Document public

Promotion des districts miniers métropolitains
Le district à tungstène de la Montagne Noire

Rapport final

BRGM/RP-65553-FR

Mars 2016

Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

Promotion des districts miniers métropolitains
Le district à tungstène de la Montagne Noire

Rapport final

BRGM/RP-65553-FR
Mars 2016

J. Melleton, E. Gloaguen, B. Tourlière, D. Cassard, G. Bertrand

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : BAILLY Laurent	Nom : Jean-Claude Guillaneau
Date : 7/02/2016	Date : 15/03/2016
Signature :	Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots-clés : Ressources minérales, Inventaire Minier National, Réévaluation, Potentiel minier, Tungstène, Montagne Noire, Scheelite, Wolframite, France.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Melleton J., Gloaguen E., Tourlière B., Cassard D., Bertrand G. (2016) - Promotion des districts miniers métropolitains. Le district à tungstène de la Montagne Noire. Rapport final. BRGM/RP-65553-FR, 90 p., 17 fig., 1 tabl., 3 ann.

© BRGM, 2016, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la convention relative aux ressources minérales entre le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) et le BRGM. Elle s'est attachée à mettre au point et à valider une méthodologie pour la réévaluation du potentiel minéral français incluant notamment la « reprise » des données de l'Inventaire minier national (1975-1991).

Le secteur de la Montagne Noire est un district français reconnu pour ses indices et gisements prometteurs de tungstène, certains ayant fait l'objet d'une exploitation ancienne comme les gisements du secteur de Montredon-Labessonnié ou d'exploration avancée comme le skarn de Fumade.

Dans l'emprise de la zone d'étude trois morphologies de minéralisations en tungstène sont reconnues :

- les minéralisations filoniennes sous la forme de veines de quartz à wolframite, avec par exemple les champs filoniens entourant Montredon-Labessonnié, exploités de 1958 à 1962 ;
- les skarns à scheelite spatialement associés à des intrusions de granite et pegmatites, auxquels appartiennent les minéralisations des indices de Fumade, La Fédiale, Ferrières et Les Cadets ;
- les minéralisations stratoïdes à scheelite disséminée (modèle stratiforme), avec les indices de l'Auriole, l'Hom-Haut sur le Versant Nord et La Gineste et La Capoulade sur le Versant Sud.

L'étude de favorabilité par WofE (Weight of Evidence), appliquée aux données géologiques harmonisées de la Montagne Noire (carte géologique au 1/250 000 de Montpellier), en utilisant les indices, gisements, et anomalies géochimiques et alluvionnaires connus dans la zone, met en évidence des zones nouvelles à potentiel élevé qui mériterait la poursuite de travaux. Une méthode récemment développé (Tourlière *et al*., 2015), le CBA (Cell-Based Association), développée au BRGM, montre des résultats très comparables. Ces données confirment le fort potentiel géologique du domaine.

Les zones à fort potentiel ainsi identifiées sont :

- **les monts de Lacaune** (secteur 2 dit de Bouissas/Fumade) ;
- **le dôme de Montredon-Labessonnié** ;
- **la « zone Nord-Est »**, proche du gisement à Pb/Zn de la Rabasse ;

Dans une moindre mesure, on retiendra également, au sud de la Montagne Noire :

- **le secteur de la Gineste/La Capoulade** ;
- **le secteur des Cadets** ;
- **le secteur 5** situé au sud-ouest de la zone d'étude.

La zone « Nord-Est » et le secteur 5 constituent de nouvelles cibles.

Il apparaît ainsi, en comparant ces résultats aux données relatives à la métallogénie du tungstène, que les niveaux du Cambrien de la Montagne Noire sont un piège extrêmement efficace lorsqu'ils sont recoupés par des granites « minéralisateurs ». En particulier, les formations du Cambrien inférieur des Monts de Lacaune apparaissent comme les plus favorables à la présence de gisements potentiels. Suite à ces observations, il est recommandé de mettre en œuvre une approche de modélisation 3D des formations

cambriennes des Monts de Lacaune et du dôme de Montredon pour déterminer plus précisément la géométrie de ces formations, particulièrement dans certaines zones sous couverture où de nouveaux gisements pourraient être identifiés.

Par ailleurs, le district montre au moins deux gîtes dont les données économiques disponibles, malgré leur ancienneté, soulignent leur potentiel par comparaison avec d'autres projets miniers en cours dans le Monde.

L'ensemble du district de la Montagne Noire constitue donc un potentiel très significatif en minéralisations tungstifères.

Sommaire

1. Introduction 9

2. Contexte géologique régional 11

2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE 11

3. Métallogénie régionale du tungstène 13

3.1. RAPPEL HISTORIQUE SUCCINCT SUR LA PRODUCTION MINIÈRE DE LA MONTAGNE NOIRE 13

3.2. LE TUNGSTÈNE DE LA MONTAGNE NOIRE 13

3.3. LES MINÉRALISATIONS FILONIENNES À QUARTZ-WOLFRAMITE ASSOCIÉES AUX GRANITES 17

3.3.1. Modèle métallogénique 17

3.3.2. Gisements et indices connus de ce type dans la zone d'étude 18

3.4. LES MINÉRALISATIONS DE TYPE SKARN 21

3.4.1. Modèle métallogénique 21

3.4.2. Gisements et indices connus de ce type dans la zone d'étude 22

3.5. LES MINÉRALISATIONS STRATIFORMES À SCHEELITE DISSÉMINÉE 25

3.5.1. Modèle métallogénique 25

3.5.2. Gisements et indices connus de ce type dans la zone d'étude 26

4. Données de l'Inventaire Minier : géochimie et prospection alluvionnaire 27

5. Présentation et intégration des données géophysiques disponibles et exploitables 31

6. Études de favorabilité 33

6.1. LE SIG RÉGIONAL 33

6.2. LES TRAITEMENTS DE PRÉDICTIVITÉ 34

6.2.1. La méthode "Weight of Evidence" (WofE) 34

6.2.2. La méthode "Cell-Based Association" (CBA) 35

6.3. LES RÉSULTATS OBTENUS ET RECOMMANDATIONS 35

6.3.1. Résultats obtenus par la méthode du Weight of Evidence (approche expert) 35

6.3.2. Résultats obtenus par la méthode CBA 37

6.3.3. Synthèse des deux approches et recommandations 39

7. Comparaison avec des gisements ou districts mondiaux de même typologie 41

8. Conclusions 45

9. Références bibliographiques 47

Liste des Figures

Figure 1 : Localisation et emprise de la Montagne Noire (le fond est constitué par la carte géologique de France au 1/1 000 000). 11

Figure 2 : Grands traits structuraux de la Montagne Noire (Demange *et al*., 1995). 12

Figure 3 : Coupe N-S simplifiée de la zone axiale de la Montagne Noire (modifiée d'après Matte *et al*., 1998). 12

Figure 4 : Anciennes exploitations minières et principaux indices présents dans le secteur de la Montagne Noire (légende page suivante). Les propects de Fumade (FRA-00249, priorité 1), Ferrières (FRA-00247, priorité 2), Montredon-Labessonnié (FRA-00065, priorité 2), La Capoulade (FRA-00259, priorité 3), La Gineste (FRA-00261, priorité 3), et La Loubatière (FRA-00044, priorité 3) ont fait l'objet de fiches dans le cadre de l'action 2.1 de la convention DEB-BRGM 2015.. 15

Figure 5 : Coupe idéalisée d'une intrusion granitique avec des minéralisations filoniennes à W-Sn situées au sommet. Les deux exemples de profondeurs différentes illustrent les différentes morphologies et disséminations qui peuvent en résulter. Modifié d'après Sinclair (1996). 17

Figure 6 : Carte géologique simplifiée du dôme de Montredon-Labessonnié avec position des principales minéralisations filoniennes et stratiformes connues.Noter la bonne cohérence des anomalies géochimique W (pointillé jaune marquant des anomalies supérieures à 21 ppm) avec les indices de surface connus. 19

Figure 7 : Coupes géologiques au sein du dôme de Montredon-Labessonnié (tracé de la coupe A-B figure précédente). Les minéralisations reconnues comme les plus importantes se localisent dans les micaschistes situés au toit de l'orthogneiss. En encart, le zoom sur la minéralisation économique de La Frégère, montrant un minimum de trois morphologies de minéralisations (filons à quartz-wolframite dans les micaschistes, tourmalinites à scheelite-cassitérite dans les micaschistes au contact de l'orthogneiss, réseaux de veines à quartz-wolframite dans l'orthogneiss à proximité du contact avec les micaschistes). TB = travers-bancs. Modifié d'après P. Béziat *et al*. (1990) et documents miniers. 20

Figure 8 : Coupe schématique idéalisée montrant les différentes morphologies de skarns pouvant se développer au contact d'une intrusion recoupant des niveaux carbonatés. Modifié d'après Jébrak et Marcoux (2008). 22

Figure 9 : Carte et coupe des skarns de Fumade-La Fédial, d'après P. Safa et al. (1987). 23

Figure 10 : Principales données de la prospection stratégique de l'Inventaire Minier concernant le tungstène. 29

Figure 11 : Les classes d'entités de la géodatabase Zone_Test.gdb, extraites de la géodatabase nationale Sig_Mines_France.gdb 33

Figure 12 : Carte des zones favorables mises en évidence par la méthode du Weight of Evidence. 36

Figure 13 : Zoom de la Figure 11 sur le secteur du Moulinas et alentours (zone de Montredon-Labessonnié) qui présente la plus forte favorabilité en tungstène par la méthode du Weight of Evidence. 37

Figure 14 : Carte des zones favorables (carrés bleus) obtenues par la méthode CBA, et comparaison avec les zones d'interêt identifiées par la méthode WofE (polygones roses). 38

Figure 15 : Localisation des zones d'intérêt sur une carte d'anomalie de Bouguer (données gravimétriques, valeurs en mGal) montrant leur lien avec une structuration tectonique NE-SW et de forts gradients gravimétriques. 40

Figure 16 : Couple tonnage-teneur des principaux sujets miniers de skarns à scheelite (Extrait d'Audion, 2013). Les évaluations de ressource de Salau et Coat-an-Noz sont cependant basées sur des paramètres économiques anciens,ces valeurs correspondent donc à des ressources minimales qu'il conviendrait de réévaluer. 41

Figure 17 : Comparaison du gisement de Montredon-Labessonnié avec d'autres gisements mondiaux de type filonien en cours d'exploitation ou en voie de développement (données SNL, 2016). Noter que les valeurs concernant le prospect de Montredon-Labessonnié sont issus de travaux anciens dont les paramètres économiques (teneur de coupure) mérite sans aucun doute une réévaluation. 42

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Principales campagnes géophysiques recensées dans la zone d'étude de la Montagne Noire (d'après InfoTerre™). 31

Liste des Annexes

Annexe 1 Fiches descriptives des cibles minières de la Montagne Noire (Action 2.1 de la convention DEB-BRGM) 49

Annexe 2 Liste bibliographique des travaux de prospection géophysique réalisés par le BRGM sur le secteur de la Montagne Noire 75

Annexe 3 Extrait de la convention DEB-BRGM faisant référence au travaux présentés dans ce rapport 79

1. Introduction

La présente étude s'inscrit dans un contexte général marqué par la prise de conscience, il y a quelques années, de la dépendance et de la vulnérabilité de la France dans le domaine des substances minérales.

Cette prise de conscience des pouvoirs publics a amené, depuis 2012, la réalisation de différentes actions dans le cadre du thème 1 « ressources minérales » de la Convention entre le BRGM et la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB) du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM), sous le terme générique de « réévaluation du potentiel français en ressources minérales ». Ces actions sont en 2015 au nombre de trois, toutes progressant en synergie les unes avec les autres :

- action 2.1 : caractérisation des cibles minières ;
- action 2.2 : catalogue hiérarchisé des anomalies polymétalliques ;
- action 2.3 : promotion des districts miniers métropolitains.

Le détail de celles-ci est présenté dans l'annexe 3. L'action 2.3, dans laquelle s'inscrit ce travail, a pour objet de s'appuyer sur les deux actions précédentes en les mettant en perspective dans une approche « district » (i) en prenant en compte la géologie et la métallogénie régionale et l'apport de la géophysique lorsqu'elle est disponible, (ii) en développant une réflexion sur le potentiel, et (iii) en établissant une comparaison avec les autres gisements/districts mondiaux du même type.

Plus précisément, le présent travail a consisté à remettre en forme la partie monographique sur le tungstène de la Montagne Noire, diluée dans un rapport précédent (Cassard *et al*., 2012), augmenté par l'intégration de travaux plus récents sur le potentiel minier du secteur, comme la réévaluation du potentiel du gisement de Fumade - La Fédial réalisée par Audion (2013) dans le cadre de l'action 2.2 de la Fiche 2 « Réévaluation du Potentiel français en ressources minérales - Étude pilote d'une cible minière en métropole : le gisement de tungstène de Fumade ».

2. Contexte géologique régional

2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La Montagne Noire, qui constitue la bordure méridionale du Massif Central (Figure 1) correspond à un segment externe de la chaîne varisque européenne. Elle est principalement composée de terrains d'âges Néoprotérozoïque supérieur à Paléozoïque inférieur, plus ou moins métamorphisés et de roches granitiques.

À l'est et au nord-est, ces formations sont recouvertes par les bassins permiens de Lodève et de Saint-Affrique, et au sud et à l'ouest par les formations tertiaires du Bassin aquitain et du bas-Languedoc. Au nord, les formations passent en continuité cartographique aux séries métamorphiques de l'Albigeois.

La Montagne Noire est divisée en trois domaines allongés selon l'axe ENE-OSO (Figure 2) :

- le versant nord, composé d'écailles paléozoïques déversées vers le sud-est, les Monts de Lacaune, et recouvert au nord-ouest par les nappes métamorphiques de l'Albigeois : la nappe de Saint-Salvi de Carcavès, elle-même surmontée au nord par la nappe de Saint-Sernin-sur-Rance ;
- le versant sud, formé de terrains métasédimentaires datés du Cambrien au Viséen et déversés vers le sud en vastes plis couchés. D'est en ouest, les unités de Cabrières, de Faugères, de Montpeyroux, du Pardailhan et du Minervois sont distinguées ;
- entre ces deux versants, la zone axiale est un vaste antiforme en forme d'un double dôme dissymétrique d'allongement NE-SW (Espinouse et Caroux), composé de roches de haut degré métamorphique (gneiss, migmatites, micaschistes) et de granites.

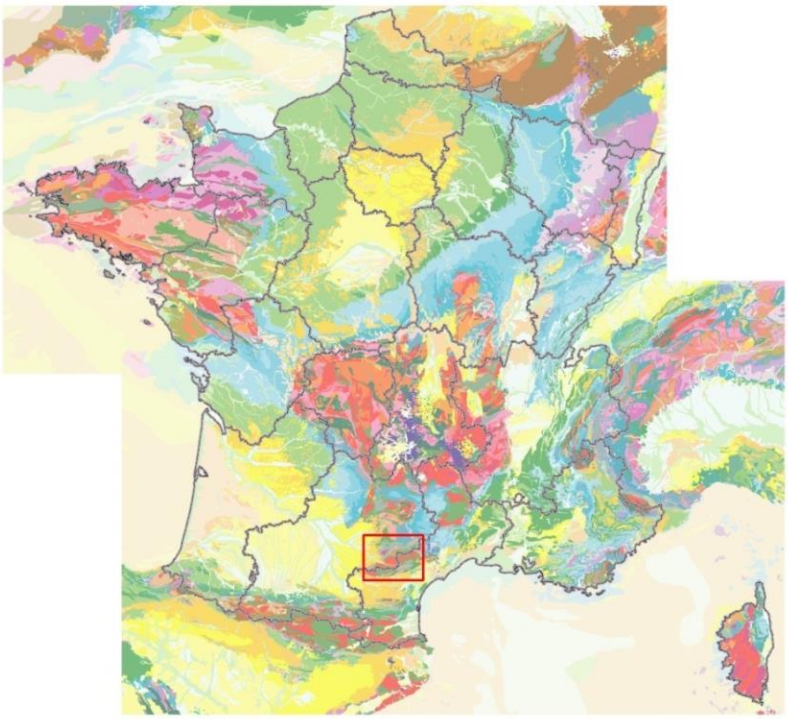


Figure 1 : Localisation et emprise de la Montagne Noire (le fond est constitué par la carte géologique de France au 1/1 000 000).

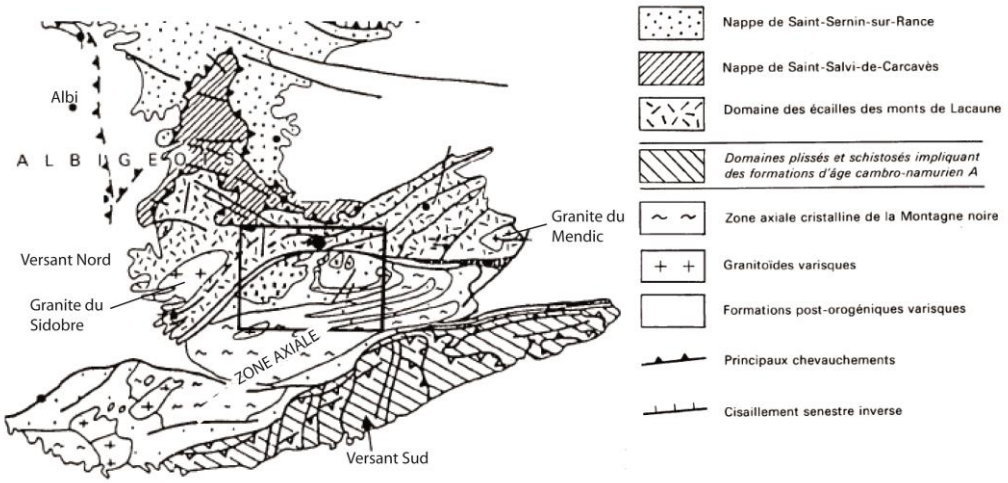


Figure 2 : Grands traits structuraux de la Montagne Noire (Demange et al., 1995).

D'un point de vue lithostratigraphique, les versants nord et sud montrent un développement important de formations datées du Cambrien, qui débutent avec des alternances gréso-pélitiques, dites des Grès de Marcory (K1). Les termes supérieurs de cette série passent à des alternances typiques gréso-carbonatées (K1-2). Le terme sommital du Cambrien inférieur s'achève par des formations carbonatées (K2). La partie supérieure de ces formations est caractérisée par des schistes noirs localement à nodules phosphatés. Comme nous le verrons plus tard, ces formations du Cambrien inferieur ont constitué les « pièges » des minéralisations à tungstène, en relation avec la mise en place de granites tardi-varisques qui les recoupent.

La Zone Axiale est caractérisée par un ensemble structural globalement homogène, constitué de trois séries (Figure 3) :

- la série orthogneissique du Somail-Nore à la base ;
- les séries de Cabardès, Saint-Pons et de la Salvetat (généralement dénommés sous le terme schistes X) ;
- la série du Roc Suzadou.

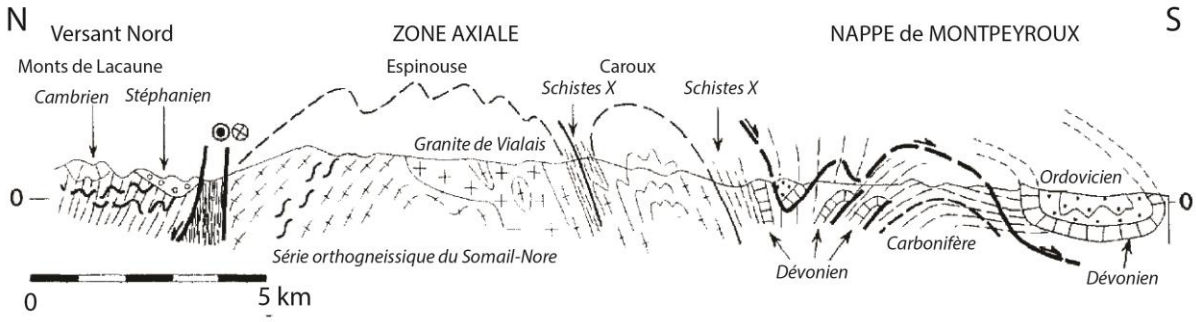


Figure 3 : Coupe N-S simplifiée de la zone axiale de la Montagne Noire (modifiée d'après Matte et al., 1998).

Les séries de Cabardès, Saint-Pons et de la Salvetat se décomposent en deux groupes :

- un groupe inférieur à gneiss plagioclasiques (calcique), métavolcanites acides, niveaux carbonatés, niveaux graphiteux ;
- un groupe supérieur, monotone et strictement gréso-pélitique.

3. Métallogénie régionale du tungstène

3.1. RAPPEL HISTORIQUE SUCCINCT SUR LA PRODUCTION MINIÈRE DE LA MONTAGNE NOIRE

D'un point de vue économique, la Montagne Noire est une province minière importante dans l'histoire de notre pays, avec un certain nombre de mines importantes (Figure 4) :

- en métaux de base (Zn, Pb, Cu) : la production cumulée serait d'environ 600 000 t de Zn, provenant pour plus de la moitié de la mine de Saint-Salvy, le reste étant partagé entre les gisements de La Rabasse, de Peyrebrune et de petites exploitations des carbonates cambriens (La Loubatière, la Caunette, Villeneuve-Minervois, Brusque, …). Il convient d'ajouter à cela les 30 200 t de Cu produites à Salsigne ;
- plus de 700 t d'argent (majoritairement des mines de Salsigne, Saint-Salvy, de La Rabasse et de Peyrebrune) ;
- Salsigne a de plus été pendant toute la fin du XXe siècle la mine d'or la plus importante d'Europe de l'Ouest, avec une production totale de 120 t d'or, 397 000 t d'arsenic et 1 708 t de bismuth ;
- pour les métaux rares, la mine de Saint-Salvy a produit plus de 500 t de germanium ;
- le district de Montredon-Labessonnié a permis la production de 700 t de tungstène ;
- des exploitations de barytine de Villeneuvette, Font d'Arques, Saint-Privat et Peyreblanque) ont produit plus d'1 Mt.

3.2. LE TUNGSTÈNE DE LA MONTAGNE NOIRE

Dans l'emprise de la zone d'étude trois morphologies de minéralisations en tungstène sont reconnues :

- les minéralisations filoniennes sous la forme de veines de quartz à wolframite[1], avec par exemple les champs filoniens entourant Montredon-Labessonnié, exploités de 1958 à 1962 ;
- les skarns à scheelite[2] spatialement associés à des intrusions de granite et pegmatites, auxquels appartiennent les minéralisations des indices de Fumade, La Fédiale, Ferrières et Les Cadets ;
- les minéralisations stratoïdes à scheelite disséminée (modèle stratiforme), avec les indices de l'Auriole, l'Hom-Haut sur le Versant Nord et La Gineste et La Capoulade sur le Versant Sud.

Les connaissances sur la métallogénie des gisements de tungstène ont significativement évolué depuis que les travaux de prospection ont été réalisés dans la Montagne Noire. Notamment, la réintégration du modèle scheelite stratiforme au sein du modèle skarn, suggère fortement de réévaluer certaines zones, des minéralisations de type skarn tout à fait significatives pouvant être présentes en profondeur. Les sous-parties suivantes présentent quelques rappels fondamentaux sur la métallogénie du tungstène et des minéralisations connues dans le secteur de la Montagne Noire.

