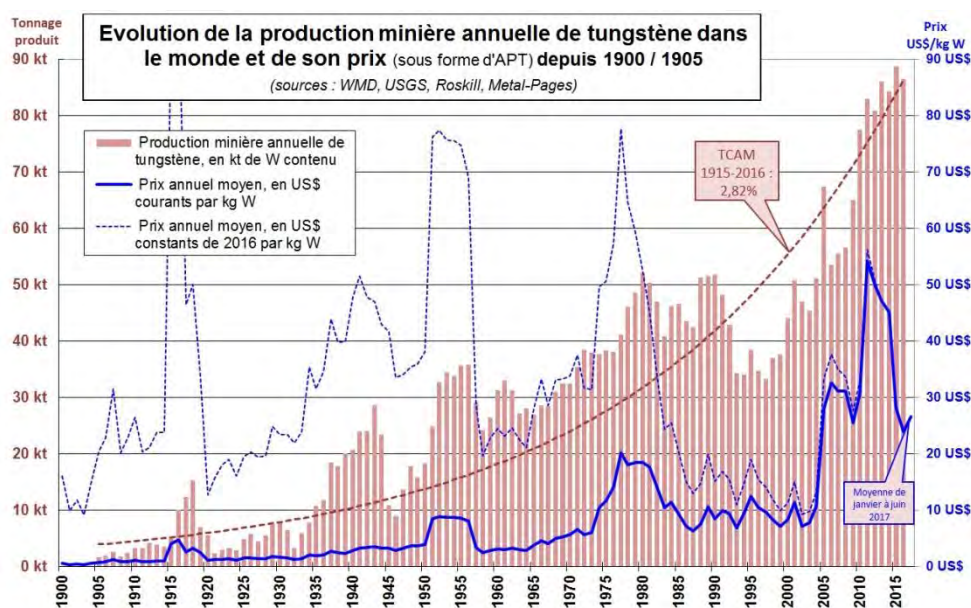
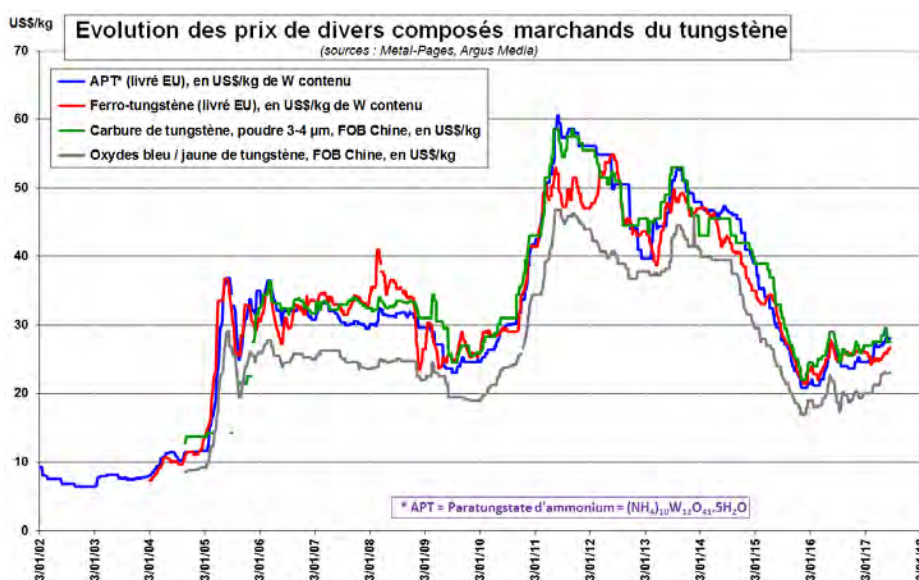
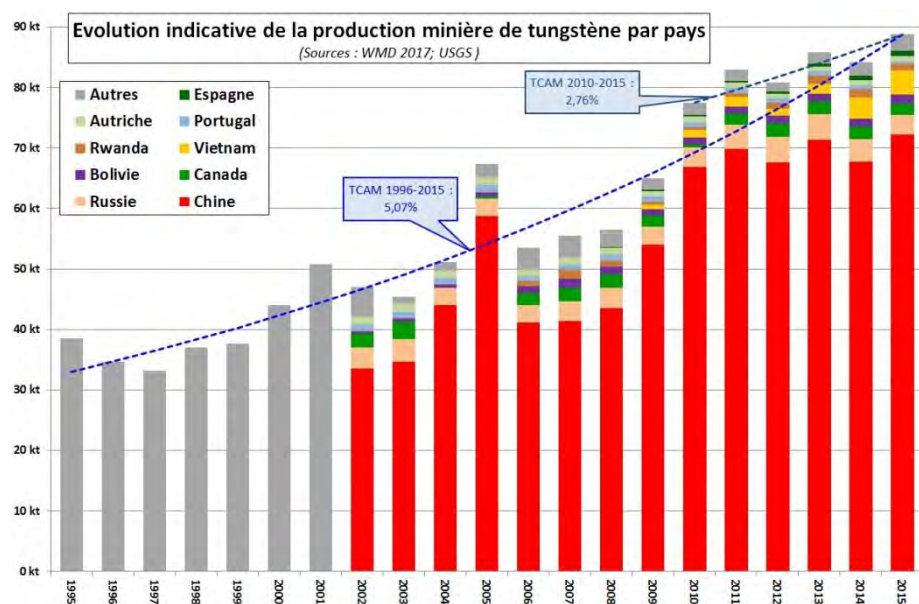
Production minière mondiale de tungstène en 2015 (source WMD 2017)



Répartition des réserves en tungstène par pays en 2016, en W contenu (source : USGS, 2017)



EVOLUTION DE LA PRODUCTION ET DES PRIX



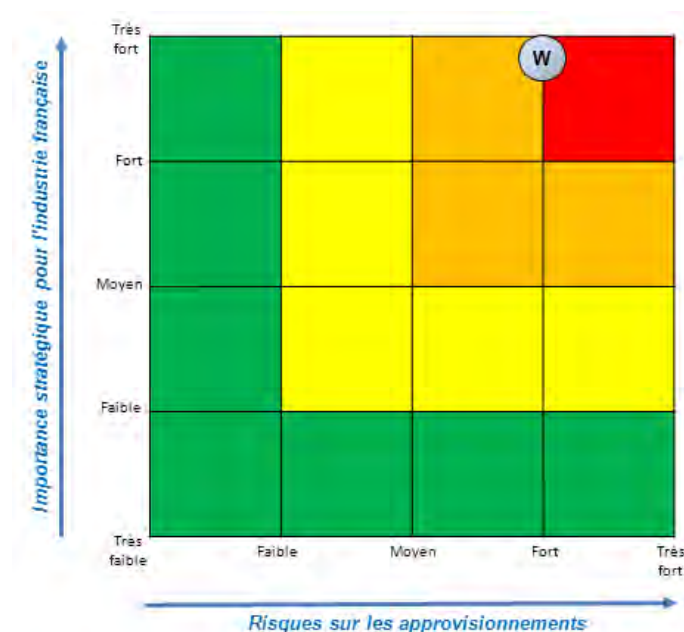
COMMERCE EXTERIEUR DE LA FRANCE

Statistiques françaises d'import-export de produits bruts et intermédiaires de tungstène

Données brutes de collecte, CAF-FAB hors matériel militaire. Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