[1] $(Fe,Mn)WO_4$

[2] $CaWO_4$

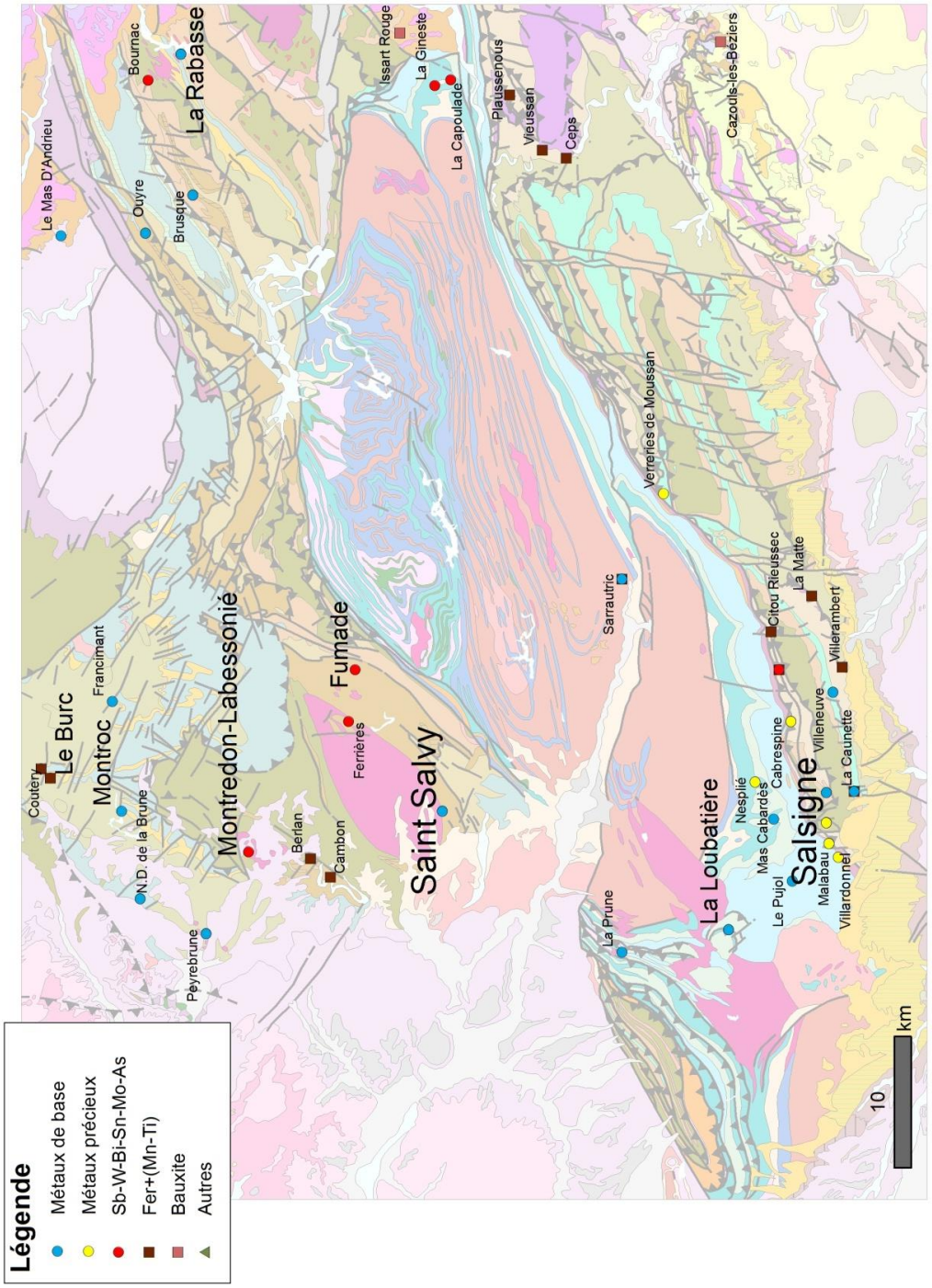


Figure 4 : Anciennes exploitations minières et principaux indices présents dans le secteur de la Montagne Noire (légende page suivante). Les propects de Fumade (FRA-00249, priorité 1), Ferrières (FRA-00247, priorité 2), Montredon-Labessonnié (FRA-00065, priorité 2), La Capoulade (FRA-00259, priorité 3), La Gineste (FRA-00261, priorité 3), et La Loubatière (FRA-00044, priorité 3) ont fait l'objet de fiches dans le cadre de l'action 2.1 de la convention DEB-BRGM 2015.Celles-ci sont disponibles dans l'annexe 1 de ce rapport.

Légende (suite)

Formations superficielles et de couvertures

1 - Quaternaire - Formations superficielles : vases et limons des étangs salés
3 - Quaternaire - Formations superficielles : limons des étangs palustres asséchés
4 - Quaternaire - Formations superficielles : colluvions
8 - Quaternaire - Formations superficielles : éboulis
9 - Quaternaire - Formations superficielles : alluvions modernes, alluvions indifférenciées
10 - Quaternaire - Formations superficielles : alluvions des basses terrasses (Holocène et IVre récent)
11 - Quaternaire - Formations superficielles : alluvions des basses terrasses (Holocène et IVre récent)
12 - Quaternaire - Formations superficielles : alluvions du Quaternaire moyen
14 - Volcanisme tertiaire et quaternaire : laves basaltiques de l'Escandorgue (Plio-Quaternaire) et de la région montpelliéraine (Oligocène)
16 - Tertiaire - Pliocène : Pliocène continental
18 - Tertiaire - Pliocène : Pliocène marin
19 - Tertiaire - Miocène : molasse marine
21 - Tertiaire - Miocène : dépôts continentaux
22 - Tertiaire - Miocène : Oligocène moyen supérieur
23 - Tertiaire - Miocène : conglomérats
24 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Éocène terminal du Languedoc oriental
25 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Bartonien
27 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : "argiles à graviers"
28 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Éocène supérieur, "molasse de Carcassonne"
29 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Lutétien, calcaire lacustre (Montpellier, Agel, Castres)
30 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Éocène inférieur (moyen p.p.) dont Cuisien
31 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Cuisien "Formation d'Assignan"
32 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Cuisien "Calcaire de Ventenac"
33 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Cuisien "Argiles de St-Papoul"
37 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : "Graviers d'Issel"
38 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : "Calcaires à alvéolines"
39 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Paléocène
41 - Formations mésozoïques - Crétacé supérieur : Campanien-Maastrichtien
60 - Formations mésozoïques - Jurassique : dolomie
61 - Formations mésozoïques - Jurassique : Lias supérieur marneux (Domérien - Toarcien)
62 - Formations mésozoïques - Jurassique : Lias moyen calcaire (Sinémurien - Carixien)
63 - Formations mésozoïques - Jurassique : Hettangien
64 - Formations mésozoïques - Trias : Trias indifférencié
65 - Formations paléozoïques post-varisques : Permien (Saxono-Thuringien), gréso-conglomératique
66 - Formations paléozoïques post-varisques : Permien (Saxono-Thuringien), pélitique
67 - Formations paléozoïques post-varisques : Autunien, conglomérats
68 - Formations paléozoïques post-varisques : Stéphanien
69 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : Dinantien (et Namurien bsal)
70 - Formations paléozoïques post-varisques : Autunien
71 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : Dévonien
72 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : Silurien
74 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : Ordovicien inférieur
75 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques - Ordovicien inférieur : métabasaltes et métadolérites
76 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : grès quartzites (Trémadoc inférieur)
77 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : Cambrien moyen (p.p. supérieur), schistes à Paradoxites et formation de Barroubio indif.
78 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : série verte gréso-pélitique (Ordovicien p.p.)
79 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : série verte calcaro-pélitique
80 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : dolomie
81 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : tufs kératophyriques
82 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : tufs rhyolitiques ("Formation de Larroque")
83 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : Cambrien inférieur carbonaté (calcaires à Archaeocyathes)
84 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : série pélitique noire à nodules phosphatés
85 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : calcaires bleu noir
86 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : calcaires et dolomies
87 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : laves et pyroclastites kératophyriques
88 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : basaltes (Agglomérats d'Ensège)
89 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : Cambrien inférieur détritique ("grès de Marcory")
90 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : "Schistes tuffacés du Layrac"
91 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : "Blaviérites"
92 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupe du "Roc Suzadou"
93 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupe de St-Pons (SP) : ensemble supérieur schistogréseux
94 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupe de St-Pons (SP) : passées de tufs volcaniques
95 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupe de St-Pons (SP) : schistes et quartzites clairs
96 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupe de St-Pons (SP) : formation grésopélitique et carbonatée de Mas de Rieu
97 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupe de La Salvetat (Sa) : formation grésopélitique et carbonatée de Nages
98 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupes de St-Pons (SP) : formation volcanique à volcanosédimentaire de Rouvials
99 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupe de La Salvetat (Sa) : formation des gneiss de l'Orbiel
100 - Formations métasédimentaires de la zone axiale - ensemble inférieur grésopélitique : formation de Rieumajou
101 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupe de La Salvetat (Sa) : ensemble inférieur grésopélitique : formation de Puech Plo
102 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes syn-à tardi-tectonique - granites tardifs à biotite : à composition plutôt calcique
103 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes syn-à tardi-tectonique - granites tardifs à biotite : à composition plutôt potassique
104 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes syn-à tardi-tectonique : granites peralumineux tardifs à muscovite biotite
105 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes syn-à tardi-tectonique : granite migmatitique du Laouzas
106 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes syn-à tardi-tectonique : granites précoces foliés
107 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes syn-à tardi-tectonique : intrusions basiques à intermédiaires précoces
108 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes anté-orogénique (et roches associées) : Granite orienté à 2 micas du Mendic
109 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes anté-orogénique (et roches associées) : orthogneiss de Montredon-Labessonié
110 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes anté-orogénique (et roches associées) : orthogneiss des Cammazes et de Plaisance
111 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes anté-orogénique (et roches associées) : orthogneiss du Somail-Nore
112 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes anté-orogénique (et roches associées) : orthogneiss du Somail-Nore + migmatites
113 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes anté-orogénique (et roches associées) : complexe gneissico-amphibolitique de Réalmont - Carmaux - Najac
114 - Roches plutoniques ou magmatiques - Roches filoniennes : dolérites
115 - Roches plutoniques ou magmatiques - Roches filoniennes : rhyolites
999 - hydro

3.3. LES MINÉRALISATIONS FILONIENNES À QUARTZ-WOLFRAMITE ASSOCIÉES AUX GRANITES

3.3.1. Modèle métallogénique

Ces minéralisations se localisent aux sommets d'intrusions de granites fractionnés hyperalumineux mis en place à des profondeurs de l'ordre de 2 à 10 km (Figure 5).

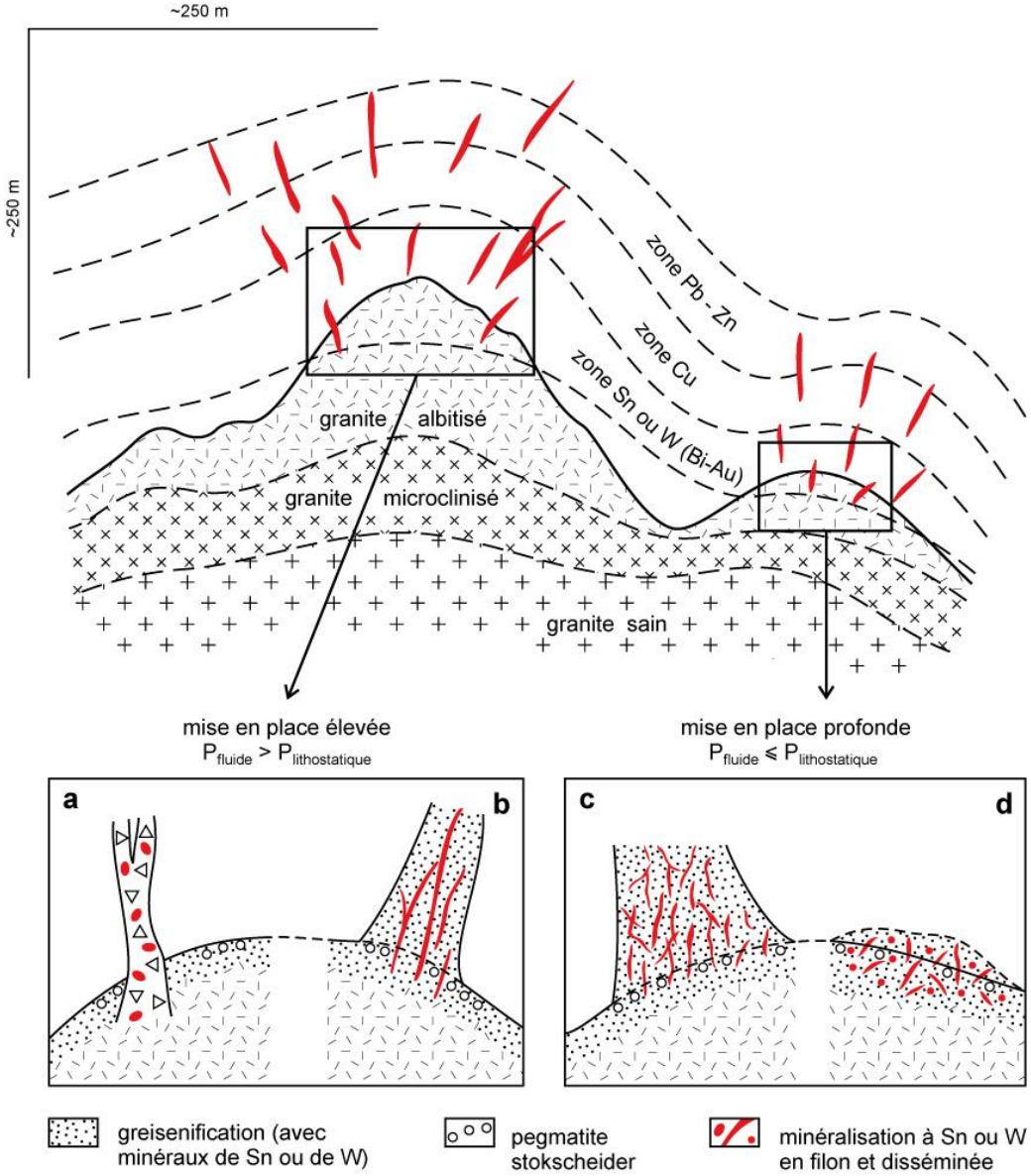


Figure 5 : Coupe idéalisée d'une intrusion granitique avec des minéralisations filoniennes à W-Sn situées au sommet. Les deux exemples de profondeurs différentes illustrent les différentes morphologies et disséminations qui peuvent en résulter.
D'après Jébrak et Marcoux (2008) modifié de Sinclair (1996).

Ces granites sont issus principalement de la fusion partielle d'anciens sédiments ce qui explique leur concentrations significatives en éléments lithophiles Si, Al, P, Li, Be, Sn, W, Nb et Ta notamment. Les morphologies sont variées (filons, réseaux de filonnets, brèches) et dépendent des conditions de perméabilités et du rapport entre la pression des fluides de fin de cristallisation du magma et la pression lithostatique ainsi que des contraintes tectoniques

régionales. Les fluides de fin de cristallisation des magmas, très siliceux, vont cristalliser sous la forme de veines de quartz à wolframite (W) et sont fréquemment accompagnés de proportions variables de cassitérite (Sn), Béryl (Be), tourmaline (B) et d'arsénopyrite (As).

La dimension des gisements filoniens dépend de l'étendue des champs ou des districts et de la densité des filons, à l'intérieur de ces champs ou districts. Leur superficie varie de quelques dizaines ou quelques centaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés (Chine méridionale, Portugal) et le tonnage de minerai tout-venant de ces grands districts est de l'ordre de plusieurs dizaines de millions de tonnes ; dans les corps filoniens isolés ou dans les petits champs, ce tonnage varie de quelques centaines de milliers à quelques millions de tonnes. La teneur des filons de quartz peut être relativement élevée, mais la teneur moyenne du minerai tout-venant dépend de la sélectivité de l'exploitation. Compte tenu de la minceur des filons, elle atteint rarement 1 % WO_3 et est en moyenne de l'ordre de 0,4 % WO_3. Les grands gisements ou districts mondiaux de ce type sont la Cornouaille, le nord du Portugal (Panasqueira), Mactung au Yukon, Kholtasan dans l'Altaï sibérien et surtout la Chine du Sud-Est qui comprend plusieurs champs dépassant 100 000 t de WO_3 contenu.

3.3.2. Gisements et indices connus de ce type dans la zone d'étude

Il existe de nombreuses occurrences de filons de quartz principalement à wolframite, mais pouvant contenir également en proportions variables de la cassitérite, de la scheelite et de la fluorite.

La zone de Montredon-Labessonnié est la principale zone connue où la densité de filons minéralisés atteint un seuil économique (Figure 6 et Figure 7). Il s'agit de réseaux de veines de quartz centimétriques à métriques de direction NO-SE. Tous ces filons recoupent la schistosité principale et les minéralisations stratiformes à scheelite quand elles existent, ce qui explique la superposition de minéralisations à la fois stratiformes et filoniennes aux mêmes endroits (l'Hom-Haut, l'Auriole).

Le champ filonien de La Frégère (Montredon-Labessonnié)

Ce gisement a été exploité en souterrain de 1958 à 1962 par la Compagnie Minière de Montredon : 82 000 t de tout-venant à 1,08 % WO_3 (700 t de métal) ; l'exploitation a été arrêtée en 1962 à cause de la chute des cours mondiaux. En 1981, le champ filonien de la Frégère a été évalué à 1,3 Mt de quartz à 0,65 % soit 8 500 t WO_3, à une teneur de coupure de 0,64 % WO_3 (Laneyrie, 1982).

Les filons de la Frégère sont encaissés pour l'essentiel dans une « cuvette » structurale de micaschistes, de dimension kilométrique ; une campagne géophysique (sismique réflexion) a montré que l'orthogneiss se situait à une profondeur moyenne de 100 m au cœur de la cuvette. Le champ filonien lui-même, tel qu'il est actuellement reconnu par les travaux miniers anciens et par des décapages extensifs, fait 600 m de long et 300 m de large.

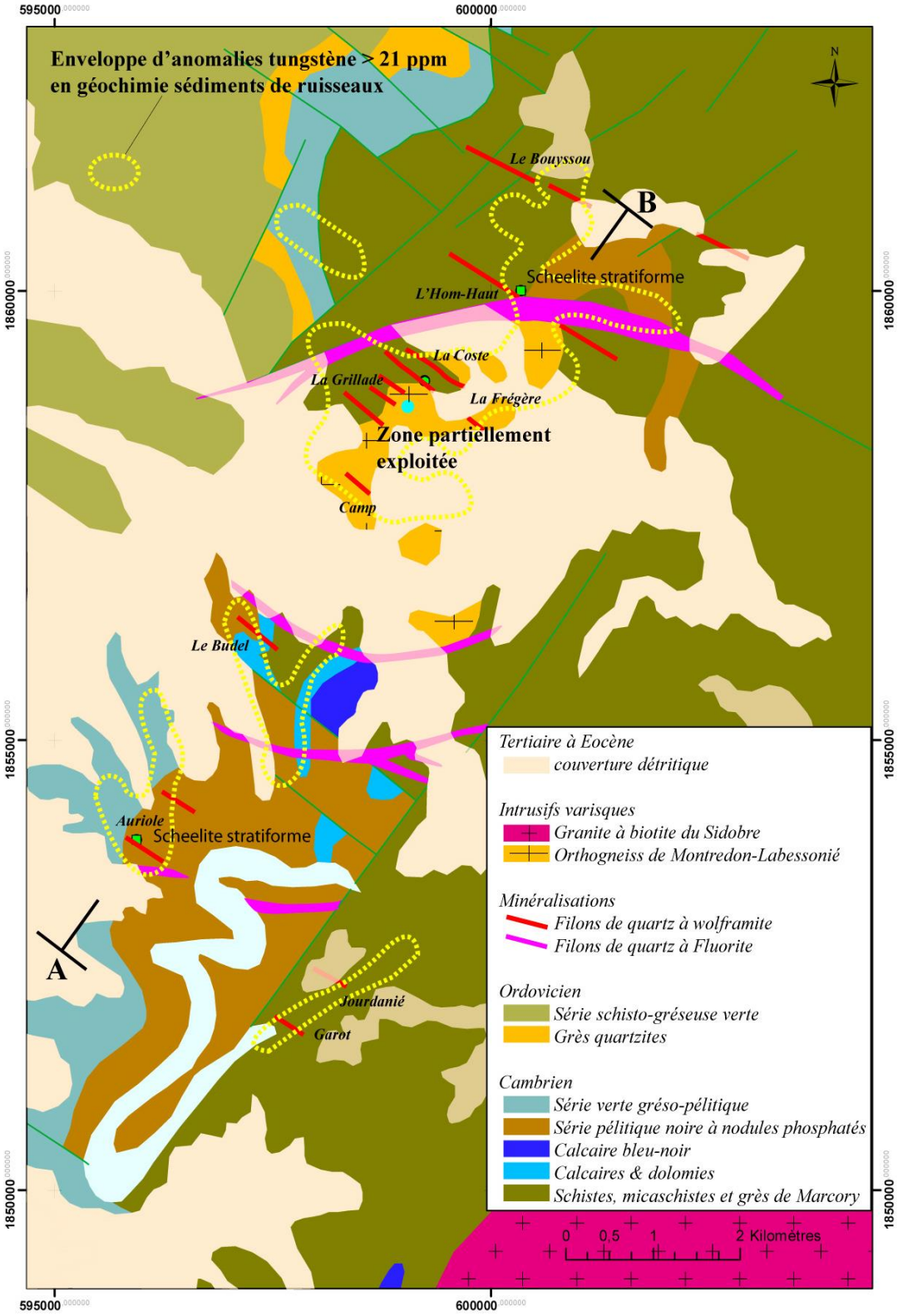


Figure 6 : Carte géologique simplifiée du dôme de Montredon-Labessonnié avec position des principales minéralisations filoniennes et stratiformes connues.Noter la bonne cohérence des anomalies géochimique W (pointillé jaune marquant des anomalies supérieures à 21 ppm) avec les indices de surface connus.

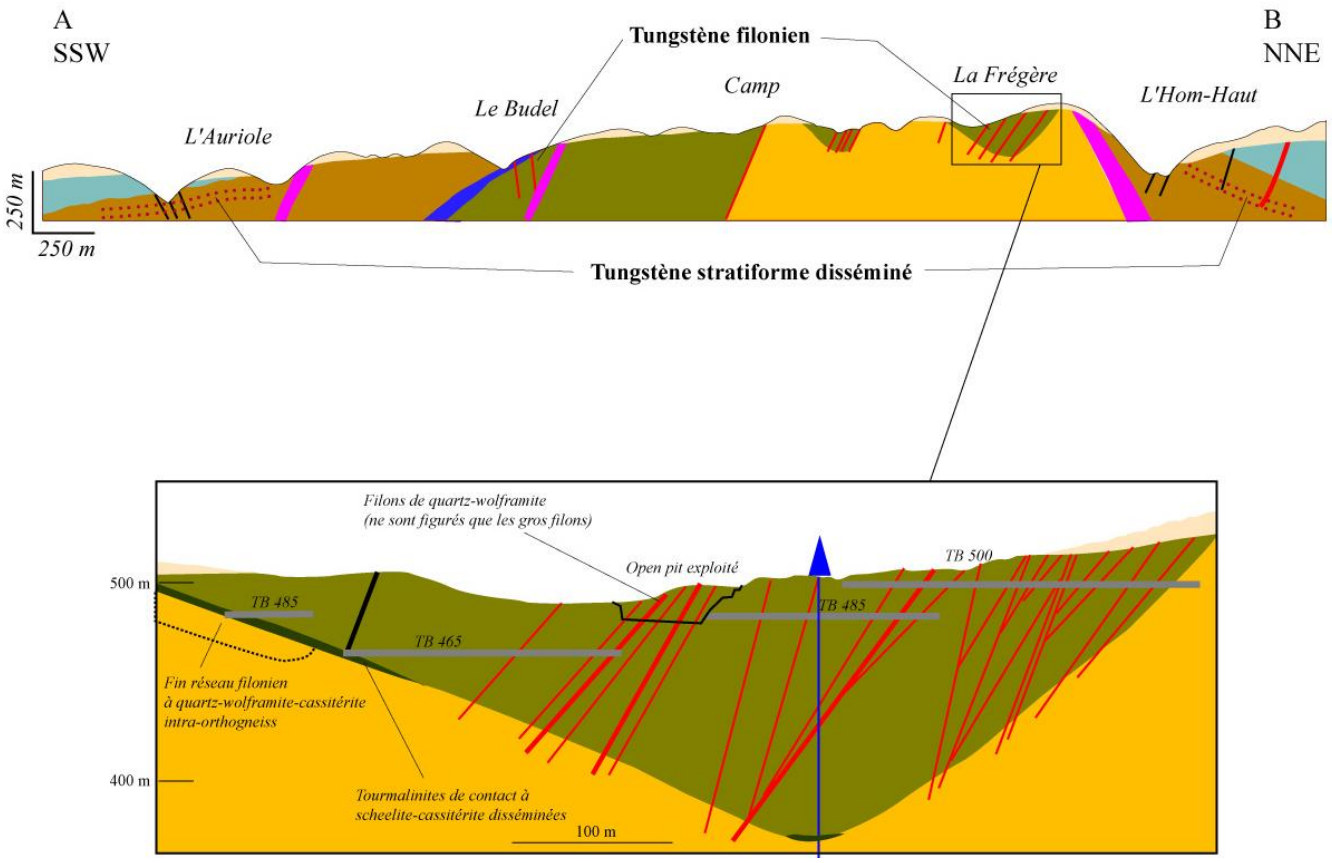


Figure 7 : Coupes géologiques au sein du dôme de Montredon-Labessonnié (tracé de la coupe A-B figure précédente). Les minéralisations reconnues comme les plus importantes se localisent dans les micaschistes situés au toit de l'orthogneiss. En encart, le zoom sur la minéralisation économique de La Frégère, montrant un minimum de trois morphologies de minéralisations (filons à quartz-wolframite dans les micaschistes, tourmalinites à scheelite-cassitérite dans les micaschistes au contact de l'orthogneiss, réseaux de veines à quartz-wolframite dans l'orthogneiss à proximité du contact avec les micaschistes). TB = travers-bancs. Modifié d'après P. Béziat et al. *(1990) et documents miniers.*

Il est constitué de deux larges faisceaux de filons (N130°E à N150°E à pendage moyen 40°S) composés chacun d'un ou deux filons principaux (1 à 5 m de puissance) associés à quelques filons de puissance variant de 20 à 50 cm et à un grand nombre de filonnets d'une puissance inférieure à 20 cm ; ces deux faisceaux sont séparés par un accident jalonné de brèches à tourmaline, sans tungstène. Les filons épais sont, dans l'ensemble, plus réguliers que les filons minces qui s'anastomosent fréquemment ; certains filons présentent des structures en « relais » dans le plan horizontal et convergent vers le bas pour former un filon unique plus puissant (Béziat *et al.*, 1980). Au-delà, ils ont été reconnus par sondages jusqu'à la base de la « cuvette », puis ils s'enracinent dans l'orthogneiss, sous la forme d'un stockwerk de filonnets centimétriques avec encore quelques filons.