	2015			2016			Evolution 2015-2016		Principaux partenaires en 2016 (% des tonnages)
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	En valeur	En masse	
Minerais de tungstène et leurs concentrés (26110000)									
Exportations	1 k€	0 t		30 k€	20 t	1.50 €/kg	2900.0%		Russie 100%
Importations	2 k€	0 t		7 k€	3 t	2.33 €/kg	250.0%		Chine 86%, Bosnie-Herzégovine 14% (en valeur)
Solde	-1 k€	0 t		23 k€	17 t				
Composés de tungstène (oxydes et hydroxydes, tungstates) (28259040, 28418000)									
Exportations	37 k€	281 t	0.1 €/kg	10 k€	0 t		-73.0%	-100.0%	Portugal 40%, Espagne 30%, Belgique 20% (en valeur)
Importations	16 440 k€	807 t	20.4 €/kg	15 869 k€	1 064 t	14.9 €/kg	-3.5%	31.8%	Russie 56%, Chine 38%
Solde	-16 403 k€	-526 t		-15 859 k€	-1 064 t				
Carbures de tungstène, de constitution chimique définie ou non (28499030)									
Exportations	10 403 k€	260 t	40.0 €/kg	6 657 k€	217 t	30.7 €/kg	-36.0%	-16.5%	Allemagne 57%, Italie 22%, Roy.-Uni 5%
Importations	19 128 k€	575 t	33.3 €/kg	17 392 k€	598 t	29.1 €/kg	-9.1%	4.0%	Autriche 80%, Allemagne 11%, Chine 6%
Solde	-8 725 k€	-315 t		-10 735 k€	-381 t				
Ferrotungstène et ferrosilicotungstène (72028000)									
Exportations	653 k€	37 t	17.6 €/kg	423 k€	29 t	14.6 €/kg	-35.2%	-21.6%	Suisse 31%, Italie 28%, Slovénie 10%, Allemagne 10%
Importations	7 598 k€	386 t	19.7 €/kg	5 657 k€	362 t	15.6 €/kg	-25.5%	-6.2%	Chine 32%, Belgique 22%, Vietnam 19%, Allemagne 15%
Solde	-6 945 k€	-349 t		-5 234 k€	-333 t				
Tungstène métal : brut, poudres, barres, fils, profilés, tôles, ouvrages (81011000, 81019400, 81019600, 81019910, 81019990)									
Exportations	29 304 k€	416 t	70.4 €/kg	25 609 k€	340 t	75.3 €/kg	-12.6%	-18.3%	Suisse 20%, Allemagne 17%, Roy.-Uni 13%, Italie 9%
Importations	22 721 k€	407 t	55.8 €/kg	23 877 k€	441 t	54.1 €/kg	5.1%	8.4%	Tchéquie 34%, Autriche 32%, Allemagne 16%
Solde	6 583 k€	9 t		1 732 k€	-101 t				
Déchets et débris de tungstène (sauf cendres et résidus contenant du W) (81019700)									
Exportations	2 234 k€	143 t	15.6 €/kg	1 982 k€	184 t	10.8 €/kg	-11.3%	28.7%	Roy.-Uni 57%, Allemagne 29%
Importations	9 732 k€	1 113 t	8.7 €/kg	5 454 k€	861 t	6.3 €/kg	-44.0%	-22.6%	Allemagne 78%, Roy.-Uni 12%, Pays-Bas 7%
Solde	-7 498 k€	-970 t		-3 472 k€	-677 t				
Cumul tungstène métal (produits bruts et intermédiaires et déchets et débris de tungstène)									
Exportations	31 538 k€	559 t	56.4 €/kg	27 591 k€	524 t	52.7 €/kg	-12.5%	-6.3%	
Importations	32 453 k€	1 520 t	21.4 €/kg	29 331 k€	1 302 t	22.5 €/kg	-9.6%	-14.3%	
Solde	-915 k€	-961 t		-1 740 k€	-778 t				
Cumul tous produits à base de tungstène (métal, ferroalliages, minerais, composés, déchets)									
Exportations	42 632 k€	1 137 t	37.5 €/kg	34 711 k€	790 t	43.9 €/kg	-18.6%	-30.5%	
Importations	75 621 k€	3 288 t	23.0 €/kg	68 256 k€	3 329 t	20.5 €/kg	-9.7%	1.2%	
Solde	-32 989 k€	-2 151 t		-33 545 k€	-2 539 t		1.7%		
A titre informatif :									
Lampes et tubes halogènes au tungstène (85392130, 85392192, 85392198)									
Exportations	197 636 k€	8 015 t	24.7 €/kg	168 912 k€	7 913 t	21.3 €/kg	-14.5%	-1.3%	Allemagne 21%, Italie 14%, Roy.-Uni 12%, Argentine 10%
Importations	203 356 k€	8 341 t	24.4 €/kg	191 756 k€	9 238 t	20.8 €/kg	-5.7%	10.8%	Chine 30%, Allemagne 28%, Tchéquie 13%, Pologne 12%
Solde	-5 720 k€	-326 t		-22 844 k€	-1 325 t				

CRITICITE DU TUNGSTENE



LE TUNGSTENE, PROPRIETES

Quelques propriétés du tungstène

Numéro atomique	: 74
Masse atomique	: 183.84
Température de fusion	: 3 422 °C
Température d'ébullition	: 5 555 °C
Densité	: 19.25
Dureté Mohs	: 7.5
Abondance naturelle	: 1.25 ppm

Le tungstène pur est un métal gris acier très dense (densité équivalente à celle de l'or), très réfractaire (le plus haut point de fusion de tous les métaux), très dur.

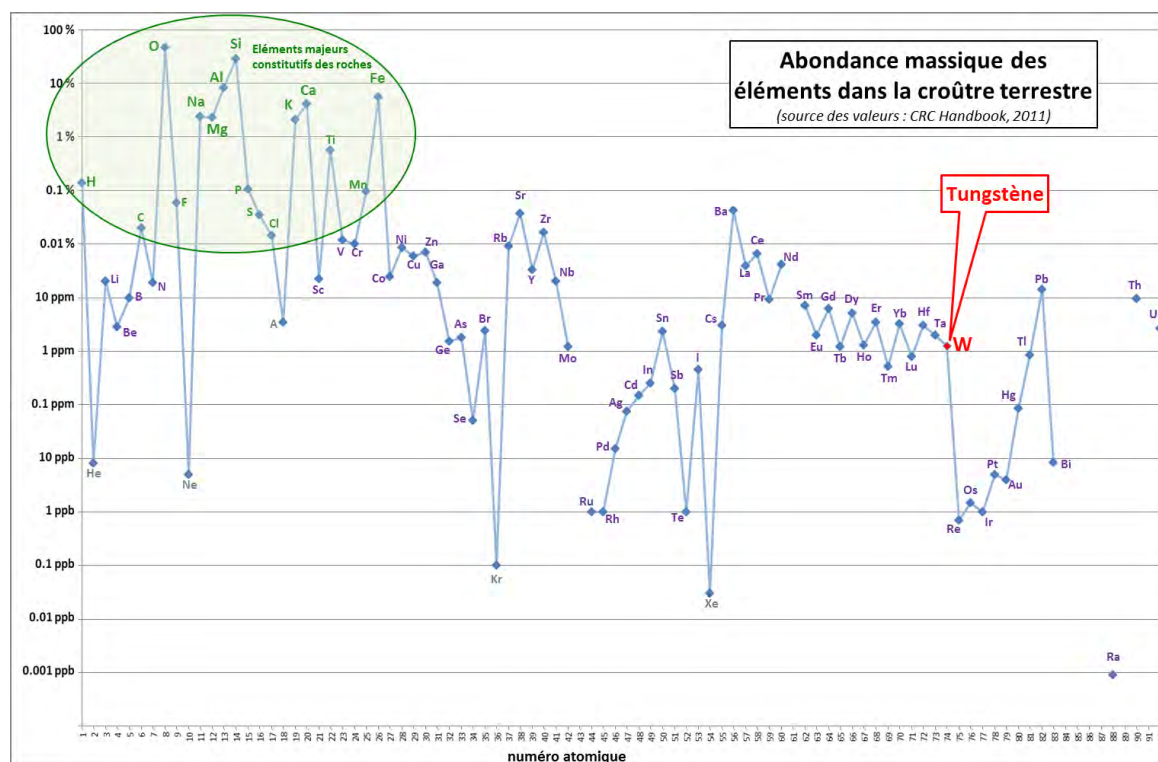
L'ajout de tungstène à l'acier augmente notablement sa dureté et sa résistance à la chaleur. Le tungstène se combine avec le carbone pour former un carbure (WC) très dur (dureté proche de 9) largement utilisé.

Le tungstène métallique résiste bien à la corrosion et ne s'oxyde à l'air qu'à partir de 400 °C.

Le tungstène n'a pas de rôle biologique connu et n'a pas de toxicité aux doses d'exposition usuelles.

Position du tungstène (W) dans le tableau périodique des éléments

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57-71 Lanthanides	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89-103 Actinides															
Lanthanides :		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
Actinides :		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	



AVERTISSEMENT

Les informations, chiffres et graphiques figurant dans la présente "fiche de synthèse sur criticité" sont extraites de bases données construites à partir des meilleures sources ouvertes de données, internationalement reconnues. Certaines sont gratuites, d'autres ne sont accessibles que sur abonnement. Les sources utilisées sont précisées sur chaque fiche.