La partie sud du dôme de Montredon contient de nombreux indices de filons minéralisés, notamment les indices de :

- Auriole (filons et filonnets de quartz à scheelite) ;
- Le Budel (filons de 2 à 4 m de puissance à scheelite et fluorite) ;
- Bouyssou, zone filonienne à teneur supérieure à 1 % WO3 ;
- ainsi que les indices filoniens de l'Hom-Haut, Saclas, La Goussarié.

Les indices filoniens de Brousses (Aude)

Dans le secteur de Brousses (3 km à l'ouest de Salsigne), une forte anomalie en géochimie de sédiments de ruisseau, définie par 13 points anomaux en W sur 1 km par 250 m, a permis de découvrir de nombreux filonnets remplis de quartz à tourmaline et scheelite au bord sud-est du granite de Brousses qui recoupe les schistes du Cambrien. La minéralisation se localise dans un faciès de bordure du granite sur une puissance de 50 mètres avec des teneurs atteignant localement 0,7 % WO_3. Cette zone mériterait d'être réexaminée.

D'autres anomalies existent plus au nord dans le même contexte (à Fontiers-Cabardès par exemple) avec présence de quartz à wolframite dans la forêt de la Loubatière, ces indices demanderaient également à être réexaminés.

3.4. LES MINÉRALISATIONS DE TYPE SKARN

3.4.1. Modèle métallogénique

Les skarns sont formés par la transformation de carbonates (calcaires et/ou dolomies) et/ou du granite par diffusion de fluides dans la zone de contact de granitoïdes intrusifs dans des formations carbonatées. Ils sont principalement constitués de silicates calciques (grenat, pyroxènes). Les skarns se forment en trois grandes étapes qui se superposent : l'étape thermométamorphique correspond à la mise en place de l'intrusion et à la déshydratation des formations encaissantes. L'étape métasomatique prograde se traduit par une décarbonatation et un apport de fer, manganèse et aluminium par les fluides magmatiques et la formation des silicates calciques (pyroxènes, grenats). L'étape hydrothermale rétrograde correspond à l'envahissement du système par des fluides de plus basse température (450-300 °C) et la formation de minéraux hydratés (amphiboles, épidotes, chlorites) et le dépôt de sulfures.

La composition du granite intrusif et de l'encaissant carbonaté joue un rôle important sur la composition des skarns, ainsi que la profondeur de mise en place, ce qui explique en partie la diversité des types de skarns connus.

La classification actuelle reconnait 7 types de skarn : à fer, à cuivre, à zinc, à tungstène, à étain, à molybdène, à or (Meinert *et al*., 2005).

La morphologie des skarns est extrêmement variable (Figure 8). Elle dépend en effet de la géométrie de l'intrusion, de la géométrie des couches carbonatées, du type de déformation/fracturation relié à la profondeur de mise en place et enfin des volumes de fluides en circulation relié au régime thermique.

L'importance de ces gisements varie de quelques centaines de milliers à quelques milliers de tonnes, rarement plus de dix, de minerai. La teneur de ce minerai est plus élevée que dans les gisements de filons à wolframite. Elle est en moyenne de 0,7 % WO_3 et dépasse parfois nettement 1 % comme à Salau, qui a produit plus de 10 000 t de WO_3 contenu. Les grands gisements mondiaux de ce type sont ceux des chaînes ouest-américaines (Logjam Creek au Canada, Pine Creek aux USA, Toromocho au Pérou, Tyrny Auz dans le Caucase, San Dong en Corée, Yachishan en Chine et King Island en Tasmanie).

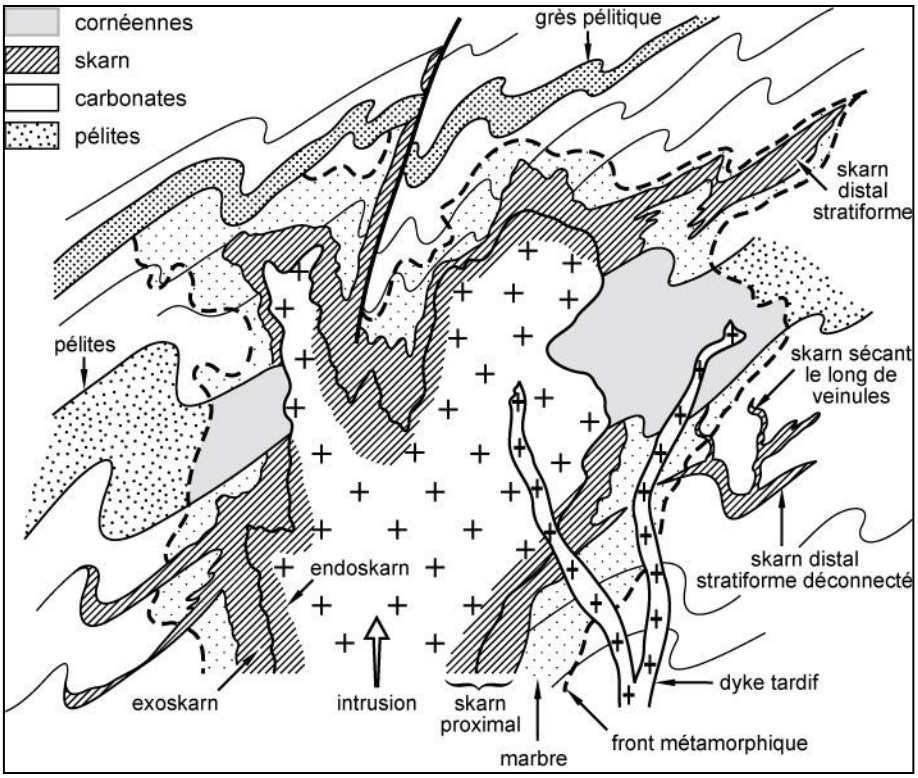


Figure 8 : Coupe schématique idéalisée montrant les différentes morphologies de skarns pouvant se développer au contact d'une intrusion recoupant des niveaux carbonatés. Modifié d'après Jébrak et Marcoux (2008).

3.4.2. Gisements et indices connus de ce type dans la zone d'étude

Minéralisations de type skarn de Fumade - La Fédial (FRA-00249 ; Figure 9)

Dans le cadre des travaux de l'Inventaire Minier, une première minéralisation de type skarn fissural fut découverte par le BRGM près de la ferme de Fumade. Après l'attribution d'un PER puis d'une concession à la SNEA(P), cette dernière a mis en évidence une importante minéralisation tungstifère de type skarn. Ces skarns sont principalement développés au dépend d'alternances carbonatées dans les pelites noires (K2b, série porteuse des minéralisations stratoïdes à scheelite) intrudées par le granite de la Fabrié mis en évidence en profondeur par les sondages.

Les sondages ont permis d'observer un ensemble très hétérogène de roches. Celui-ci constitue, au sommet d'un vaste plancher de granite à biotite de type Sidobre, le cortex de l'intrusion. Il se présente sous forme de lames injectées dans divers plans de discontinuité (sédimentaires et/ou tectoniques). L'intrusion du complexe aplo-granitique dans les formations schisto-carbonatées donne naissance à plusieurs catégories de skarns bien différenciés :

- des skarns fissuraux, à calcite - diopside - trémolite, parfois minéralisés en scheelite (à l'origine de l'anomalie de départ) et surtout développés dans les dolomies massives de la base de la série noire (K2a) à partir de fractures grossièrement E-O ;
- des skarns stratiformes dans les alternances calcaréo-détritiques sus-jacentes (alternances inférieures) dont ils conservent généralement le litage originel ; on distingue les skarns 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 et sont rarement et faiblement minéralisés en scheelite ; puis des skarns de type II, sombres , à idocrase, quartz rare mais prépondérance de grenat. Ils

sont massifs, à gros grain, et se localisent uniquement au niveau des barres carbonatées des alternances inférieures, au contact ou à proximité de la lame aplo-granitique principale. C'est dans ces skarns de type II que s'observent les fortes concentrations en scheelite.

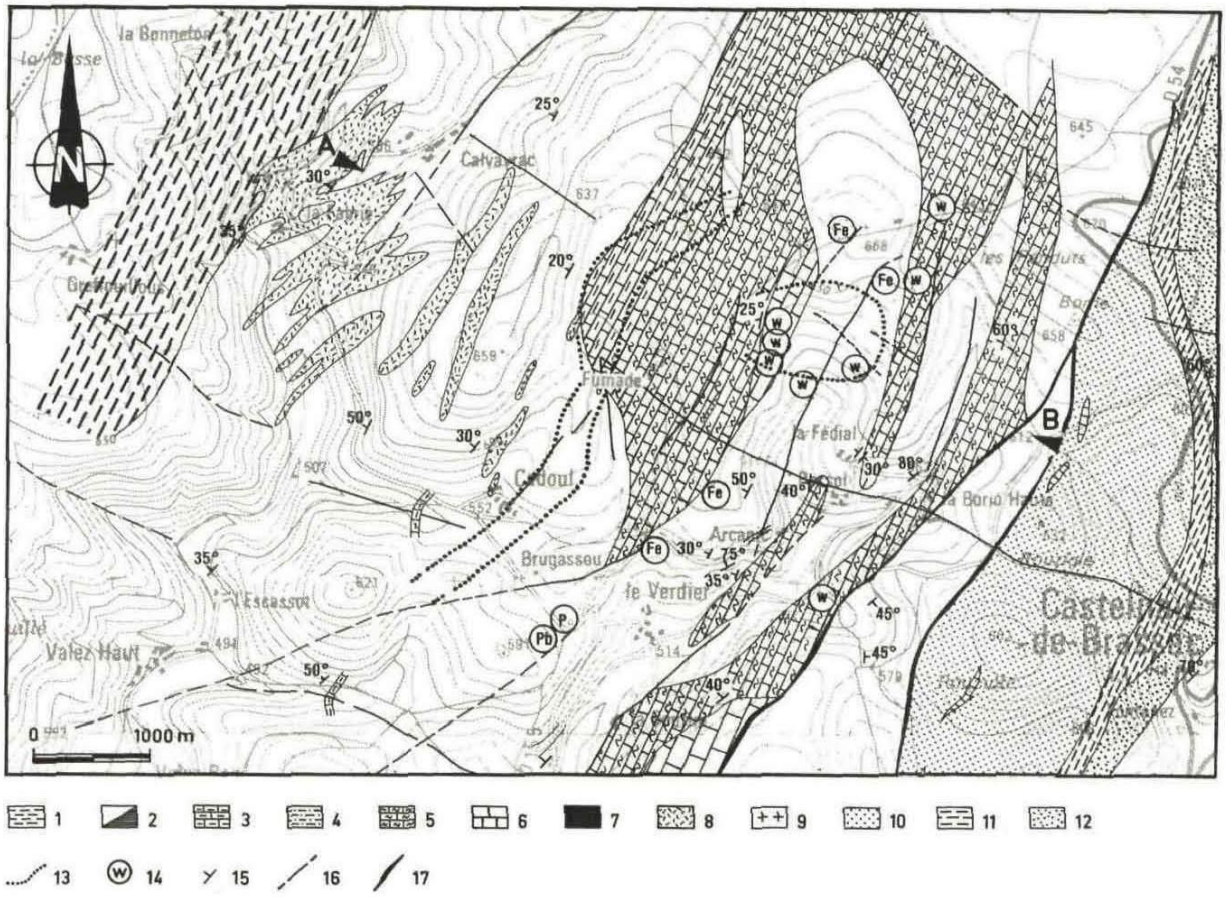


Fig. 3. - Carte géologique du secteur de Fumade
1 : Série verte schisto-gréseuse (K_{2-3}) ;
2 : Schistes noirs (K_2b_3) - en traits serrés sur la fig. 4 ;
3 : Alternances calcaréo-argileuses supérieures (K_2b_2) ;
4 : Alternances calcaréo-silteuses K_2b_1) - voir fig. 4 ;
5 : Alternances calcaréo-argileuses inférieures (K_2b_1) ;
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.

Fig. 4. - Coupe géologique interprétative du gisement de Fumade-La Fédial. Position de la coupe (A-B) et légende : voir fig. 3.

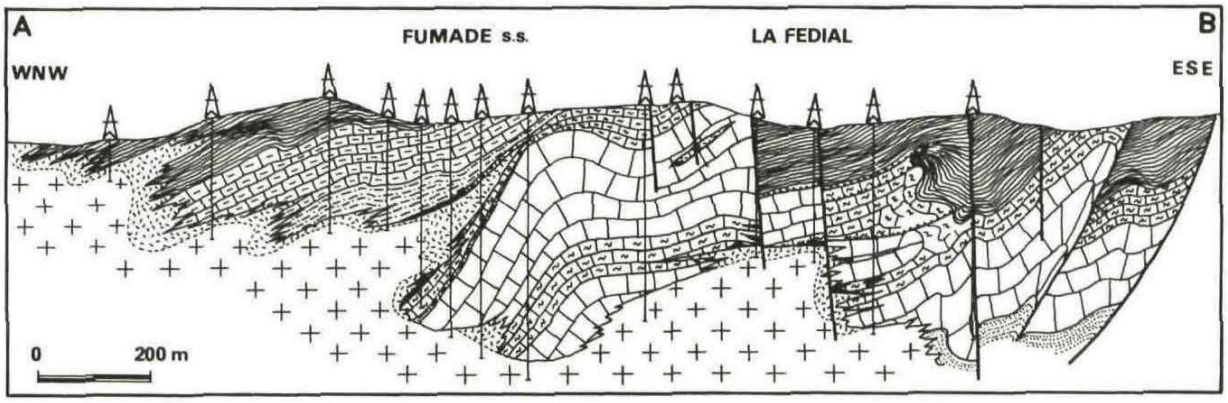


Figure 9 : Carte et coupe des skarns de Fumade-La Fédial, d'après P. Safa et al. *(1987).*

Les anciennes évaluations de ressources (BRGM et SNEA(P)) étaient respectivement de 1 Mt @ 1 % WO_3 à 1,3 Mt @ 1,1 % WO_3, à une teneur de coupure de 0,55 WO_3, pour l'ensemble Fumade – La Fédial auquel il faut ajouter les skarns fissuraux superficiels opérables en carrière évalués à 0,36 Mt @ 0,43 % WO_3. Audion (2013)[3] a mené, dans les standards actuels, une réévaluation des ressources de ce gisement au niveau inféré, à l'aide d'outils modernes de modélisation 3D et de méthodes géostatistiques (inverse du carré de la distance, plus proche voisin et krigeage ordinaire), et en prenant en compte des teneurs de coupure actualisées, c'est-à-dire 0,30 % WO_3 pour les ressources profondes exploitables en souterrain et 0,10 % WO_3 pour les ressources superficielles exploitables à ciel ouvert. Ces travaux ont conduit à une revue à la hausse du potentiel du secteur de Fumade :

- Fumade profond : **2,301 Mt @ 0,70 % WO_3**, soit 12,8 kt de tungstène contenu ;
- La Fédial : **770,4 kt @ 1,41 % WO_3**, soit 8,6 kt de tungstène contenu ;
- Fumade superficiel : **141,9 kt @ 0,58 % WO_3**, soit 653 t de tungstène contenu.

Il est fondamental de considérer que les extensions nord et sud des skarns de Fumade et la Fédial restent inconnues ce qui ne peut qu'augmenter le tonnage métal de cette zone qui est déjà d'au moins 20 000 t WO_3.

Ferrières (FRA-00247)

À 7 km au nord-ouest de Brassac, à proximité de la bordure du granite du Sidobre, un étroit panneau de terrains cambriens (2 500 x 500 m) correspondant au toit du granite a été préservé de l'érosion à la faveur de failles normales. On retrouve ainsi une géométrie similaire au gisement de Montredon. Dans ce panneau la série cambrienne des schistes noirs et de la série gréso-pélitique verte y sont bien représentées. Le sondage du Soulié a montré la présence de lames de granite de taille diverse traversant ces formations à l'emporte-pièce, donnant, au contact des roches carbonatées, des skarns à scheelite ; les teneurs varient de 0,4 à 1,09 % WO_3 avec des puissances de l'ordre du mètre. Au contact du granite lui-même (ou d'une lame particulièrement puissante) on observe 7,85 m à 1,09 % WO_3 (5 m de puissance environ), à une profondeur de 70 m par rapport à la surface. Le sondage du Soulié a traversé diverses lames de granite montrant de la scheelite au contact des roches carbonatées. Le sujet fut l'objet de travaux miniers dont les résultats ne sont pas connus et reste à réévaluer.

Autres indices de skarns

Un minimum de cinq indices de skarn situés dans le même contexte géologique que les skarns de Fumade – La Fedial et Ferrière (dolomies du K2a, schistes noirs à alternances carbonatées et gréso-carbonatées du K2b intrudées de granites subaffleurants) mettent en évidence une vaste zone d'allongement SO-NE très prospective pour ce type de minéralisations. Les probabilités de découvertes de nouveaux gisements de type skarn à tungstène y sont très fortes. Ainsi, en partant du NE vers le SW sont connus :

L'indice d'Espérausses (au nord de Fumade)

Il s'agit au départ d'une anomalie alluvionnaire en scheelite à 7 km au nord-est de Fumade. Cette anomalie a été confirmée par géochimie tactique définissant une surface de 500 par 250 m. La prospection-marteau y découvrit des blocs de quartz riches en scheelite mais le

[3] **Audion A.-S.** (2013) - Étude pilote d'une cible minière en métropole : le gisement de tungstène de Fumade (Tarn). Rapport final. BRGM/RP-62718-FR, 78 p., 35 fig., 3 tabl., 8 ann., 1 CD.

peu de sondage réalisé n'a pas permis de découvrir des minéralisations de type skarns qui restent à localiser. Les dolomies de la série noire (K2a) sont ici largement représentées à l'affleurement et localement percées de pointements granitiques (granite du Pioch, microgranite de la Croix de Barthès, ...), et surtout elles sont intensément transformées, avec présence de minéraux de métamorphisme, micas, sulfures (et parfois scheelite près des contacts microgranites - dolomies) ce qui est un indicateur extrêmement favorable.

L'indice du Teil (au nord de Fumade)

C'est une anomalie géochimique étendue (2 500 m selon la direction NE-SO) entre Teil-Haut et la Ferrière ; elle s'enracine à proximité des micaschistes (grès du Marcory K1) sur des faciès d'alternances grésocarbonatées métamorphisés, localement minéralisés en scheelite à l'affleurement. Trois sondages carottés courts (180 m au total) effectués en 1981 sur les avals possibles n'ont pas trouvé de minéralisation.

L'anomalie géochimique de Guzanes (au sud de Fumade)

Elle a seulement été définie au stade tactique, dans le cadre des travaux menés sur les indices d'antimoine de Payssibots (1982) : 4 points faiblement anomaux en tungstène, mais situés à proximité du pointement microgranitique de Guzanes qui perce ici les schistes noirs (K2b) à la faveur d'une charnière anticlinale. Cette structure anticlinale de direction N30°E à N40°E se poursuit en direction de Fumade-la Fabrié (4 km au NNE). Elle est localement jalonnée par des blocs de microgranite semblables à celui de Guzanes.

Les indices des Cadets (Tarn) associés au granite de la forêt de Montaud

Les schistes du Cambrien sont ici recoupés par un granite à muscovite (granite de la forêt de Montaud) et intrudés par des lames granitiques de dimensions variables, parallèles à la schistosité majeure. Ce granite développe une auréole de métamorphisme de contact qui se traduit par l'apparition de trémolite dans les bancs carbonatés massifs et de petits niveaux de cornéennes calciques au contact granite-calcaire. L'ancienne carrière des Cadets montre une partie du toit du granite recoupant les calcaires avec au contact une belle minéralisation en scheelite. D'autres indices sont connus à proximité et devraient faire l'objet d'une ré-investigation dans cette zone favorable.

3.5. LES MINÉRALISATIONS STRATIFORMES À SCHEELITE DISSÉMINÉE

3.5.1. Modèle métallogénique

Jusqu'à récemment, un type de minéralisation stratiforme à scheelite était distingué des skarns. Il s'agit de quartzites et/ou de gneiss à silicates calciques présentant des minéralisations disséminées en scheelite. Ces gîtes sans relation évidente avec les granitoïdes se présentent sous la forme de couches minéralisées de grande extension latérale, fréquemment de l'ordre du kilomètre. Ainsi la minéralisation était considérée comme d'origine volcano-sédimentaire ou liée à des fluides métamorphiques. L'exemple typique pour ces minéralisations est le gisement de Felbertal en Autriche. Des études récentes viennent de démontrer qu'il s'agit en fait de minéralisations de type skarn, génétiquement associées à un orthogneiss, l'ensemble ayant été par la suite métamorphisé et déformé. Le corollaire de ceci implique donc la présence de granites minéralisateurs situés à l'aplomb de ce type de minéralisations et ouvre de nouvelles perspectives en termes d'exploration.

3.5.2. Gisements et indices connus de ce type dans la zone d'étude

Les niveaux du versant nord de la Montagne Noire : l'Auriole, l'Hom-Haut

Ces minéralisations sont portées par un niveau de schistes à silicates calciques localisés à proximité du sommet de la série pélitique noire du Cambrien, au sein des alternances schisto-calcaires. Il s'agit d'un niveau constitué d'amandes à quartz-feldspaths-scheelite-fluorite alternant avec des lits (millimétriques à décimétriques) de schistes à biotite, de schistes à pyroxène et de marbres calcitiques. À l'Hom-Haut, ces amandes sont de dimensions modestes (jusqu'à 20 cm de long et jusqu'à 10 cm d'épaisseur) et distribuées sur une puissance de 15 à 20 m alors qu'à Auriole elles font de 10 à 30 cm d'épaisseur et se développent beaucoup plus largement dans la schistosité principale sur une puissance de 6 à 15 m. Ces amandes contiennent de la scheelite très abondante en grains atteignant 2 à 3 mm disséminés dans l'ensemble de l'amande, associée à la fluorine (jusqu'à 20-30 % en volume), cassitérite et sphalérite étant subordonnées.

Les travaux miniers réalisés dans les années 1973-1980 ont démontré l'extension kilométrique et la puissance assez constante du niveau minéralisé. On peut en effet admettre des puissances de l'ordre de 10 à 15 m, avec une teneur moyenne comprise entre 0,15 et 0,20 % WO_3 (soit au minimum, dans l'emprise des sondages, un potentiel géologique de 25 000 t WO_3).

Les niveaux du versant sud de la Montagne Noire : Olargues/Saint-Pons - La Gineste

À la différence des niveaux précédents, il ne s'agit pas ici de schistes à silicates calciques mais de gneiss à silicates calciques. Ces niveaux de gneiss à silicates calciques à scheelite et fluorite sont localisés au sein des schistes noirs du Cambrien et reconnus par de nombreux indices sur 30 km. De façon générale les prospections sur ces indices ne sont pas allées au-delà de leur simple découverte, les teneurs appréciables en affleurements ne dépassant pas quelques centaines de ppm W, dans des bancs certes nombreux, mais d'épaisseur centimétrique à décimétrique. La seule exception vraiment notable est celle de la région de Lamalou - le Poujol où a été défini le prospect de la Gineste. Les travaux miniers (sondages, rainurages, prospection) ont montré la présence d'un niveau de 7 m de puissance à teneur moyenne de 0,20 % WO_3 reconnu sur environ 1 km d'extension NE-SO.

4. Données de l'Inventaire Minier : géochimie et prospection alluvionnaire

Les phases classiques de l'Inventaire stratégique se sont déroulées dans la Montagne Noire entre 1976 et 1986, tout d'abord sur le département du Tarn. Au total, 13 442 prélèvements de géochimie stratégique ont été analysés (soit une densité moyenne d'échantillonnage de 3,5 échantillons au km²) et les contenus en minéraux lourds de 3043 fonds de batées ont été étudiés.

Nous n'aborderons ici que les résultats relatifs au tungstène (Figure 10), en reprenant les conclusions présentées par Michard (1990). Des références aux anomalies géochimiques répertoriées dans Gloaguen *et al.* (2016) sont données par les numéros d'enregistrement indiqués entre parenthèses.

En alluvionnaire, la scheelite est peu présente dans l'est des Monts de Lacaune où seules quelques traces ont été mis en évidence. Elle est beaucoup plus fréquente sur les bordures méridionales et orientales de la zone axiale et dans le dôme de Montredon. Des anomalies sont aussi très localisées :

- schistes à silicates calciques de l'Hom-Haut et d'Auriole ;
- schistes du Cabardès, d'Olargues - Saint-Pons et du Poujol sur Orb où ils ont abouti à la définition du prospect de La Gineste ;
- la région d'Escoussens avec la découverte des indices des Cadets ;
- la région de Ferrières - Fumade - Espérausses - Le Teil où ont été mis en évidence les gîtes de Fumade et La Fédiale ;
- le secteur de Mas Cabardès (vraisemblablement associé au filon du Nesplié).

La wolframite est beaucoup plus rare, avec des occurrences dans le secteur de l'Espinouse et au niveau des gîtes du dôme de Montredon.

Les anomalies géochimiques à tungstène sont assez localisées, avec de fortes valeurs dans le dôme de Montredon (accompagnées par Be, F, As et Cu ; B-ANO-A1-4). Michard (1990) souligne l'existence d'anomalies W corrélées à la présence de scheelite entre Montredon et Peyrebrune.

Une plus faible anomalie à W (+ Cu et Sn) dans l'ouest des Monts de Lacaune est à l'origine de la découverte du gîte de Fumade (B-ANO-A1-5), ainsi que celle de Tel Bas (B-ANO-A1-174), La proximité d'apophyses granitiques est marquée par de petites anomalies à Be (et parfois F) qui pourraient représenter de bons guides de prospection pour la découverte d'autres gîtes cachés.

Dans l'est des Monts de Lacaune, le granite de Faulat présente des valeurs anomales en W et Sn.

De nombreuses anomalies sont distinguées dans la Zone Axiale comme à Mas du Gua (B-ANO-A1-178), à Brousses (anomalie du Moulin de l'Ane, B-ANO-A1-8), dans le Cabardès, les schistes X de Saint-Pons à Lamalou, les gneiss à silicates calciques entre Saint-Pons et Olargues, et particulièrement à la Gineste (B-ANO-A1-19), et à proximité du filon de quartz à cassitérite de La Capoulade.

Une autre anomalie (Rigautou), à proximité de Mazamet montre une anomalie W bien structurée (associée à As, cassitérite et scheelite) qui n’est pas expliquée.

Tout au sud, quelques points avec des faibles valeurs se localisent dans le secteur de la forêt des Soulanes de Nore.

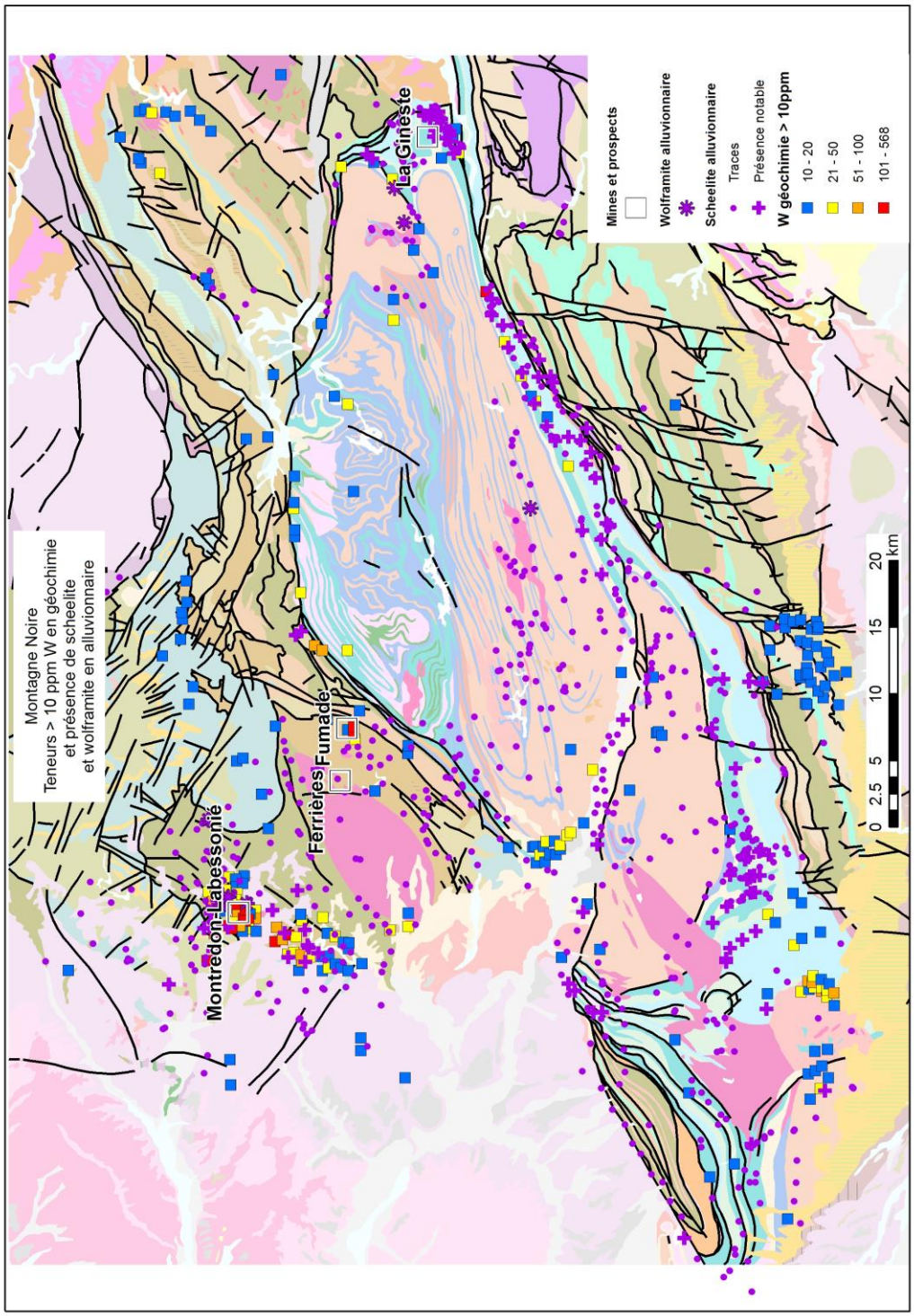


Figure 10 : Principales données de la prospection stratégique de l'Inventaire Minier concernant le tungstène.

5. Présentation et intégration des données géophysiques disponibles et exploitables

Les données géophysiques existantes sur la zone d'étude ont été acquises lors de campagnes anciennes (antérieures à 1990). Elles ne sont cependant pas exploitables pour les études de favorabilité car elles ne couvrent pas complètement les zones d'intérêts et n'ont pas été acquises dans des conditions favorables. Les principales campagnes sont cependant présentées pour mémoire dans le : Principales campagnes géophysiques recensées dans la zone d'étude de la Montagne Noire (d'après InfoTerre™).Tableau 1. Par ailleurs, plusieurs études locales ont été réalisées dans le cadre de projets d'exploration ou de développements méthodologiques (Annexe 1), mais ces études ne constituent là aussi que des données parcellaires qui ne peuvent pas être utilisées dans le cadre d'étude de favorabilité à échelle régionale.

Année du lever	Client	Opérateur	Secteur	Méthodes mises en œuvre	Détails
1982	SNEAP	GEOTERREX	Monts de Lacaune	Campagne aéromagnétique (Mag et EMag)	Altitude de vol : 60 m. Écart entre les lignes de vol : 250 m. Direction des lignes de vols : 0/155°
1980	SNEAP	GEOTERREX	Camares	Campagne aéromagnétique (Mag et EMag)	Altitude de vol : 60 m. Écart entre les lignes de vol : 200 m.
1979	SNEAP	GEOTERREX	Lamalou	Campagne aéromagnétique (Mag et EMag)	
1964	BRGP	CGG	Roussillon Nord	Campagne aéromagnétique (Mag)	Altitude de vol : 1 500 m (réf. à la mer). Écart entre les lignes de vol : 3 000 m. Direction des lignes de vols : 135°
1964	RAP SNPA	CGG	Foix Nord Saint Gaudens	Campagne aéromagnétique (Mag)	Altitude de vol : 1 500 m (réf. à la mer). Écart entre les lignes de vol : 2 000 m. Direction des lignes de vols : 0°
1979	SNEAP	GEOTERREX	Mazamet	Campagne aéromagnétique (Mag et EMag)	
1981	SNEAP	GEOTERREX	Sorezois	Campagne aéromagnétique (Mag et EMag)	Altitude de vol : 60 m.
1975	SNEAP	GEOTERREX	Salsigne	Campagne aéromagnétique (Mag et EMag)	Altitude de vol : 120 m.

Tableau 1 : Principales campagnes géophysiques recensées dans la zone d'étude de la Montagne Noire (d'après InfoTerre™).

En ce qui concerne les gîtes de tungstène, les campagnes suivantes de géophysique ont été menées :

- gravimétrie sur le dôme de Montredon pour la recherche de coupole granitique ;
- électromagnétisme héliporté sur la partie des Monts de Lacaune où le Cambrien présente des séries volcano-sédimentaires (recherche d'amas sulfurés) ;
- électromagnétisme et magnétisme héliporté sur le flanc sud de la Zone Axiale (recherche d'amas sulfurés).

Ces données géophysiques, acquises antérieurement à 1996[4], n'ont malheureusement pas pu être numérisées dans le cadre de cette étude et insérées dans le SIG régional. Elles n'ont, par conséquent, pas pu bénéficier aux traitements de favorabilité présentés ci-dessous.

[4] Date à partir de laquelle les données de géophysique aéroportée sont disponibles sous forme numérique au BRGM.

6. Études de favorabilité

6.1. LE SIG RÉGIONAL

Le SIG régional utilisé est une extraction géographique du SIG national présenté dans Cassard *et al.* (2012). Comme le SIG national, il est structuré sous forme d'une géodatabase. Les jeux de classes d'entités qui le composent sont listés dans la Figure 11 ci-dessous. Leurs noms ont été choisis suffisamment explicites pour renseigner leur contenu.

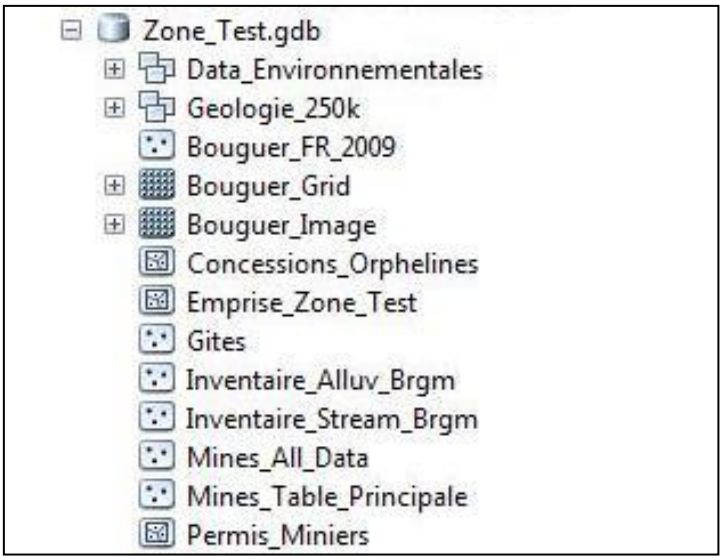


Figure 11 : Les classes d'entités de la géodatabase Zone_Test.gdb, extraites de la géodatabase nationale Sig_Mines_France.gdb.

La numérisation et l'insertion de données locales existantes sous forme papier (géophysique « tactique » réalisée sur les indices connus, sondages réalisés par les compagnies privées - dont les archives restent à localiser - et les données locales associées à la protection du patrimoine historique et naturel) n'ont pas pu être réalisées dans le cadre de cette étude.

La finalisation des cartes au 1/50 000 de Castres (986) et de la carte harmonisée du département du Tarn étant en cours lors de la réalisation de cette étude, c'est la carte géologique au 1/250 000 qui a été utilisée. Il est important de noter que la plupart des cartes géologiques au 1/50 000 ont été levées après 1990, seulement deux cartes (Mazamet, 1012, et Bédarieux, 988) sont antérieures à l'Inventaire Minier.

La zone de test a été couverte au cours de l'Inventaire par une prospection géochimique stratégique à une densité moyenne de 3,5 échantillons au km^2. Le cœur de la Zone Axiale, vu sa géologie peu favorable (principalement des terrains migmatitiques et granitiques), n'a pas été couvert lors de la phase de prospection stratégique.

Une campagne de prospection alluvionnaire a également été réalisée sur la zone.

6.2. LES TRAITEMENTS DE PRÉDICTIVITÉ

Au cours de ce travail, deux approches probabilistes de prédictivité ont été utilisées. La méthode du « Weight of Evidence » (WofE, Bonham-Carter, 1994) est un outil communément mis en œuvre dans les études dédiées à l'exploration du potentiel minéral d'une région. La seconde méthode, dite « CBA » (Cell-Based Association, Tourlière *et al.*, 2015), actuellement en cours de développement au BRGM, a également été mise en œuvre.

Les principes généraux des deux approches sont exposés dans les paragraphes suivants.

6.2.1. La méthode "Weight of Evidence" (WofE)

Il s'agit d'une méthode quantitative pour regrouper les données probantes à l'appui d'une hypothèse. La méthode a été initialement développée pour une application non spatiale dans le diagnostic médical, dont la preuve se composait d'un ensemble de symptômes et l'hypothèse était du type « ce patient a la maladie x ». Pour chaque symptôme, une paire de coefficients de pondération est calculée, l'une pour la présence du symptôme, l'autre pour l'absence du symptôme. L'ampleur des poids dépend de l'association mesurée entre le symptôme et le modèle de la maladie chez un grand nombre de patients. Les poids peuvent alors être utilisés pour estimer la probabilité qu'un nouveau patient développe la maladie en se basant sur la présence ou l'absence de symptômes.

Dans les années 1980, cette approche a été adaptée pour la cartographie du potentiel minéral à l'aide de SIG. Dans cette situation, la preuve est constituée d'un ensemble de jeux de données d'exploration (sous forme cartographique), et l'hypothèse est « ce lieu est favorable pour l'apparition du dépôt de type x ». Les pondérations sont estimées à partir de l'association mesurée entre les occurrences minérales connues et des informations cartographiques (informations lithologiques, structurales, géochimiques, géophysiques, …) pour être ensuite utilisées comme prédicteurs. L'hypothèse est alors évaluée à plusieurs reprises pour tous les emplacements possibles sur la carte en utilisant les poids calculés, et permet ainsi de produire une carte du potentiel minéral dans lequel les preuves de plusieurs couches cartographiques sont combinées. Cette approche est dite « experte », car il s'agit d'avoir une connaissance des marqueurs de minéralisations pour prédire les localités favorables.

Dans le cas présent, les données utilisées sont les suivantes :

- des données géologiques hamonisées. La seule couche d'informations géologiques de ce type disponible[5] est **la carte géologique au 1/250 000 de Montpellier**. L'utilisation d'une couverture au 1/50 000, bien que plus précise, aurait nécessité un travail très chronophage d'harmonisation au préalable. Il n'est de plus pas certain que l'utilisation de la carte au 1/50 000 ait modifié sensiblement les résultats. En effet, l'étude aurait été beaucoup plus sensible aux erreurs de localisation, et l'information aurait peut-être été « diluée » par des formations lithologiques locales de plus faible extension. D'une manière générale, plus que la précision du fond géologique, le point crucial de ce type d'étude reste le nombre de gisements et indices disponibles pour l'apprentissage ;
- les indices de W connus (mines et indices), auxquels une pondération de 1 a été appliquée ;
- les anomalies géochimiques à W-B-Ba (après traitement de l'ensemble des données géochimiques de la zone en Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)), qui ont été pondérées par un coefficient de 0,5 ;

[5] Au moment de la réalisation.

- les anomalies alluvionnaires à scheelite et wolframite, auxquelles une pondération de 0,25 a été appliquée.

Le traitement a ainsi consisté à scorer ces informations ponctuelles, en tenant compte de leurs pondérations, pour chaque formation lithologique cartographiée, ainsi que pour les contacts lithologiques et au regard de la surface occupée par chacune de ces formations.

Le résultat obtenu correspond à une classification des différentes formations et contacts suivant les scores obtenus (*Figure 12*).

6.2.2. La méthode “Cell-Based Association” (CBA)

La méthode CBA est une approche non dirigée (Tourlière *et al*., 2015). Elle s’intéresse aux associations de formations lithologiques présentes dans chaque cellule de forme carrée d’une grille définie arbitrairement. Elle permet ainsi de mettre en évidence des types d’associations de formations lithologiques favorables à la présence d’une minéralisation. L’apprentissage se fait sur les cellules contenant au moins une occurrence de la minéralisation recherchée (les minéralisations existantes forment un set d’apprentissage). Dans ces cellules, tous les facteurs géologiques sont recensés, constituant une signature ou association. Ensuite, les associations les plus pertinentes sont recherchées à partir d’un tableau de contingence. Les cellules présentant des associations similaires sont alors scorées.

Pour cette étude, une grille à maille carrée de cinq kilomètres de côté a été retenue. Le résultat est une carte sur laquelle sont représentées toutes les cellules où un type d’association favorable est présent[6].

6.3. LES RÉSULTATS OBTENUS ET RECOMMANDATIONS

Les techniques de prédictivité permettent de cibler des secteurs favorables à l’échelle régionale. Au sein des secteurs ciblés, l’application des modèles métallogéniques permet d’affiner la sélection des cibles et de proposer les poursuites de travaux à envisager.

6.3.1. Résultats obtenus par la méthode du Weight of Evidence (approche expert)

Cette méthode met en évidence plusieurs zones de favorabilité classées par ordre décroissant d’intérêt (Figure 12) :

- une zone de dimension comparable à celle d’un prospect :
  - l’**orthogneiss de Montredon-Labessonnié**, très largement distingué (en marron sur la Figure 13), correspondant à une surface de 2 km² ;
- des formations régionales d’extension variable :
  - les formations gréso-pélitiques et carbonatés du Groupe de Saint-Pons (Cambrien), sur la bordure méridionale de la Zone Axiale (en rouge sur la Figure 12), représentant une surface de 134 km² ;
  - les formations volcaniques et volcano-sédimentaires du Groupe de Saint-Pons, les pélites noires à nodules phosphatés (Cambrien), à un degré moindre les schistes et quartzites du

[6] En l’état actuel, le programme n’autorise qu’un scoring binaire : en d’autres termes, il n’y a pas de hiérarchisation des associations réputées favorables.

groupe de Saint-Pons, et les granites intrudant ces séries. Toutes ces formations sont présentes au sud et au nord de la zone axiale, mais sont plus développées dans la zone des **monts de Lacaune**, au nord. Elles sont représentées en orange sur la Figure 12 et correspondent à une surface de 385 km² ;

- les granites tardifs de la Zone Axiale et des Brousses (en jaune sur la Figure 12), dont la surface cumulée est de 45 km².

Au sein de ces unités, les zones représentant le plus fort intérêt d'un point du point de vue de l'expert, notamment en prenant en compte la signature géochimique particulière à W-Sn-Be, ont été encadrées (Figure 12 et Figure 13).

Des gisements ou indices significatifs sont déjà présents dans ces zones encadrées, tels que Montredon-Labessonnié, L'Auriole, Fumade, La Fériale, La Gineste et La Brousse, sauf dans la zone favorable située au nord-est (non loin du gisement de Pb/Zn de La Rabasse, figuré par un carré vert dans le coin supérieur droit de la Figure 12). À proximité de cette dernière, des occurrences de scheelite et wolframite ont cependant été mises en évidence en géochimie alluvionnaire.

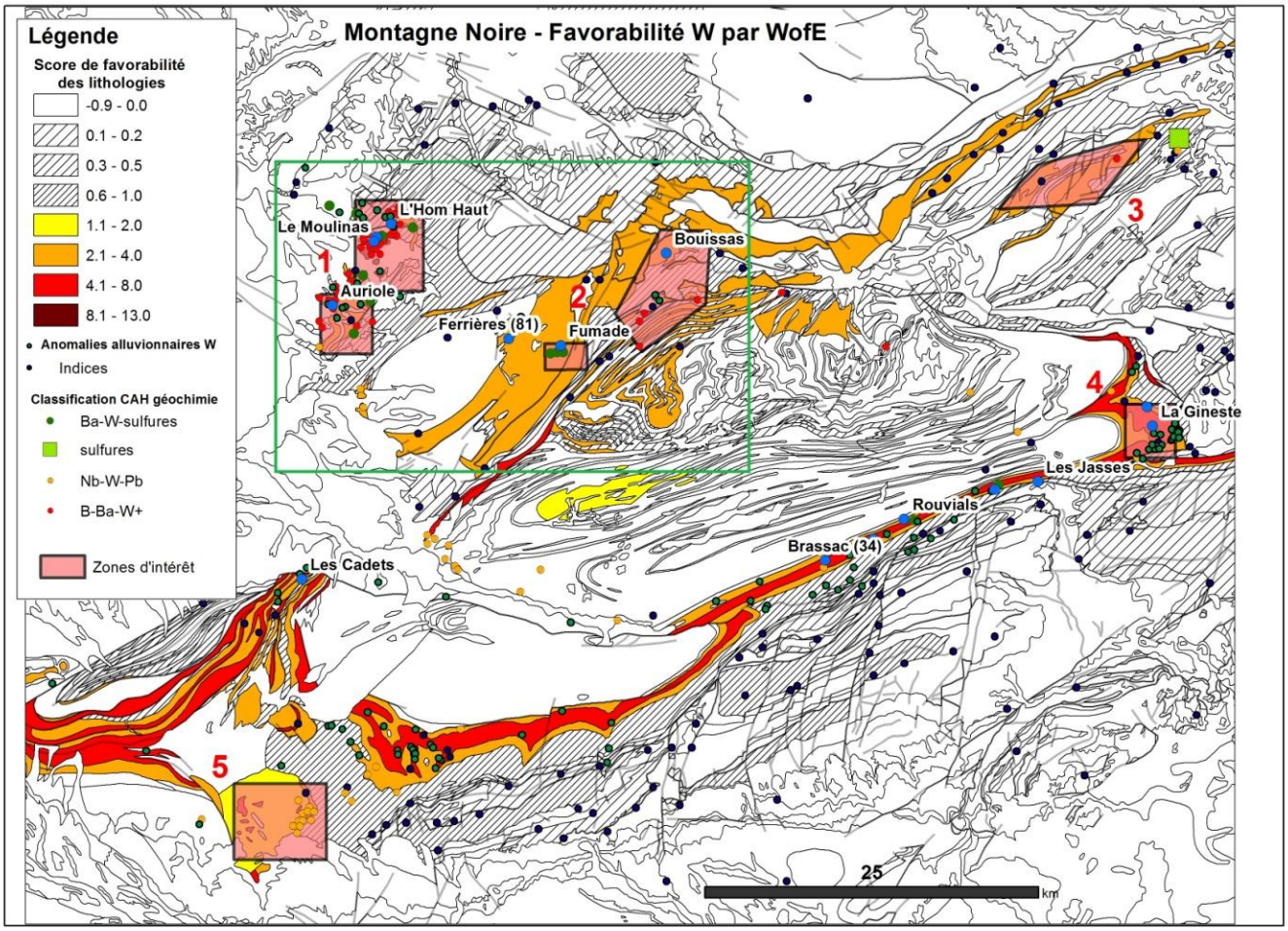


Figure 12 : Carte des zones favorables mises en évidence par la méthode du Weight of Evidence. (le rectangle vert indique l'emprise de la Figure 13). Les secteurs encadrés en rose sont ceux qui, d'un point de vue métallogénique présentent le plus fort interêt.