Il faut cependant savoir que de nombreux problèmes affectent la qualité des données disponibles sur l'industrie minière mondiale et sur les nombreux maillons des chaînes de valeur qui en dépendent. Certains pays, parmi lesquels la Chine, aujourd'hui le principal producteur mondial de 28 matières premières minérales, ne publient guère de données statistiques relatives à leur industrie minière, et les données qui sont publiées ne sont pas toujours vérifiables. Dans certains pays, des règles interdisent la publication de données de production ou de réserves lorsque cette publication pourrait divulguer des données considérées comme confidentielles par des entreprises productrices, dès lors que le nombre restreint de producteurs nationaux est restreint au point que la publication des données de production pourrait amener à dévoiler la stratégie industrielle de ces producteurs. C'est le cas par exemple aux États-Unis et en France. Toutes les entreprises n'ont pas non plus les mêmes obligations de rapportage de leurs activités, ces obligations étant très faibles ou nulles pour les entreprises non cotées en bourse, financées par des capitaux privés ("private equity"). Et tous les États n'imposent pas non plus les mêmes obligations de transparence aux entreprises établies sur leurs territoires.

Certaines données de production, consommation ou échanges proviennent des statistiques du commerce mondial, basées sur la nomenclature statistique internationale des produits définie par l'Organisation Mondiale des Douanes, et sur les déclarations d'importations et d'exportations fournies par les douanes de chaque pays, centralisées dans la base de données "Comtrade" des Nations Unies. Ces données sont cependant, elles aussi, délicates à utiliser ou à interpréter : certains chiffres relatifs aux exportations et aux importations mondiales ne se correspondent pas, certains pays ne fournissent pas leurs informations. De plus, ces données ne fournissent pas d'indications sur la consommation intérieure de minéraux et métaux produits à l'intérieur d'un même pays.

Cette situation complique les analyses pour certaines matières premières, notamment pour les métaux utilisés pour des applications de haute technologie. La fiabilité de certaines données peut être douteuse lorsque celles-ci proviennent de simples déclarations par les autorités de pays producteurs interrogés pour calculer le montant des réserves de telle ou telle matière première minière.

L'existence d'un marché noir de certaines matières premières est également à prendre en compte. Cela peut concerner par exemple des minerais de tungstène extraits dans la région des Grands Lacs Africains, en proie à des conflits armés en partie alimentés par la recherche du contrôle des ressources naturelles par des seigneurs de guerre. Ces productions échappent à l'analyse statistique.

Ces limitations peuvent cependant être parfois contournées en recoupant plusieurs sources d'information.

De même, les prix des métaux rares et des minéraux industriels ont des degrés de précision et de fiabilité divers. Seuls les métaux de base (Al, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn, Co, Mo) et les métaux précieux (Au, Ag, Pt, Pd, Rh) font l'objet de cotations quotidiennes sur les marchés boursiers. Les autres métaux font l'objet de commercialisations dans le cadre de contrats de gré à gré entre producteurs et acheteurs, qui peuvent être des maisons de négoce. Les prix de transaction ne sont pas rendus publics. Des sources d'information spécialisées, accessibles uniquement sur abonnement, telles qu'Industrial Minerals (pour les minéraux industriels), Metal-Pages, Metal Bulletin ou Platts fournissent des fourchettes de prix de transactions pour une vaste gamme de matières premières minérales. L'évolution de ces prix, qui peuvent ne représenter qu'une faible partie du marché réel, est la principale source d'information sur l'évolution de l'offre et de la demande.

Ainsi malgré tout le soin que le BRGM peut apporter à l'utilisation et au traitement des données et des informations auxquelles il a accès, les chiffres doivent le plus souvent être considérés comme des ordres de grandeur. Ce sont les évolutions temporelles, les dynamiques qui traduisent le mieux les marchés et leurs évolutions. En cas d'enjeux économiques importants pour une entreprise, il est fortement recommandé de faire appel à une ou plusieurs expertises externes.

En tout état de cause le BRGM et le COMES déclinent toute responsabilité relative aux dommages directs ou indirects, quelle qu'en soit la nature, que pourrait subir un utilisateur des fiches du fait de décisions prises au vu de leur contenu. L'utilisation des informations fournies est de l'entière responsabilité des utilisateurs.