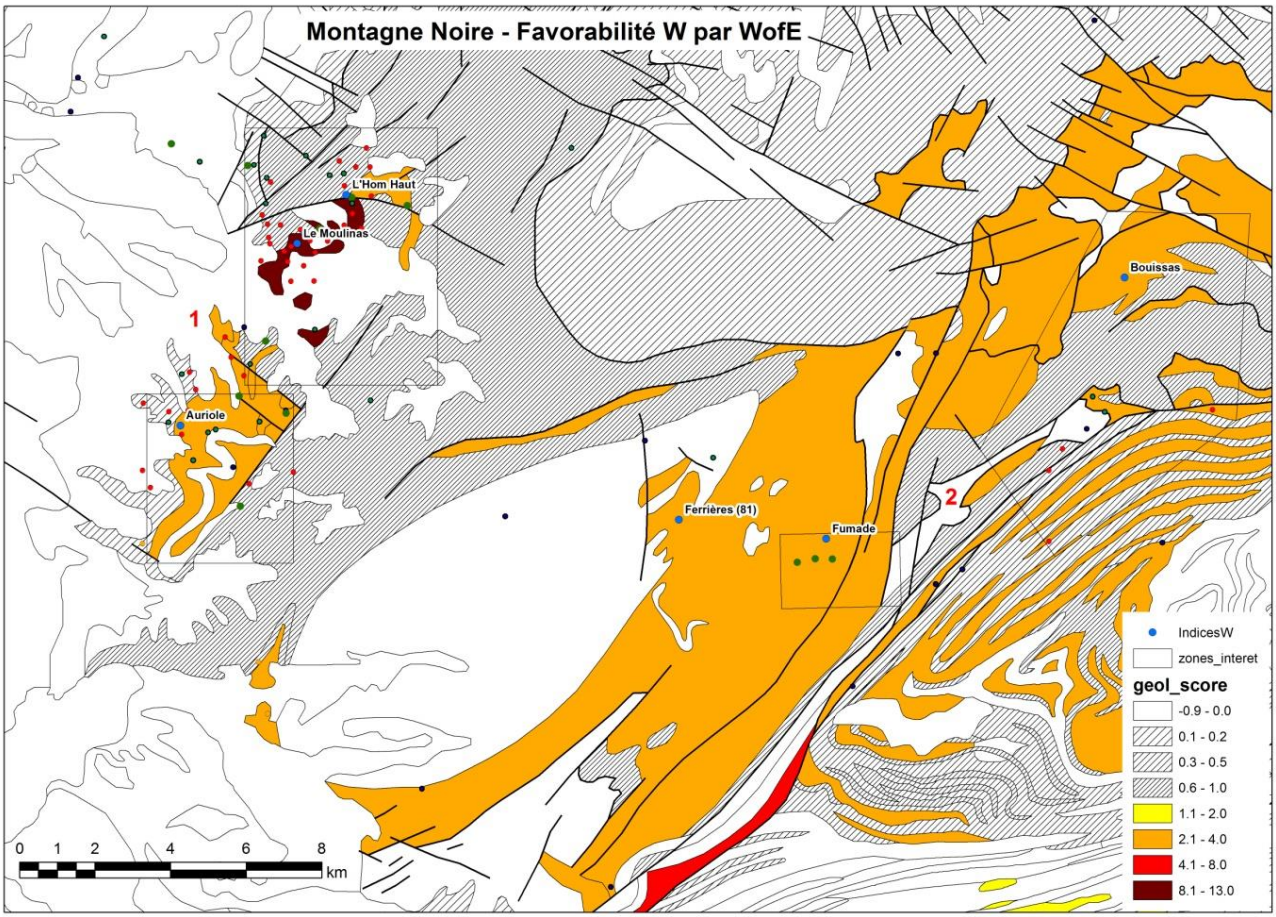


Figure 13 : Zoom de la Figure 12 sur le secteur du Moulinas et alentours (zone de Montredon-Labessonnié) qui présente la plus forte favorabilité en tungstène par la méthode du Weight of Evidence.

6.3.2. Résultats obtenus par la méthode CBA

La méthode CBA a permis de cartographier des associations de formations lithologiques favorables (Figure 14). Plusieurs types d'associations ont été distingués, les abréviations données entre parenthèses correspondant au code « formation lithologique » de la carte au 1/250 000 de Montpellier (conformément à ce qui a été dit précédemment, il n'y a pas de hiérarchisation de ces associations) :

- Type GCH1 (aB3_4-Spf-Spg_j), qui correspond à l'association des granites potassiques à biotite tardi-varisques aux formations supérieures du Groupe de Saint-Pons (schistes et quartzites, schisto-gréseux) ;
- Type 1 (Spb-Spc-Spd_e-Spg_j-oae3), représentant l'association des formations de la Zone Axiale de la Montagne Noire, c'est-à-dire du groupe de Saint-Pons et de l'orthogneiss du Somail ;
- Type 1b (Sa1-SPb-SpC-Spd_e), est aussi un type d'association de la Zone Axiale, composé des formations gréso-pélitiques du groupe de la Salvetat et des formations gréso-pélitiques, carbonatées, volcaniques et volcano-sédimentaires du Groupe de Saint-Pons ;
- Type 2 (k1-k2b-k2a). Ce type regroupe les formations du Cambrien inférieur des Monts de Lacaune : Grès de Marcory, série pélitique noire à nodules phosphatés, calcaire et dolomie ;

- Type 3 (d-o1_2-oae3), présent sur la bordure méridionale de la Zone Axiale, est un type d'association impliquant le Dévonien, l'Ordovicien inférieur et l'Orthogneiss du Somail ;
- Type 4 (a3_4-o1_2-oae3), très localisé, il est caractérisé par l'association des formations de l'Ordovicien inférieur, des orthogneiss de type Somail et des granites à biotite tardi-varisques ;
- Type 5 (d-k2-k3_6), représenté sur la bordure sud de la Zone Axiale, il correspond aux formations carbonatées du Dévonien et du Cambrien inférieur (calcaires à Archéocyathes) ;
- Type 6 (k2b-a3_4), localisé dans les Monts de Lacaune, au voisinage du type 2, il correspond à l'association des séries noires pélitiques à nodules phosphatés et des granites à biotites tardi-orogéniques varisques.

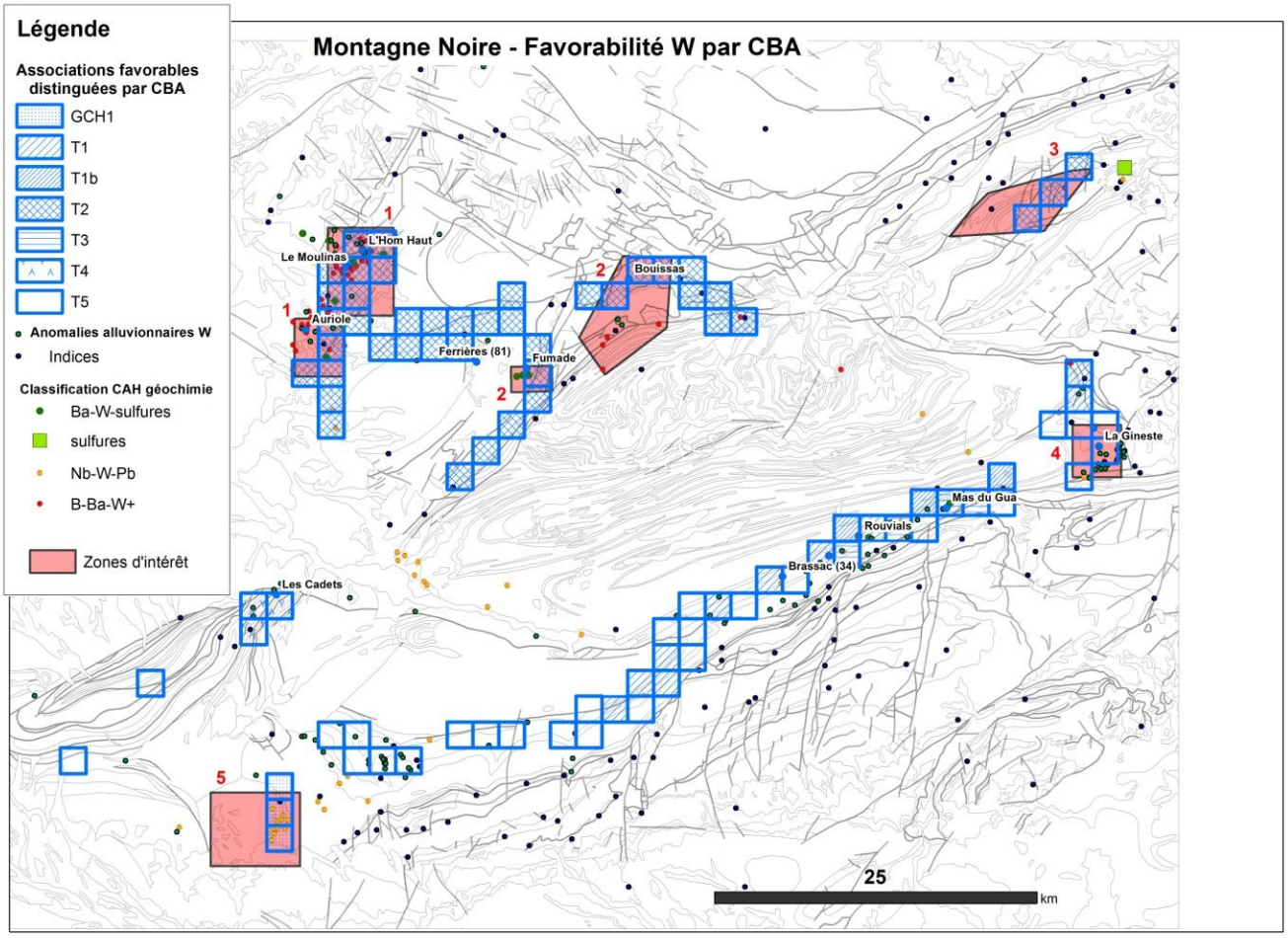


Figure 14 : Carte des zones favorables (carrés bleus) obtenues par la méthode CBA, et comparaison avec les zones d'interêt identifiées par la méthode WofE (polygones roses).

De par l'importance des gisements connus dans les types 2 et 6, il apparaît clairement que les zones où ces associations sont mises en évidence constituent des cibles prioritaires pour toute poursuite de travaux. La présence des monts de Lacaune dans les deux types d'associations souligne leur fort potentiel en termes d'exploration.

Il est à noter que le secteur de Montredon-Labessonnié et la « zone Nord-Est » (proche du gisement de la Rabasse) sont également retrouvés par la méthode CBA.

6.3.3. Synthèse des deux approches et recommandations

Il apparaît que les deux méthodes utilisées (WofE et CBA) convergent pour identifier les mêmes zones d'intérêt :

- **les monts de Lacaune** (secteur 2 dit de Bouissas/Fumade - Figure 14) où des recherches avancées ont permis de montrer le fort potentiel de certains gisements ;
- **le dôme de Montredon-Labessonnié** (secteur 1 - Figure 14), avec les gisements d'Auriole, de l'Hom Haut et du Moulinas notamment ;
- **la « zone Nord-Est »**, proche du gisement à Pb/Zn de la Rabasse (secteur 3 - Figure 14), qui représente la terminaison orientale des monts de Lacaune, et où la géochimie alluvionnaire a permis d'identifier des occurrences de scheelite et wolframite ainsi qu'une forte anomalie en béryllium ;

Dans une moindre mesure, on retiendra également, au sud de la Montagne Noire :

- **le secteur de la Gineste/La Capoulade** (secteur 4 - Figure 14) ;
- **le secteur des Cadets** (Figure 14), en continuité structurale de la Fumade vers le SO ;
- **le secteur 5** (Figure 14) qui présente une concordance des résultats des méthodes WofE et CBA, et où une anomalie géochimique importante en béryllium est présente.

D'un point vue métallogénique, la comparaison de ces résultats avec les gisements et indices connus montre que les niveaux du Cambrien sont un piège extrêmement efficace lorsqu'ils sont recoupés par des granites «minéralisateurs ».

D'une manière générale, il apparaît que les méthodes de prospection classiques (géochimie et alluvionnaire) ont montré leurs limites pour ce type de minéralisation, ne permettant pas la détection de gisement non affleurant et éloigné de la surface. Toutefois, le gisement de Fumade a été « accroché » par la présence de trois anomalies géochimiques très localisées. Ainsi, la ré-analyse de certains échantillons avec des seuils de détection moins élevés pourrait permettre de mettre en évidence de nouvelles minéralisations. Cette approche, qui nécessitera au préalable une étude statistique pour affiner la maille de « ré-échantillonnage », pourrait être menée sur les zones à fort potentiel définies précédemment.

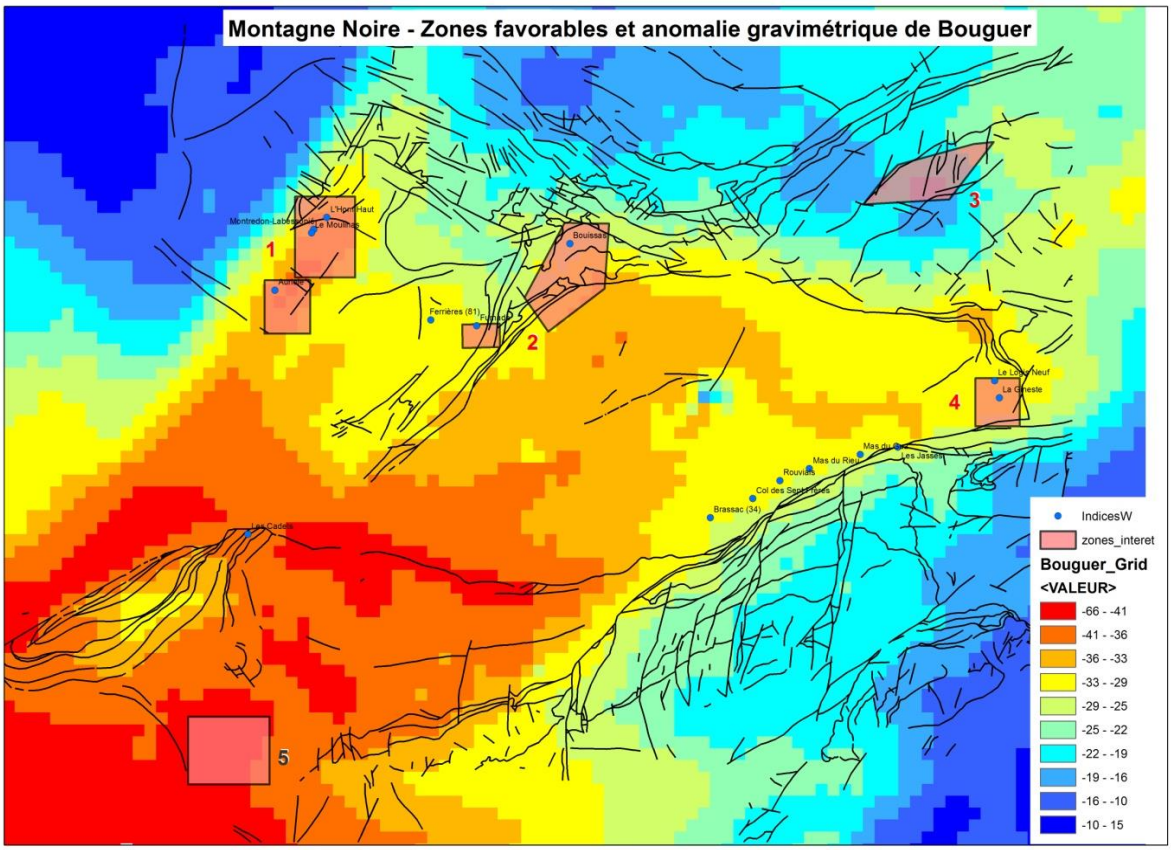


Figure 15 : Localisation des zones d'intérêt sur une carte d'anomalie de Bouguer (données gravimétriques, valeurs en mGal) montrant leur lien avec une structuration tectonique NE-SO et de forts gradients gravimétriques.

La réalisation d'un modèle 3D du Cambrien, basé sur les données géologiques existantes, des données gravimétriques de résolution appropriée et les données de sondage des compagnies minières, permettrait un ciblage plus précis des zones favorables en profondeur par la représentation/modélisation des contacts entre le Cambrien et les injections granitiques fissurales. La Figure 15 montre la localisation préférentielle d'un grand nombre d'indices sur des structures tectoniques majeures NE-SO, souvent associées à un fort gradient gravimétrique. Elle montre également que la résolution des données géophysiques disponibles est insuffisante pour mener à bien des traitements d'inversion à l'échelle locale et que de nouvelles acquisitions de données seraient vraisemblablement nécessaires.

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

Remarque : compte tenu des délais imposés, la méthodologie proposée n'a pas pu être menée à son terme sur la zone d'étude. Il aurait convenu en effet de représenter les contraintes environnementales et sociétales pour achever la hiérarchisation des zones d'intérêt. Des indications de ces contraintes sont cependant données dans les fiches de cibles minières (Bertrand *et al.*, 2015 ; Action 2.1 de la convention DEB-BRGM 2015).

7. Comparaison avec des gisements ou districts mondiaux de même typologie

Le district de la Montagne Noire présente de nombreux indices et gîtes de tungstène parmi lesquels les gisements de type skarn paraissent le plus prometteur.

Audion (2013) a mené une réévaluation des ressources du gisement de type skarn de Fumade - La Fédial, au niveau inféré, à l'aide d'outils modernes de modélisation 3D et de méthodes géostatistiques. Ces travaux ont conduit à une revue à la hausse du potentiel du secteur de Fumade :

- Fumade profond : **2,301 Mt @ 0,70 % WO_3**, soit 12,8 kt de tungstène contenu ;
- La Fédial : **770,4 kt @ 1,41 % WO_3**, soit 8,6 kt de tungstène contenu ;
- Fumade superficiel : **141,9 kt @ 0,58 % WO_3**, soit 653 t de tungstène contenu.

Ces résultats ont permis de comparer le potentiel de ces trois cibles avec celui d'autres sujets comparables du point de vue gîtologique (skarns à scheelite) et actuellement en cours d'exploration, de développement ou d'exploitation. Les ressources de ces projets sont placées dans un graphique tonnage-teneur (Figure 16).

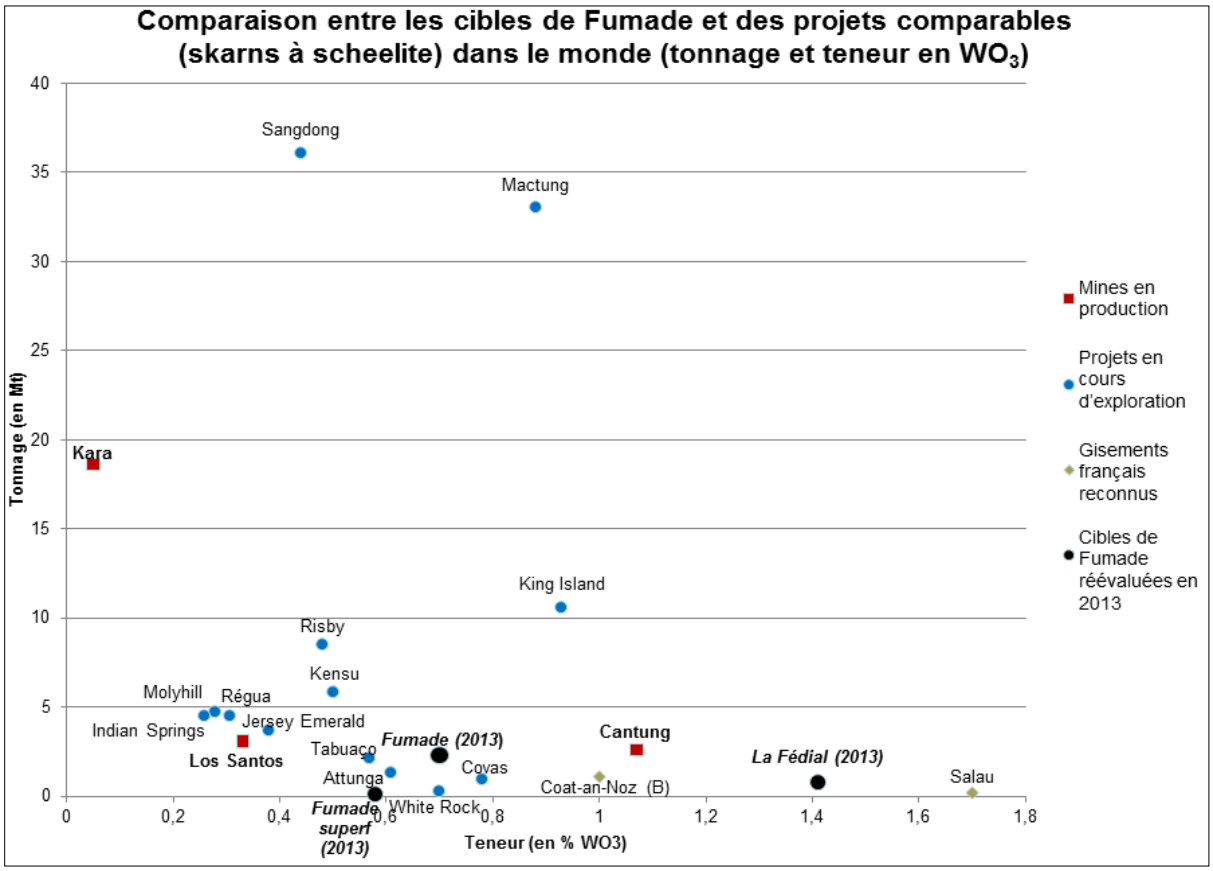


Figure 16 : Couple tonnage-teneur des principaux sujets miniers de skarns à scheelite (Extrait d'Audion, 2013). Les évaluations de ressource de Salau et Coat-an-Noz sont cependant basées sur des paramètres économiques anciens,ces valeurs correspondent donc à des ressources minimales qu'il conviendrait de réévaluer.

La cible de Fumade profond se place clairement **dans l'enveloppe des projets actuellement en cours d'exploration avancé**. Grâce à ses bonnes teneurs, elle dispose même de ressources supérieures à celle de la mine en production de Los Santos (Almonty Industries, Espagne) en termes de tungstène contenu.

D'autre part, le sondage FU42 laisse augurer la possibilité d'une coalescence des niveaux minéralisés de Fumade sens strict et de La Fédial. Les cotes des minéralisations de ces deux cibles étant du même ordre de grandeur (100-300m), une exploitation des deux gisements à partir d'un seul ouvrage d'accès pourrait être envisagée (Prouhet, 1987). Par ailleurs, ces gisements ne sont pas fermés, ce qui suggère que les ressources pourraient y être beaucoup plus élevées.

Du point de vue régional, l'existence à la fois d'un épisode magmatique « fertile » tardi-orogénique recoupant potentiellement des lithologies favorables au développement de minéralisation de type skarn souligne le fort potentiel du domaine, le gisement de Fumade représentant un premier argument pour la recherche d'autres gîtes similaires. Dans un contexte géologique identique, les Pyrénées comportent plusieurs skarns comme le gîte de Costabonne ou celui de Salau qui a été exploité au cours des années 1980.

Les résultats des études de favorabilité confirment ces observations et permettent de délimiter des zones privilégiées de recherche, notamment dans le secteur des Monts de Lacaune.

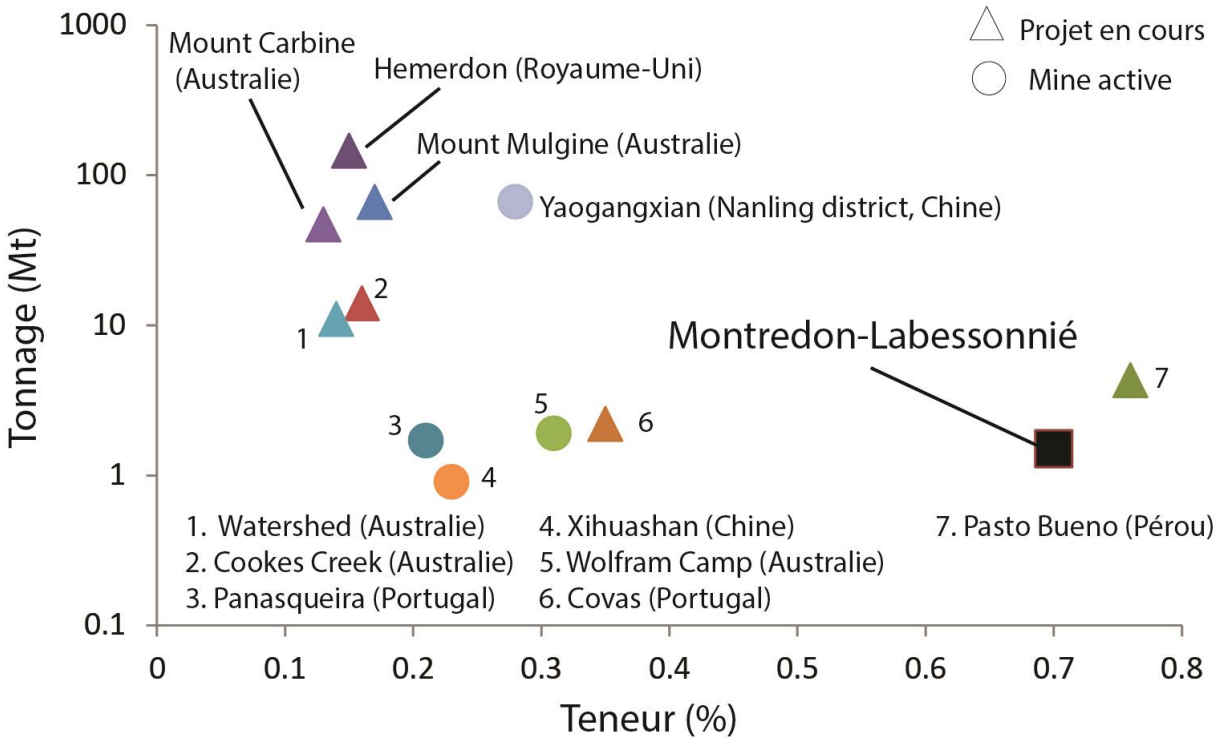


Figure 17 : Comparaison du gisement de Montredon-Labessonnié avec d'autres gisements mondiaux de type filonien en cours d'exploitation ou en voie de développement (données SNL, 2016). Noter que les valeurs concernant le prospect de Montredon-Labessonnié sont issus de travaux anciens dont les paramètres économiques (teneur de coupure) mérite sans aucun doute une réévaluation.