Annexe 2 : Fiche de sujet minier FRA-00249, Fumade (BRGM, décembre 2013)



Réexamen et valorisation du patrimoine minier métropolitain



Fiche de sujet minier

Nom : Fumade

Identifiant ⁽¹⁾ : FRA-00249

Région : Midi-Pyrénées

Département : Tarn (81)

Coordonnées ⁽²⁾ : Long. = 2,4990° Lat. = 43,6597°

Dernière mise à jour : Décembre 2013



Substance(s) principale(s) ⁽³⁾ : W

Historique du titre minier : Attribution d'une concession minière pour tungstène et métaux connexes (dite "Concession de Cadoul") par décret du 29 juillet 1988 à la Société Nationale Elf Aquitaine (Production).

Statut actuel du titre minier ⁽⁴⁾ : Titre en fin de vie

Contexte géologique sommaire :

Minéralisation développée au contact d'injections aplitiques dans l'encaissant carbonaté (alternances calcaréo-argileuses et calcaréo-silteuses du Cambrien Inférieur de la Montagne Noire).

Typologie du gisement :

Skarn à scheelite

Dates d'exploitation : Non

Criticité des substances ⁽⁵⁾ : W critique (Comes-UE)

Tonnages exploités – ressources et teneurs : Réserves possibles: 1,3 Mt @ 1,1 % WO₃ (dont 716 kt @ 1,01 % WO₃ sur Fumade s.s. et 570 kt @ 1,16 % WO₃ sur La Fédial) ainsi que 360 kt @ WO₃ 0,43 % sur "Fumade Superficiel" (prenables en carrière)

Potentialités en métaux rares : In ?

Existence d'une filière de transformation ⁽⁶⁾ : Filière française incomplète et européenne complète

Origine de la découverte ⁽⁷⁾ :

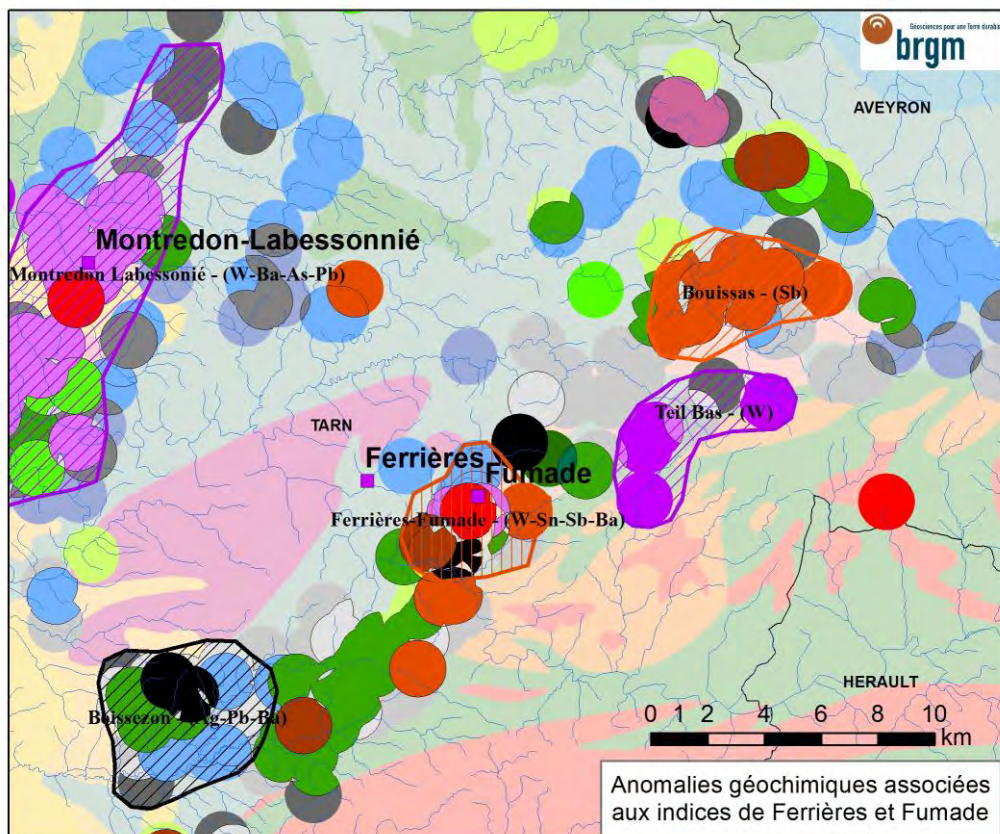
Sondage BRGM (1968) réalisé en prospection de minéralisations filoniennes à Pb-Zn (type St Salvy) qui a mis en évidence des mouches de scheelite