L'existence dans le secteur de minéralisations associées à des systèmes filoniens, comme dans le dôme de Montredon-Labessonnié indique aussi le potentiel régional pour ce type de gîte. En se basant sur les données anciennes d'estimation de ressources (1,5 Mt à environ 0,7 % WO_3, avec une teneur de coupure moyenne de 0,64 % WO_3 ; Laneyrie (1982)), qui nécessiterait d'être réévaluées dans les conditions économiques actuelles (abaissement de la teneur de coupure), ce gisement est dans la tranche basse en terme de tonnage mais montrent des teneurs tout à fait intéressantes par rapport à d'autres projets miniers en cours sur des gisements de type similaire (Figure 17).

Le district de la Montagne Noire présente donc au moins deux gîtes dont le potentiel économique pourrait être avéré.

8. Conclusions

Cette synthèse sur le district à W de la Montagne Noire reprend les données anciennes de l'Inventaire Minier, réinterprétées avec les concepts modernes de métallogénie du tungstène et si possible dans les standards économiques actuels.

Une étude de favorabilité a de plus pu être réalisée à partir des données disponibles. Il apparaît que les deux méthodes utilisées (WofE et CBA) convergent pour identifier les mêmes zones d'intérêt :

- **les monts de Lacaune** (secteur 2 dit de Bouissas/Fumade) où des recherches avancées ont permis de montrer le fort potentiel de certains gisements ;
- **le dôme de Montredon-Labessonnié** (secteur 1), avec les gisements d'Auriole, de l'Hom Haut et du Moulinas notamment ;
- **la « zone Nord-Est »**, proche du gisement à Pb/Zn de la Rabasse (secteur 3), qui représente la terminaison orientale des monts de Lacaune, et où la géochimie alluvionnaire a permis d'identifier des occurrences de scheelite et wolframite ainsi qu'une forte anomalie en béryllium ;

Dans une moindre mesure, on retiendra également, au sud de la Montagne Noire :

- **le secteur de la Gineste/La Capoulade** (secteur 4) ;
- **le secteur des Cadets**, en continuité structurale de la Fumade vers le SW ;
- **un secteur à l'extrêmité SW de la Montagne Noire,** qui présente une concordance des résultats des méthodes WofE et CBA, et où une anomalie géochimique importante en béryllium est présente.

D'un point vue métallogénique, la comparaison de ces résultats avec les gisements et indices connus montre que les niveaux du Cambrien sont un piège extrêmement efficace lorsqu'ils sont recoupés par des granites «minéralisateurs ». Suite à ces observations, il est recommandé de mettre en œuvre une approche de modélisation 3D des formations cambriennes des Monts de Lacaune et du dôme de Montredon pour déterminer plus précisément la géométrie de ces formations, particulièrement dans certaines zones sous couverture où de nouveaux gisements pourraient être identifiés.

D'une manière générale, il apparaît que les méthodes de prospection classiques (géochimie et alluvionnaire) ont montré leurs limites pour ce type de minéralisation, ne permettant pas la détection de gisement non affleurant et éloigné de la surface. Toutefois, le gisement de Fumade a été « accroché » par la présence de trois anomalies géochimiques très localisées. Ainsi, la ré-analyse de certains échantillons avec des seuils de détection moins élevés pourrait permettre de mettre en évidence de nouvelles minéralisations. Cette approche, qui nécessitera au préalable une étude statistique pour affiner la maille de « ré-échantillonnage », devrait être menée sur les zones à fort potentiel définies précédemment.

Par ailleurs, le district montre au moins deux gîtes dont les données économiques disponibles, malgré leur ancienneté, soulignent leur potentiel par comparaison avec d'autres projets miniers en cours dans le Monde.

9. Références bibliographiques

Audion A.-S. (2013) – Étude pilote d'une cible minière en métropole : le gisement de tungstène de Fumade (Tarn). Rapport final. BRGM/RP-62718-FR, 78 p., 35 fig., 3 tabl., 8 ann., 1 CD.

Bertrand G., Charles N., Melleton J., Tourlière B., Cassard D., Dupuy J.-J., Gloaguen E., Loiselet C., Angel J.-M. et Berthier H. (2015) – Réévaluation du potentiel français en ressources minérales : retraitement des données géochimiques de l'Inventaire et établissement de fiches de cibles minières. Synthèse des travaux réalisés de 2013 à 2015. Rapport final. BRGM/RP-65165-FR, 434 p., 106 fig., 3 tabl., 3 ann..

Béziat P., Coulomb J.-J., avec la collaboration de Gentilhomme Ph. et de Gramont X. (1990) - Les gisements de tungstène en France. Situation 1990. Étude réalisée par le BRGM sous l'égide du Comité de l'Inventaire des ressources minières métropolitaines, 107 p.

Béziat P., Prouhet J.-P., Tollon F. (1980) - Le district de Montredon-Labessonnié (Tarn) : W, Sn, F. Publications du 26ème Congrès Géologique International, fascicule E7, 44 p.

Bonham-Carter G.F. (1994) - Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS. Computer Methods in the Geosciences 13, Pergamon, New York, 398 p.

Cassard D., Bertrand G., Monthel J., Gloaguen E., Melleton J., Husson Y., Billa M. et Tourlière B. (2012) – Réévaluation du potentiel français en ressources minérales : élaboration d'une méthodologie et application à une zone d'étude test (sud-ouest du Massif Central). Rapport final. BRGM/RP-61745-FR, 105 p., 42 fig., 3 tabl., 2 ann., DVD-ROM.

Demange M., Guérangé-Lozes J., Guérangé B. (1995) - Carte géologique de la France au 1/50 000, feuille de Lacaune. BRGM Éditeur.

Gloaguen E., Melleton J., Tourlière B. (2016) – Consolidation des anomalies géochimiques et géophysiques (Massif Central et Massif Armoricain). Rapport final. BRGM/RP-65529-FR, 283 p, 19 fig., 8 tabl., CD-ROM.

Jébrak M., Marcoux E. (2008) - Géologie des ressources minérales. Société de l'Industrie Minérale. 667 p.

Laneyrie P. (1982) – Examen du projet de mise en exploitation du gisement de Montredon. BRGM, MAM82-07, 6 p., 4 ann.

Matte P., Lancelot J., Mattauer M. (1998) - La zone axiale hercynienne de la Montagne Noire n'est pas un « metamorphic core complex » extensif mais un anticlinal post-nappe à cœur anatectique. Geodinamica Acta, 11, 13-22.

Meinert L.D., Dipple G.M., Nicolescu S. (2005) – World skarn deposits. Economic Geology, 100th anniversary volume, 299-336.

Michard A.G. (1990) - Synthèse Montagne-Noire. Rapport BRGM R30358 DEX-DAM-90, 235 p., 38 fig., 5 ann.

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. *Chron. Rech. Min*., n° 487, p. 39-51.

Sinclair W.D. (1996) - Gîtes filoniens (filons, stockwerks) d'étain et de tungstène. *In* : Géologie des types de gîtes minéraux du Canada ; Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D., et Thorpe, R.I. Éditeurs. Commission géologique du Canada, *Géologie du Canada*, 8, p.453-465.

Tourlière B., Pakyuz-Charrier E., Cassard D., Gumiaux C. (2015) – Cell Based Associations: A procedure for considering scarce and mixed mineral occurrences in predictive mapping. Computers & Geosciences, 78, 53-62.

Annexe 1

Fiches descriptives des cibles minières de la Montagne Noire (Action 2.1 de la convention DEB-BRGM)

Réexamen et valorisation du patrimoine minier métropolitain

Fiche de sujet minier

Nom : Ferrières

Identifiant [(1)] **:** FRA-00247

Région : Midi-Pyrénées

Département : Tarn (81)

Coordonnées [(2)] **:** Long. = 2,4506° Lat. = 43,6643°

Dernière mise à jour : Décembre 2013

Substance(s) principale(s) [(3)] **:** W

Historique du titre minier : PER Société des Mines d'Anglade (1980)

Statut actuel du titre minier [(4)] **:** Libre, pas d'instruction en cours

---

Contexte géologique sommaire :

La minéralisation s'est développée au contact de granite dans un encaissant carbonaté (dolomie) du Cambrien inférieur de l'Ouest des Monts de Lacaune (Nord Montagne Noire).

Typologie du gisement :

Skarn à scheelite

Dates d'exploitation : Non (prospect)

Criticité des substances [(5)] **:** W critique (COMES - UE)

Tonnages exploités – ressources et teneurs : Non estimées. Meilleur recoupement : environ 5 m de skarns à scheelite à 1,09 % WO3 (localisé à 70 m sous la surface).

Potentialités en métaux rares : In, Sc ?

Existence d'une filière de transformation [(6)] **:** Filière française incomplète (notamment amont) et européenne complète pour W.

Origine de la découverte [7] :

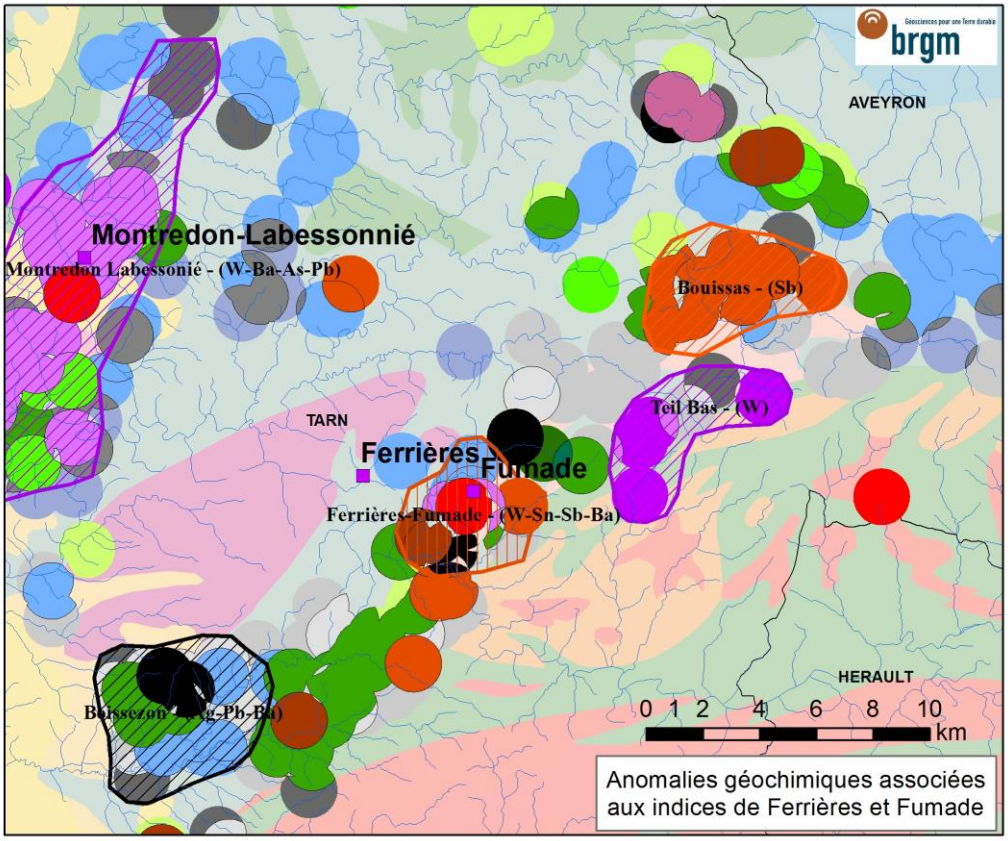
Mise en évidence d'anomalies à W, SB, As, Cu par des analyses multi-élémentaires sur les têtes de filons oxydés reconnus régionalement

Degré de connaissance : 3

- **Prospection géochimique régionale :** Inventaire BRGM
- **Prospection géophysique régionale :** Gravimétrie
- **Sondages percutants et/ou carottés :** 4 sondages pour un total de 717,25 m.
- **Tranchées, tarières, travaux miniers (TMS) :** Non
- **Tests minéralurgiques :** Non

Potentiel de développement [8] :

La structure mise en évidence par les sondages (contact granite/formations dolomitiques) en "fond de bateau" est de très bonne augure pour une extension importante de la zone minéralisée.



Enjeux environnementaux :

Inclus dans le Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc, proximité de la ZNIEFF de la vallée et des gorges de l'Agout, et de la zone d'importance communautaire des vallées du Tarn, de l'Aveyron, du Viaur, de l'Agout et du Gijou.

Contraintes liées à l'urbanisation :

Zone rurale. Hameau à moins de 500 m.

Documentation disponible [9] :

Béziat P. (1978). Inventaire du territoire métropolitain. Prospect de Ferrières (Tarn). Etats des travaux au 1/02/78. BRGM, 78RDM014FE

Mennechet C. (1984). Synthèse des données gravimétriques dans le Tarn. BRGM, 84SGN196 GPH.

Michard A. G. (1990). Synthèse Montagne-Noire. Rapport R 30 358 DEX-DAM-90, 235 p., 38 fig., 5 ann.

Réévaluation de la priorité initiale [10] :

Priorité initiale		Priorité réévaluée
2	→	2+

---

[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, …

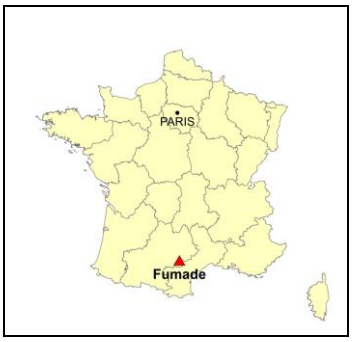
[8] – Estimation basée notamment sur la réinterprétation de la géochimie de l'Inventaire

[9] – Accessible au public

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

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] :

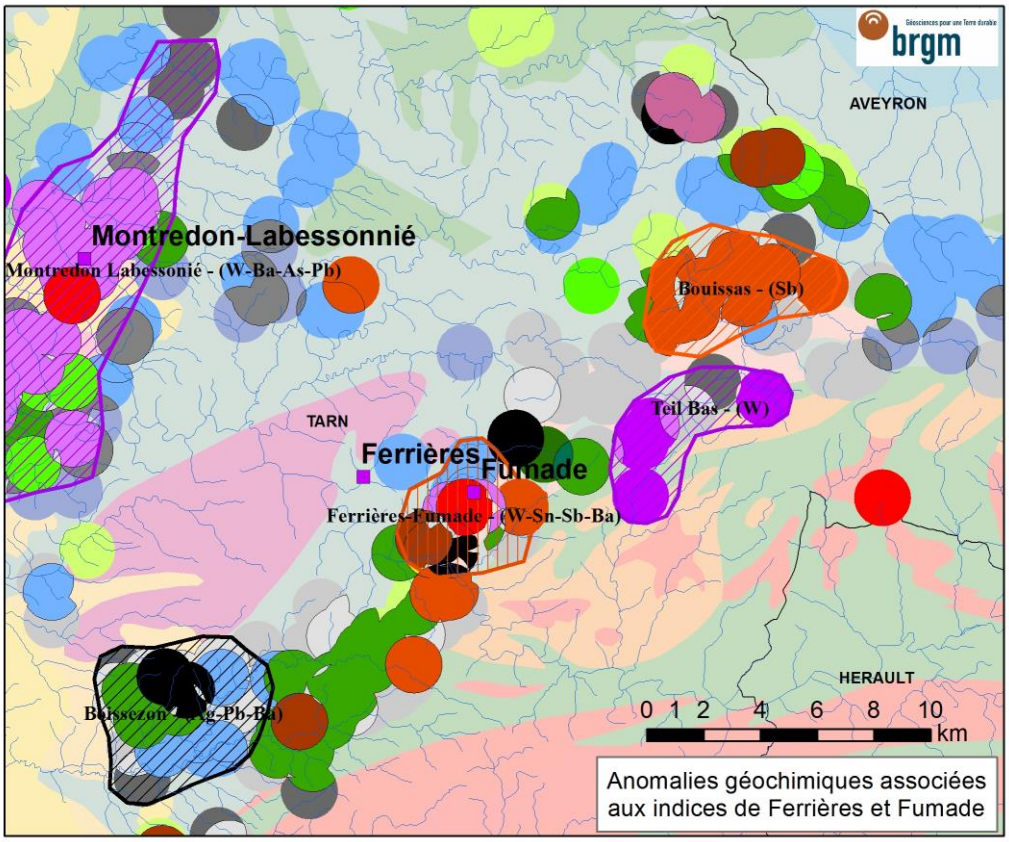
Sondage BRGM (1968) réalisé en prospection de minéralisations filoniennes à Pb-Zn (type St Salvy) qui a mis en évidence des mouches de scheelite

Degré de connaissance : 4

- **Prospection géochimique régionale :** Inventaire BRGM
- **Prospection géophysique régionale :** Gravimetrie 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

Réexamen et valorisation du patrimoine minier métropolitain

Fiche de sujet minier

Nom : La Capoulade

Identifiant [1] **:** FRA-00259

Région : Languedoc-Roussillon

Département : Hérault (34)

Coordonnées [2] **:** Long. = 3,0530° Lat. = 43,5923°

Dernière mise à jour : Mars 2015

Substance(s) principale(s) [3] **:** Sn

Historique du titre minier : PER BRGM en 1992

Statut actuel du titre minier [4] **:** Libre, pas d'instruction en cours

---

Contexte géologique sommaire :

la structure filonienne de direction ENE-WSW est encaissée dans les "Schistes X" de la Montagne Noire, Elle se suit sur 250m de long avec une puissance de 2 à 3 m; la minéralisation est composée de cassitérite grossière et en fins cristaux dans une gangue de quartz et tourmaline

Typologie du gisement :

Filons et stockwerks granitiques et peri-granitiques

Dates d'exploitation : Non

Criticité des substances [5] **:** Non

Tonnages exploités – ressources et teneurs : teneur de coupure de 0.5 % Sn, des puissances minéralisées comprises entre 2.7 m à 2.11 % Sn

Potentialités en métaux rares : Non

Existence d'une filière de transformation [6] **:** Filière européenne incomplète pour Sn.

Origine de la découverte [7] :

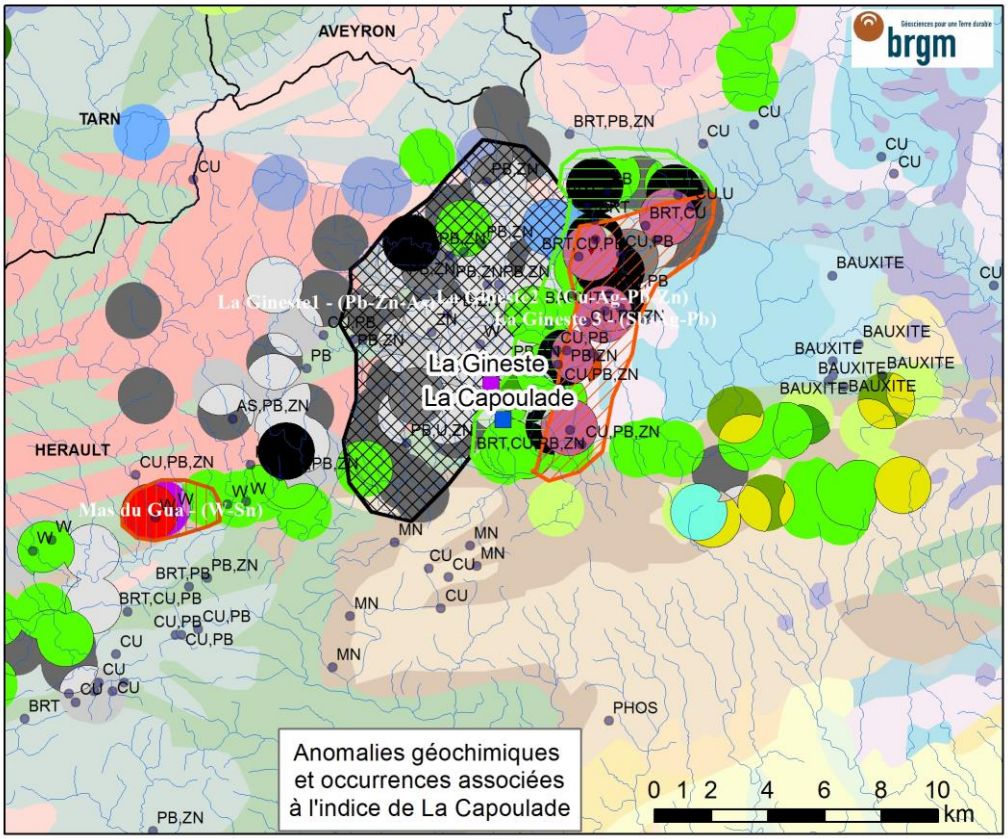
prospection systématique, par géochimie sol prospection éluvionnaire et prospection marteau

Degré de connaissance : 1

- **Prospection géochimique régionale :** Geochimie tactique; prospection alluvionnaire et éluvionnaire
- **Prospection géophysique régionale :** Non renseigné
- **Sondages percutants et/ou carottés :** décapages manuels et de rainurages à la masse
- **Tranchées, tarières, travaux miniers (TMS) :** Non renseigné
- **Tests minéralurgiques :** Non renseigné

Potentiel de développement [8] :

L'indice de la Capoulade se trouve dans une zone fortement anomale géochimiquement; pas de sondage donc pas possible de s'assurer de l'enracinement de la structure ni de son aval-pendage. Represente un petit objectif de recherche pour étain bien individualisé.



Enjeux environnementaux :

Parc Naturel Régional 2012, ZNIEFF2

Contraintes liées à l'urbanisation :

Zone montagneuse; présence de zones urbanisées le long de l'Orb, à environ un km.

Documentation disponible [9] :

BRGM (1988). Inventaire du territoire métropolitain – Rapport annuel 1988. Rapport BRGM/88-DAM-027-OP4

BRGM (1989). Inventaire du territoire métropolitain (1989) – Filon de la Capoulade. Rapport BRGM

Réévaluation de la priorité initiale [10] :

Priorité initiale		Priorité réévaluée
3	→	3

---

[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

Réexamen et valorisation du patrimoine minier métropolitain

Fiche de sujet minier

Nom : La Gineste

Identifiant [1] **:** FRA-00261

Région : Languedoc-Roussillon

Département : Hérault (34)

Coordonnées [2] **:** Long. = 3,0476° Lat. = 43,6032°

Dernière mise à jour : Décembre 2013

Substance(s) principale(s) [3] **:** W

Historique du titre minier : Permis de recherche BRGM expiré (échéance 1995)

Statut actuel du titre minier [4] **:** Libre, pas d'instruction en cours

---

Contexte géologique sommaire :

La minéralisation se localise dans la série des Schistes X, qui représente une métallotecte privilégiée sur l'ensemble de la Montagne Noire. Cette série représente la "couverture" des série orthogneissique de la zone axiale de la Montagne Noire et correspond à un ensemble gréso-pélitique d'une puissance d'environ 1500 m, et séparé en deux cycles distincts. Les gneiss calciques sont situés presque exclusivement dans la partie médiane du cycle inférieur.

Typologie du gisement :

Minéralisations stratiforme constituée par des gneiss à silicates calciques à scheelite et fluorine disséminée

Dates d'exploitation : Non

Criticité des substances [5] **:** W critique (COMES - UE)

Tonnages exploités – ressources et teneurs : Non estimé

Potentialités en métaux rares : In, Sc ?

Existence d'une filière de transformation [6] : Filière française incomplète (notamment amont) et européenne complète pour W.

Origine de la découverte [7] :

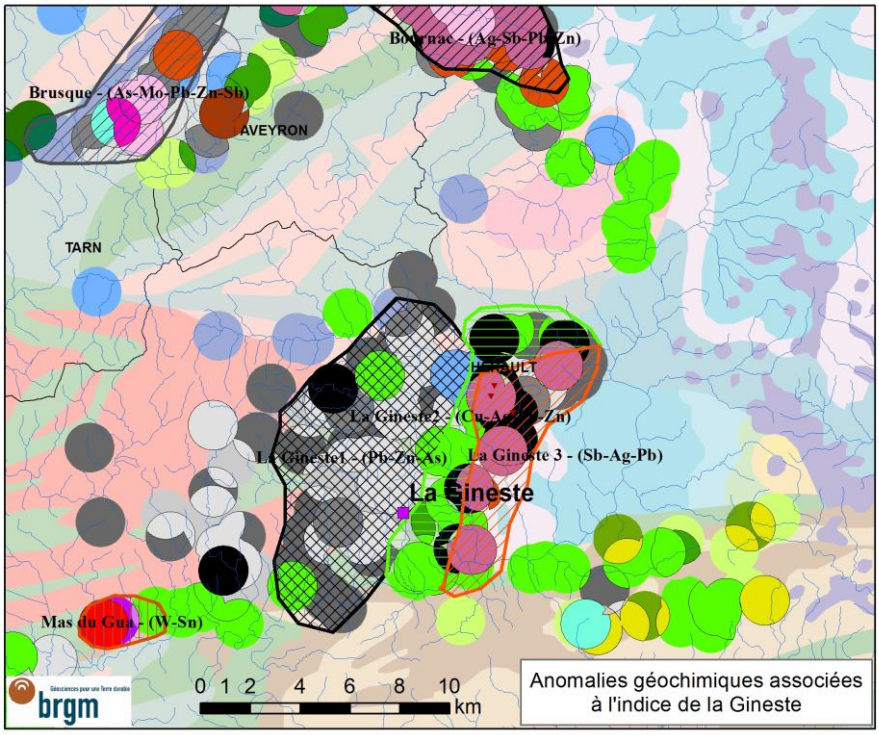
Découverte suite à la prospection géochimique et alluvionnaire régionale, puis à la lampe de Wood sur le terrain

Degré de connaissance : 3

- **Prospection géochimique régionale :** Inventaire BRGM
- **Prospection géophysique régionale :** Vols héliportés électromagnétiques et aéromagnétiques (BRGM et Syndicat sud Montagne-Noire)
- **Sondages percutants et/ou carottés :** 4 sondages courts carottés (270 m)
- **Tranchées, tarières, travaux miniers (TMS) :** Décapages et tranchées
- **Tests minéralurgiques :** Non

Potentiel de développement [8] :

Ce gisement reste très largement à caractériser. D'un point de vue régional, plusieurs anomalies localisées sur le flanc sud et est de la zone axiale de la Montagne Noire ont été mises en évidence. Par ailleurs, l'indice à Sn de La Capoulade est localisé à quelques centaines de mètres



Enjeux environnementaux :

Inclus dans le Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc, la ZNIEFF du Massif de l'Espinouse et à proximité de la ZICO "Montagnes de Marcou, de l'Espinouse et du Caroux".

Contraintes liées à l'urbanisation :

Proximité du village de Combes

Documentation disponible [9] :

Michard A. G. (1990). Synthèse Montagne-Noire. Rapport R 30 358 DEX-DAM-90, 235 p., 38 fig., 5 ann.
Fiche SIG Mines France "La Gineste"

Réévaluation de la priorité initiale [10] :

Priorité initiale	→	Priorité réévaluée
3		3

[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

Réexamen et valorisation du patrimoine minier métropolitain

Fiche de sujet minier

Nom : La Loubatière

Identifiant [1] : FRA-00044

Région : Languedoc-Roussillon

Département : Aude (11)

Coordonnées [2] : Long. = 2,2551° Lat. = 43,4051°

Dernière mise à jour : Décembre 2013

Substance(s) principale(s) [3] : Pb, Zn, Ag

Historique du titre minier : 1er permis d'exploitation attribué le 24/11/1941 à la Société Minière de la Loubatière, renouvelé 2 fois et expire le 30/11/1950 ; 2ème permis d'exploitation le 17/02/1954 à société minière de La Loubatière, contrôlée en 1956 par SMMP (1956 - 1963)

Statut actuel du titre minier [4] : Libre, pas d'instruction en cours

---

Contexte géologique sommaire :

Minéralisations encaissées dans la partie inférieure de carbonates cambriens, dans des structures de dissolution, affectées par les déformations hercyniennes (schistosité S1), qui pourraient être contrôlées par la paléogéographie cambrienne.

Typologie du gisement :

Gisements stratoïdes et filons à Pb-Zn encaissés dans des carbonates (Mississipi Valley, MVT)

Dates d'exploitation : Oui de 1940 à 1962

Criticité des substances [5] : Zn stratégique, Ag critique (COMES)

Tonnages exploités – ressources et teneurs : Tonnages exploités : 48 000t Pb, 7 700t Zn et 65 t Ag, ressources estimées de 115 000t Pb et 24 500 t Zn

Potentialités en métaux rares : Ge, In ?

Existence d'une filière de transformation [6] : Filières industrielles française incomplète et européenne complète pour Zn, Pb et Ag

---

Origine de la découverte [7] :

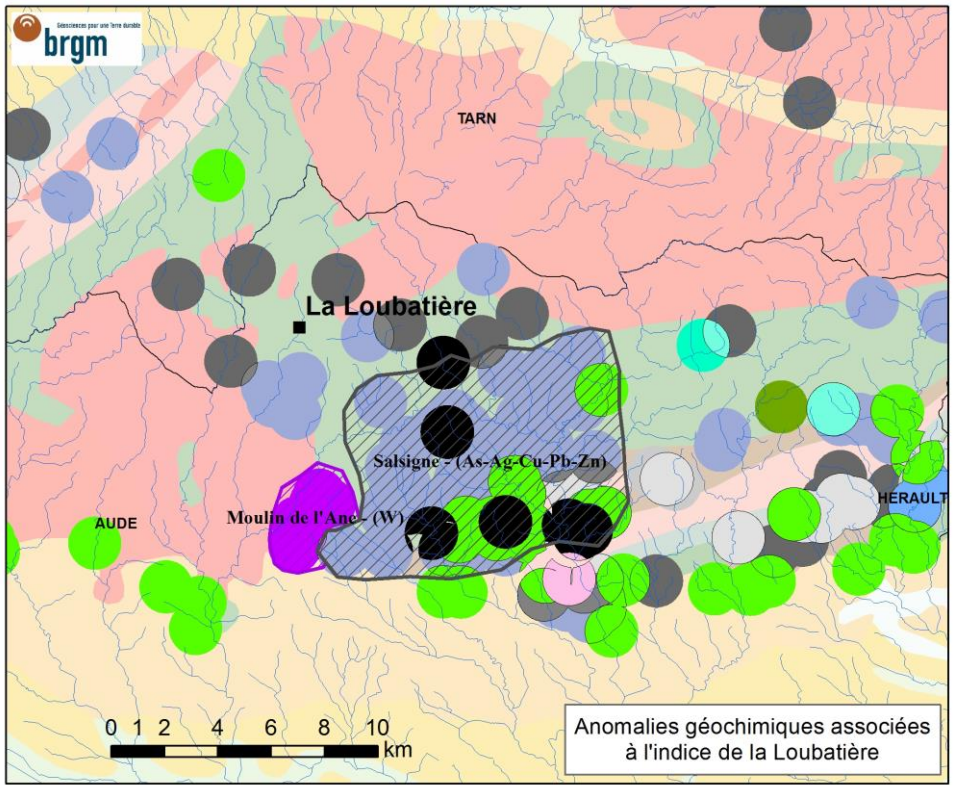
Anciens travaux datant du Moyen-Age

Degré de connaissance : 5

- **Prospection géochimique régionale :** Inventaire BRGM
- **Prospection géophysique régionale :** Mag-EM 1981 par Geoterrex pour SNEAP
- **Sondages percutants et/ou carottés :** au moins 26 sondages carottés jour (métrage total inconnu > 3000 m) dont 22 sondages réalisés du 30/11/1955 au 10/12/1956 pour un métrage total de 2857m.
- **Tranchées, tarières, travaux miniers (TMS) :** Travaux miniers souterrains importants sur une relevée de 90 m (2 descenderies de 160 m chacune, > 6000 m de traçages)
- **Tests minéralurgiques :** Flottation (Minerai traité).

Potentiel de développement [8] :

Ressources existantes sur la cible sensu stricto, travaux anciens, anomalie géochimique à As-Ag-Pb-Cu-Zn au SW à réexaminer dans une optique polymétallique, donc potentiel de développement à l'échelle du district.



Enjeux environnementaux :

Parc National 2012, Réserve Biosphere 2010, ZNIEFF1, ZNIEFF2

Contraintes liées à l'urbanisation :

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

---

Documentation disponible [9] :

Michard A. G. (1990). Synthèse Montagne-Noire. Rapport R 30 358 DEX-DAM-90, 235 p., 38 fig., 5 ann.

Oksengorn S. (1958). Etude géologique et métallogénique de la région de La Loubatière (Aude) et d'Arfons (Tarn).Thèse Faculté des Sciences de l'Université de Paris,2 vol.115 p. ill.

Réévaluation de la priorité initiale [10] :

Priorité initiale		Priorité réévaluée
3	→	2

---

[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

Réexamen et valorisation du patrimoine minier métropolitain

Fiche de sujet minier

Nom : Montredon-Labessonnié

Identifiant [1] : FRA-00065

Région : Midi-Pyrénées

Département : Tarn (81)

Coordonnées [2] : Long. = 2,3279° Lat. = 43,7327°

Dernière mise à jour : Décembre 2013

Substance(s) principale(s) [3] : W

Historique du titre minier : Syndicat de recherche BRGM-Penarroya-Compagnie Minière de Montredon. PER d'Auriole : SOMICA (Société centrale des mines et carrières Guillams et Compagnie), PEX accordé en 1981. Société des Mines d'Anglade. Permis minier Compagnie Minière de Montredon. De

Statut actuel du titre minier [4] : Libre, pas d'instruction en cours

---

Contexte géologique sommaire :

Le district de Montredon-Labessonnié est caractérisé par une structure de dôme constitué au cœur d'un orthogneiss leucogranitique surmonté en concordance structurale par une couverture épimétamorphique du Cambrien correspondant à des micaschistes, des métavolcanites acides et basiques, des calcaires dolomitiques, des schistes noirs, dît "série noire" et localement à nodules phosphatés et une série schisto-gréseuse dîte "série verte".

Typologie du gisement :

Minéralisations filoniennes à quartz-wolframite (La Frégère, Bouyssou, L'Hom-Haut, Auriol, Le Budel). Minéralisations stratiformes constituée par des gneiss à silicates calciques à scheelite et fluorine disséminée (L'Auriole et l'Hom-Haut)

Dates d'exploitation : Exploitation par la Compagnie Minière de Montredon de 1950 à 1962.

Criticité des substances [5] : W critique (COMES - UE)

Tonnages exploités – ressources et teneurs : La production a été de 82 000 t à 1.08 % WO3 (700 t métal). Les ressources estimées pour le champ filonien de la Frégère est de 1.3 Mt de quartz à 0.65 % WO3 soit 8500 t WO3. Pour le gîte stratiforme d'Auriole, SOMICA et SMA ont défini une ressource minimum de 500 000 t de tout venant à 0,4 %, soit 2000 t WO3.

Potentialités en métaux rares : In, Sc ?

Existence d'une filière de transformation [6] : Filière française incomplète (notamment amont) et européenne complète pour W.

Origine de la découverte [7] :

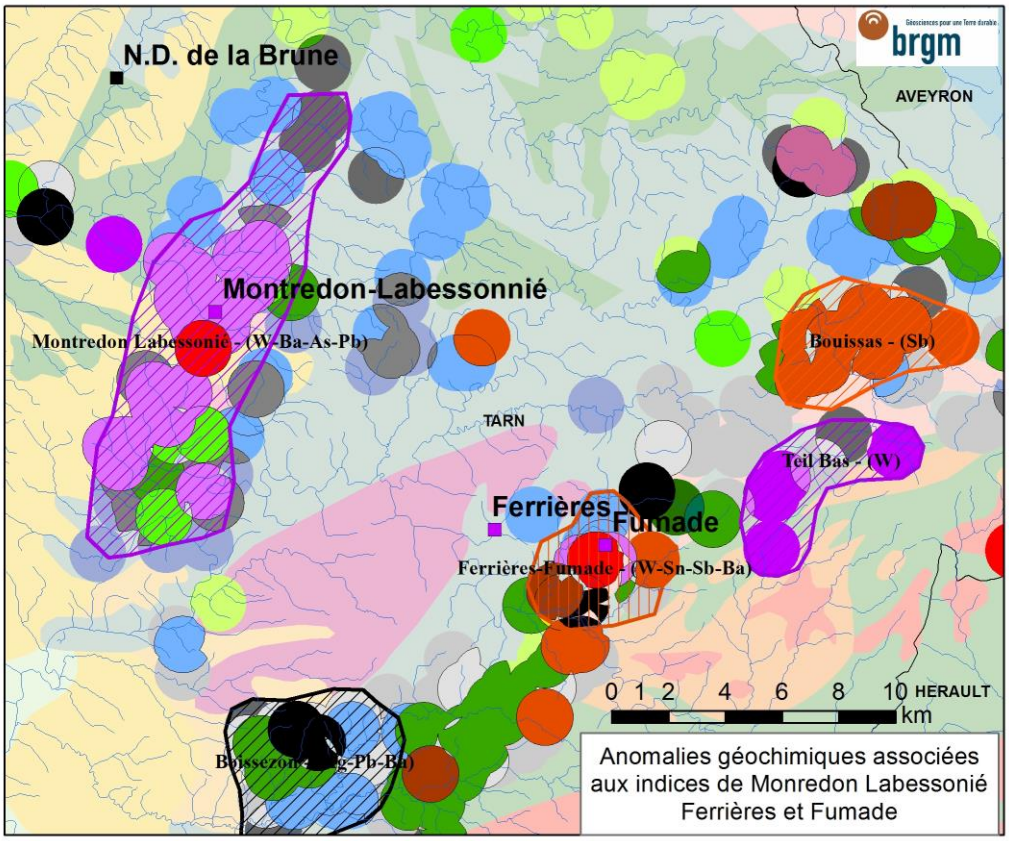
Wolframite découverte en 1947.

Degré de connaissance : 5

- **Prospection géochimique régionale :** Inventaire BRGM (auxquels s'ajoutent des campagnes tactiques)
- **Prospection géophysique régionale :** Gravimétrie sur tout le dôme (suivi de deux sondages carottés pour vérifier les anomalies). Sismique - réfraction sur la cuvette de micaschiste de La Frégère. Sondages électriques.
- **Sondages percutants et/ou carottés :** Au moins 1100 m de sondages percutants sur le secteur de la Frégère (1960-1968). Au moins 5500 m de percutant (1976-1977) suivi d'une campagne systématique en 20 x 20 m sur le gisement d'Auriole (auxquels s'ajoutent trois sondages carottés). Dans le cadr
- **Tranchées, tarières, travaux miniers (TMS) :** Au moins 3500 m de travaux miniers souterrains de la CMM (1951-1962), puis carrières pilotes du syndicat BRGM-Penarroya-CMM (1978-1979) sur le gisement de la Frégère. Tranchées sur le gisement d'Auriole (1971-1980). Tranchées effectuées par Péchiney au li
- **Tests minéralurgiques :** Concentration par gravimétrie, séparation magnétique.

Potentiel de développement [8] :

En 1982, la mise en exploitation du gisement était favorable, mais la baisse des cours immédiate a placé le gisement en sommeil. Les seules zones réellement caractérisées et qui ont permis une première estimation de ressource sont le champ filonien de La Frégère et le gîte stratiforme d'Auriole. Cependant, le district montre aussi d'autres minéralisations stratiformes, qui n'ont pas été suffisament caractérisées, et présente une très forte favorabilité pour la découverte de nouvelles minéralisations.



Enjeux environnementaux :

Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc

Contraintes liées à l'urbanisation :

Zone rurale, hameau à moins de 500 m.

Documentation disponible [9] :

Charbonneyre P., Ezanno P., Madelaine B. (1985). Etude géophysique par sondages électriques à Montredon-Labessonnié (Tarn). BRGM, 85DT028 GPH, 9 p. Guérangé B. (1970). Etude structurale du dôme de Montredon-Labessonnié (Tarn). Le problème des relations entre la minéralisation stanno-wolframifère et le granite de Montredon. BRGM, 70SGN059 GEO, 37 p. Michard A. G. (1990). Synthèse Montagne-Noire. Rapport R 30 358 DEX-DAM-90, 235 p., 38 fig., 5 ann.

Prouhet J.P., Guiraudié Ch. (1960). Le gisement de Montredon-Labessonnié. BRGM, A1686, 63 p.

Prouhet J.P. (1969). Montredon-Labessonnié. La campagne de sondages de 1967-1968 faite par la Compagnie Minière de Montredon. Résultats et commentaires. BRGM, RMM70-1, 9 p.

Réévaluation de la priorité initiale [10] :

Priorité initiale	→	Priorité réévaluée
2		2+

[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

Annexe 2

Liste bibliographique des travaux de prospection géophysique réalisés par le BRGM sur le secteur de la Montagne Noire

ACHARD.D. (1972). NOTE SUR LES PREMIERS RESULTATS GEOPHYSIQUES DE L'ETUDE METHODOLOGIQUE "MULTIPARAMETRES" SUR LA STRUCTURE FILONIENNE DE SAINT-SALVY-DE-LA-BALME (TARN). BRGM, NOTE/72-MET-GPH-034, 10 p.

ACHARD.D. (1977). CAMARES (AVEYRON) - ETUDE GEOPHYSIQUE DES ANOMALIES GEOPHYSIQUES DE LACAN (VLS, PP, MAG, PP). BRGM/79-SGN-703-GPH, 8 p. 11 pht., 3 cartes.

ACHARD.D., DUROUX.J., RAYMOND.C. (1971). ETUDE METHODOLOGIE PAR SONDAGES MELOS SUR LES STRUCTURES DE VILLEFRANCHE-DE-ROUERGUE (AVEYRON), SAINT-SALVY (TARN) ET ESTAING (HAUTES-PYRENEES). BRGM/71-SGN-379-GPH, 20 p. 20 pht., 5 cartes.

AUBAGUE.M. (1988). RECHERCHE DE MINERAI PB-ZN PRES DE CAMPESTRE (ANOMALIE GEOCHIMIQUE DU MAS GAUZIN) CAUSSE DU LARZAC - GARD/AVEYRON. BRGM/88-DAM-020-OP4, 13 p. 11 pht., 5 cartes.

BAETENS.A. (1984). RAPPORT DE STAGE COMPILATION DES DONNEES AEROMAGNETIQUES PAR ORDINATEUR MONT DE LACAUNE (TARN). BRGM, NOTE/84-GPH-043, 12 p.

BALUT.Y., MILLON.R., RAYMOND.C. (1972). ETUDE GEOPHYSIQUE DE LA STRUCTURE DE MONTREDON-LABESSONNIE (TARN) PAR SISMIQUE REFRACTION ET RESISTIVITE. BRGM/72-SGN-031-MET, 19 p. 18 pht., 4 cartes.

BAUDU.R., CORPEL.J. (1977). DIVISION MINIERE SUD-OUEST HORST DE VILLEFRANCHE DE ROUERGUE (AVEYRON) LE SERRE PROSPECTION GEOPHYSIQUE (V.L.F. ET RESISTIVITE). BRGM, NOTE/77-GPH-011, 10 p.

BERNARD.P. (1982). RAPPORT DE CONTROLE DES OPERATIONS EN VOL DE LA PROSPECTION EM-HELIPORTEE DES SECTEURS DE LACAUNE (TARN) ET D'AIGURANDE (CREUSE). BRGM/82-SGN-755-GPH, 7 p. 2 cartes.

BOLLO.R., MUNCK.F., PROUHET.J.P. (1956). MINE DE LA LOUBATIERE - CAMPAGNE DE GEOPHYSIQUE. BRGM/BRGG-A0935, 5 p. 2 pht.

BOURGEOIS.B. (1984). ETUDES GRAVIMETRIQUE ET ELECTRIQUE SUR LE SECTEUR DE PAYSSIBOTS-GUZANNES COMMUNE DE BRASSAC (TARN). BRGM, NOTE/84-GPH-019, 9 p.

BUHRIG.C., EZANNO.P., MATHIEU.F. (1983). CONTROLE AU SOL D'ANOMALIES ELECTROMAGNETIQUES HELIPORTEES (HEM) DANS LA ZONE DES MONTS DE LACAUNE (TARN) (PS, VLF, RESISTIVITE, GRAVIMETRIE. BRGM/83-SGN-814-GPH, 19 p. 41 pht., 13 cartes.

CHARBONNEYRE.P., EZANNO.P., MADELAINE.B. (1985). ETUDE GEOPHYSIQUE PAR SONDAGES ELECTRIQUES A MONTREDON-LABESSONNIE (TARN). BRGM/85-DT-028-GPH, 9 p. 2 cartes.

CHARBONNEYRE.P., MILLON.R. (1988). TEST EM - VLF - RESISTIVITE SUR LA STRUCTURE DE SAINT-SALVY (TARN). BRGM, NOTE/88-GPH-058, 5 p.

CHARBONNEYRE.P., MILLON.R. (1989). LEVE EM-VLF-RESISTIVITE A MALACAN - SAINT-SALVY (TARN). BRGM, NOTE/89-GPH-003, 5 p.

CHARBONNEYRE.P., MILLON.R., SAHUQUE.J.L. (1984). ESSAIS DE GEOPHYSIQUE AU SOL SUR L'ANOMALIE MAGNETIQUE DU COL DE SIE - LACAUNE (TARN). NOTE/84-GPH-077, 6 p.

CLUSEAU.R. (1968). NOTE SUR LES ESSAIS GEOPHYSIQUES DE LA FAILLE MINERALISEE DE SAINT SALVY (TARN). BRGM, NOTE/68-GPH-004, 6 p.

CORPEL.J. (1993). ETUDE MAGNETIQUE DE L'EXTENSION OUEST DE LA STRUCTURE DE SAINT-SALVY (TARN). BRGM/RR-37137-FR, 22 p. 12 pht., 1 carte.

DEBEGLIA.N., VAILLANT.F.X. (1991). INTERPRETATION DU CHAMP MAGNETIQUE DANS LE SECTEUR DE SALSIGNE, AUDE. BRGM/RR-32078-FR, 29 p. 8 cartes.

DOLLE.Y. (1981). RAPPORT DE CONTROLE DES OPERATIONS EN VOL DE LA PROSPECTION HELIPORTEE DU SECTEUR D'AMBIALET (TARN). BRGM/81-SGN-798-GPH, 6 p. 15 pht., 1 carte.

DUBREUIL.G., MADELAINE.B. (1979). ETUDE GRAVIMETRIQUE COMPLEMENTAIRE DANS LA REGION DE MONTREDON-LABESSONNIE (TARN). BRGM/79-SGN-002-GPH, 10 p.

DUNLOP.GRC. (1976). Electromagnetic and magnetic surveys. Mines de Salsigne. BRGM/RR-41092-FR, 14 p., 10 cartes.

DUPONT.F., OGIER.M. (1977). ETUDE GRAVIMETRIQUE DANS LA REGION DE MONTREDON (TARN). BRGM, NOTE/77-GPH-023, 19 p. 1 ann.

EZANNO.P. (1982). CONTROLE AU SOL D'ANOMALIES ELECTROMAGNETIQUES HELIPORTEES (HEM) DANS LA ZONE D'AMBIALET (TARN). BRGM/82-SGN-978-GPH, 13 p. 27 pht., 270 cartes.

HENTINGER.R. (1962). RECHERCHES STRUCTURALES PAR METHODES GEOPHYSIQUES ELECTRIQUES-CONCESSION DE SALSIGNE (AUDE). BRGM/62-DS-A035, 9 p. 1 pht., 58 cartes.

HORN.R., JAEGER.J.L. (1961). RECHERCHES STRUCTURALES SUR LA CONCESSION DE SALSIGNE (AUDE) PAR METHODES GEOPHYSIQUES ELECTRIQUES. BRGM/BRGG-A1880, 20 p. 8 pht., 3 cartes.

JAEGER.J.L. (1960). PROSPECTION GEOPHYSIQUE EVENTUEKKE SUR LE GITE DE MONTREDON-LABESSONIE. Note préliminaire. BRGM, NOTE/61-GPH-094.

LAMBOLEZ.B. (1972). COMPLEMENT A LA NOTE 72 MET/GPH 34 DE D. ACHARD SUR LES PREMIERS RESULTATS GEOPHYSIQUES DE L'ETUDE METHODOLOGIQUE "MULTIPARAMETRES" SUR LA STRUCTURE FILONIENNE DE SAINT-SALVY-DE-LA-BALME (TARN). BRGM, NOTE/72-MET-GPH-041, 4 p.