Degré de connaissance : 4

- **Prospection géochimique régionale** : Inventaire BRGM
- **Prospection géophysique régionale** : Gravimétrie tactique Inventaire (BRGM et SNEAP)
- **Sondages percutants et/ou carottés** : Fumade s.s. : 66 sondages carottés, La Fédial: 16 sondages carottés et Fumade Superficiel: 12 sondages carottés (19 775 m cumulés BRGM + SNEAP)
- **Tranchées, tarières, travaux miniers (TMS)** : 9 tranchées (BRGM + SNEAP)
- **Tests minéralurgiques** : 3-4 tests réalisés. Conclusions (Détienne, 1984): broyage, gravimétrie puis flottation

Potentiel de développement ⁽⁸⁾ :

Les deux structures minéralisées identifiées (Fumade s.s. et La Fédial) restent ouvertes au Nord et au Sud



Enjeux environnementaux :

Parc naturel régional 2012

Contraintes liées à l'urbanisation :

Zone rurale sans habitations ou infrastructures importantes à moins d'un km

Documentation disponible ⁽⁹⁾ :

Béziat P. (1979). Inventaire du territoire métropolitain : l'anomalie tungstène de Fumade (Tarn), BRGM/79-RDM-020-FE, mai 1979, 7 p., 8 cartes

Safa P., Couilloud D., Tessier B., Moine B. (1987). Le gisement de tungstène de Fumade (Tarn, France) : Gîtologie, caractères pétrographiques et géochimiques des skarns et des granites, in Chronique de la recherche minière n°487 pp. 39-51

Safa P., Reverdy F. (1985). PER de Fumade (Tarn) : Etat du prospect à l'issue de la campagne de sondages de 1984, SNEA(P) Direction mines Département Métaux de Base (EP/S/MIN/MBA/PhS.-F.R.-cr/85-58RTT)

Réévaluation de la priorité initiale ⁽¹⁰⁾ :

Priorité initiale

→

Priorité réévaluée

1

1

⁽¹⁾ – Dans la base de données SIG Mines France (<http://sigminesfrance.brgm.fr>)

⁽²⁾ – Degrés décimaux (WGS84)

⁽³⁾ – Classées par ordre d'importance décroissant

⁽⁴⁾ – D'après DGALN/DEB/BRM

⁽⁵⁾ – Sur la base des travaux du COMES et de l'UE

⁽⁶⁾ – Française, complète ou incomplète, européenne

⁽⁷⁾ – Anomalie géochimique/géophysique, prospection marteau, ...

⁽⁸⁾ – Estimation basée notamment sur la réinterprétation de la géochimie de l'Inventaire

⁽⁹⁾ – Accessible au public

⁽¹⁰⁾ – D'après le rapport BRGM/RP-61745-FR, sur une échelle à 3 niveaux

Réalisé par :
GéoPlusEnvironnement

Agence Centre et Nord
2 rue Joseph Leber
45 530 VITRY-AUX-LOGES
Tél : 02 38 59 37 19 – Fax : 02 38 59 38 14

e-mail : geo.plus.environnement2@orange.fr

Siège social / Agence Sud :
Le Château
31 290 GARDOUCH
Tél : 05 34 66 43 42 – Fax : 05 61 81 62 80
e-mail : geo.plus.environnement@orange.fr

Agence Est :
7 rue du Breuil
88 200 REMIREMONT
Tél : 03 29 22 12 69 – Fax : 09 70 06 14 23
e-mail : geo.plus.environnement4@orange.fr

Agence Ouest :
5 chemin de la Rôme
49 123 CHAMPTOCE-SUR-LOIRE
Tél : 02 41 34 35 82 – Fax : 02 41 34 37 95
e-mail : geo.plus.environnement3@orange.fr

Agence Sud-Est :
Quartier Les Sables
26 380 PEYRINS
Tél : 04 75 72 80 00 – Fax : 04 75 72 80 05
e-mail : geoplus@geoplus.fr

Antenne PACA :
Sainte-Anne
84 190 GIGONDAS
Tél : 06 88 16 76 78

Site internet : www.geoplusenvironnement.com



La gestion de l'environnement, la reconnaissance du sous-sol
et l'application de la réglementation au service de votre projet.