LAMBOLEZ.B. (1976). STRUCTURE PLOMBIFERE DE PICAMOURE (COMMUNE DE VIANE - TARN) PROSPECTION V.L.F. BRGM, NOTE/76-GPH-018, 7 p.

LESAGE.P. (1981). RECONNAISSANCE DES STRUCTURES FILONIENNES DE SAINT PAUL ET LA RIVIERE COMMUNE D'ARIFAT, DE GOUTINES ET CASTAGNES COMMUNE DE MONT ROC (TARN) PAR PROSPECTION ELECTRIQUE. BRGM, NOTE/81-GPH-001, 4 p.

LESNISSE.A., RAYMOND.C. (1972). METHODOLOGIE MELOS A MONTREDON (TARN). BRGM, NOTE/72-MET-GPH-009, 9 p.

LOUIS.L., MUNCK.F. (1956). MINE DE LA LOUBATIERE - PROSPECTION GEOPHYSIQUE PAR SONDAGES ELECTRIQUES. BRGM/BRGG-A0979, 10 p. 1 carte.

MENNECHET.C. (1979). PROSPECTION ELECTROMAGNETIQUE VLF SUR LES STRUCTURES FILONIENNES DE SAINT-PAUL ET LA RIVIERE, COMMUNE D'ARIFAT (TARN). BRGM/79-SGN-754-GPH, 3 p. 2 pht.

MENNECHET.C. (1979). PROSPECTION GEOPHYSIQUE SUR LES ANOMALIES GEOCHIMIQUES DU SECTEUR DE PAYSSIBOTS BRASSAC (TARN). E.M., V.L.F., ET RESISTIVITE. BRGM/79-SGN-738-GPH, 8 p. 11 pht.

MENNECHET.C. (1984). SYNTHESE DE DONNEES GRAVIMETRIQUES DANS LE TARN. BRGM/84-SGN-196-GPH, 5 p. 7 pht., 7 cartes.

MENNECHET.C., MATHIEU.F. (1984). COMPLEMENTS DE GRAVIMETRIE SECTEURS DE PAYSSIBOTS (BRASSAC) ET LE BUDEL (MONTREDON-LABESSONNIE) TARN. BRGM, NOTE/84-GPH-002, 7 p.

MILLON.R. (1982). L'ANOMALIE MAGNETIQUE DE LACAUNE (TARN) ; REVELATRICE D'UNE STRUCTURE BIEN CACHEE. BRGM/82-SGN-814-GPH, 10 p. 1 pht., 3 cartes.

MILLON.R. (1983). L'ANOMALIE AEROMAGNETIQUE DE SALSIGNE (AUDE) UN GUIDE DE PROSPECTION ? BRGM/83-SGN-237-GPH, 6 p. 10 cartes.

MILLON.R. (1988). ETUDE DES LEVES AEROMAGNETIQUES ET ELECTROMAGNETIQUES DES ZONES DE SALSIGNE, MAZAMET ET SAINT-PONS. BRGM/88-DT-015-GPH, 13 p. 4 pht., 6 cartes.

MILLON.R. (1989). ETUDE DES LEVES AEROMAGNETIQUES ET ELECTROMAGNETIQUES SUR LES SCHISTES X ENTRE SALSIGNE ET BEDARIEUX (AUDE ET HERAULT). BRGM/RR-30285-FR, 12 p. 1 pht., 2 cartes.

MILLON.R., OLTRA.M. (1973). ETUDE DE LA STRUCTURE DE MONTREDON-LABESSONNIE (TARN) PAR SISMIQUE-REFRACTION (DEUXIEME CAMPAGNE). BRGM/73-SGN-012-MET, 17 p. 1 pht., 11 cartes.

OLTRA.M., MILLON.R., FERRANDES.R. (1973). PROSPECTION GEOPHYSIQUE SUR LES STRUCTURES DE LA REGION DE FONTBELLE – TARN. BRGM, NOTE/73-MET-GPH-060, 8 p.

PERRIN.J. (1985). GEOPHYSIQUE DE FORAGE COL DE SIE-LACAUNE (TARN). BRGM, NOTE/85-GPH-072, 10 p.

PUVILLAND.P. (1980). CONTROLE DU LEVE E.M. HELIPORTE SUR LES MONTS DE LACAUNE (HERAULT). BRGM, NOTE/80-GPH-046, 6p.

STANUDIN.B., BESSE.A. (1972). NOTE SUR L'ETUDE GEOPHYSIQUE DANS LA REGION DE BURLATS (TARN). BRGM, NOTE/72-MET-GPH-035, 6 p. 3 ann.

VALENTIN.J. (1981). METHODOLOGIE DES GISEMENTS DE COUVERTURE. ETUDE PAR SISMIQUE REFLEXION, GRAVIMETRIE ET SONDAGES ELECTRIQUES. BRGM/81-SGN-099-GPH, 14 p. 5 pht., 2 cartes.

VALENTIN.J. (1983). ETUDE STRUCTURALE PAR PROSPECTION ELECTRIQUE A MONTREDON - LABESSONNIE (TARN). BRGM, NOTE/83-GPH-046, 4 p. 1 ann.

VANDENHOECK.A. (1975). DIVISION SUD-OUEST ETUDE GEOPHYSIQUE PAR METHODE V.L.F. A PRESSOYRES ET AU LIEU-DIT DE ROUSSY (AVEYRON). BRGM, NOTE/75-GPH-057. 6 p. 1 ann.

Annexe 3

Extrait de la convention DEB-BRGM faisant référence au travaux présentés dans ce rapport

Thème 1 – Fiche 2 – Revalorisation et réévaluation du potentiel français en ressources minérales

Tableau récapitulatif des actions de la fiche :

Action	Libellé	Correspondant
2.1	Réexamen et valorisation du patrimoine minier français (métropole) : caractérisation des cibles (fin)	G. Bertrand
2.2	Réexamen et valorisation du patrimoine minier français (métropole) : catalogue hiérarchisé des anomalies polymétalliques (suite)	D. Cassard
2.3	Réexamen et valorisation du patrimoine minier français (métropole) : promotion des districts miniers métropolitains	D. Cassard
2.4	Base de données des titres miniers M valides	C. Zammit
2.5	Informatisation de la documentation minière non publiée	J.-J. Dupuy

1.1. ACTION 2.1 – RÉEXAMEN ET VALORISATION DU PATRIMOINE MINIER FRANÇAIS (MÉTROPOLE) : CARACTÉRISATION DES CIBLES (FIN)

Correspondant BRGM : *G. Bertrand*

Correspondant DEB : *D. Guillon*

Contexte

Cette action s'inscrit dans le cadre du réexamen et de la valorisation du potentiel minier français engagé en 2011. Elle a été axée en 2013 et en 2014 sur la revue d'une sélection de cibles minières déjà identifiées lors de l'Inventaire national (1975-1992) ou antérieurement, pour les caractériser et affiner leur priorisation en vue d'en assurer la promotion. Elle s'inscrit dans le cadre du Contrat d'objectifs État-BRGM 2013-2017, notamment de l'objectif 3 « *Contribuer aux politiques publiques en matière de ressources minérales et de développement d'une activité minière responsable* ».

La méthodologie initiale présentée en 2012 est exhaustive mais sa mise en œuvre est relativement lourde et donc consommatrice de temps. Le concept d'une approche intermédiaire a été introduit (cf. conclusion du rapport 2012 BRGM/RP-61745-FR), entre la simple présélection de cibles, basée essentiellement sur une approche technico-économique avec prise en compte du contexte actuel (même rapport, tableau 1), et la mise en œuvre de la méthodologie dans son intégralité. Cette méthodologie dite « allégée » a été mise en œuvre en 2013. Sur les 169 cibles présélectionnées et hiérarchisées en 2012, une nouvelle sélection a été réalisée en accord avec la DGALN / Bureau des Ressources Minérales et ce sont finalement 99 cibles qui ont été retenues. Sur ce total, 27 cibles ont été étudiées en 2013, puis 38 en 2014.

Une partie du budget 2013 a été utilisée pour retraiter la géochimie stream de l'Inventaire afin de pouvoir caractériser le potentiel de développement des cibles (estimé notamment sur la présence d'anomalie(s) à proximité). Il est à noter que cet important travail de retraitement de la géochimie stream est aussi valorisé dans le cadre de l'action intitulée "Anomalies polymétalliques"

En 2015, l'action portera sur la poursuite et la finalisation de ce travail. Ce sont donc les 34 cibles restantes qui seront étudiées.

Actions à mener par le BRGM

1) Préparation des 34 fiches "2015" :

- Les rubriques des fiches techniques établies ont évolué courant 2013 (voir rapport intermédiaire BRGM/RP-62501-FR de juillet 2013). Elles s'établissent dorénavant comme suit :
- **Id** : numéro d'identifiant de la cible extrait de la base ProMine[7] - BRGM ;
- **Nom** : nom usuel de la cible ;
- **Substances** : classées par ordre d'importance décroissante ;
- **Priorité initiale** : telle qu'attribuée dans le rapport BRGM RP-51422-FR ;
- **Département** : numéro du département où se situe la cible ;
- **Région** : acronyme de la région où se situe la cible (LRO pour Languedoc-Roussillon, MPY pour Midi-Pyrénées, etc.) ;
- **Long.** : longitude géographique de la cible ;
- **Lat.** : latitude géographique de la cible ;
- **N° carte géologique à 1/50 000** : sera renseigné lors de la consolidation du SIG national ;
- **Historique du titre minier** : d'après les recherches bibliographiques ;
- **Statut actuel du titre minier** : renseignement fourni par le Bureau des Ressources Minérales ;
- **Typologie du gisement** : extraite de la base ProMine - BRGM ;
- **Contexte géologique** : d'après les recherches bibliographiques ;
- **Dates d'exploitation** : d'après les recherches bibliographiques ;
- **Tonnages exploités, ressources en place et teneurs** : d'après les recherches bibliographiques ;
- **Criticité des substances** : d'après la nature des substances connues comparée aux listes de substances classées comme critiques d'abord par le COMES et sinon par la Commission européenne ;
- **Potentialités en métaux rares** : d'après les recherches bibliographiques et la nature du minerai (un minerai à zinc contient potentiellement du germanium et de l'indium qui n'ont pas été forcément dosés ou même recherchés) ;
- **Existence d'une filière de transformation** : filière française ou européenne, complète ou incomplète, d'après les recherches bibliographiques ;

[7] La base de données ProMine – BRGM est une base de données des gisements et indices européens, conçue et développée par le BRGM, et intégrée dans le Projet européen ProMine.

- **Potentiel de développement** : déduit de l'interprétation de la géochimie Inventaire réalisée au cours de cette étude (*cf. supra*) ;
- **Origine de la découverte** : Anciens travaux, prospection marteau, anomalie géochimique ou géophysique : d'après les recherches bibliographiques ;
- **Degré de connaissance** : codé suivant les travaux d'exploration réalisés : 1 : anomalie géochimique ou géophysique, 2 : cible explorée par sondages uniquement percutants, 3 : cible explorée par sondages carottés, 4 : cible explorée par travaux de subsurface (tranchées, excavations, petits puits) et sondages carottés, 5 : cible explorée par travaux miniers souterrains et sondages carottés ;
- **Prospection géochimique régionale** : d'après les recherches bibliographiques ;
- **Prospection géophysique régionale :** d'après les recherches bibliographiques ;
- **Sondages percutants et/ou carottés** : d'après les recherches bibliographiques : estimation la plus précise possible, sinon nombre minimum de sondages réalisés avec estimation du métrage total minimum si possible ;
- **Tranchées, tarières, travaux miniers (TMS)** : d'après les recherches bibliographiques : estimation la plus précise possible, sinon nombre minimum d'ouvrages réalisés avec estimation du métrage total minimum si possible ;
- **Tests minéralurgiques** : d'après les recherches bibliographiques ;
- **Documentation disponible** avec alimentation de la couche de métadonnées du SIG qui devra fournir de manière opérationnelle la liste des documents (de l'Inventaire et hors- Inventaire) disponibles sur le secteur. Dans la mesure du possible, les documents papiers importants seront scannés [*cf.* action 2.5. de numérisation de la documentation minière non publiée] et enregistrés au format PDF pour pouvoir être mis à dispostion du public via un site internet) ;
- **Enjeux environnementaux :** utilisation du SIG national avec les compléments et mises à jour nécessaires ;
- **Contraintes liées à l'urbanisation et aux infrastructures :** utilisation du SIG national avec les compléments et mises à jour nécessaires ;
- **Réévaluation de la priorité initiale :** sur la base des éléments précédents.

2) Rédaction de fiches promotionnelles :

Les fiches techniques relatives aux cibles pourront être accompagnées de fiches ou documents dédiés (notamment) aux élus locaux avec présentation des objectifs, de la méthode mise en œuvre et donnant des éléments techniques simplifiés. En d'autres termes, il s'agit de créer un support de communication et de fournir des éléments de langage. Le nombre et le format de ces documents dits "fiches promotionnelles", n'est pas arrêté, et sera discuté en cours de projet avec le Bureau des Ressources Minérales.

3) Alimentation du SIG national.

Produits de sortie

Les produits de sortie seront :

- Un rapport final sur cette action qui se sera étalée sur trois années, avec la totalité des fiches techniques réalisées ;

- Des fiches promotionnelles sur un certain nombre de cibles. Le format exact de ces fiches devra être défini début 2015 et leur nombre précisé dès que possible.

De plus, toute la documentation consultée lors de cette étude (lien avec l'action de numérisation de la documentation minière non publiée) viendra alimenter le SIG national (couche "Métadonnées") dont le développement a été entrepris dans le cadre de l'action 2012.

1.2. ACTION 2.2 – RÉEXAMEN ET VALORISATION DU PATRIMOINE MINIER FRANÇAIS (MÉTROPOLE) : CATALOGUE HIÉRARCHISÉ DES ANOMALIES POLYMÉTALLIQUES (SUITE)

Correspondant BRGM : *D. Cassard*

Correspondant DEB : *D. Guillon*

Contexte

Dans le cadre du réexamen et de la valorisation du potentiel minier français engagés en 2011, **il s'agit de s'assurer, *avec la prise en compte des résultats des stades initiaux de l'Inventaire minier*, que tout a été mis complètement en œuvre pour localiser et caractériser les ressources minérales métalliques primaires en France**.

L'action 2.1 des programmes 2013-2014 (et 2015, voir ci-dessus) passe en revue une série de cibles minières sélectionnées pour les caractériser et affiner leur priorisation en vue d'en assurer la promotion. Parallèlement, le retraitement des données de géochimie "stream sediment" issues de l'Inventaire minier a permis d'élaborer des cartes d'anomalies polymétalliques. Ces cartes et les autres indices situés à proximité permettent d'estimer le potentiel de développement de ces cibles.

Cette action s'inscrit dans le cadre du Contrat d'objectifs État-BRGM 2013-2017, notamment de l'objectif 3 « *Contribuer aux politiques publiques en matière de ressources minérales et de développement d'une activité minière responsable* ».

Cette action vise à constituer **un catalogue d'anomalies métalliques hiérarchisées** basé sur une approche métallogénique actualisée (les substances/modèles à rechercher ont beaucoup évolué depuis les années 80) prenant en compte l'intégralité des données de l'Inventaire.

Compte tenu des objectifs affichés, cette action se place **en amont** du travail en cours (Action 2.1 des programmes 2013-2015) qu'elle viendra utilement compléter et renforcer.

Les fiches techniques de cibles minières dont l'élaboration a débuté en 2013 comportent une rubrique intitulée "Potentiel de développement". Celui-ci est estimé sur la présence (i) d'anomalies géochimiques et (ii) d'autres indices plus ou moins proches de la cible. Les cartes d'anomalies géochimie-stream ont été réalisées globalement sur l'ensemble des zones couvertes par l'Inventaire (*cf*. Rapport Intermédiaire BRGM/RP-62501-FR, 2013), mais le traitement des données s'est focalisé (jusqu'en 2013) sur la recherche des anomalies polymétalliques les plus significatives et situées à proximité des cibles minières étudiées. **En d'autres termes, il n'y a pas eu de revue systématique (et de caractérisation) des anomalies, qui est le propos de cette action**.

La classification de ces anomalies par classification ascendante hiérarchique (CAH, également appelée Cluster Analysis) a permis de déterminer des contextes métallogéniques pertinents. Un premier examen des anomalies fait apparaître plusieurs situations potentiellement intéressantes :

1 - Certaines anomalies ne contiennent pas d'indices/occurrences connus. Leur potentiel reste largement inconnu.

2 - Certaines anomalies renferment des indices mais leurs extension est parfois largement supérieure à la zone définie par les indices. Il y a possibilité de découverte.

3 - Il existe un "décalage" entre la paragenèse des indices contenus et la signature *a priori* attendue de l'anomalie polymétallique.

4 - Absence d'anomalie alors que des indices existent : ceci peut correspondre à deux situations : (i) zones non couvertes par l'Inventaire minier ou (ii) absence totale de signature anomale. Dans le premier cas, et en fonction de l'intérêt des indices, la question d'un éventuel échantillonnage à caractère local pourra alors se poser. Dans le deuxième cas, une reconnaissance géologique pourrait être envisagée si les indices semblent intéressants (priorité secondaire).

Pour juger de la favorabilité de certaines de ces situations, il devient indispensable de replacer les cibles et les indices dans leur contexte géologique, géodynamique et métallogénique en intégrant, lorsqu'elles sont disponibles, des données de géophysique. Il pourra s'avérer également nécessaire de sélectionner certains échantillons prélevés lors de l'Inventaire (selon une méthode statistique) afin de les ré-analyser.

Des étapes de concertation avec le BRM sont prévues afin d'évaluer le degré d'avancement des catalogues et la hiérarchisation des anomalies.

La tâche d'intégration des données géophysiques mobilisera les données existantes de gravimétrie, aéromagnétisme et radiométrie (principalement Massif armoricain et Morvan ; Limousin à évaluer).

Actions à mener par le BRGM

❶ Poursuite de la constitution du ***catalogue INI + METALGEOD :*** poursuite et fin des études métallogéniques et géodynamiques démarrées en 2014 ;

❷ Poursuite de la constitution du ***catalogue INI + METALGEOD + GEOPH :*** poursuite des traitements géophysiques et de la caractérisation des anomalies démarrées en 2014 ;

❸ Phases de concertation ;

❹ Éventuels contrôles de terrain (à n'envisager probablement qu'en 2016, sur une sélection d'anomalies mal connues ou mal comprises et à possible fort potentiel).

1.3. ACTION 2.3 – RÉEXAMEN ET VALORISATION DU PATRIMOINE MINIER FRANÇAIS (MÉTROPOLE) : PROMOTION DES DISTRICTS MINIERS MÉTROPOLITAINS

Correspondant BRGM : *D. Cassard*

Correspondant DEB : *D. Guillon*

Contexte

Les fiches techniques de cibles minières produites dans le cadre de l'Action 2.1 sont factuelles, basées sur l'exhumation et l'exploitation systématique des données de l'Inventaire et notamment de la géochimie (réinterprétée). Leur objectif est d'estimer le potentiel de développement des cibles étudiées et de réévaluer leur priorité. Elles ont indéniablement un aspect « catalogue » et le manque de mise en perspective est évident.

L'idée présentée pour cette nouvelle action, serait finalement de revenir, au moins pro parte, à ce qui était suggéré en 2012 dans le rapport " Réévaluation du potentiel français en ressources minérales. Élaboration d'une méthodologie et application à une zone test (sud-ouest du Massif central)" BRGM/RP-61745-FR, avec ***outre ce qui est fait actuellement (et qui est poursuivi dans le cadre de l'action 2.1),*** *une approche "district" (i) prenant en compte la géologie et la métallogénie régionale, l'apport de la géophysique lorsqu'elle est disponible, (ii) développant une réflexion sur le potentiel, et (iii) établissant une comparaison avec les autres gisements/districts mondiaux du même type.* En d'autres termes, élaborer un document attrayant à l'attention des Professionnels et donc d'un solide niveau technique.

Cette action s'inscrit dans le cadre du Contrat d'objectifs État-BRGM 2013-2017, notamment de l'objectif 3 « *Contribuer aux politiques publiques en matière de ressources minérales et de développement d'une activité minière responsable* ».

Pour pallier cet aspect catalogue et le manque de perspective, il est proposé, dès que les fiches techniques relatives à une substance dans une région (*e.g.*, Sb dans le Massif Armoricain) sont prêtes (fiches Rosnoen [29], La Coëfferie [35], [Stival [56], La Télachère [85], Les Brouzils [85], La Baussonnière [85]), d'engager la rédaction de "mini" monographies (de 10 à 20 pages environ en fonction de la richesse et de la complexité du sujet) par districts (*e.g.*, la Pointe bretonne, la Bretagne centrale, la Vendée), avec prise en compte de tous les autres gîtes existants. Les fiches seraient alors placées en annexe de la monographie, en quelque sorte "enchâssées" ("embedded" comme disent les Anglo-Saxons), ce qui permettrait de leur donner une toute autre valeur.

Un exemple de monographie pourrait être le tungstène dans le SW du Massif central traité dans le rapport 2012 cité précédemment.

Le choix des monographies à rédiger sera décidé en concertation avec le Comité de suivi, de manière à coller au mieux à l'actualité minière en France. Idéalement, il faudrait que 4 à 5 monographies par an soient rédigées et publiées de manière à ce que l'action promotionnelle soit visible et qu'elle ait un réel impact.

Les données acquises dans ce cadre et les traitements viendront alimenter le SIG "National". Les monographies seront mises en ligne sur MineralInfo et téléchargeables. Elles feront l'objet d'une publicité lors de leur publication sur le Web (*cf.* Rapport final Action 2.1 pour 2013).

Actions à mener par le BRGM

❶ Choix des régions et des districts à traiter en fonction des fiches techniques de cibles minières déjà réalisées ;

❷ Présentation des choix au Comité de suivi ;

❸ Constitution des équipes pour la rédaction des monographies. 2 à 3 monographies devraient être mises en chantier en 2015. En fonction des personnels disponibles, plusieurs monographies devraient pouvoir être réalisées en parallèle. En fonction de la complexité du sujet, de la substance, de la qualité et du nombre des données (cf. supra) une monographie pourra associer un métallogéniste, un expert en traitement des données et prédictivité et un économiste des ressources minérales ;

❹ Présentation des monographies au Comité de suivi ;

❺ Dès la présentation des monographies au Comité de suivi, elles seront mises en ligne sur MinéralInfo, mise en ligne accompagnée d'une publicité annonçant leur publication.

Produits de sortie

Cette action, pour couvrir l'ensemble du territoire, devrait se dérouler sur deux années. Chaque monographie comprendrait :

1) Une présentation du contexte géologique régional ;

2) Un rappel historique sur la production minière de la région ou du district ;

3) Une présentation de la métallogénie régionale pour la substance considérée, accompagnée d'une description des types métallogéniques rencontrés avec des cartes et des coupes (en fonction des documents disponibles) ;

4) La présentation et l'intégration des données géophysiques disponibles et exploitables (synergie à exploiter avec l'action 2.2 du programme 2014-2015) ;

5) Une ou plusieurs études de prédictivité, en fonction de l'étendue géographique de la zone, du nombre[8] et de la distribution spatiale des minéralisations et de l'homogénéité des typologies ;

6) Une courte synthèse relative aux gisements/districts mondiaux de même typologie afin de pouvoir établir des comparaisons ;

7) Une conclusion résumant les points forts du "district" (promotion !) ;

8) Les références bibliographiques incontournables (avec les liens pour le téléchargement lorsque cela est possible) ;

9) Une annexe commune (et assez succincte) relative aux traitements de prédictivité mis en œuvre (Index Overlay [méthode "classique" BRGM], Weight of Evidence, CBA [Cell-Based Association, nouvelle méthode développé au BRGM et testée de manière fructueuse dans le rapport 2012], DBQ pour les métaux critiques [Database Querrying, nouvelle méthode BRGM développée dans le cadre du projet EU-FP7 ProMine]…) afin que le lecteur puisse juger du sérieux des cartes de favorabilité et de la façon dont elles ont été établies.

[8] Le nombre des minéralisations existantes est important puisqu'elles servent de set d'apprentissage dans nombre de méthodes de prédictivité. L'homogénéité des typologies de minéralisations est également un critère important : on cherche à prédire un phénomène minéralisateur qui est contrôlé par la lithologie ou la lithostratigraphie et/ou le magmatisme, le volcanisme et/ou les structures et/ou la géodynamique… Mélanger, souvent par manque d'informations fiables, des types de minéralisations ayant des contrôles différents, conduit généralement à des interprétations très critiquables voire totalement erronées.

Centre scientifique et technique
Direction des Géoressources
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr