



# Étude pilote d'une cible minière en métropole : le gisement de tungstène de Fumade (Tarn)

Rapport final

BRGM/RP-62718-FR

Décembre 2013



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



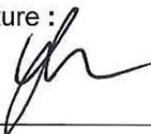
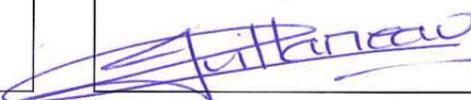
# Étude pilote d'une cible minière en métropole : le gisement de tungstène de Fumade (Tarn)

Rapport final

**BRGM/RP-62718-FR**  
Décembre 2013

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2013 – Fiche 13RSM1606

**A.S. Audion**

<p><b>Vérificateur :</b> Nom : Jérémie Melleton Date : 17/12/2013 Signature : </p>	<p><b>Approbateur :</b> Nom : Jean-Claude Guillaneau Date : 19/12/2013 Signature : </p>
---	---

Le système de management de la qualité et de l'environnement  
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

## Avertissement

*Dans ce rapport public, les données sensibles appartenant à l'opérateur minier, titulaire du permis d'exploration (Société Nationale Elf-Aquitaine Production, SNEA(P)), telles que les résultats d'analyses des sondages individuels, ne seront pas publiées. Seuls les résultats de leur réinterprétation et de leur actualisation (paramètres économiques notamment) sont présentés.*

**Mots-clés** : Skarn, Gisement, Tungstène, Scheelite, Modèle 3D, Modèle de blocs, Ressources minérales, Étude pilote, Exploration minière, Inventaire Minier National, Montagne noire, France.

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

**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.

## 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 et le BRGM (fiche 13RSM1606).

Dans le cadre de la réévaluation du potentiel français en ressources minérales, une action pilote de valorisation et de réinterprétation à l'aide d'outils informatiques modernes d'une cible minière métropolitaine a été réalisée. La cible choisie est le skarn à scheelite de Fumade (Tarn). Classé en priorité 1 en 2012, il est l'un des principaux sujets à tungstène issus de l'Inventaire Minier National (1975-1992).

Les données historiques issues des travaux du BRGM (1969-1978) et de la SNEA(P) (1980-1985) ont été numérisées, valorisées et ont alimenté un Système d'Information Géographique. Les informations des 94 sondages réalisés sur le prospect ont été saisies dans une base de données qui présente le double avantage de : (i) stocker dans un format numérique facilement manipulable et exportable les données des sondages et de (ii) permettre l'affichage en 3D de toutes ces informations dans un logiciel de modélisation 3D.

À partir du modèle géologique 3D créé, disponible sur le CD-ROM en annexe, les ressources du secteur (cibles de Fumade profond, La Fédial et Fumade superficiel) ont été réévaluées grâce à :

- l'actualisation des paramètres économiques, tels que la teneur de coupure ;
- l'utilisation de méthodes géostatistiques et d'un logiciel de modélisation 3D.

Ces ressources, revues à la hausse par rapport aux estimations de 1985, sont reportées en conformité avec les standards internationaux actuels (australien JORC ou canadien NI 43-101). Elles laissent présager d'un potentiel important sur la cible étudiée et placeraient le gisement de Fumade dans l'enveloppe des sujets comparables actuellement en cours d'exploration avancée.

Cette étude a également mis en évidence les limites et incertitudes des modèles développés et les besoins en acquisition de données qui en découlent.



## Sommaire

<b>1. Contexte et objectifs de l'étude .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Cadre géologique du gisement de Fumade.....</b>	<b>11</b>
2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL .....	11
2.2. LA MINÉRALISATION TUNGSTIFÈRE DE FUMADE .....	14
<b>3. Historique des travaux d'exploration dans le secteur de Fumade.....</b>	<b>17</b>
3.1. TRAVAUX DU BRGM (1968-1978) .....	17
3.2. TRAVAUX DE RECHERCHES DE LA SNEA(P) (1980-1985) .....	19
3.3. BILAN DES DONNÉES DISPONIBLES SUR LE SECTEUR ET SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ÉCONOMIQUES .....	22
<b>4. Valorisation des données historiques .....</b>	<b>25</b>
4.1. INVENTAIRE SUCCINCT DES DONNÉES DISPONIBLES .....	25
4.2. ÉLABORATION DU SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.....	26
4.3. CRÉATION DE LA BASE DE DONNÉES DES SONDAGES.....	29
<b>5. Modélisation 3D de la zone de Fumade .....</b>	<b>33</b>
5.1. MODÉLISATION DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES .....	33
5.2. MODÉLISATION DES NIVEAUX MINÉRALISÉS .....	36
5.2.1. Définition des niveaux minéralisés sur Fumade profond.....	36
5.2.2. Définition des niveaux minéralisés sur La Fédial .....	38
5.2.3. Définition des recoupes minéralisées sur Fumade superficiel .....	39
<b>6. Réévaluation des ressources sur le prospect.....</b>	<b>41</b>
6.1. ESTIMATION HISTORIQUE DES RESSOURCES ET PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES .....	41
6.2. RÉÉVALUATION DES RESSOURCES SUR LE PROSPECT .....	41
6.2.1. Actualisation des paramètres économiques.....	41
6.2.2. Nouvelle estimation des ressources sur Fumade profond .....	42
6.2.3. Nouvelle estimation des ressources sur La Fédial .....	47
6.2.4. Nouvelle estimation des ressources sur Fumade superficiel .....	50
<b>7. Conclusion et perspectives économiques du prospect.....</b>	<b>55</b>
<b>8. Bibliographie .....</b>	<b>57</b>

## Liste des figures

Figure 1 :	Croisement des zones favorables obtenues par les méthodes de prédictivité CBA (carrés bleus) et WofE (polygones roses) (Cassard <i>et al.</i> , 2012).....	9
Figure 2 :	Localisation de Fumade et des autres sujets de l'Inventaire du secteur sur le fonds géologique au 1/250 000 de Montpellier (légende page suivante).....	11
Figure 3 :	Série lithostratigraphique locale du secteur de Fumade (Desneulin et Joubert, 1983).....	13
Figure 4 :	Coupe géologique WNW-ESE entre Fumade et La Fédial (modifié d'après Safa <i>et al.</i> , 1987).....	14
Figure 5 :	Paragenèse typique d'un skarn de type II minéralisé (Couilloud, 1988).....	15
Figure 6 :	Localisation des enveloppes des anomalies géochimiques (rouge : > 100 ppm W et violet : > 700 ppm W), de l'affleurement historique (tireté bleu) et des travaux effectués en 1978 par le BRGM (Béziat, 1979).....	18
Figure 7 :	Évolution du cours du tungstène entre 1935 et 2013 (USGS, Metal-Pages et ITIA).....	21
Figure 8 :	Périmètre de la concession de Cadoul sur le fond topographique au 1/25 000 (IGN).....	22
Figure 9 :	Localisation des sondages et des travaux de surfaces sur les cibles de Fumade profond (ouest), La Fédial (est) et Fumade superficiel (centre) (Couilloud, 1988).....	23
Figure 10 :	Position des têtes de sondages et tracés des tranchées digitalisés à partir des cartes de Prouhet, 1987 et de Couilloud, 1988, sur le fond orthophotographique du secteur.....	27
Figure 11 :	Superposition de la carte géologique du secteur digitalisée et de la carte numérisée de Tessier, 1989.....	28
Figure 12 :	Structure des huit tables de la base de données des sondages du prospect.....	29
Figure 13 :	Projection des points de têtes de sondages sur la surface topographique afin d'en extraire la coordonnée z (élévation) (vue d'avion à gauche et vue oblique à droite).....	30
Figure 14 :	Vérification dans Surpac© de logs lithologiques sur Fumade profonds à l'aide de la coupe AB (WNW-ESE) de Couilloud, 1988.....	31
Figure 15 :	Modélisation 3D de la géologie de surface (y indique le nord, x indique l'est, 5 km x 5 km).....	33
Figure 16 :	Affichage des seize coupes utilisées pour la modélisation 3D.....	34
Figure 17 :	Modèle géologique 3D du prospect de Fumade (grille 250 x 250 x 250 m).....	35
Figure 18 :	Cinq niveaux minéralisés sur Fumade sens strict (trois niveaux principaux et deux petits niveaux additionnels, plus superficiels), vue vers le nord-est, grille 100 x 100 x 50 m.....	37
Figure 19 :	Sept « niveaux » minéralisés prospectifs sur La Fédial (grille 50 x 50 x 50 m).....	38
Figure 20 :	Modélisation des 19 recoupes minéralisées sur Fumade superficiel (zone d'influence de 10 m autour de chaque sondage, grille 25 x 25 x 25 m).....	40
Figure 21 :	Comparaison de la représentation des niveaux minéralisés de Fumade profond dans le modèle solide (gauche) et le modèle de blocs (droite) (x indique le nord, y indique l'est).....	43
Figure 22 :	Visualisation des échantillons composites sur Fumade profond, classés suivant la teneur en WO <sub>3</sub> (grille 100 x 100 x 100 m).....	44
Figure 23 :	Histogramme de répartition des teneurs en WO <sub>3</sub> dans le fichier composite Fumade profond.....	45
Figure 24 :	Variogramme expérimental suivant la direction majeure de continuité (N192).....	45
Figure 25 :	Répartition de la teneur en WO <sub>3</sub> (moyenne des méthodes géostatistiques) dans les niveaux de skarns de Fumade profond (haut) et identification de la minéralisation économique avec cut off de 0,30 % WO <sub>3</sub> (bas) (y indique le nord, x indique l'est).....	46

Figure 26 : Comparaison de la représentation des niveaux minéralisés de La Fédial dans le modèle solide (gauche) et le modèle de blocs (droite) (y indique le nord, x indique l'est).....	47
Figure 27 : Visualisation des échantillons composites sur La Fédial, classés suivant la teneur en WO <sub>3</sub> (grille 50 x 50 x 50 m).....	48
Figure 28 : Histogramme de répartition des teneurs en WO <sub>3</sub> dans le fichier composite La Fédial. ....	49
Figure 29 : Répartition de la teneur en WO <sub>3</sub> (moyenne des méthodes géostatistiques) dans les niveaux de skarns de La Fédial (haut) et identification de la minéralisation économique pour un cut off de 0,30 % WO <sub>3</sub> (bas) (y indique le nord, x indique l'est).....	50
Figure 30 : Comparaison de la représentation des niveaux minéralisés de Fumade superficiel dans le modèle solide (gauche) et le modèle de blocs (droite) (y indique le nord, x indique l'est).....	51
Figure 31 : Visualisation des échantillons composites sur Fumade superficiel, classés suivant la teneur en WO <sub>3</sub> (grille 25 x 25 x 25 m).....	51
Figure 32 : Histogramme de répartition des teneurs en WO <sub>3</sub> dans le fichier composite Fumade superficiel. ....	52
Figure 33 : Répartition de la teneur en WO <sub>3</sub> (moyenne des méthodes géostatistiques) dans les niveaux de skarns de Fumade superficiel (haut) et identification de la minéralisation économique pour un cut off de 0,10 % WO <sub>3</sub> (bas) (y indique le nord, x indique l'est). ....	53
Figure 34 : Couple tonnage-teneur des principaux sujets miniers de skarns à scheelite (d'après Audion et Labbé (2012), Raw Material Data et les sites web des compagnies). ....	55

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Bilan des sondages réalisés sur le prospect de Fumade entre 1968 et 1985. ....	22
Tableau 2 : Coupes interprétatives utilisées pour la modélisation 3D du secteur. ....	34
Tableau 3 : Recoupes minéralisées sur Fumade superficiel. ....	39

## Liste des annexes

Annexe 1 : Résultat de la géochimie sol 1978 .....	59
Annexe 2 : Caractéristiques générales des sondages.....	61
Annexe 3 : Caractéristiques du block model sur Fumade profond .....	65
Annexe 4 : Définition de l'ellipsoïde de référence sur le BM de Fumade profond .....	67
Annexe 5 : Caractéristiques du block model sur La Fédial.....	71
Annexe 6 : Caractéristiques du block model sur Fumade superficiel .....	73
Annexe 7 : Principaux projets miniers sur des skarns à scheelite .....	75
Annexe 8 : Fichiers présents sur le CD-rom annexe .....	77



# 1. Contexte et objectifs de l'étude

En 2012, une méthodologie exhaustive pour la ré-exploitation des données de l'Inventaire Minier National (1975-1992) a été mise au point, avec comme objectifs principaux : (i) la priorisation des principales cibles mises en évidence par l'Inventaire (extension à quelques gisements découverts hors-Inventaire) et (ii) la mise en évidence par traitements multicritères impliquant plusieurs couches thématiques (notamment la géochimie Inventaire) de nouvelles cibles potentielles (Cassard *et al.*, 2012).

Cette méthodologie a été appliquée à la zone test du nord de la Montagne noire, au sud-ouest du Massif central, qui présente un fort potentiel en tungstène (gisements reconnus de Montredon-Labessonnié, Fumade et Ferrières notamment). Les résultats des méthodes de prédictivité utilisées (« Weight of Evidence » (WofE) et « Cell-based Association » (CBA)) convergent pour identifier trois zones d'intérêt prioritaire (Figure 1) :

- 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.

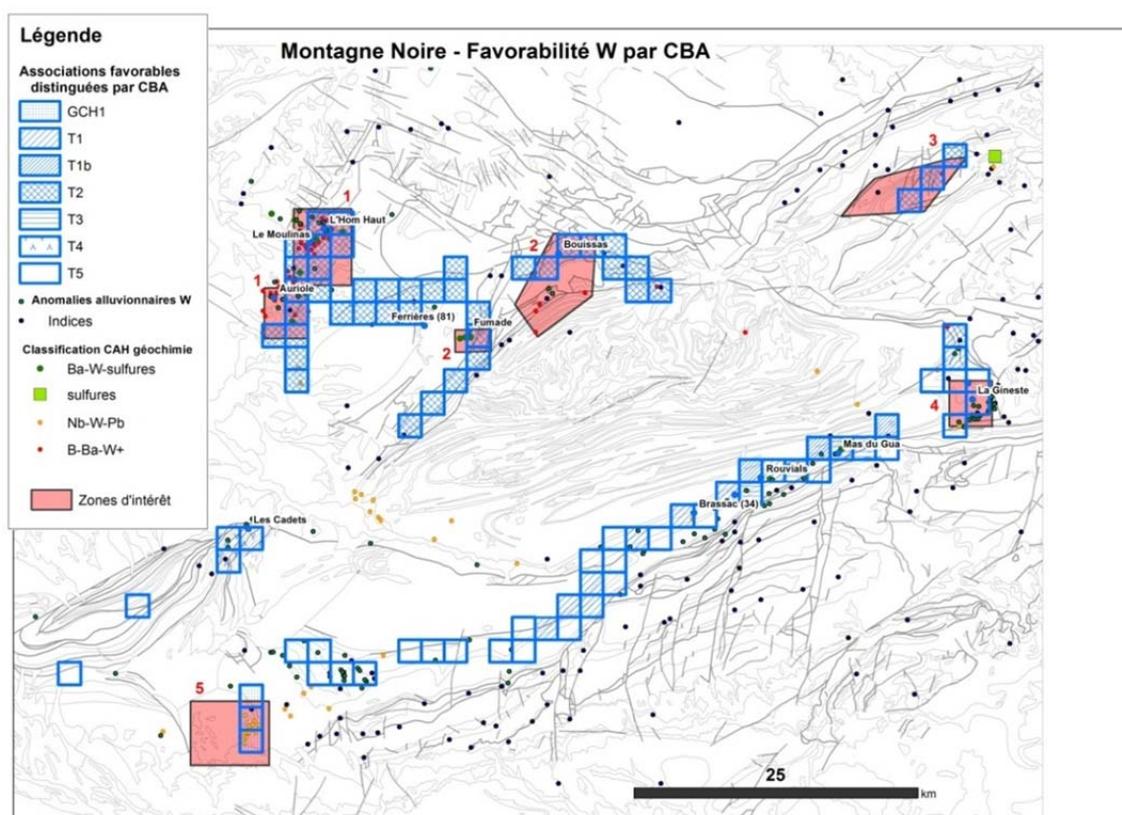


Figure 1 : Croisement des zones favorables obtenues par les méthodes de prédictivité CBA (carrés bleus) et WofE (polygones roses) (Cassard *et al.*, 2012).

La revue des principaux sujets miniers de France métropolitaine, avec prise en compte du contexte économique actuel et du stade de développement, a conduit à établir en 2012 une liste de onze cibles de priorité 1 : **Antully** (F, Ba), **Arrens** (Ba, Zn, Pb), **Chessy-les-Mines** (Zn, Cu, Ba), **Courcelles-Frémy** (F, Ba), **Echassières** (Sn, W, Li, Ta, Nb), **Egreuil** (F, Ba), **Fumade** (W), **Pierre-Perthuis** (F, Ba), **Rouez** (Pyr, Cu, Au), **Salau** (W) et **Tréguennec** (Sn, Ta, Nb, Li, Be).

En 2013, les données des travaux d'exploration menés sur une cible minière ont été retravaillées à l'aide d'outils informatiques modernes et performants (SIG et modélisation 3D). Cette étude pilote a pour objectifs principaux de :

- tester la pertinence des résultats des traitements de prédictivité, qui avaient conduit à sélectionner ce gisement comme prioritaire ;
- revaloriser des données anciennes et ainsi, de promouvoir le potentiel du territoire métropolitain ;
- réaliser un modèle 3D de la cible en faisant apparaître ses éventuelles possibilités d'extension ;
- proposer une évaluation économique réactualisée du sujet ;
- mettre en évidence les possibles besoins de nouvelles acquisitions de données de terrain ;
- contribuer à l'établissement de la fiche de cible minière du gisement (Bertrand *et al.*, 2013).

Le choix du MEDDE pour cette étude pilote, parmi une liste de cinq sujets proposés, s'est porté sur le gisement de tungstène de **Fumade** sur le versant nord de la Montagne noire.

## 2. Cadre géologique du gisement de Fumade

### 2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Le gisement de Fumade se situe sur le versant nord de la Montagne noire, à 25 km au nord-est de Castres (Tarn). Les indices de scheelite se développent dans les terrains de la Série Noire (Cambrien moyen à inférieur) qui forment une bande orientée N020 à N040, limitée à l'ESE par les gneiss de la zone axiale de la Montagne noire et au WNW par le granite du Sidobre.

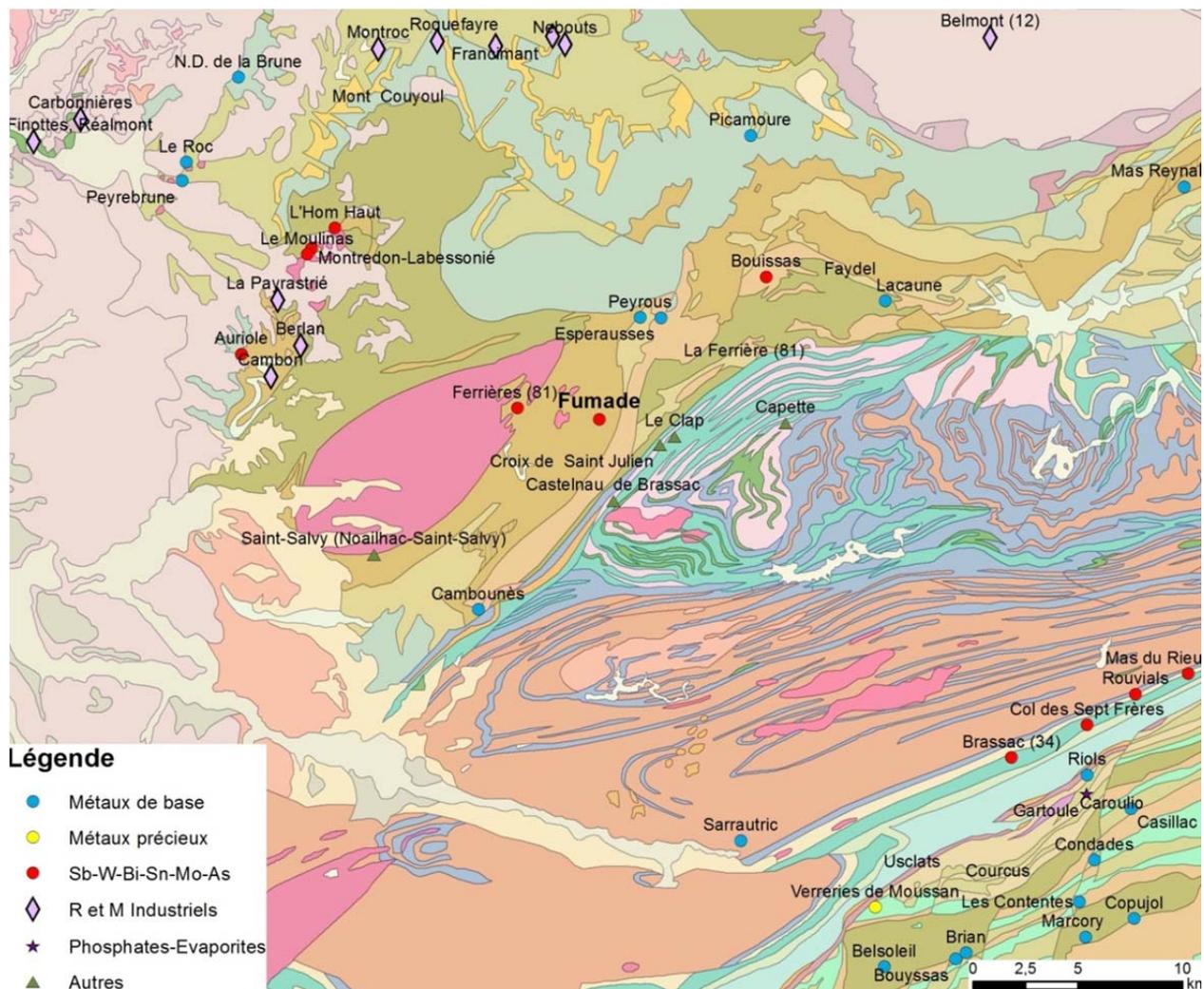


Figure 2 : Localisation de Fumade et des autres sujets de l'Inventaire du secteur sur le fonds géologique au 1/250 000 de Montpellier (légende page suivante).

## Légende

- 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)
- 22 - Tertiaire - Miocène : Oligocène moyen supérieur
- 25 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Bartonien
- 27 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : "argiles à graviers"
- 29 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Lutétien, calcaire lacustre (Montpellier, Agel, Castres)
- 30 - Tertiaire - Éocène - Paléocène : Éocène inférieur (moyen p.p.) dont Cuisien
- 64 - Formations mésozoïques - Trias : Trias indifférencié
- 65 - Formations paléozoïques post-varisques : Permien (Saxono-Thuringien), grés-conglomératique
- 66 - Formations paléozoïques post-varisques : Permien (Saxono-Thuringien), pélimitique
- 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 : métabasaites 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 grésopélimitique (Ordovicien p.p.)
- 79 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : série verte calcaro-pélimitique
- 80 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : dolomie
- 81 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : tufs kérotophyriques
- 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 pélimitique 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
- 89 - Formations paléozoïques anté- à syn-orogéniques varisques : Cambrien inférieur détritique ("grès de Marcory")
- 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 grésopélimitique et carbonatée de Mas de Rieu
- 97 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupe de La Salvetat (Sa) : formation grésopélimitique 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 grésopélimitique : formation de Rieumajou
- 101 - Formations métasédimentaires de la zone axiale : groupe de La Salvetat (Sa) : ensemble inférieur grésopélimitique : 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
- 109 - Roches plutoniques ou magmatiques - magmatismes anté-orogénique (et roches associées) : orthogneiss de Montredon-Labessonnié
- 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
- 114 - Roches plutoniques ou magmatiques - Roches filoniennes : dolérites
- 999 - hydro

La série lithostratigraphique locale, d'âge Cambrien, présente la succession lithologique suivante, du sommet à la base (Figure 3) :

- Schistes noirs à nodules phosphatés (k2b3) : puissance de l'ordre de 100 m ;
- Alternances calcaréo-argileuses (ACA) (k2b1-2) : puissance de 80 à 140 m ;
- Alternances calcaréo-silteuses (ACS) (k2b1-2) : plus de 70 m de puissance ;
- Dolomies massives grises (k2a) : de 250 à 300 m de puissance.

nature pétrographique	désignation
<p>pélites graphiteuses:                      .pyrite et pyrrhotine(qq% cumulés):dans les lits silteux,la S.,des fissures et en lentilles.                      .carbonates de fer disséminés:cristaux mm blancs vitreux                      .nodules phosphatés:blancs laiteux dans la S.                      .galets argileux cm silicifiés pyriteux dans S.                      .lits silteux mm indiquant la S.                      .S. visible par miroitement</p>	<p>Schistes noirs (&gt;100m)</p>
<p>alternances mm (faciès lités) à cm (faciès rubanés) de lits pélitiques noirs et de lits gris carbonatés parfois silto-gréseux:                      .passées dcm à cm silto-pélitiques(parfois silicifiées)à pyrite (qq%) et pyroxènes(baguettes mm noires à éclats vitreux vifs)                      .bouffées de calcite et quartz (accèssoirement blende et/ou galène qq%)                      .plis en genou                      .andalousite sans orientation dans S.</p>	<p>calcaires lités (0-100m)                      calcaires à lits argileux flués (0-40m)                      calcaires rubanés (10-70m)                      calcaires lités (0-80m)</p> <p>Alternances Calcaréo-argileuses (80-140m)</p>
<p>alternances (1 à 15m) de carbonates et de siltites :                      .carbonates: cf ci-dessus                      .siltites: roche gris à noir à grain de quartz (&lt;0,1mm) à biotite brune en paillettes &gt;0,5mm, la S. est donnée par des lentilles cm carbonatées et soulignée par de la pyryte (qq%)</p>	<p>Alternances Calcaréo-silteuses (&gt;70m)</p>
<p>.roche cryptocristalline de couleur gris à violet                      .pyrite en cristaux mm sub;automorphes disséminés                      .S. parfois visible sur des lits argileux mm irréguliers                      trémolite en baguettes blanches mm disséminées                      .faciès marbré à proximité du granite</p>	<p>Dolomies Massives Grises (250 - 300m)</p>

Figure 3 : Série lithostratigraphique locale du secteur de Fumade (Desneulin et Joubert, 1983).

La série noire est intrudée localement par un complexe aplo-granitique qui s'injecte sous forme de lames suivant des plans de discontinuités tectoniques ou sédimentaires. Il affleure localement au niveau de La Fabrié, à l'ouest de Fumade.

Le secteur a été affecté par plusieurs épisodes tectoniques importants qui se sont traduits par des déformations souples (quatre phases principales identifiées (Couilloud, 1988)) et cassantes (écaillages, grands plans de faille de direction NNE-SSW). La géométrie de la zone Fumade-La Fédial est donc complexe (Figure 4).

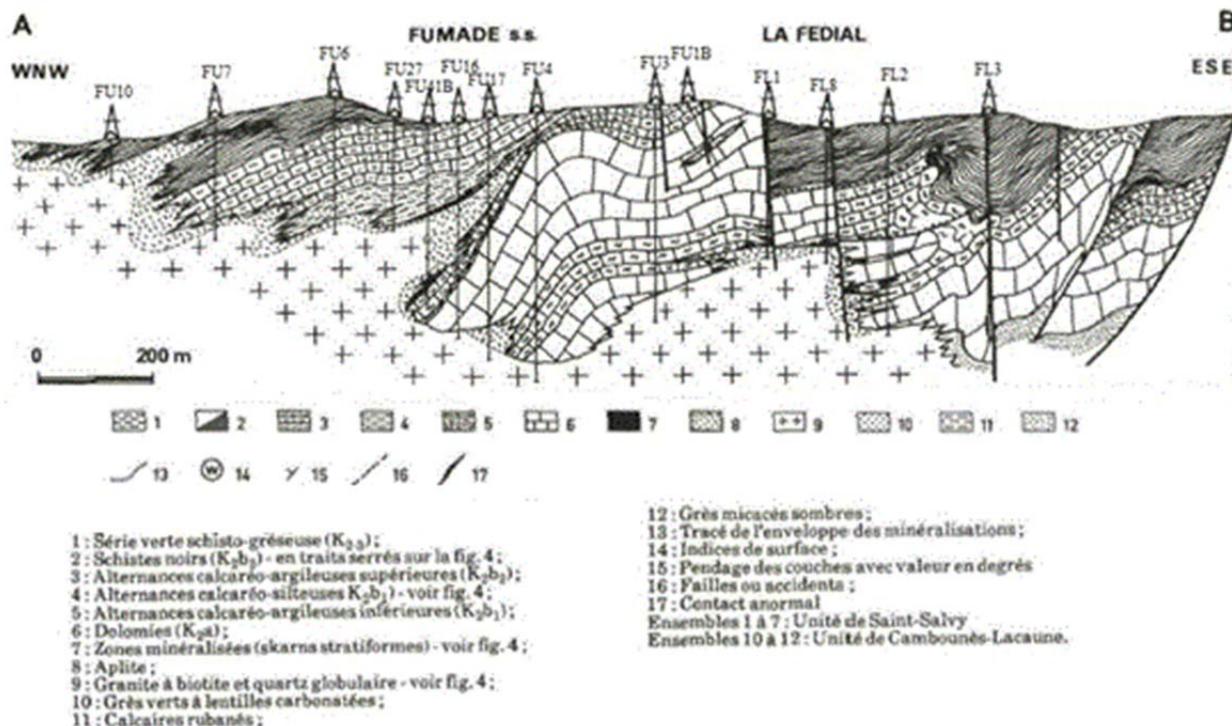


Figure 4 : Coupe géologique WNW-ESE entre Fumade et La Fédial (modifié d'après Safa et al., 1987).

## 2.2. LA MINÉRALISATION TUNGSTIFÈRE DE FUMADE

Le granite de la Fabrié, qui affleure à l'est de Fumade, s'est infiltré dans les plans de stratification des roches préexistantes (ou dans le plan axial de la première déformation qui est parallèle à la stratification) et forme, sur ses bordures, une série de lames aplitiques parallèles.

Son intrusion dans les formations schisto-carbonatée donne naissance à deux principaux types de skarns, étudiés en précision dans la thèse de Couilloud (1988) qui peuvent être porteurs d'une minéralisation tungstifère sous forme de scheelite :

- Des **skarns fissuraux**, à calcite-diopside<sup>1</sup>-trémolite<sup>2</sup>, parfois minéralisés en scheelite (à l'origine de l'anomalie de départ) et surtout développés au sommet des dolomies massives de la base de la série (k2a) à partir de fractures grossièrement est-ouest. Le développement latéral, dans les faciès favorables, des skarns fissuraux peut donner sur quelques mètres l'aspect interstratifié observé par le BRGM dans les premiers sondages (Prouhet, 1987). Ils ont majoritairement été mis en évidence sur les cibles de Fumade Superficiel et de La Fédial.
- Des **skarns stratiformes** dans les alternances calcaréo-détritiques sus-jacentes (ACS principalement mais également ACA) dont ils conservent généralement le litage originel. Ces skarns stratiformes, bien développés sur les cibles de Fumade sens strict et de La Fédial, se répartissent entre :
  - les **skarns de type I** (fréquemment appelés skarns lités), clairs, à clinopyroxène, épidote<sup>3</sup>, grossulaire<sup>4</sup>, idocrase<sup>5</sup>, wollastonite<sup>6</sup>, bien lités et à zonalités minérales nettes. Ils affectent

<sup>1</sup> Clinopyroxène de formule brute CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>.

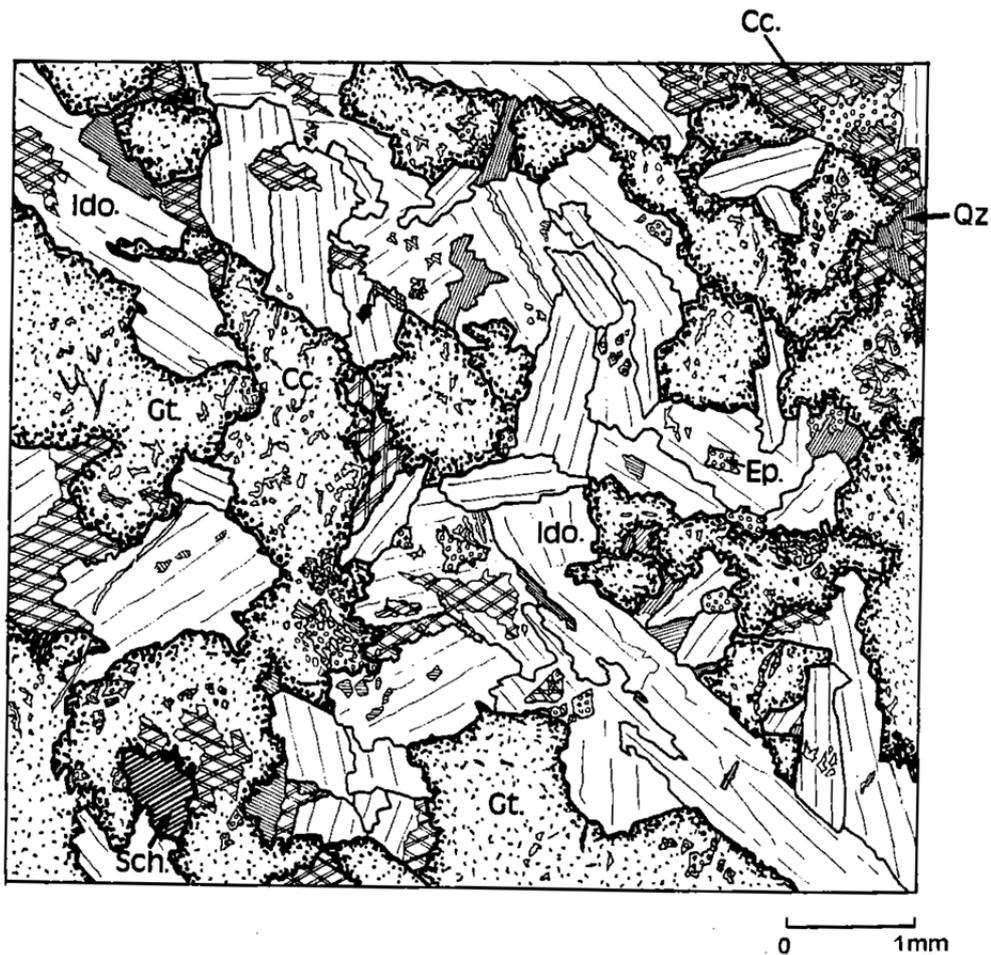
<sup>2</sup> Amphibole de formule idéale Ca<sub>2</sub>Mg<sub>5</sub>[(OH, F)Si<sub>4</sub>O<sub>11</sub>]<sub>2</sub>

<sup>3</sup> Sorosilicate de formule brute Ca<sub>2</sub>(Fe,Al)Al<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)O(OH)

<sup>4</sup> Grenat de formule brute Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>

l'ensemble des alternances calcaréo-détritiques sur quelques dizaines de mètres et sont rarement et faiblement minéralisés en scheelite ;

· les skarns de type II (fréquemment appelés skarns massifs), sombres, à idocrase, un peu de quartz et la présence d'un grenat brun-rougeâtre (série almandin<sup>7</sup>-spessarite<sup>8</sup>) caractéristique (Figure 5). Ils sont massifs, à gros grains et se localisent uniquement au niveau des barres carbonatées des alternances inférieures, au contact ou à proximité de la lame aplo-granitique principale. Ces skarns sont postérieurs aux skarns de type I et impliquent une métasomatose<sup>9</sup> d'infiltration importante ayant permis de former des roches riches en silice et en alumine à partir de marbres calcitiques contenant peu de minéraux silicatés. Ce sont dans ces skarns que s'observent les **fortes concentrations en scheelite**.



Cc. : calcite ; Qz : quartz ; Ido. : idocrase ; Ep. : épidote ; Gt. : grenat ; Sch. : scheelite

Figure 5 : Paragenèse typique d'un skarn de type II minéralisé (Couilloud, 1988).

<sup>5</sup> Sorosilicate de formule brute  $\text{Ca}_{10}(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH},\text{F})_4$

<sup>6</sup> Pyroxène de formule brute  $\text{CaSiO}_3$

<sup>7</sup> Grenat de formule brute  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  (pôle ferreux de la série)

<sup>8</sup> Grenat de formule brute  $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  (pôle manganèse de la série)

<sup>9</sup> Processus d'altération chimique par des fluides hydrothermaux conduisant à une modification de la composition chimique de la roche (apport d'éléments et lessivage d'autres éléments).

À partir des résultats des travaux d'exploration menés entre 1969 et 1985 sur le secteur (voir partie 3, p. 17), aucune corrélation n'a pu être établie entre la puissance de skarn développée et l'abondance de la minéralisation à scheelite. Il en est de même avec la distance entre le skarn et l'intrusif.

Sur la cible de Fumade profond, la minéralisation suit un couloir d'une largeur de 50 à 100 m le long du talus aplo-granitique d'allongement sensiblement nord-sud. Elle s'exprime sur trois niveaux principaux correspondant à des « injections » aplitiques dans l'encaissant carbonaté (alternances calcaréo-argileuses ACA). Le pendage des couches minéralisées varie en fonction de la couche considérée et localement, du nord au sud (il passe sensiblement de 20° vers le sud à 45° vers le nord). Les couches inférieures sont les plus pentées.

La minéralisation développée sur La Fédial est similaire à celle de Fumade sens strict. Néanmoins, à l'inverse de la position monoclinale relativement simple des niveaux observés sur Fumade, le secteur de La Fédial montre une forte complexité structurale avec des charnières de plis et des couches très redressées, y compris dans les zones minéralisées. Les corrélations entre sondages sont donc hasardeuses, rendant la géométrie du corps difficile à contraindre.

Contrairement à Fumade profond, aucune relation géométrique évidente entre le développement des niveaux skarnifiés à scheelite et la présence proche ou contigüe de lame d'aplite n'a été observée. Le même grenat brun-rougeâtre accompagne néanmoins les minéralisations massives.

À partir de ces observations, trois guides prospectifs à la recoupe d'un niveau de skarn minéralisé peuvent être proposés (Safa et Reverdy, 1985) :

- **un guide structural** : le long du talus aplo-granitique ;
- **un guide lithologique** : contact entre une lame aplitique et des niveaux précis des faciès d'alternances (ACA et ACS) ;
- **un guide minéralogique** : présence du grenat brun-rougeâtre qui accompagne la scheelite.

## 3. Historique des travaux d'exploration dans le secteur de Fumade

### 3.1. TRAVAUX DU BRGM (1968-1978)

En 1968, dans le cadre d'une prospection régionale à la recherche de structures filoniennes à Pb-Zn du type Saint-Salvy, le BRGM a exécuté trois sondages sur la zone de Fumade-La Fabrié qui présentait un affleurement à pyromorphite ( $Pb_5(PO_4)_3Cl$ ) (voir Figure 8). Si ces sondages (sondages S1-69 à S3-69) se sont révélés peu intéressants pour la minéralisation recherchée, le sondage S3 a recoupé à 295,9 m un niveau de dolomies verdâtres avec quelques mouches de scheelite ( $CaWO_4$ ), au contact entre ces dolomies et le granite sous-jacent.

Dans le cadre de l'Inventaire, une campagne de **géochimie sol stratégique** est alors réalisée en 1975 à la maille 500 x 500 m. Elle met en évidence une anomalie multi-éléments (Pb-Zn-Ag-F-Cu-As-W) de 3 x 2 km, ainsi que trois points anomaux en tungstène (> 40 ppm).

En 1978, les travaux d'exploration se poursuivent par une campagne de **géochimie sol tactique** (100 x 200 m, 240 points). Une zone anormale d'1 km<sup>2</sup> s'étend entre Fumade et la Borio-Haute suivant la direction WNW-ESE, avec en son centre une enveloppe > 700 ppm W (Annexe 1).

Une **prospection marteau** réalisée de nuit à la lampe UV permet de découvrir un affleurement de dolomie à trémolite et de skarns fissuraux entre les fermes de La Fédial et de Fumade. Ces skarns sont localement minéralisés en scheelite (Figure 6).

Six **tranchées** d'orientations diverses ont été réalisées en 1978 (Figure 6). Leur échantillonnage par rainurage donne des résultats positifs sur quatre tranchées dans un faciès skarnifié à quartz, trémolite, idocrase, grenat et chlorites présentant une altération importante en faciès « vermiculé <sup>10</sup>» :

- T1 : 30 m à 0,54 %  $WO_3$  ;
- T2 : 27 m à 0,27 %  $WO_3$  ;
- T3 : 4,5 m à 0,20 %  $WO_3$  ;
- T6 : 1 m à 0,94 %  $WO_3$ .

Les travaux du BRGM sont complétés par dix **sondages** verticaux de 50 m de profondeur à la maille 50 x 50 m sur 300 m d'allongement ainsi que deux sondages plus profonds qui n'ont pas atteint le contact granitique, leur objectif (sondages S1 à S12) (Figure 6). Seuls cinq sondages recoupent des minéralisations notables (Béziat, 1978 et Béziat, 1979) :

- S1 : 6,5 m à 0,64 %  $WO_3$  ;
- S2 : 2,0 m à 0,26 %  $WO_3$  ;

---

<sup>10</sup> Le nom de ce faciès « vermiculé » provient de l'agencement des minéraux en « figures graphiques ». Ce faciès très caractéristique avait également été identifié sur le prospect de Ferrières (environ 2,5 km à l'ouest de Fumade) où un sondage avait donné 7,8 m à 0,87 %  $WO_3$  (PER attribué à la Société des Mines d'Anglade entre 1975 et 1979). Les travaux sur Ferrières ont été abandonnés en 1979, faute de réserves démontrées.

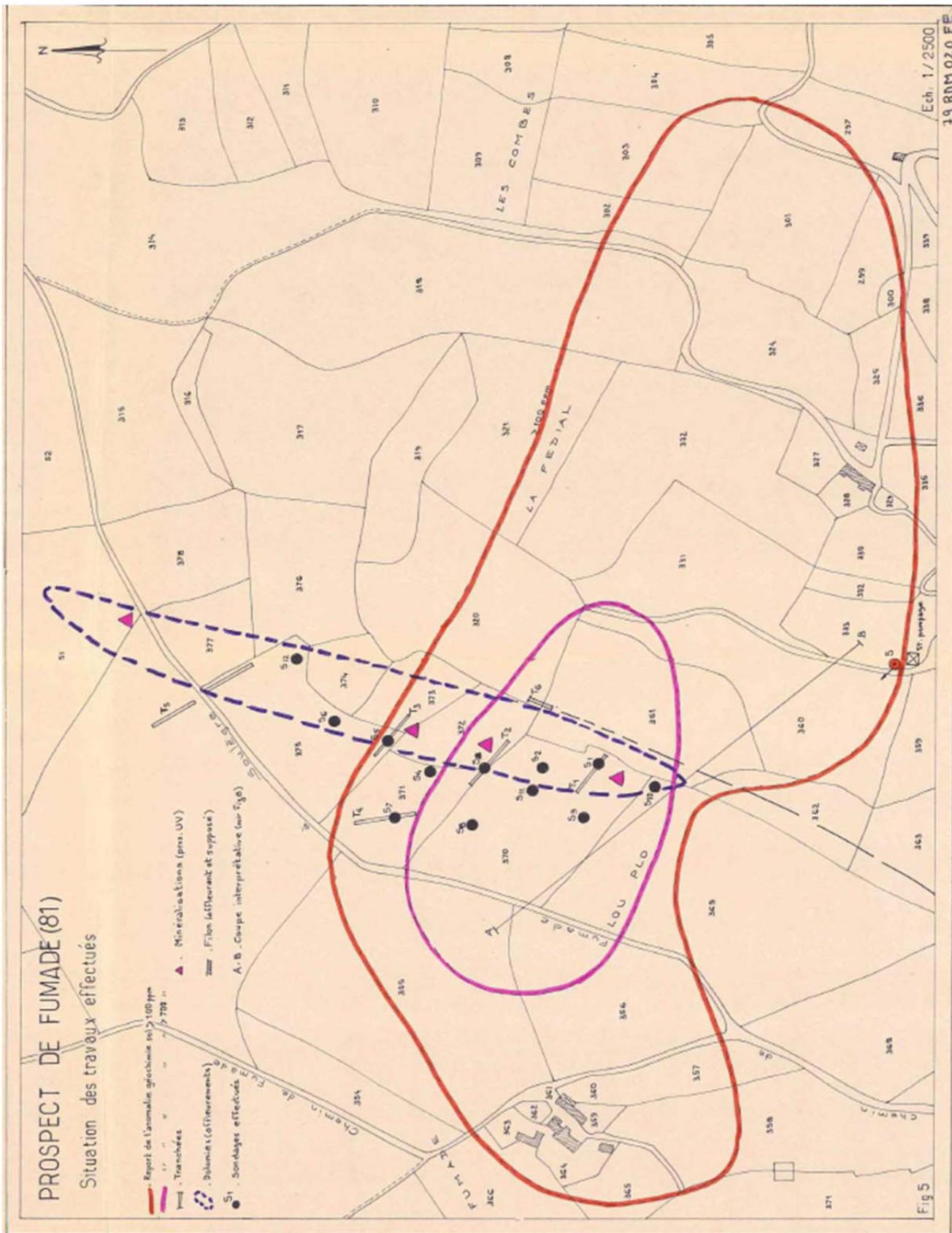


Figure 6 : Localisation des enveloppes des anomalies géochimiques (rouge :  $> 100 \text{ ppm W}$  et violet :  $> 700 \text{ ppm W}$ ), de l'affleurement historique (tiré en bleu) et des travaux effectués en 1978 par le BRGM (Béziat, 1979).

- S4 : 1,50 m à 0,20 % WO<sub>3</sub> ;
- S10 : 0,60 m à 0,77 % WO<sub>3</sub> ;
- S11 : 4,70 m à 0,42 % WO<sub>3</sub> et 1,30 m à 1,0 % WO<sub>3</sub>.

À la suite de ces travaux, le BRGM conclut sur « la présence de scheelite à des teneurs économiques en relation avec des dolomies à minéraux du métamorphisme ». Cette minéralisation est essentiellement sécante dans un ensemble carbonaté (Cambrien moyen) skarnifié en masse (et sans sulfures), surmonté par des schistes noirs. L'anomalie tungstène de Fumade est donc « un objectif de recherche tout à fait valable » (Béziat, 1979).

En 1979, le sujet est présenté à la profession par le Comité de l'Inventaire.

### 3.2. TRAVAUX DE RECHERCHES DE LA SNEA(P) (1980-1985)

En septembre 1980, un Permis Exclusif de Recherches (PER) est attribué à la Société Nationale Elf-Aquitaine (Production) (SNEA(P)), malgré une vive concurrence. Ce permis, initialement de 12 km<sup>2</sup>, a été étendu en 1983 à 42,3 km<sup>2</sup> pour inclure la zone d'Espérausses, au nord-est.

Entre 1980 et 1985, la SNEA(P) a mené les travaux suivants.

- **Cartographie géologique détaillée**

Levés géologiques au 1/5 000 (Severac, 1982) et au 1/2 500 sur une zone de 5 km<sup>2</sup> (Desneulin et Joubert, 1983). Les travaux de la thèse de Severac ont également porté sur une analyse minéralogique des minéralisations tungstifères.

- **Couverture géochimique**

- 1980 : *géochimie stratégique stream sediment* multi-éléments, cinq points/km<sup>2</sup> (total de 142 échantillons) ;
- 1981 : *géochimie tactique sol* à la maille 50 x 50 m, soit 1 317 échantillons analysés pour W et 676 analysés pour Pb-Zn ;
- 1984 : complément de la *géochimie sol* avec le prélèvement de 170 échantillons supplémentaires (30 points/km<sup>2</sup>).

Ces travaux confirment et précisent les résultats du BRGM en mettant en évidence une anomalie intense suivant la direction N110, ce qui correspond à l'axe Fumade-La Fédial. Le Zn souligne la présence des dolomies tandis que le Pb apparaît comme un bon marqueur des schistes noirs.

- **Géophysique**

- 1981 : *couverture de magnétisme au sol* (1 100 points). Les résultats sont décevants, ils soulignent les lentilles à 2-10 % pyrrhotite et pyrite dans les schistes noirs ;
- 1982 : la *polarisation provoquée* (PP) n'a donné aucun résultat exploitable ;
- 1982 : la *polarisation spontanée* (PS) marque les schistes noirs et les zones altérées ;
- 1982 : les *sondages électriques* mettent en évidence les toits des formations résistantes, mais ne permettent pas de faire la distinction entre les dolomies massives et l'intrusif granitique ;

- 1983 : *gravimétrie*, basée sur de bons contrastes (schistes noirs : 2,6-2,7 ; dolomies : 2,9 ; skarns : 3,1 à 3,2 et granite : 2,7). Si cette méthode semblait donner de bons résultats sur Fumade et La Fédial (476 points à la maille 200 x 50 m), les images analogues obtenues sur les cibles de Camp Gourdi et d'Esperaussess au nord (279 points sur 18 km<sup>2</sup>) ne sont pas attribuées aux mêmes phénomènes. La gravimétrie ne permet donc pas de distinguer les skarns des dolomies et les anomalies légères sont difficiles à interpréter.

- **Sondages**

- Les premiers sondages ont été réalisés sur une ligne est-ouest entre les affleurements minéralisés (« affleurement historique ») et ceux du granite de La Fabrié vers l'ouest.
- Les différentes campagnes de sondages ont notamment permis la mise en évidence des gîtes aveugles (non affleurants) de Fumade profond et de La Fédial.
- Entre 1982 et 1985, trois cibles ont ainsi été testées par sondages :
  - *Fumade profond* (ou Fumade sens strict) : 49 sondages carottés (FU1 à FU49, 13 103 m cumulés) ;
  - *La Fédial* : seize sondages carottés (FL1 à FL16, 5 066 m cumulés) ;
  - *Fumade superficiel* : douze sondages rotatifs (FS13 à FS24, 353,7 m cumulés).

En 1984, des **tests minéralurgiques** d'orientation sont réalisés au CRP (Détienne, 1984) sur de petits échantillons de carottes de sondages de Fumade profond (quelques tests gravimétriques et quelques essais de flottation). Une étude minéralogique du minerai de La Fédial est également menée au CRP afin de le comparer à celui de Fumade sens strict.

Trois tranchées ont également été réalisées par la SNEA(P) en 1985 dans le même secteur que celui investigué par le BRGM (à proximité de l'affleurement historique). Toutefois, les archives et documents consultés dans le cadre de cette étude n'y faisaient qu'une simple mention sans en détailler les résultats.

En 1985, un projet de reconnaissance du gisement de Fumade (profond) par **travaux miniers** est mené. L'étude est confiée à B. Bros et F. Garnaud des Mines d'Alès avec pour objectif d'apporter les informations complémentaires indispensables à toute étude de faisabilité. Cette étude (Bros et Garnaud, 1985) préconise notamment la réalisation d'une campagne de sondages-fond de resserrement (trop onéreux à partir du jour), des traçages dans le minerai à partir d'une descenderie et de plusieurs recoupes, des essais de méthodes d'exploitation (incluant notamment des essais géotechniques avancés) ainsi que des tests minéralurgiques sur des volumes conséquents.

Bros et Garnaud (1985) se montrent très optimistes sur la faisabilité technico-économique du projet, insistant notamment sur le potentiel d'extension latérale ou les possibilités de mettre en évidence des lentilles plus riches (comme ce fut le cas à Salau en Ariège).

À la fin de l'année 1985, les travaux d'exploration sont cependant suspendus en raison de la **chute du cours du tungstène** (Figure 7). L'année suivante, la mine de Salau qui a produit 10 277 t WO<sub>3</sub> à partir de la valorisation de 930 431 t de minerai à 1,4 % WO<sub>3</sub> entre 1971 et 1986, cessera sa production pour le même motif économique.

L'été 1988, une concession de mines de tungstène et substances connexes, dite « Concession de Cadoul », est néanmoins attribuée à la SNEA(P) par décret du 29/07/1988 (publiée dans le JO du 09/08/1988). Cette concession, d'une superficie de 7,34 km<sup>2</sup> (Figure 8), était valable 25 ans (<http://www.legifrance.gouv.fr/>) et n'est donc plus valide depuis le 9 août 2013. Il n'existe pas d'autre titre valide sur le secteur.

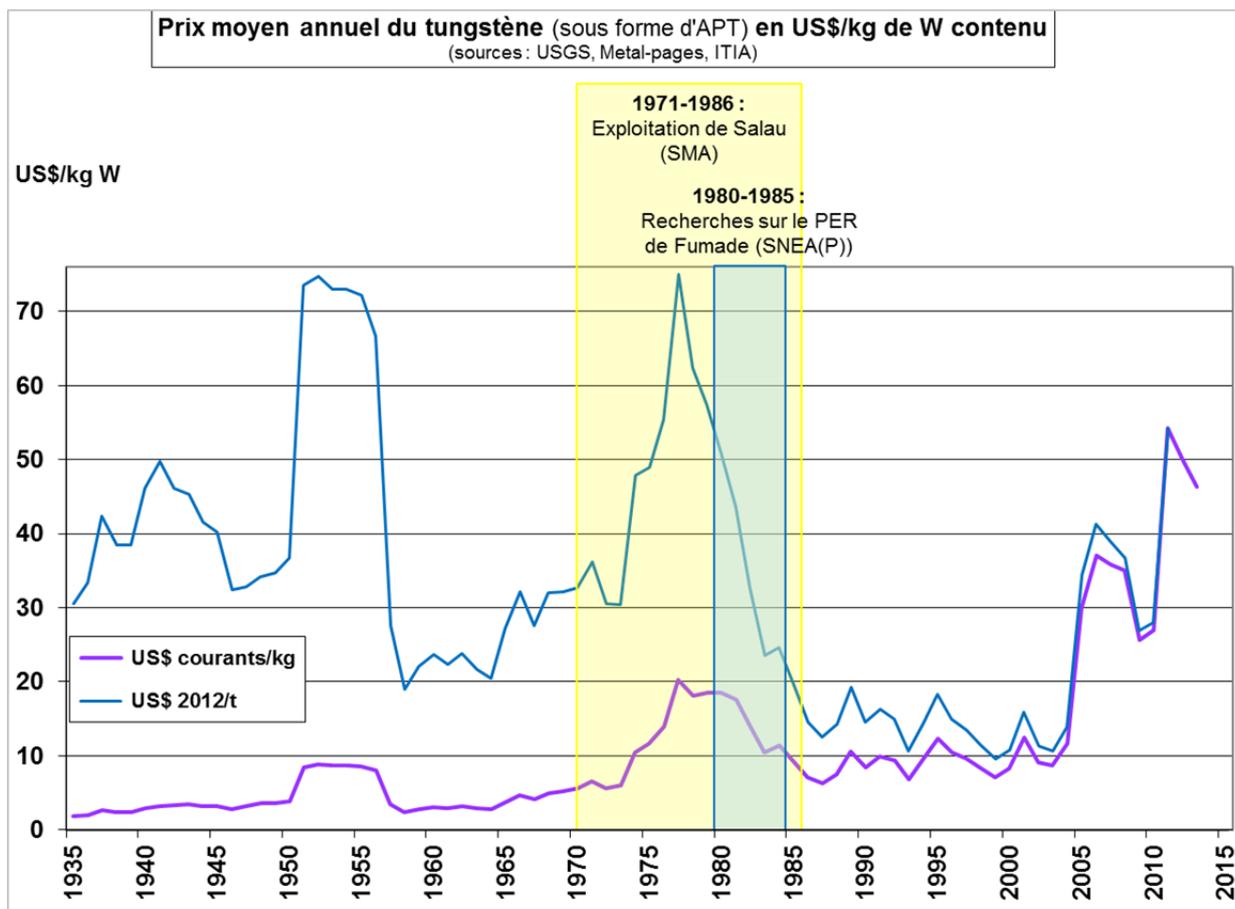


Figure 7 : Évolution du cours du tungstène entre 1935 et 2013 (USGS, Metal-Pages et ITIA).

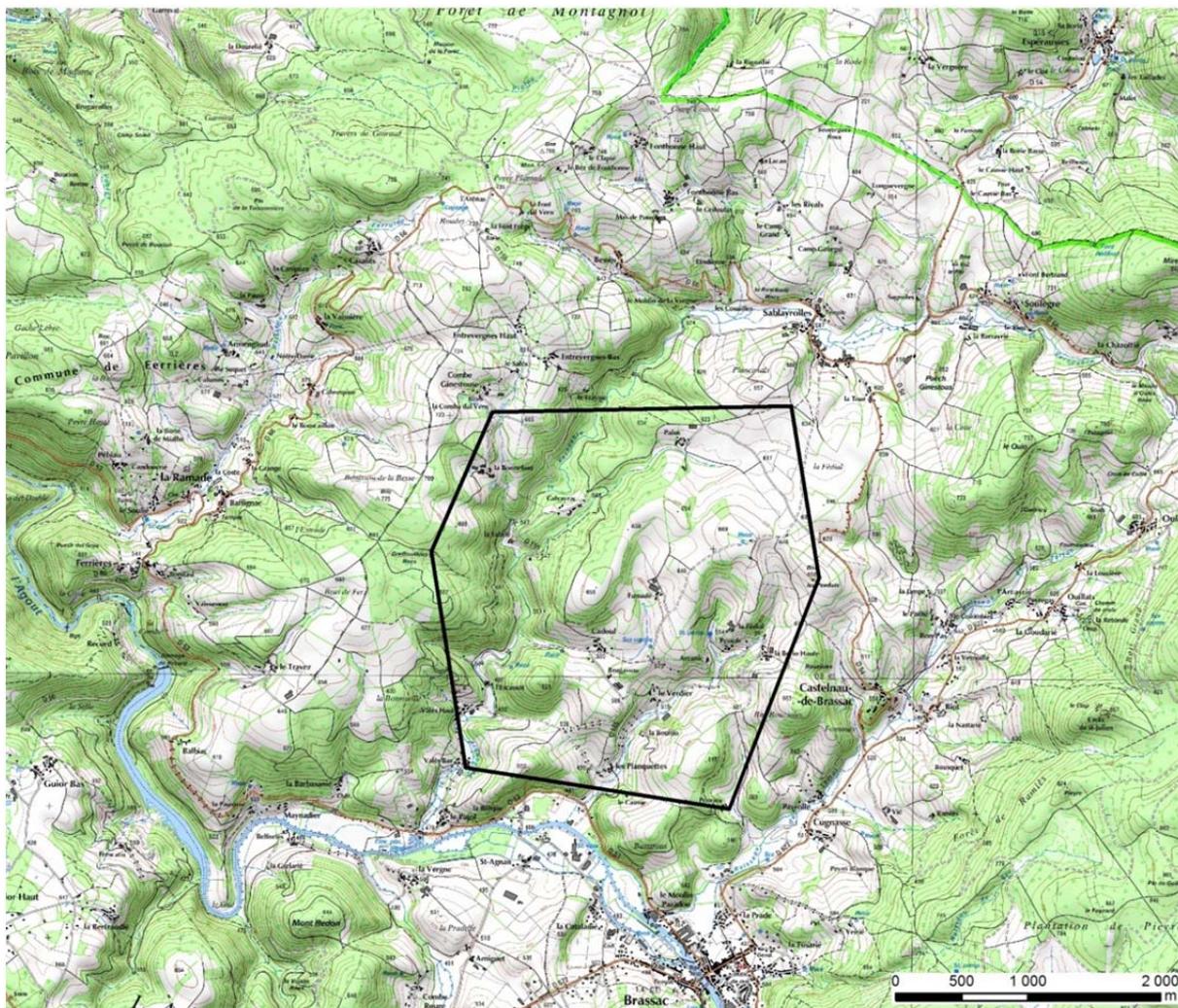


Figure 8 : Périmètre de la concession de Cadoul sur le fond topographique au 1/25 000 (IGN).

### 3.3. BILAN DES DONNÉES DISPONIBLES SUR LE SECTEUR ET SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

Entre 1968 et 1985, les travaux d’exploration menés par le BRGM puis par la SNEA(P) ont permis d’acquérir un lot de données sur le secteur (couverture géochimique, cartographie géologique, campagnes de géophysique, tranchées, coupes interprétatives, etc.).

92 sondages, totalisant un métrage cumulé de près de 20 000 m, ont été réalisés (Tableau 1).

Cible	Nombre de sondages	Métrage cumulé
<b>Fumade profond</b>	64	14 348,2 m
<i>dont BRGM</i>	15	1 245,3 m
<i>dont SNEA(P)</i>	49	13 102,9 m
<b>La Fédial</b>	16	5 066 m
<b>Fumade superficiel</b>	12	353,7 m
<b>TOTAL</b>	<b>92</b>	<b>19 768,0 m</b>

Tableau 1 : Bilan des sondages réalisés sur le prospect de Fumade entre 1968 et 1985.

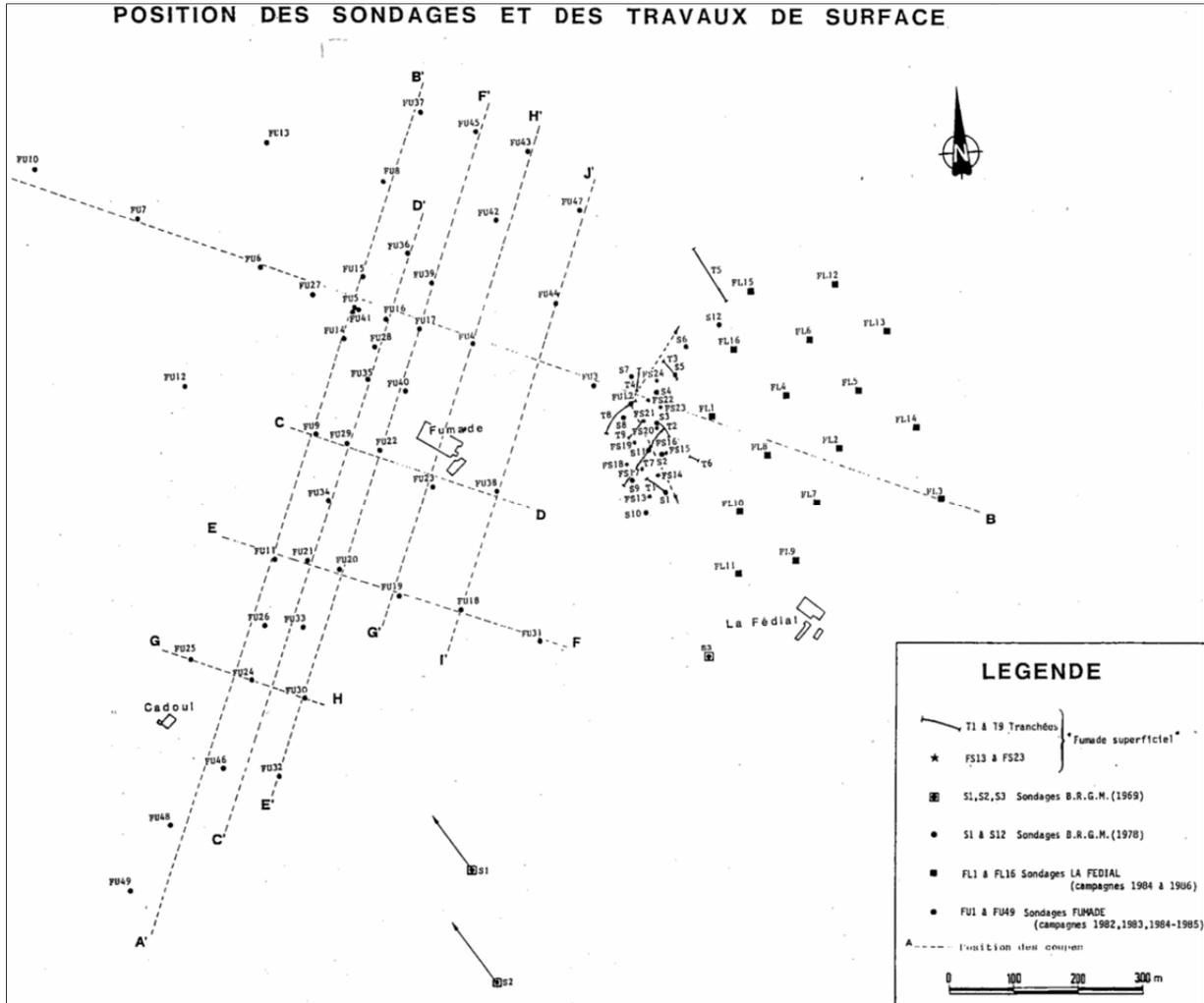


Figure 9 : Localisation des sondages et des travaux de surfaces sur les cibles de Fumade profond (ouest), La Fédial (est) et Fumade superficiel (centre) (Couilloud, 1988).

À la fin de ces travaux d'exploration, une pré-étude économique a conduit à une évaluation de « réserves possibles » sur les structures profondes de Fumade et de La Fédial de **1,3 Mt à 1,1 % WO<sub>3</sub>** (estimation SNEA(P), 1,0 Mt à 1,0 % WO<sub>3</sub> selon l'estimation BRGM) avec une teneur de coupure (ou cut-off) de 0,55 % WO<sub>3</sub> et une ouverture minimale de 2 m. Ces « réserves possibles » se répartissent de la manière suivante (Safa *et al.*, 1987) :

- **716 000 t à 1,01 % WO<sub>3</sub>** sur Fumade sens strict (profondeur 0-200 m) ;
- **570 000 t à 1,19 % WO<sub>3</sub>** sur La Fédial (profondeur 200-300 m).

À ces « réserves » profondes, s'ajoute le potentiel de la cible superficielle (« sables dolomitiques ») pour laquelle **360 000 t à 0,43 % WO<sub>3</sub>**, prenables en exploitation à ciel ouvert, ont été délimitées (Deschamps *et al.*, 2002).

Il est néanmoins important de souligner que la zone tungstifère de Fumade n'a été que **partiellement reconnue** par les travaux du BRGM et de la SNEA(P). Les campagnes de sondages ont permis de mettre en évidence des gîtes profonds dont les résultats de la couverture géochimique ne laissaient pas présager de l'existence, le niveau sus-jacent de schistes noirs faisant écran aux anomalies de fuites. La continuité des niveaux minéralisés déjà

identifiés, ainsi que leur extension éventuelle vers le nord et vers le sud ne peuvent être confirmées que par des travaux miniers (Prouhet, 1987).

À la différence du skarn à scheelite de Coat-an-Noz (22), également mis en évidence dans le cadre de l'Inventaire et qui présente des « réserves possibles » comparables (1,1 t à 1,0 %  $WO_3$  et 0,3 % Cu) (Deschamps *et al.*, 2002), le minerai de Fumade ne présente pas de fluorine, un pénalisant lors du traitement minéralurgique. La granulométrie de la scheelite de Fumade est également plus grossière, ce qui rend sa concentration plus aisée (Prouhet, 1987). Les rares sulfures présents dans les faciès minéralisés pourront, de plus, être facilement éliminés par flottation (Bouteloup et Dumas, 1985).

## 4. Valorisation des données historiques

### 4.1. INVENTAIRE SUCCINCT DES DONNÉES DISPONIBLES

La recherche documentaire menée au lancement de cette étude et poursuivie au cours de l'année a abouti à la constitution d'un volume de données important sur le secteur de Fumade. Bien que non exhaustif (il manque notamment les résultats des trois tranchées exécutées par la SNEA(P) en 1985), le jeu de données centralisé a été satisfaisant pour la réalisation de l'étude.

Les principales références suivantes ont été consultées (liste non exhaustive, se référer à la bibliographie pour les références complètes). Quand elles présentaient un intérêt majeur, elles ont été numérisées :

- **Bibliothèque centrale du BRGM** (Orléans) : Béziat, 1979 ; Béziat *et al.*, 1990 ; Couilloud, 1988 ; Michard, 1990 ; Tessier, 1989 ;
- **Bibliothèque « Ressources minérales » du BRGM** (en cours de migration vers la bibliothèque centrale en 2013) : Bros et Garnaud, 1985 ; Mirabail et Safa, 1985 ; Prouhet, 1987 ; Safa *et al.*, 1987 ; Safa et Reverdy, 1985. Plusieurs annexes étaient manquantes, mais elles ont été retrouvées par ailleurs (BRGM Midi-Pyrénées) ;
- **Archives du BRGM Midi-Pyrénées** (Ramonville, 31) :
  - Boîte 244 : 11-Fumade (1) : L'anomalie Tungstène de Fumade, Synthèse des résultats, Prospects, Plans, Géochimie, Situation et géologie, Tranchées, Campagne de sondages synthèse des résultats, Sondages (S1 à S12), Historique de la recherche minière, Parcours UV,
  - Boîte 245 : 11-Fumade (3) : Tranchées, Travaux miniers, Plan de position de travaux, Perspectives du prospect de Fumade à la fin des travaux, Etat du prospect à l'issue de la campagne de sondages,
  - Boîte 246 : 11-Fumade (2) : Perspectives économiques du gisement de tungstène, Demande d'aide financière de plan métaux pour la réalisation d'un programme de travaux, Résultats analytiques, Plans, Cartes, Coupes, Sondages ;
- **Banques de données du Sous-Sol** (BSS) :
  - les identifiants BSS des sondages réalisés dans le secteur sont présentés dans le tableau en Annexe 2,
  - les manquements ou anomalies observés dans la BSS ont été signalés à l'équipe BSS du BRGM afin qu'ils soient rectifiés.

Les données primordiales nécessaires à la présente étude, comme les logs lithologiques des sondages, les résultats des analyses géochimiques, des coupes interprétatives ou encore des rapports de synthèse des différentes phases des travaux ont ainsi été compilés et centralisés.

En outre, les caisses de cinq sondages réalisés sur Fumade ont été stockées dans la géothèque de référence sur le site du BRGM à Orléans (Lebret *et al.*, 2008). En raison des travaux de déménagement en cours, elles n'ont cependant pas pu être consultées dans le cadre de cette étude. Il s'agit des sondages suivants :

- **Cible de Fumade** : sondages positifs FU4, FU5 et FU15, sondages négatif FU15 (plusieurs recoupes de skarns lités (type I) et massifs (type II) stériles) ;
- **Cible de Fumade superficiel** : FS19 (positif).

## 4.2. ÉLABORATION DU SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

Un système d'information géographique (SIG) dans le système de coordonnées RGF 93-Lambert 93 a été élaboré sur ArcGIS. Il permet de regrouper les données numériques existantes (telles que les orthophotographies de l'IGN ou encore les cartes géologiques vectorisées au 1/50 000 et au 1/250 000) et de valoriser les nombreux documents papiers issus des archives du BRGM et de la SNEA(P).

Plusieurs couches de base déjà disponibles au format numérique et géoréférencées ont été intégrées :

- **Modèle numérique de terrain** (BDTOPO\_IGN\_2010\_MNT\_25, avec une résolution de 25 m). Il permettra de créer la surface topographique 3D ;
- **Cartes topographiques** de l'IGN au 1/25 000 (SC25\_TOPO\_0650\_6290\_L93 et SC25\_TOPO\_0660\_6290\_L93) ;
- **Orthophotographies** de l'IGN datées de 2010 (81-2010-0650-6290-LA93, 81-2010-0655-6280-LA93, 81-2010-0655-6285-LA93, 81-2010-0655-6290-LA93, 81-2010-0660-6280-LA93, 81-2010-0660-6285-LA93, 81-2010-0660-6290-LA93, 81-2010-0665-6280-LA93, 81-2010-0665-6285-LA93 et 81-2010-0665-6290-LA93) ;
- **Cartes géologiques** vectorisées au 1/50 000 (feuilles de Castres (986) et de Lacaune (987)) et 1/250 000 (feuille de Montpellier) ;
- Classes d'entités des **Mines, gisements et indices miniers** du SIG national (Cassard *et al.*, 2012).

Diverses couches ArcGIS© (fichiers de forme ou shapefiles) ont été créées à partir des documents papiers compilés :

- **Position des têtes de sondages** (table\_sondages\_rgf93)

Si les coordonnées de certains sondages (notamment les plus récents) sont données sur leur log lithologique, aucun tableau de synthèse présentant la localisation de toutes les têtes de sondage n'a été trouvé.

Les points de sondages ont donc été digitalisés à partir du plan en annexe de la note de Prouhet (1987), plan le plus précis (échelle 1/2 000) du jeu de données, préalablement numérisé et géoréférencé. Les points de sondages manquants (S2\_S9 et série des sondages rotatifs FS13-24) ont été ensuite digitalisés à partir de la carte de synthèse extraite de la thèse de Couilloud (1988), préalablement numérisée et géoréférencée (Figure 10).

- **Position des tranchées** (table\_tranchees\_rgf93)

Le tracé des neuf tranchées réalisées (six par le BRGM en 1978 et trois par la SNEA(P) en 1985) a été digitalisé suivant le même procédé que précédemment à partir de la carte de synthèse au 1/2 000 de la note de Prouhet, 1987 (Figure 10).

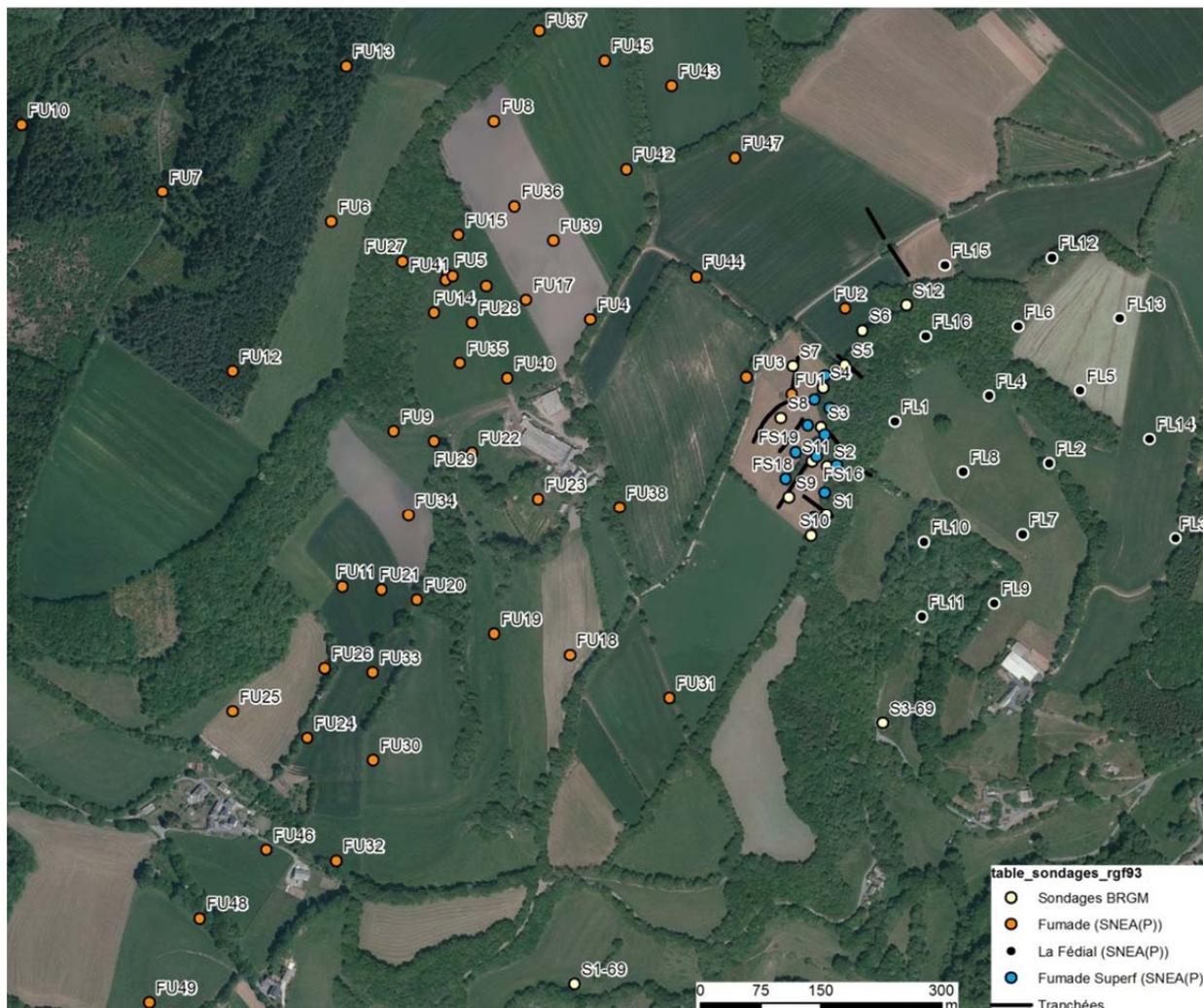


Figure 10 : Position des têtes de sondages et tracés des tranchées digitalisés à partir des cartes de Prouhet, 1987 et de Couilloud, 1988, sur le fond orthophotographique du secteur.

- **Carte géologique détaillée (carte\_geol\_secteur\_89)**

Une zone d'étude de 5 km x 5 km (emprise\_etude\_fumade) centrée sur la cible de Fumade Superficiel a été définie. Cette emprise chevauche cependant deux cartes géologiques au 1/50 000 : Castres (Ouest, n° 986) et Lacaune (Est, n° 987). Elles sont vectorisées mais non harmonisées, laissant apparaître d'importantes discontinuités à leur bordure.

La carte de synthèse issue de la thèse de Tessier (1989, d'après Dubertrand 1983) au 1/35 000 a donc été géoréférencée sous ArcGIS, puis digitalisée (Figure 11). Cette carte présente l'avantage de couvrir l'ensemble de la zone d'étude et d'utiliser les mêmes codes cartographiques que les codes lithologiques utilisés dans les logs de sondages. La distinction cartographique entre les faciès d'alternances du k2b<sub>1-2</sub> (ACA et ACS) n'est cependant pas faite.

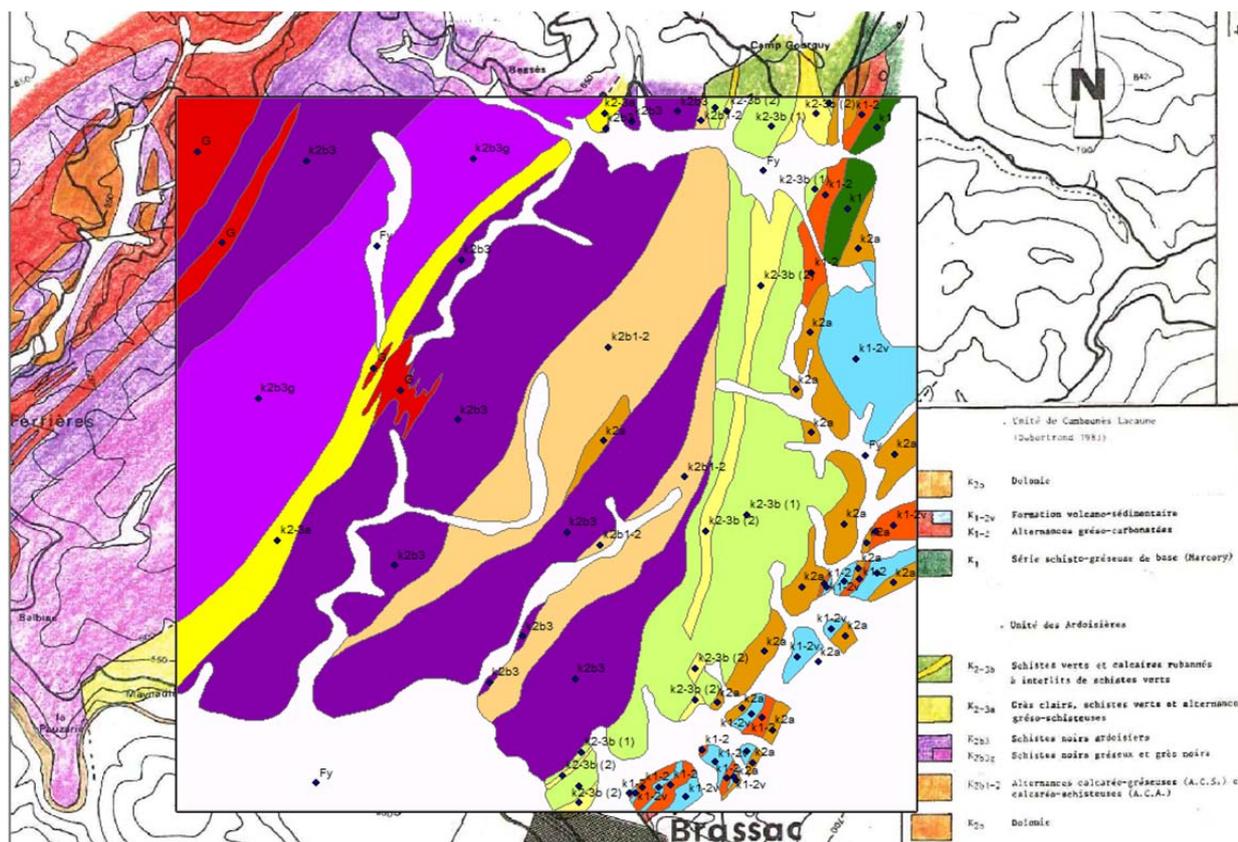


Figure 11 : Superposition de la carte géologique du secteur digitalisée et de la carte numérisée de Tessier, 1989.

- **Plans de failles observés en surface (plans\_failles)**

La zone d'étude est affectée par des failles tardi-hercyniennes de directions N030-N040 et N120-N130. La couche plans\_failles du SIG a été définie en compilant plusieurs sources :

- failles issues des cartes au 1/50 000 de Castres et Lacaune (fichiers ArcGIS©) ;
- cartes de Safa et Reverdy (1985), de Tessier (1989) et de Couilloud (1988).

Aucune indication de cinématique n'est cependant donnée, elles seront donc déduites des coupes interprétatives.

- **Isohypses du toit du granite (isohypses\_toit\_gran)**

Dans leur rapport synthétisant les résultats de la campagne d'exploration de la SNEA(P) de 1984, Safa et Reverdy (1985) ont traduit les résultats de la gravimétrie par une carte d'isohypses du toit du granite franc au 1/2500.

Ces isohypses ont été digitalisés et seront utilisés pour modéliser en 3D le toit de l'intrusion aplo-granitique.

- **Délimitation des zones minéralisées**

Le rapport de Safa et Reverdy(1985) faisant le bilan du prospect à la fin des travaux de 1984 présente en annexes les plans de répartition des minéralisations sur les trois niveaux porteurs identifiés sur la cible de Fumade profond. Ces trois niveaux sont :

- **niveau supérieur** : calcaires du toit des ACA inférieures ;
- **niveau médian** : calcaires médians des ACA inférieures ;
- **niveau inférieur** : calcaires du mur des ACA inférieures.

Pour chaque plan représentant chaque niveau, deux fichiers de formes sont créés afin de représenter :

- les isohypses/lignes de niveau qui permettront de représenter en 3D ces niveaux ;
- l'extension latérale de chaque niveau, en faisant la distinction entre des zones à bonnes teneurs, des zones reconnues sans teneurs et des zones potentielles à tester.

Ces données seront particulièrement utiles à la modélisation 3D des niveaux minéralisés sur Fumade profond, bien que la qualification économique des zones sera réévaluée.

### 4.3. CRÉATION DE LA BASE DE DONNÉES DES SONDAGES

Outre les informations de surfaces compilées à partir des cartes dans la section précédente, les données extraites des sondages sont une source primordiale d'information. Les différentes informations qui peuvent en être extraites sont stockées dans une base de données (Access©) qui est directement connectée au logiciel de modélisation 3D Surpac© utilisé dans le cadre de cette étude.

Cette base de données présente donc le double avantage de :

- **stocker** dans un format numérique facilement manipulable et exportable les données des sondages ;
- permettre l'**affichage en 3D** de toutes ces informations dans Surpac© afin de réaliser une modélisation 3D du secteur et une réévaluation des ressources.

Cette base de données, nommée `fumade_database`, comporte huit tables (Figure 12) :

Table Name	Fields
collar	hole_id (PK), x, y, z, max_depth, hole_path, cible
survey	hole_id (PK), depth, azimuth, dip
lithologie	hole_id (PK), depth_from, depth_to, code_litho, description, samp_id
skarns_miner	hole_id (PK), depth_from, depth_to, skarn_type, source, samp_id
analyses	hole_id (PK), samp_id, depth_from, depth_to, wo3_%, pb_%, ag_g_t
analyses_tranchees	sampid (PK), tranchee, x, y, z, wo3_%, longueur_ech
translation	code (PK), description, field_name, num_equiv, table_name
styles	code (PK), field_name, from_value, graphics_colou, graphics_patte, line_colour, line_style

Figure 12 : Structure des huit tables de la base de données des sondages du prospect.

- **Collar** : position (x, y, z) de la tête de chaque sondage et profondeur maximale atteinte ;

Afin de définir l'élévation (coordonnée z) de chaque tête de sondage avec précision. Les points représentant ces sondages ont été projetés sur la surface topographique du secteur modélisé sur Surpac© à partir du MNT au 25 m (Figure 13).

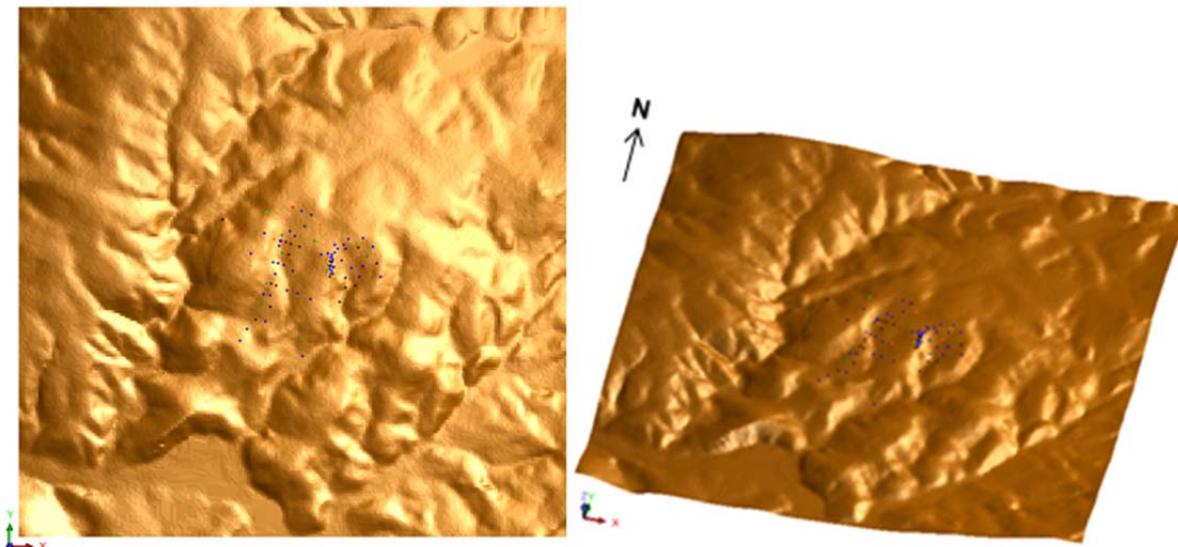


Figure 13 : Projection des points de têtes de sondages sur la surface topographique, afin d'en extraire la coordonnée z (élévation) (vue d'avion à gauche et vue oblique à droite).

- **Survey** : orientation (azimuth et plongement) du sondage et déviation éventuelle ;

Les sondages réalisés sont tous verticaux, néanmoins ils peuvent dévier en profondeur s'ils rencontrent des formations plus compétentes ou des plans de failles. Les mesures de déviation réalisées sur les sondages de la campagne SNEA(P) de 1984 (FL1-16 et FU32-38) grâce à un appareil Tropari sont reportées par Safa et Reverdy, 1985. Les autres sondages sont considérés par défaut entièrement verticaux (azimuth N360°, plongement de 90°).

- **Lithologie** : faciès lithologiques rencontrés en sondage, passe par passe (from – to) ;

Les logs lithologiques présentés dans les rapports du BRGM, de la SNEA(P) et dans la BSS ont été saisis manuellement dans un tableur avant d'être importés dans la base de données. Les passes inférieures à 5 m de puissance n'ont pas été individualisées.

Les codes lithologiques suivants ont été utilisés :

- SN : Schistes noirs à nodules phosphatés (k2b3) ;
- ACA : Alternances calcaréo-argileuses (k2b1-2) ;
- ACS : Alternances calcaréo-silteuses (k2b1-2) ;
- ACAS : Alternances calcaréo argileuses et silteuses (k2b1-2 indifférencié) (rare) ;
- DOL : Dolomie massive grise (k2a) ;
- SKR : Skarns ;
- APL : Aplite ;
- GRA : Granite à deux micas et quartz globulaire ;
- ND : Non défini (passes non récupérées) ;
- FAI : Filons de quartz ou brèches de faille.

	ACA
	ACAS
	ACS
	APL
	DOL
	FAI
	GRA
	ND
	SKR
	SN

Les codes lithologiques ont ainsi été actualisés et harmonisés sur l'ensemble des sondages. Après affichage dans Surpac®, les logs lithologiques ont été vérifiés et éventuellement modifiés à l'aide des coupes interprétatives.

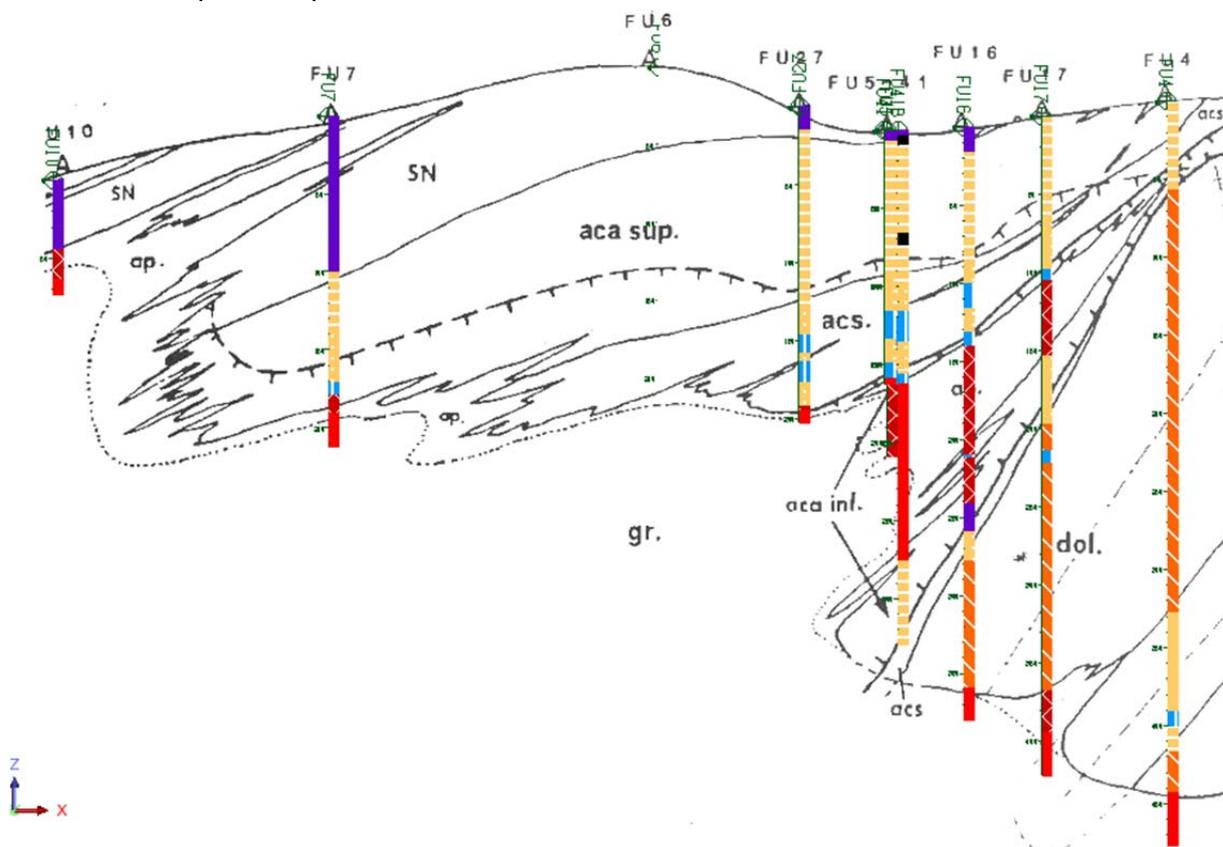


Figure 14 : Vérification dans Surpac® de logs lithologiques sur Fumade profonds à l'aide de la coupe AB (WNW-ESE) de Couilloud, 1988.

Une importante **hétérogénéité dans le logging géologique** a néanmoins été constatée, menant à des interprétations différentes sur les coupes géologiques. Par exemple sur le sondage FL2 (La Fédial), les 44,2 premiers mètres ont été décrits comme des « pelites ou siltites altérées grises à verdâtres : schistes noirs ? ». Elles ont été interprétées comme ACA dans les coupes de Tessier (1989) et comme des schistes noirs dans les coupes de Couilloud (1988) et de Safa et *al.* (1987).

- **Skarns\_miner** : identification et qualification des skarns minéralisés en scheelite ;

Les occurrences notables de skarns minéralisés, c'est-à-dire de puissance au moins décamétrique avec une abondance de scheelite au moins « ++ » ont été saisies dans cette table. Ces niveaux peuvent se superposer à des faciès lithologiques individualisés comme « skarn, SKR » dans la table « lithologie », ou se présenter ponctuellement dans les faciès d'alternances (ACA ou ACS).

La nature du skarn minéralisé a également été saisie (« skarn\_type ») : fissural ou stratiforme, sans faire la distinction parmi ces derniers entre les types I et les types II.

- **Analyses** : résultats des analyses géochimiques sur les sondages (% WO<sub>3</sub>, ainsi que % Pb et Ag (g/t) sur le sondage FU35 ;

- **Analyses tranches** : résultats des analyses géochimiques (%  $WO_3$ ) sur les six tranches du BRGM ; les résultats des trois tranches tracées par la SNEA(P) en 1985 n'étant pas connus ;
- **Translation et styles** sont des tables nécessaires à l'affichage des données dans le logiciel de modélisation 3D.

Ainsi, les données compilées, mises en forme et harmonisées contiennent les informations de surface (couches du SIG) et de profondeur (base de données des sondages) nécessaires à la modélisation 3D du secteur qui conduira à une nouvelle estimation des ressources en tungstène du secteur.

## 5. Modélisation 3D de la zone de Fumade

### 5.1. MODÉLISATION DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES

Dans un premier temps, la carte géologique vectorisée du secteur au 1/35 000 (shapefile, voir 4.2) a été importée dans Surpac© et drapée sur la surface topographique issue du MNT à 25 m. Une représentation 3D de la géologie de surface est ainsi obtenue. Cette couche représentera le toit du modèle.

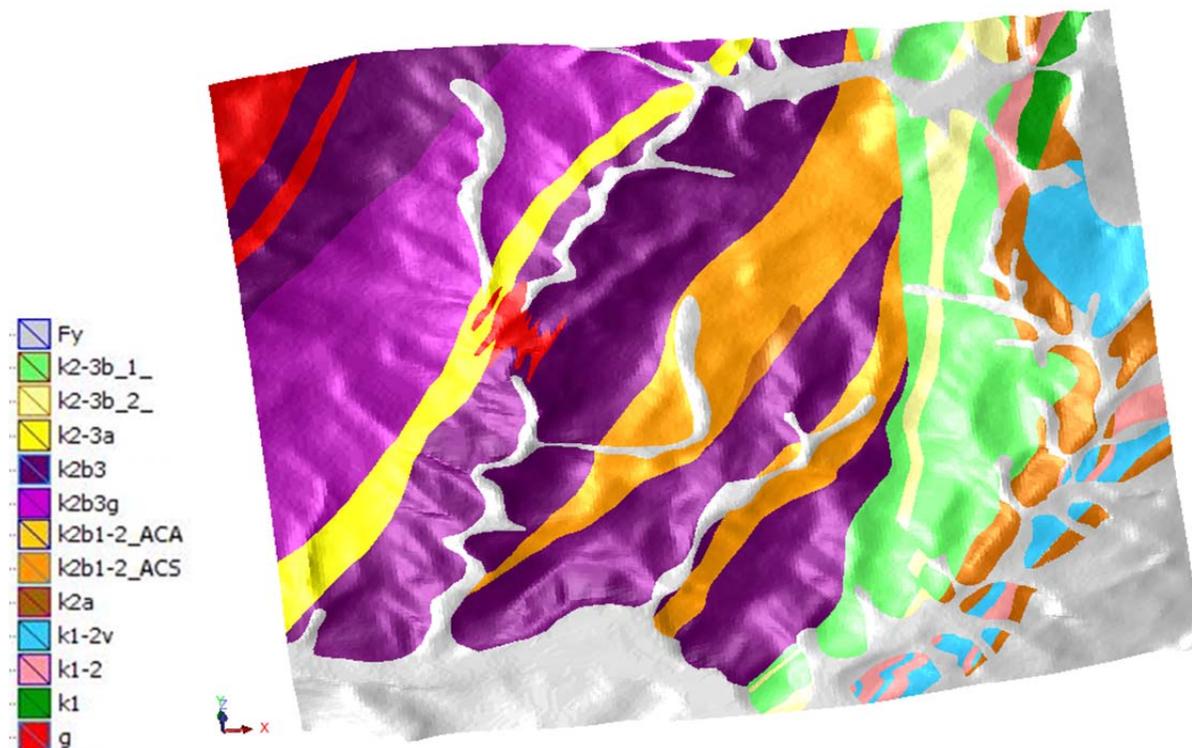


Figure 15 : Modélisation 3D de la géologie de surface (y indique le nord, x indique l'est, 5 km x 5 km).

Afin de modéliser le toit des formations rencontrées en sondages, c'est-à-dire l'intrusif (complexe aplo-granitique, sans distinction des faciès), les dolomies massives (DOL), les alternances calcaréo-silteuses (ACS), les alternances calcaréo-argileuses (ACA) et les schistes noirs (SN), ainsi que les plans de failles, seize coupes interprétatives issues des travaux de Couilloud (1988), Tessier (1989) et Safa et Reverdy (1985) ont été importées (Tableau 2).

Si la cible de Fumade profond est étudiée par un nombre important de coupes, seules cinq coupes (dont trois quasiment superposées) sont proposées sur La Fédial (Figure 16). Cela s'explique par la complexité géologique de la zone, fortement déformée et faillée, rendant les corrélations entre sondages difficiles. Le degré de connaissance est également largement moindre puisque seulement seize sondages y ont été effectués (contre 62 sur Fumade sens strict). **La modélisation géologique 3D sur La Fédial sera donc plus incertaine que sur Fumade.**

De plus, au regard de la complexité de ces coupes, il a été choisi de ne pas utiliser les isohypses du toit du granite franc (Safa et Reverdy, 1985). Si la position du talus granitique y est clairement mise en évidence, les nombreuses lames aptitiques injectées dans la série sédimentaire à l'origine de la minéralisation n'y sont pas représentées.

Coupe	Orientation	Source	Sondages pris en compte
<b>A-B</b>	WNW-ESE	Couilloud, 1988	17 (FU1,3,4,5,6,7,10,16,17,22,23,27,41 ; FL1,2,3,6)
<b>C-D</b>	WNW-ESE	Couilloud, 1988	5 (FU9,22,23,29,38)
<b>E-F</b>	WNW-ESE	Couilloud, 1988	6 (FU11,18,19,20,21,31)
<b>G-H</b>	WNW-ESE	Couilloud, 1988	3 (FU24,25,30)
<b>A'-B' (A2B2)</b>	SSW-NNE	Couilloud, 1988	13 (FU5,8,9,11,14,15,24,26,37,41,46,48,49)
<b>C'-D' (C2D2)</b>	SSW-NNE	Couilloud, 1988	12 (FU16,21,24,28,29,30,32,33,34,35,36,46)
<b>E'-F' (E2F2)</b>	SSW-NNE	Couilloud, 1988	8 (FU17,20,22,30,32,39,40,45)
<b>G'-H' (G2H2)</b>	SSW-NNE	Couilloud, 1988	5 (FU4,19,23,42,43)
<b>I'-J' (I2J2)</b>	SSW-NNE	Couilloud, 1988	6 (FU3,4,18,38,44,47)
<b>1</b>	WNW-ESE	Tessier, 1989	10 (FU1,3,4,5,6,16,17,27,41,41B)
<b>2</b>	WNW-ESE	Tessier, 1989	6 (FU1,3 ; FL1,2,3,8)
<b>3</b>	NW-SE	Tessier, 1989	4 (FU28,38,40,41)
<b>4</b>	SSW-NNE	Tessier, 1989	6 (FU16,28,29,34,35,36)
<b>A-B</b>	WNW-ESE	Tessier, 1989	14 (FU1,3,4,6,7,10,16,17,27,41B ; FL1,3,7,8)
<b>NW-SE</b>	NW-SE	Safa & Reverdy, 1985	5 (FL3,5,6,14,15)
<b>X = 1 800</b>	SSW-NNE	Safa & Reverdy, 1985	5 (FL2,5,7,9,13)

Tableau 2 : Coupes interprétatives utilisées pour la modélisation 3D du secteur.

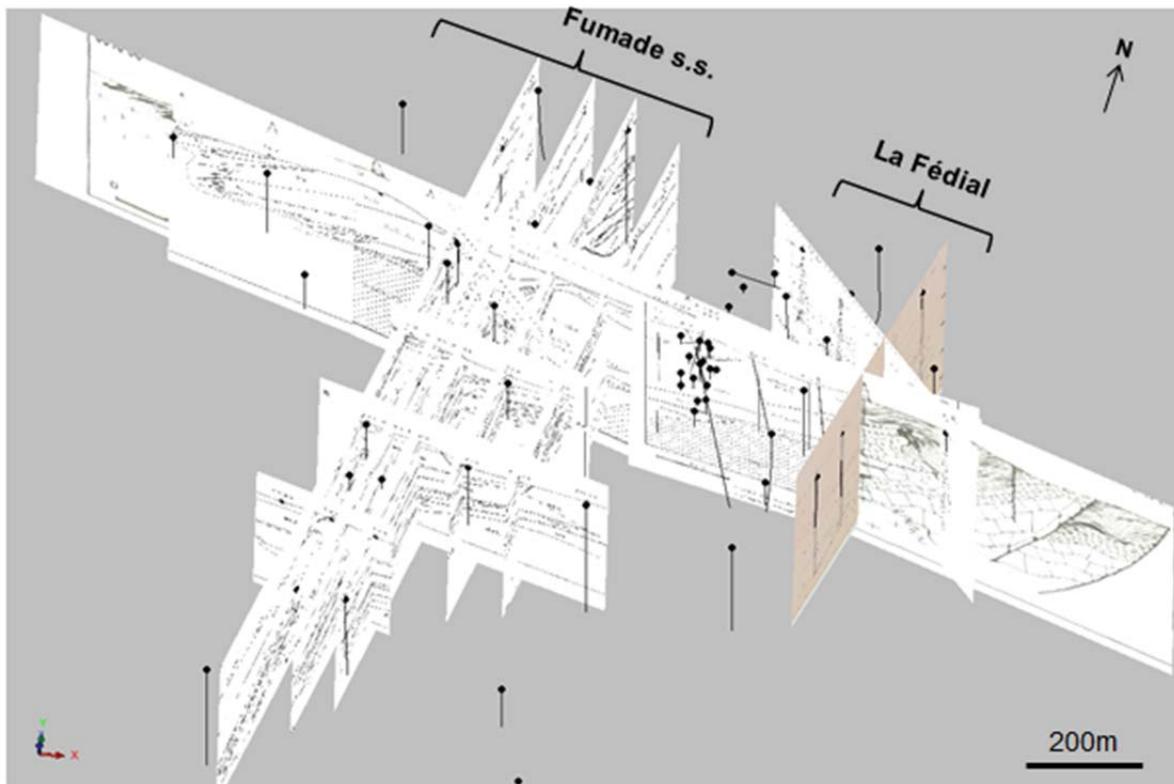


Figure 16 : Affichage des seize coupes utilisées pour la modélisation 3D.

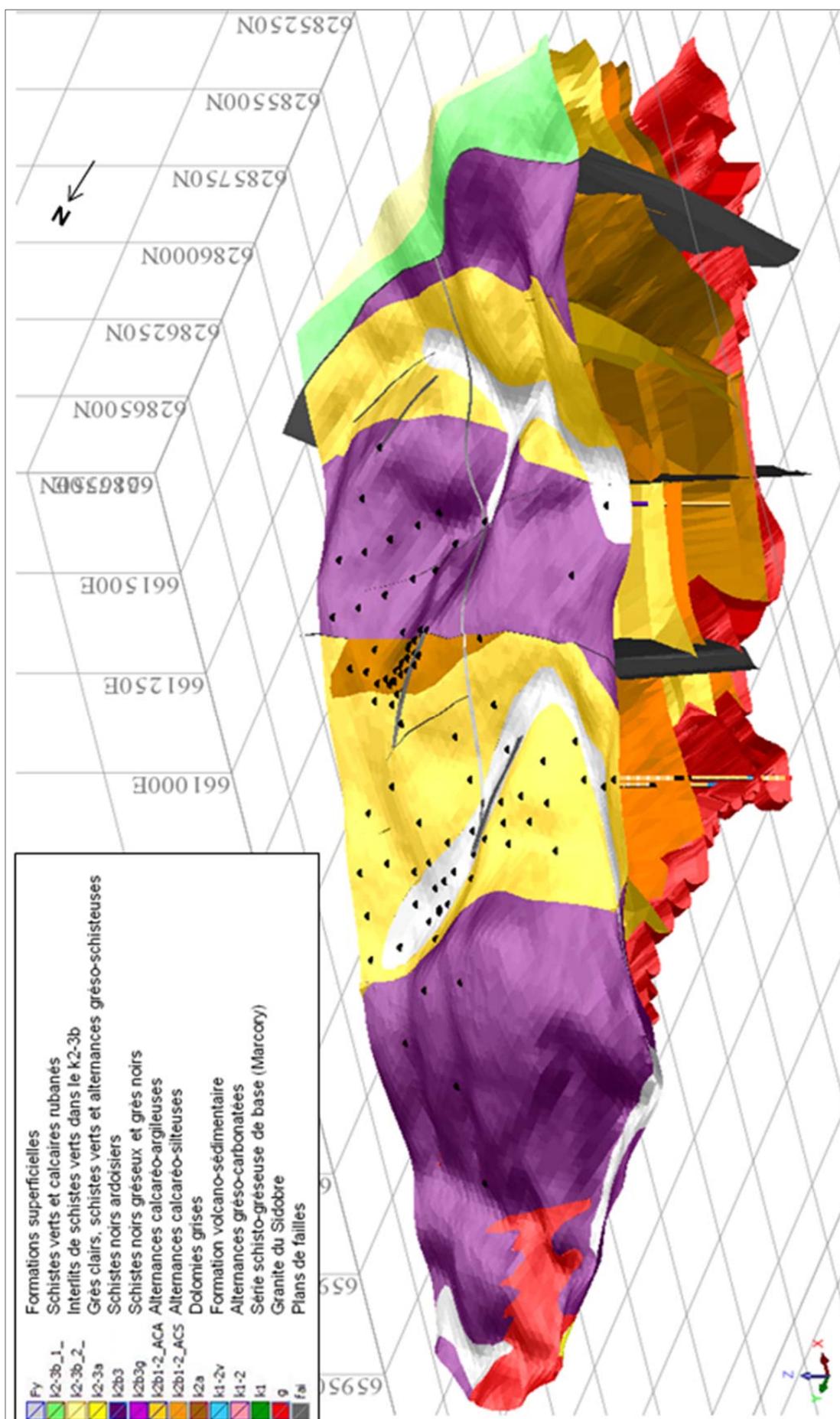


Figure 17 : Modèle géologique 3D du prospect de Fumade (grille 250 x 250 x 250 m).

À l'aide de ces coupes, les surfaces représentant les toits des formations géologiques sont créées. Elles sont extrapolées latéralement suivant la direction approximative nord-sud (N020) afin de tenir compte de la structuration générale du secteur. Néanmoins, ces tracés demeurent hautement hypothétiques lorsque l'on s'éloigne des sondages, tout particulièrement dans la partie sud-est du modèle qui n'est reconnue par aucun sondage.

Après réajustements de ces surfaces, pour éviter notamment que deux niveaux se recourent, un premier modèle préliminaire 3D peut être proposé sur le prospect (Figure 17). Il pourrait grandement être amélioré, mais la géométrie des secteurs investigués est respectée.

## 5.2. MODÉLISATION DES NIVEAUX MINÉRALISÉS

### 5.2.1. Définition des niveaux minéralisés sur Fumade profond

À la fin la campagne d'exploration de 1984, Safa et Reverdy (1985) ont défini trois niveaux porteurs de la minéralisation à scheelite sur la cible principale de Fumade profond :

- **niveau supérieur** : calcaires du toit des ACA inférieures ;
- **niveau médian** : calcaires médians des ACA inférieures ;
- **niveau inférieur** : calcaires du mur des ACA inférieures.

Ces niveaux ont été importés dans Surpac© et réajustés, afin de tenir compte des résultats de la campagne de 1985 (douze sondages supplémentaires sur la cible) et des contraintes géométriques imposées par le modèle géologique 3D.

C'est le niveau supérieur qui se développe généralement avec la puissance maximale, tandis que le niveau médian est moins développé. Il est cependant primordial de rappeler qu'étant donnée la complexité de la cible et le degré de reconnaissance du gisement (maille grossière de 100 m (NNE-SSW) par 50 m (WNW-ESE)), la **continuité de la minéralisation** demeure une interrogation majeure qui pourrait seulement être levée par des investigations complémentaires (travaux miniers notamment, comme proposés par Bros et Garnaud en 1985).

**Deux niveaux minéralisés supplémentaires** ont également été mis en évidence et modélisés dans les ACS surmontant les ACA inférieures (niveaux supplémentaires 1 et 2).

Cinq enveloppes minéralisées d'une extension maximale de 1 200 m (NNE-SSW) ont ainsi été modélisées sur Fumade profond (Figure 18).

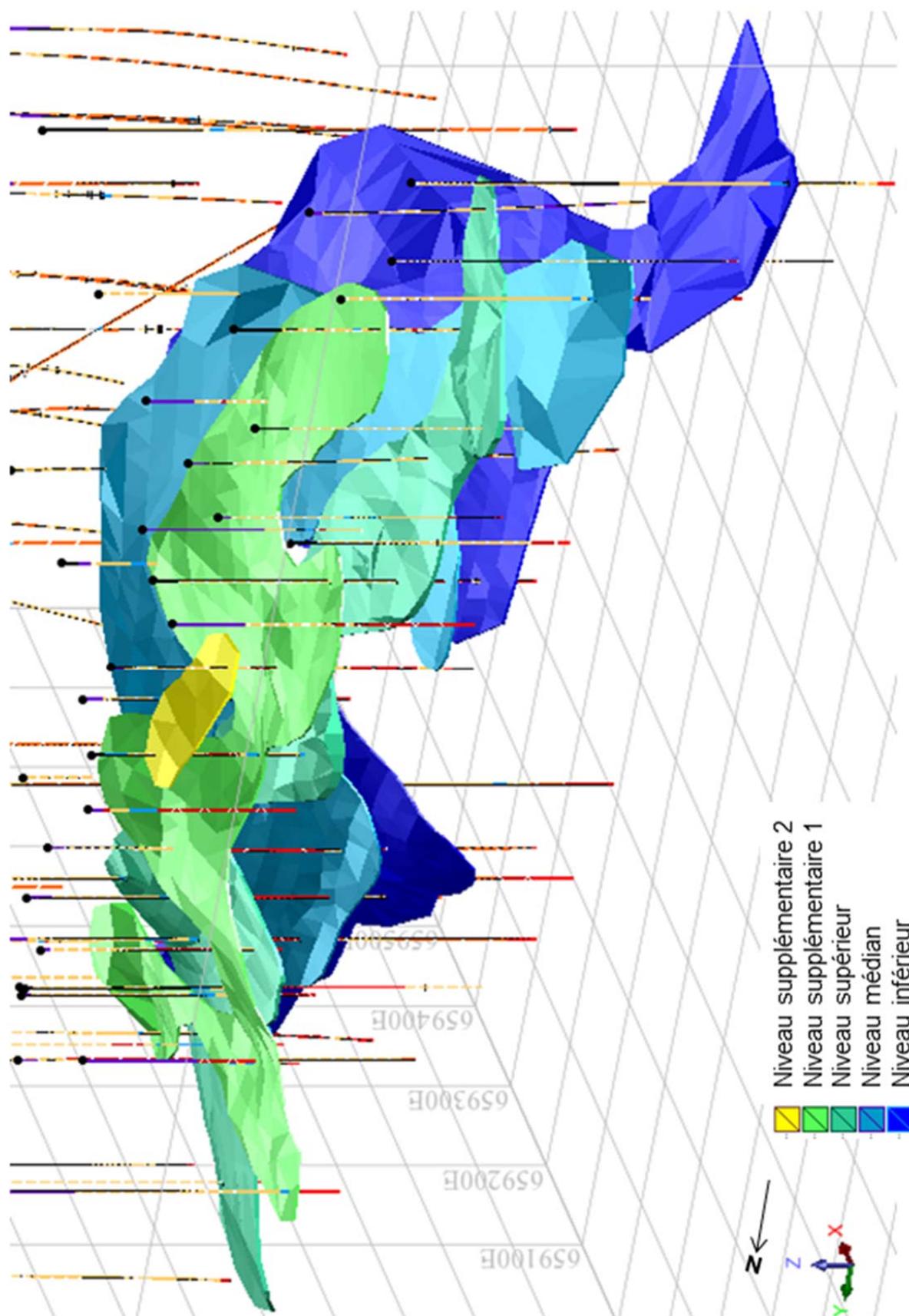


Figure 18 : Cinq niveaux minéralisés sur Fumade sens strict (trois niveaux principaux et deux petits niveaux additionnels, plus superficiels), vue vers le nord-est, grille 100 x 100 x 50 m.

### 5.2.2. Définition des niveaux minéralisés sur La Fédial

En raison de la morphologie complexe de la zone de La Fédial, il n'est pas raisonnablement possible en l'état actuel des connaissances de définir des niveaux minéralisés d'extension comparable à celle des niveaux de Fumade.

Les skarns minéralisés sur La Fédial sont généralement plus profonds que ceux rencontrés sur Fumade, notamment du fait de la puissance importante des schistes noirs (jusqu'à 150 m). Ils se situent dans une zone entre 200 et 250 m de profondeur.

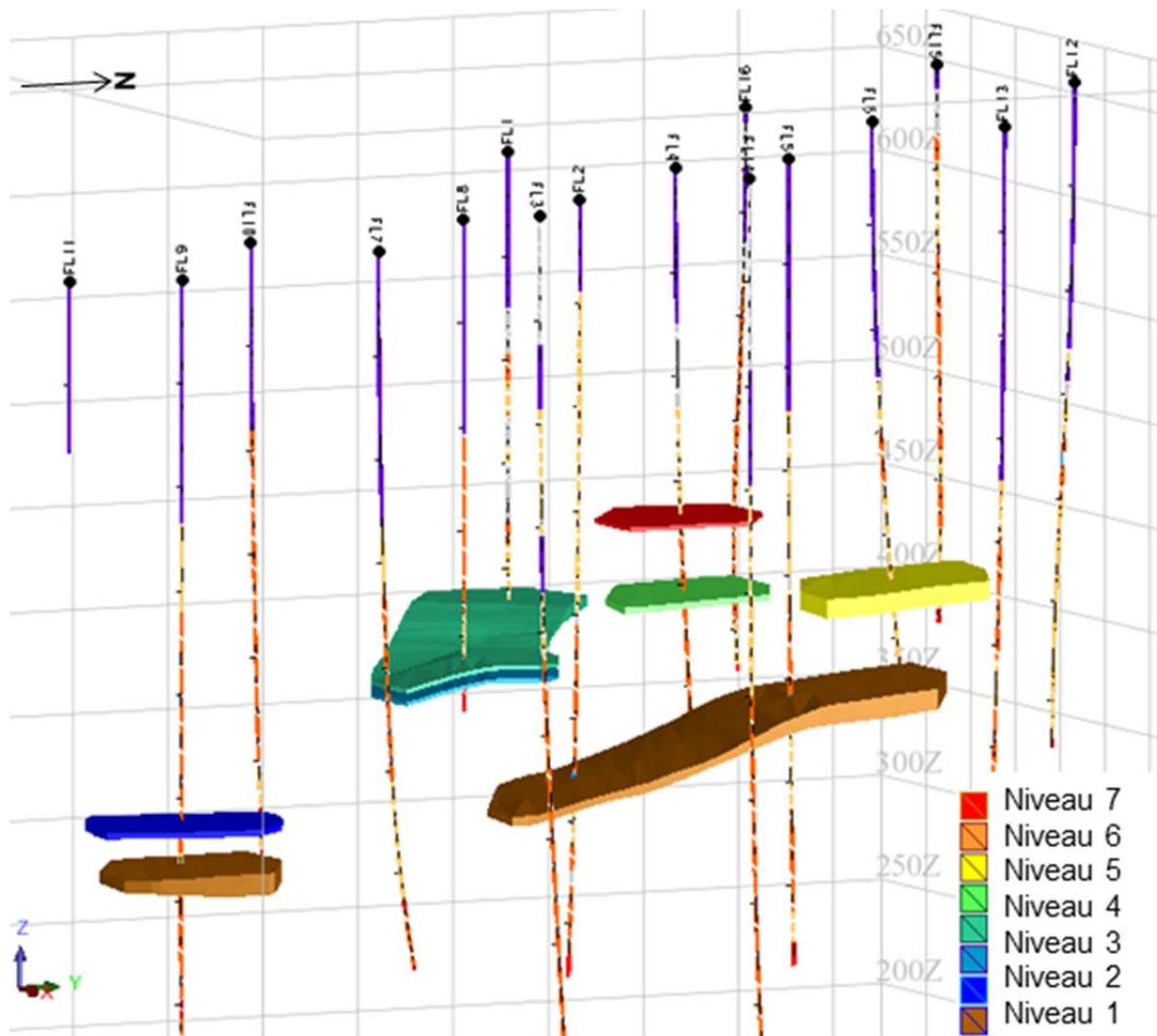


Figure 19 : Sept « niveaux » minéralisés prospectifs sur La Fédial (grille 50 x 50 x 50 m).

Sept « niveaux » prospectifs, dont cinq d'entre-eux correspondent à des recoupes dans un seul sondage, ont été identifiés (Figure 19). Ces intersections prospectives sont définies pour une puissance minéralisée minimale de 2 m (ou d'1,5 m si de très bonnes teneurs laissent présager de dépasser la teneur de coupure par dilution à une ouverture de 2 m). Ces niveaux sont :

- **niveau 1** : toit des ACA inférieures, dans un niveau de skarn au contact des dolomies. Il est recoupé par les sondages positifs FL2, FL5 et FL9. Ce niveau est cependant discontinu puisqu'il

n'a pas été reconnu dans le sondage FL7, dans l'alignement des sondages précédents. Il a donc été subdivisé en deux sous-niveaux (FL9 d'un côté, FL2 et FL5 de l'autre) ;

- **niveau 2** : skarn fissural encaissé dans les dolomies recoupé dans le FL9 uniquement ;
- **niveau 3** : skarn stratiforme dans les ACA au contact du talus, reconnu dans le FL8 ;
- **niveau 4** : Skarn stratiforme encaissé dans les ACA à environ 6 m du talus, recoupé dans le FL8 et le FL1 ;
- **niveau 5** : skarn fissural encaissé dans les dolomies recoupé dans le FL5 ;
- **niveau 6** : skarn stratiforme encaissé dans les ACS reconnu dans le FL6 ;
- **niveau 7** : skarn fissural au contact entre les dolomies et les ACS recoupé dans le FL4.

### 5.2.3. Définition des recoupes minéralisées sur Fumade superficiel

Peu de données sont disponibles sur Fumade superficiel en comparaison avec les autres cibles. Il présente une variété importante de skarns minéralisés de nature différente : stratiforme (bréchifié ou non), fissural ou les deux, dans les ACA superficielles et ponctuellement dans les dolomies (FS15, FS23). Les « sables dolomitiques » décrits par Béziat (1979) sur cette cible correspondent au développement de skarns fissuraux dans les faciès très altérés de dolomie de surface.

Nom de la recoupe minéralisée	Sondage et recoupe minéralisée	Puissance minéralisée
1	FS13 (9,03 à 13,03m)	4,27 m
2	FS14 (6,20 à 9,14 m)	2,94 m
3	FS14 (0 à 4,90 m)	4,90m
4	FS17 (22 à 34,9 m)	12,90 m
5	FS17 (0 à 10,05 m)	10,05 m
6	FS18 (24,15 à 26,6 m)	2,45 m
7	FS18 (20,4 à 23,0 m)	2,60 m
8	FS18 (2,1 à 5,8 m)	4,70 m
9	FS15 (4,75 m à 17,95 m)	13,2 m
10	FS16 (1,1 à 23,75 m)	22,65 m
11	FS19 (24,15 à 26,5 m)	2,35 m
12	FS19 (0 à 21,1 m)	21,1 m
13	FS20 (31,4 à 34,7 m)	3,3 m
14	FS20 (0 à 29,1 m)	29,1 m
15	FS21 (35,1 à 39,3 m)	4,2 m
16	FS21 (18,85 à 22,0 m)	3,15 m
17	FS23 (26,65 à 32,95 m)	6,30 m
18	FS23 (13,4 à 25,0 m)	11,6 m
19	FS24 (27,15 à 30,25 m)	3,1 m

Tableau 3 : Recoupes minéralisées sur Fumade superficiel.

Dix-neuf recoupes minéralisées d'une puissance supérieure à 2 m ont été mises en évidence sur la cible (Tableau 3). Étant donné la difficulté à corréliser des niveaux de nature différente d'un sondage à l'autre, ces recoupes ont été modélisées pour représenter une zone d'influence de

15 m autour de chaque sondage (maille de sondages environ à 40 m x 40 m) (Figure 20). Ces modèles ne représentent bien sûr pas la réalité géologique mais sont de bons outils pour permettre d'avoir une estimation du potentiel de la cible.

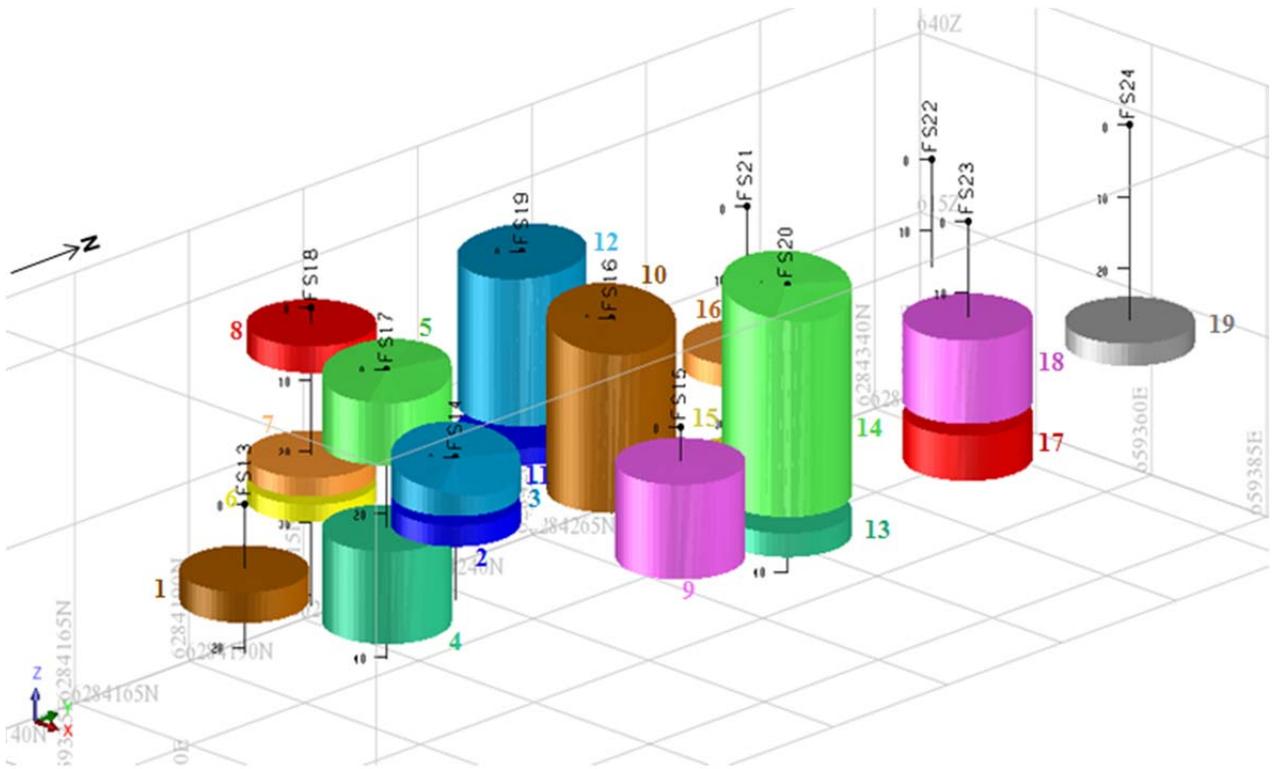


Figure 20 : Modélisation des 19 recoupes minéralisées sur Fumade superficiel (zone d'influence de 10 m autour de chaque sondage, grille 25 x 25 x 25 m).

## 6. Réévaluation des ressources sur le prospect

### 6.1. ESTIMATION HISTORIQUE DES RESSOURCES ET PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES

Les travaux menés sur le prospect de Fumade ont conduit à l'estimation de « réserves possibles » de **1,3 Mt à 1,01 % WO<sub>3</sub>** (SNEA(P)) sur les structures profondes, se répartissant entre :

- 716 000 t à 1,01 % WO<sub>3</sub> sur Fumade ss (profondeur 0-200 m) ;
- 570 000 t à 1,19 % WO<sub>3</sub> sur La Fédial (profondeur 200-300 m).

Ces ressources profondes ont été définies coupe par coupe (méthode de polygones) en prenant comme paramètres une puissance minimale du niveau minéralisé de 2 m, une teneur de coupure (cut-off) de **0,55 % WO<sub>3</sub>** et une densité *in situ* du minerai de 3,0. Les sondages étaient jugés représentatifs sur une aire s'étendant sur 50 m en nord-sud et 25 m en est-ouest sous réserve d'être contigüe à d'autres sondages minéralisés au moins aux teneurs retenues.

Des ressources additionnelles sur la cible superficielle ont été estimées à 360 000 t à 0,43 % WO<sub>3</sub>, prenables en carrière.

Avec ces « réserves possibles », **le gisement de Fumade présentait un couple tonnage-teneur qui le plaçait dans l'enveloppe de ceux des mines en activité à cette période**, bien que dans sa partie basse. À la fin 1985, le prospect apparaissait pénalisé par sa profondeur (0 à 300 m) mais favorisé par sa teneur et sa minéralogie grossière dénuée de fluorine, favorables aux traitements minéralurgiques (Bouteloup et Dumas, 1985).

### 6.2. RÉÉVALUATION DES RESSOURCES SUR LE PROSPECT

#### 6.2.1. Actualisation des paramètres économiques

Une recherche a été menée sur des projets d'exploration comparables à Fumade (skarns à scheelite) actuellement en cours d'exploration, de développement ou d'exploitation, afin d'en analyser les critères économiques choisis pour l'estimation de leurs ressources. L'étude de ces différents sujets (listés dans Audion et Labbé, 2012) a permis de mettre en évidence la grande comparabilité de ces paramètres économiques (teneur de coupure notamment).

Trois exemples rapides en contexte européen peuvent être présentés :

- **Los Santos** (Almonty Industries, Espagne) : ce projet, en cours d'exploration avancée, possède des ressources (indiquées + mesurées) de 3,037 Mt à à 0,30 % WO<sub>3</sub> avec une teneur de coupure de 0,05 % WO<sub>3</sub> dans la partie superficielle envisagée en exploitation à ciel ouvert. Dans la partie plus profonde valorisable en souterrain, le cut-off est fixé à 0,3 % WO<sub>3</sub> (rapport NI 43-101, 30/09/2012) ([www.almonty.com](http://www.almonty.com)) ;
- **Tabuaço** (Colt Resources, Portugal) : les travaux d'exploration ont démontré des ressources indiquées de 1,495 Mt à à 0,55 % WO<sub>3</sub> à une teneur de coupure de 0,3 % WO<sub>3</sub> pour une exploitation envisagée en souterrain (NI 43-101, octobre 2012) ([www.coltresources.com](http://www.coltresources.com)) ;

- **Régua** (W Resources, Portugal) : des ressources (indiquées + inférées) de 4,46 Mt à à 0,308 % WO<sub>3</sub> ont été définies avec un cut-off de 0,10 % WO<sub>3</sub> (JORC). Le minerai est peu profond, permettant une exploitation à ciel ouvert ([www.wresources.co.uk](http://www.wresources.co.uk)).

À partir de ces résultats, les paramètres économiques actualisés appliqués lors de la réévaluation de Fumade seront :

- teneur de coupure fixée à :
  - **0,30 % WO<sub>3</sub>** pour les ressources profondes dont la valorisation serait, en première approche, envisagée en souterrain (Fumade sens strict et La Fédial),
  - **0,10 % WO<sub>3</sub>** pour les ressources superficielles exploitables à ciel ouvert ;
- densité *in situ* : 3,0 (pas de données supplémentaires) ;
- ouverture minimale de 2,0 m.

Fin 2013, le cours du tungstène sous forme d'APT (paratungstate d'ammonium, forme commune de commercialisation contenant généralement 65 % WO<sub>3</sub>) s'établissait autour de 400 US\$/mtu. La « mtu », ou « metric ton unit », de WO<sub>3</sub> est la quantité qui contient 10 kg de WO<sub>3</sub>, soit 7,931 kg de tungstène élémentaire (W) contenu. Ainsi, le tungstène sous forme métal s'établit actuellement autours de 50,4 US\$/kg (environ 37€/kg W).

### 6.2.2. Nouvelle estimation des ressources sur Fumade profond

Afin d'affiner le modèle 3D précédemment décrit en prenant en compte la variabilité locale des données (teneurs), le volume représentant les cinq niveaux minéralisé est découpé en un ensemble de blocs (20 x 20 x 0,20 m, éventuellement redécoupés automatiquement en sous-blocs de 10 x 10 x 0,10 m afin de représenter au plus juste la géométrie de la minéralisation).

Dans le modèle de blocs (block model, BM) ainsi créé, chaque bloc est décrit par un ensemble d'attributs qui sont soit définis par des contraintes géométriques (nature du matériel par exemple), soit calculés (estimation de la teneur en WO<sub>3</sub> par différentes méthodes géostatistiques). C'est à partir de ce block model que se fera la ré-estimation des ressources.

Les attributs définis pour le block model sur Fumade profond (0\_bm\_fumade\_profond.mdl) sont les suivants (la synthèse des caractéristiques du modèle est présentée en Annexe 3) :

- **Material** : définit la nature du matériau (skarn ou non skarn) en fonction de la position des blocs par rapport aux enveloppes des niveaux minéralisés. Afin de vérifier la bonne définition des paramètres du BM, les volumes de skarns minéralisés calculés à partir des enveloppes des modèles solides et à partir de ce BM sont comparés :
  - $V_{\text{skarn minéralisés à partir des enveloppes des modèles solides}} = 1\,282\,214\text{ m}^3$  ;
  - $V_{\text{skarn minéralisé à partir du BM}} = 1\,285\,32010\text{ m}^3$  (+ 0,2 %). Les niveaux de skarns apparaissent discontinus à partir de ce modèle du BM du fait de leur pendage localement important. Les volumes sont néanmoins tout à fait cohérents.
- **Densite** *in situ* du minerai fixée à 3,0 ;
- **Teneur\_wo3\_id2** : estimation de la teneur en WO<sub>3</sub> dans les niveaux minéralisés par la méthode de l'inverse de la distance au carré ;
- **Teneur\_wo3\_nn** : estimation de la teneur en WO<sub>3</sub> dans les niveaux minéralisés par la méthode du plus proche voisin (nearest neighbour) ;

- **Teneur\_wo3\_ok** (réel) : estimation de la teneur en  $WO_3$  dans les niveaux minéralisés par krigeage ordinaire ;
- **Teneur\_wo3\_moy\_meth** : moyenne, pour chaque bloc, de la teneur estimée par les trois méthodes géostatistiques ;
- **Ore\_cutoff\_0.3** : définition du minerai économique pour une teneur de coupure de 0,30 %  $WO_3$  ( $\text{teneur\_wo3\_moy\_meth} \geq 0,3 \text{ \% } WO_3$ ) ;
- **Niv\_miner** : définit le niveau porteur de la minéralisation économique auquel chaque bloc est attribué : « inférieur », « median », « supérieur », « suppl1 » ou « suppl2 ».

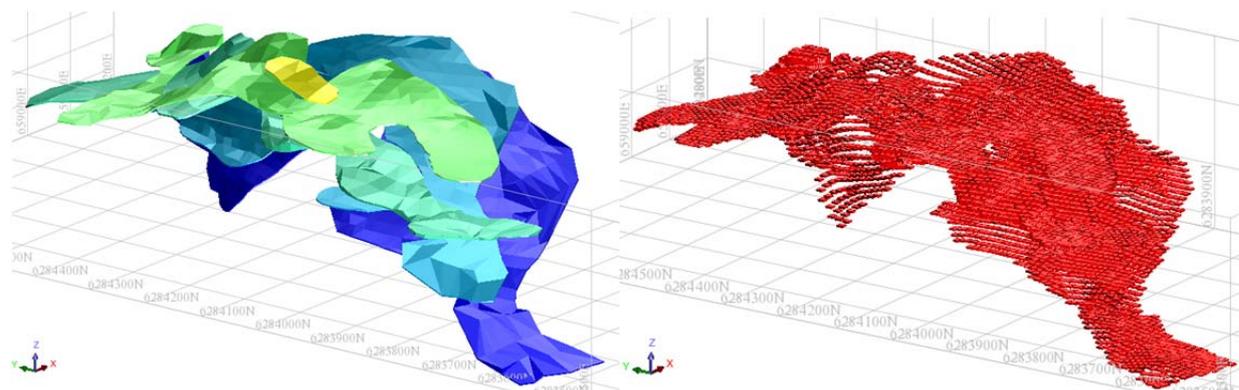


Figure 21 : Comparaison de la représentation des niveaux minéralisés de Fumade profond dans le modèle solide (gauche) et le modèle de blocs (droite) (x indique le nord, y indique l'est).

Afin d'estimer les teneurs en  $WO_3$  par les trois méthodes géostatistiques testées, un ellipsoïde de référence présentant les axes de continuité de la minéralisation (majeur, semi-majeur et mineur) a été défini (azimuth N192, dip  $23^\circ$  vers le nord-ouest, voir Annexe 4).

Avant de réaliser des estimations géostatistiques, un fichier composite incluant les résultats des analyses géochimiques (%  $WO_3$ ) est créé. Des échantillons composites tous les 20 cm, longueur correspondant à la passe minimale échantillonnée sur la cible, dans les niveaux minéralisés sont extraits.

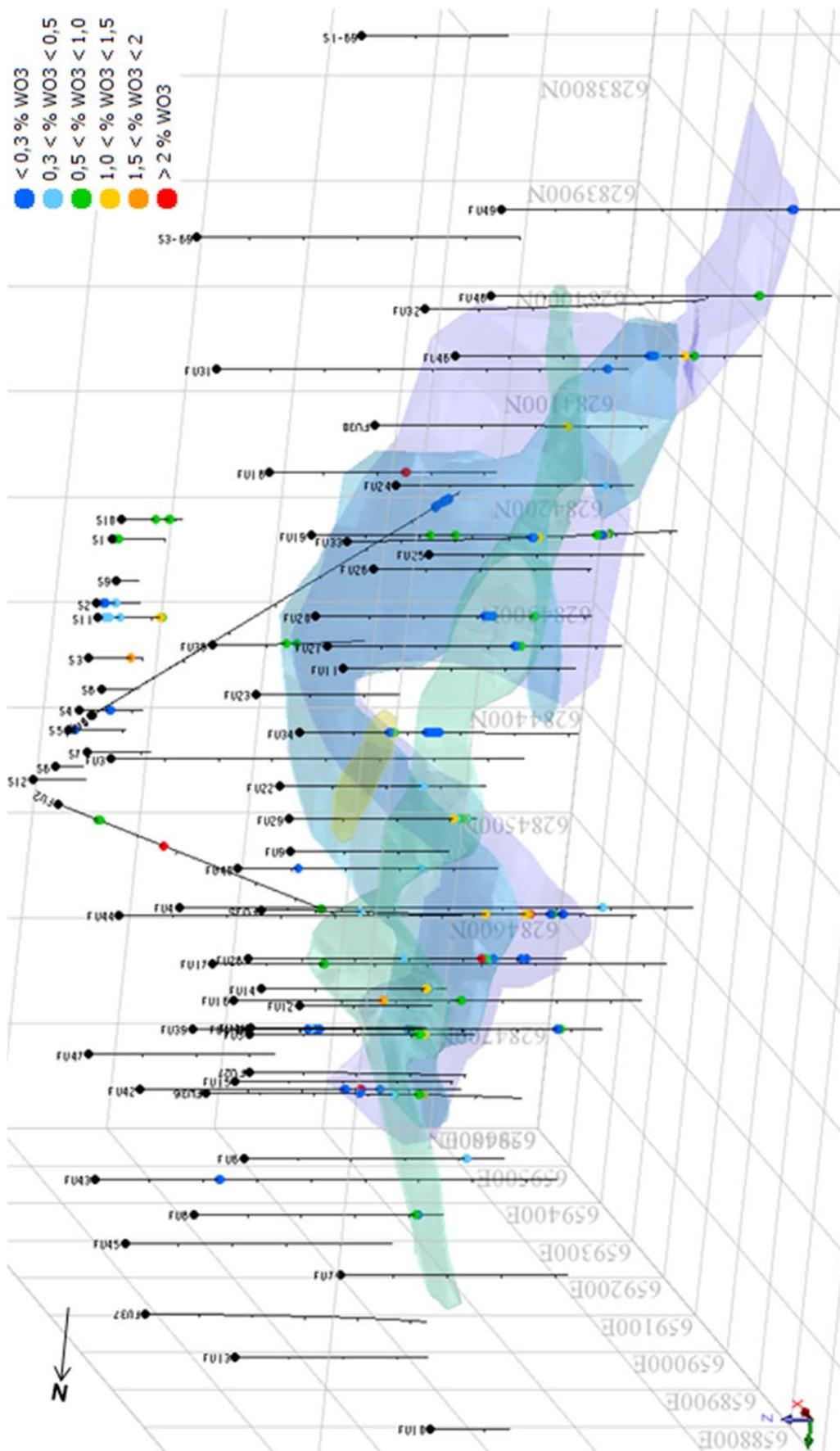


Figure 22 : Visualisation des échantillons composites sur Fumade profond, classés suivant la teneur en  $WO_3$  (grille 100 x 100 m).

Les 708 points du fichier composite présentent une moyenne de 0,55 %  $WO_3$  avec un écart-type de 0,51. L'historgramme des teneurs dans ce fichier composite présente une répartition relativement homogène (Figure 23).

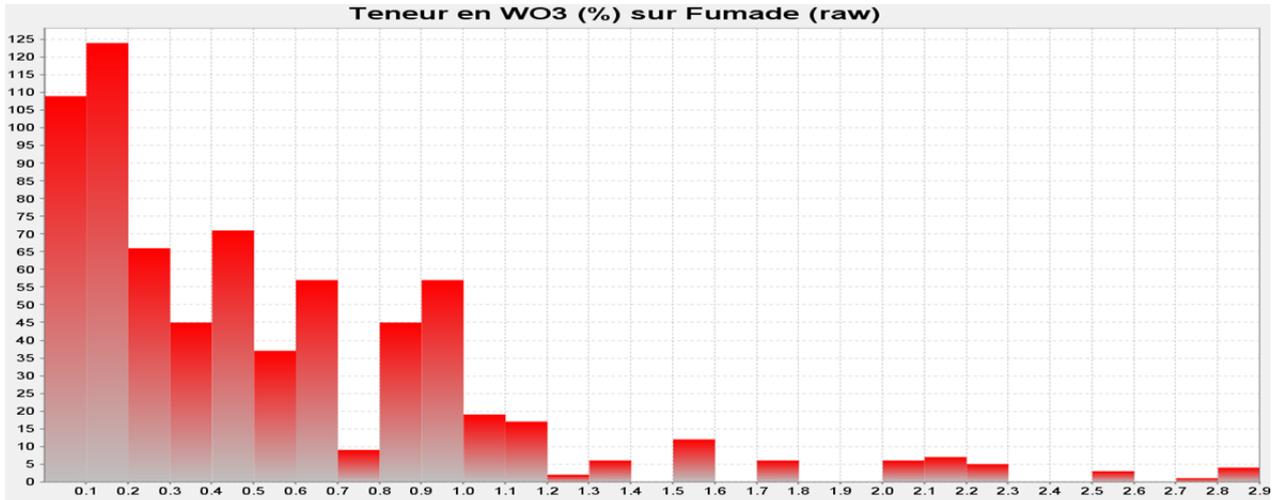


Figure 23 : Histogramme de répartition des teneurs en  $WO_3$  dans le fichier composite Fumade profond.

Un variogramme expérimental suivant les deux directions majeures de continuité est créé à partir du fichier composite (Figure 24). Le variogramme ainsi modélisé présente une portée de 35 m. Le degré actuel de connaissances de la cible, avec une reconnaissance à environ 100 m (NNE-SSW) par 50 m (WNW-ESE), est donc **insuffisant pour avoir une bonne représentation du comportement de la minéralisation** (continuité, variations de teneur).

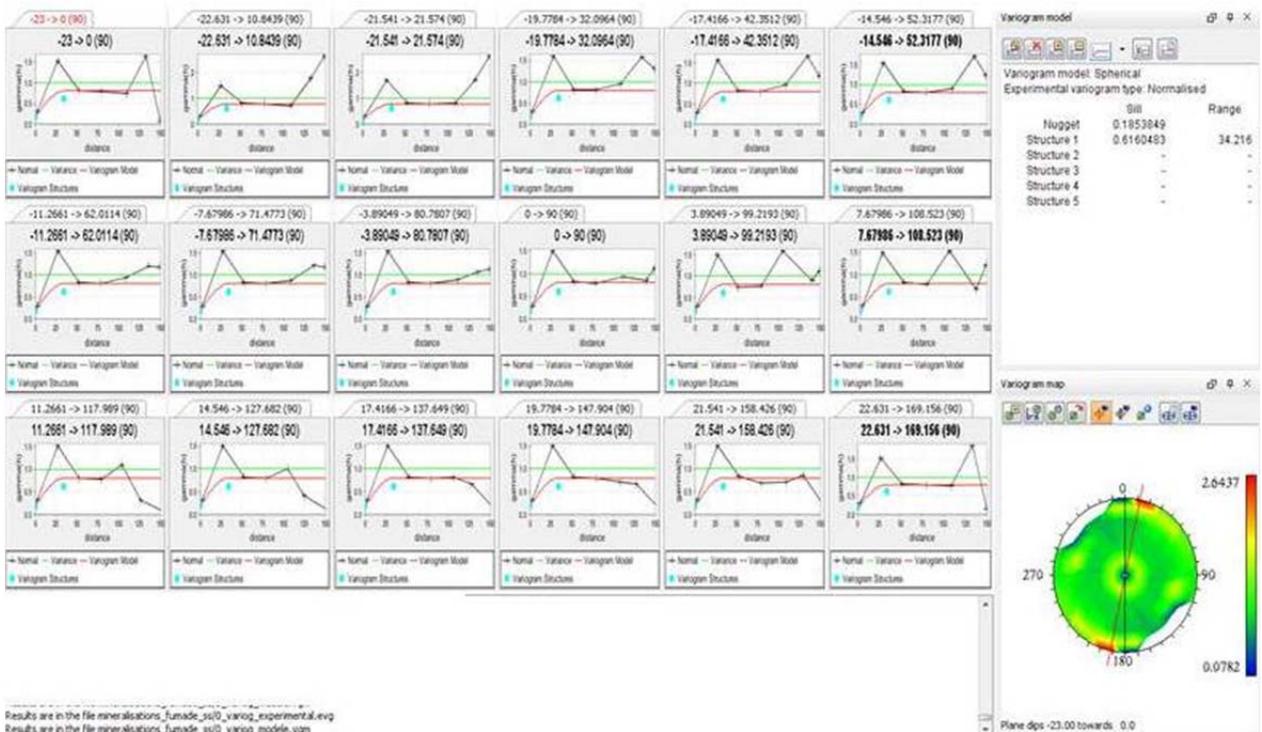


Figure 24 : Variogramme expérimental suivant la direction majeure de continuité (N192).

Les teneurs en  $WO_3$  ont ainsi pu être estimées dans le modèle de bloc de Fumade par trois méthodes géostatistiques : l'inverse du carré de la distance, le plus proche voisin et le krigeage ordinaire qui s'appuie sur les résultats du variogramme. Ces estimations ont été moyennées (teneur\_wo3\_moy\_meth) et utilisées pour définir l'enveloppe de la minéralisation économique avec une teneur de coupure de 0,30 %  $WO_3$  (Figure 25). La puissance de chaque niveau minéralisé « économique » a été extraite et les blocs présentant une puissance inférieure à 2 m ont été retirés de l'enveloppe économique.

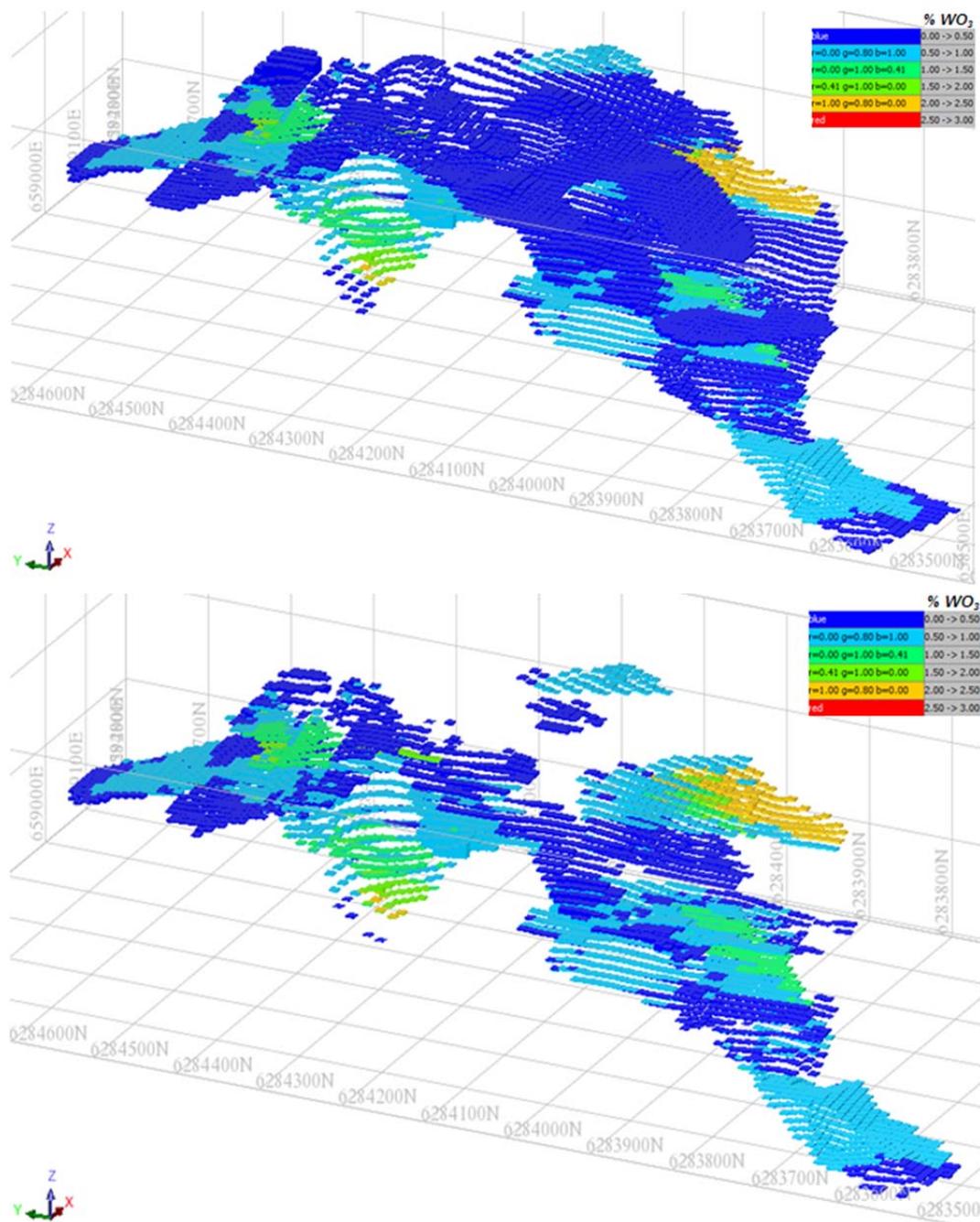


Figure 25 : Répartition de la teneur en  $WO_3$  (moyenne des méthodes géostatistiques) dans les niveaux de skarns de Fumade profond (haut) et identification de la minéralisation économique avec cut off de 0,30 %  $WO_3$  (bas) (y indique le nord, x indique l'est).

À partir de cette étude, une nouvelle estimation des ressources sur la cible de Fumade profonde peut être proposée en considérant une densité *in situ* de 3,0, une puissance minimale de 2 m et une teneur de coupure de 0,30 % WO<sub>3</sub> :

- à partir du BM : 2,306 Mt à 0,70 % WO<sub>3</sub> ;
- réajustement du tonnage pour rendre compte de l'écart entre le BM et le modèle solide (-0,2 %), soit des ressources réajustées estimées à **2,301 Mt à 0,70 % WO<sub>3</sub>**, ce qui représente **12,8 kt de tungstène métal contenu**.

Étant donné le degré de connaissance du gisement et les incertitudes soulevées au cours de l'étude et par le variogramme, ces ressources peuvent être qualifiées **d'inférées au regard des standards actuels de classification** (code australien JORC ou canadien NI 43-101). Des travaux supplémentaires (travaux miniers proposés par Bros et Garnaud, 1985 par exemple) apparaissent obligatoires pour la définition de ressources à des niveaux de confiance supérieurs (ressources indiquées et mesurées). Néanmoins, **le fort potentiel de la cible principale de Fumade a été réaffirmé** dans cette étude.

La réalisation d'une étude technico-économique préliminaire (scoping study), voire d'une étude de pré-faisabilité, est nécessaire à la définition de tous les paramètres économiques du projet (méthode d'exploitation et coût d'extraction du minerai, tests à grande échelle de minéralurgie pour valider un procédé de valorisation du minerai, charges diverses...) qui permettront de définir des réserves économiquement exploitables.

### 6.2.3. Nouvelle estimation des ressources sur La Fédial

Suivant la même méthodologie que précédemment, un modèle de blocs est créé sur les sept « niveaux » minéralisés de La Fédial. Les blocs ont pour dimension 20 x 20 x 0,20 m et sont éventuellement redécoupés automatiquement en sous-blocs de 10 x 10 x 0,10 m, afin de représenter au plus juste la géométrie de la minéralisation.

Mise à part l'estimation de la teneur en WO<sub>3</sub> par krigeage ordinaire qui n'a pas pu être réalisée sur cette cible en raison du nombre insuffisant de points pour modéliser un variogramme, ce block model (0\_bm\_la\_fedial.mdl) comporte les mêmes attributs que celui de Fumade profond. Les caractéristiques du BM sont détaillées en Annexe 5.

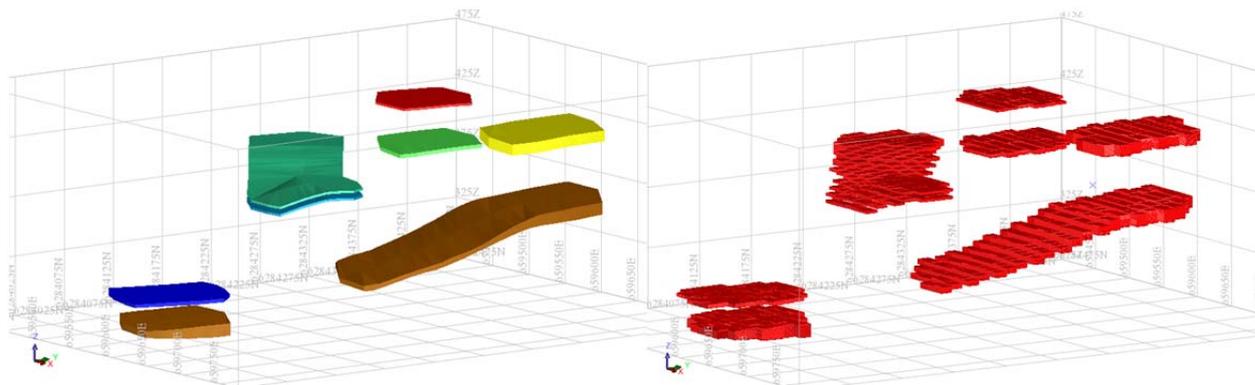


Figure 26 : Comparaison de la représentation des niveaux minéralisés de La Fédial dans le modèle solide (gauche) et le modèle de blocs (droite) (y indique le nord, x indique l'est).

L'ellipsoïde de référence sur La Fédial a été défini suivant un axe de continuité majeure N192 et une structure tabulaire par défaut (pendage nul). Les facteurs d'anisotropie entre les axes majeur, semi-majeur et mineur sont identiques à ceux de Fumade profond (voir Annexe 4).

Suivant la même méthode que précédemment, un fichier composite incluant les résultats des analyses géochimiques des sondages (% WO<sub>3</sub>) est créé (Figure 27).

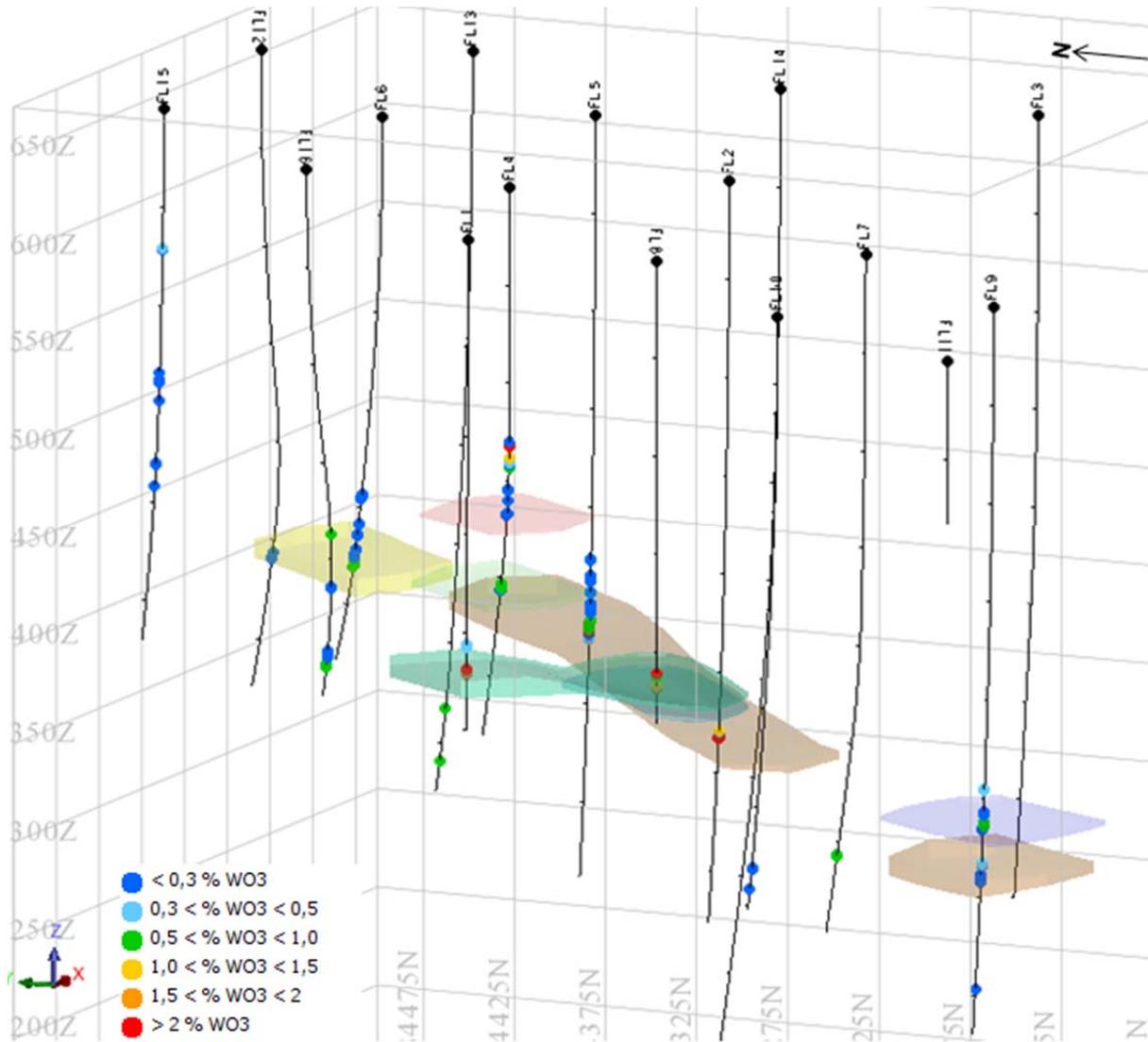


Figure 27 : Visualisation des échantillons composites sur La Fédial, classés suivant la teneur en WO<sub>3</sub> (grille 50 x 50 x 50 m).

Les teneurs des échantillons composites (moyenne de 0,68 % WO<sub>3</sub> avec un écart type de 1,15) apparaissent moins homogènes que sur la cible de Fumade profond, avec de nombreuses passes analysées à des teneurs non économiques à ce jour (< 0,30 % WO<sub>3</sub>) mais également des passes présentant des fortes, voire de très fortes teneurs (> 8,5 % WO<sub>3</sub>) (Figure 28).

Les teneurs en WO<sub>3</sub> ont ainsi été estimées dans le modèle de bloc de La Fédial par deux méthodes géostatistiques : l'inverse du carré de la distance et la méthode du plus proche voisin. Ces estimations ont été moyennées (teneur\_wo3\_moy\_meth) et utilisées pour définir l'enveloppe de la minéralisation économique avec une teneur de coupure de 0,30 % WO<sub>3</sub> (Figure 29).

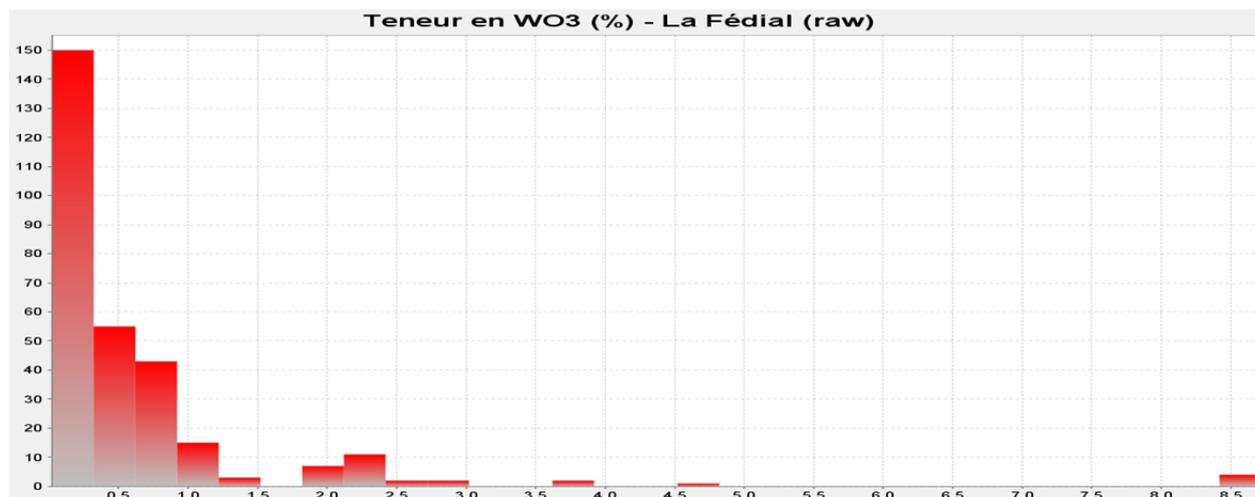
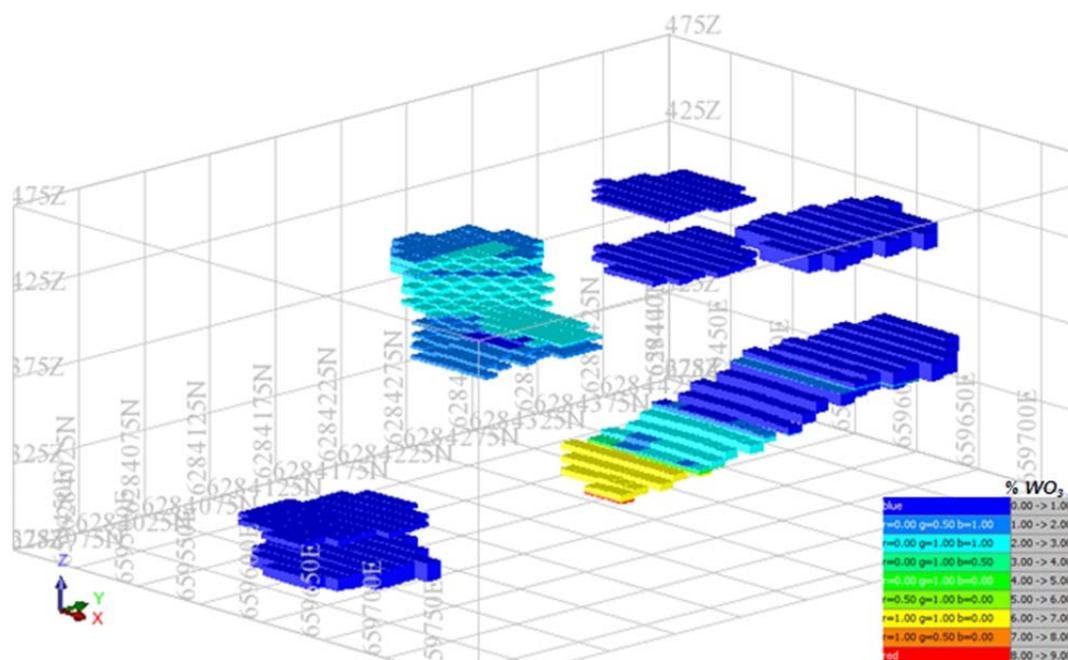


Figure 28 : Histogramme de répartition des teneurs en WO<sub>3</sub> dans le fichier composite La Fédial.



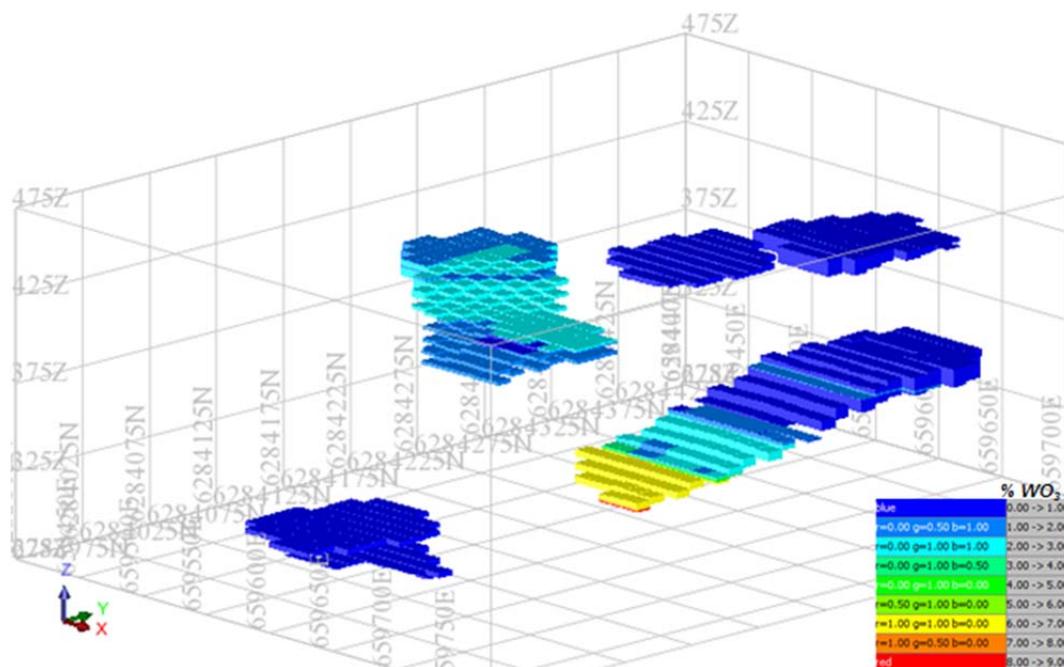


Figure 29 : Répartition de la teneur en WO<sub>3</sub> (moyenne des méthodes géostatistiques) dans les niveaux de skarns de La Fédial (haut) et identification de la minéralisation économique pour un cut off de 0,30 % WO<sub>3</sub> (bas) (y indique le nord, x indique l'est).

À partir de cette étude, une nouvelle estimation des ressources sur la cible de La Fédial peut être proposée en considérant une densité *in situ* de 3,0, une puissance minimale de 2 m et une teneur de coupure de 0,30 % WO<sub>3</sub> :

- à partir du BM : 771,2 kt à à 1,41% WO<sub>3</sub>;
- réajustement du tonnage pour rendre compte de l'écart entre le BM et le modèle solide (-0,1 %), soit des ressources réajustées estimées à **770,4 kt à à 1,41 % WO<sub>3</sub>**, ce qui représente **8,6 kt de tungstène métal contenu**.

De la même manière que pour le gisement principal de Fumade, ces ressources peuvent être qualifiées **d'inférées au regard des standards actuels de classification** (code australien JORC ou canadien NI 43-101).

La Fédial possède donc un potentiel intéressant et présente l'avantage d'abriter de fortes teneurs qui s'expriment à travers une minéralogie généralement plus grossière que sur Fumade sens strict (40 % de la scheelite y est millimétrique, Prouhet, 1987). Néanmoins, Bouteloup et Dumas (1985) avertissent de l'importance de la zone superficielle très altérée (jusqu'à 100 à 150 m) qui est soumise au retrait-gonflement. L'importance de la circulation karstique dans les dolomies de la base de la série schisto-carbonatée serait également à prendre en considération dans un possible projet minier.

#### 6.2.4. Nouvelle estimation des ressources sur Fumade superficiel

Suivant la même méthodologie que précédemment, un modèle de blocs est créé sur les 19 recoupes minéralisées de Fumade superficiel. Les blocs sont cependant de plus petite dimension, 5 x 5 x 0,20 m éventuellement redécoupés automatiquement en sous-blocs de 2,5 x 2,5 x 0,10 m, afin de représenter au plus juste la géométrie cylindrique modélisée (extension de 10 m autour des sondages minéralisés).

Ce block model (0\_bm\_fumade\_superf.mdl) présente les mêmes attributs que celui modélisé sur La Fédiat où, de la même manière, il n'a pas été possible de réaliser de variogramme étant donné le nombre insuffisant de données. Les caractéristiques du BM sont détaillées en Annexe 6.

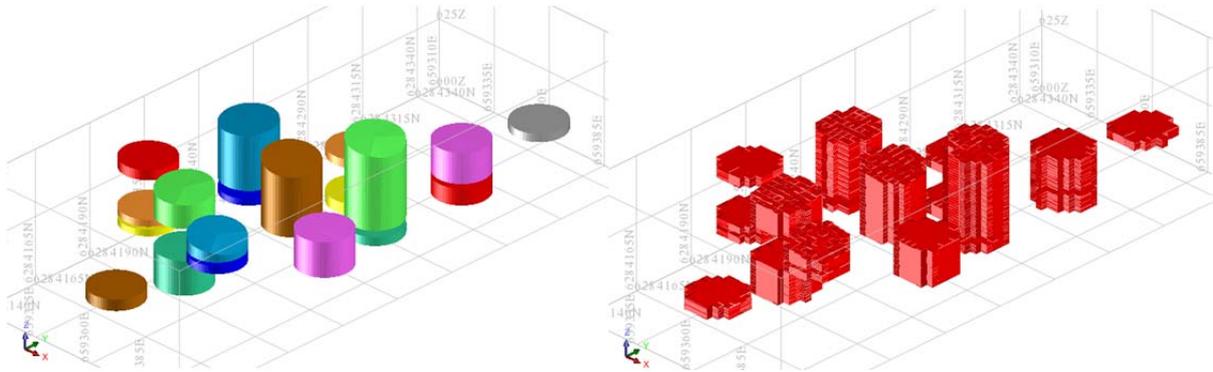


Figure 30 : Comparaison de la représentation des niveaux minéralisés de Fumade superficiel dans le modèle solide (gauche) et le modèle de blocs (droite) (y indique le nord, x indique l'est).

L'ellipsoïde de référence sur Fumade profond a été défini suivant un axe de continuité majeure N192 et une structure tabulaire par défaut (pendage nul). Étant donné la méthode de modélisation choisie (rayon d'influence de 10 m autour des sondages minéralisés), une seule direction d'anisotropie a été définie suivant l'axe z. Le ratio entre l'axe majeur (NNE-SSW) et l'axe semi-majeur (WNW-ESE) est fixé à 1.

Suivant la même méthode que précédemment, un fichier composite incluant les résultats des analyses géochimiques des sondages (% WO<sub>3</sub>) est créé (Figure 31).

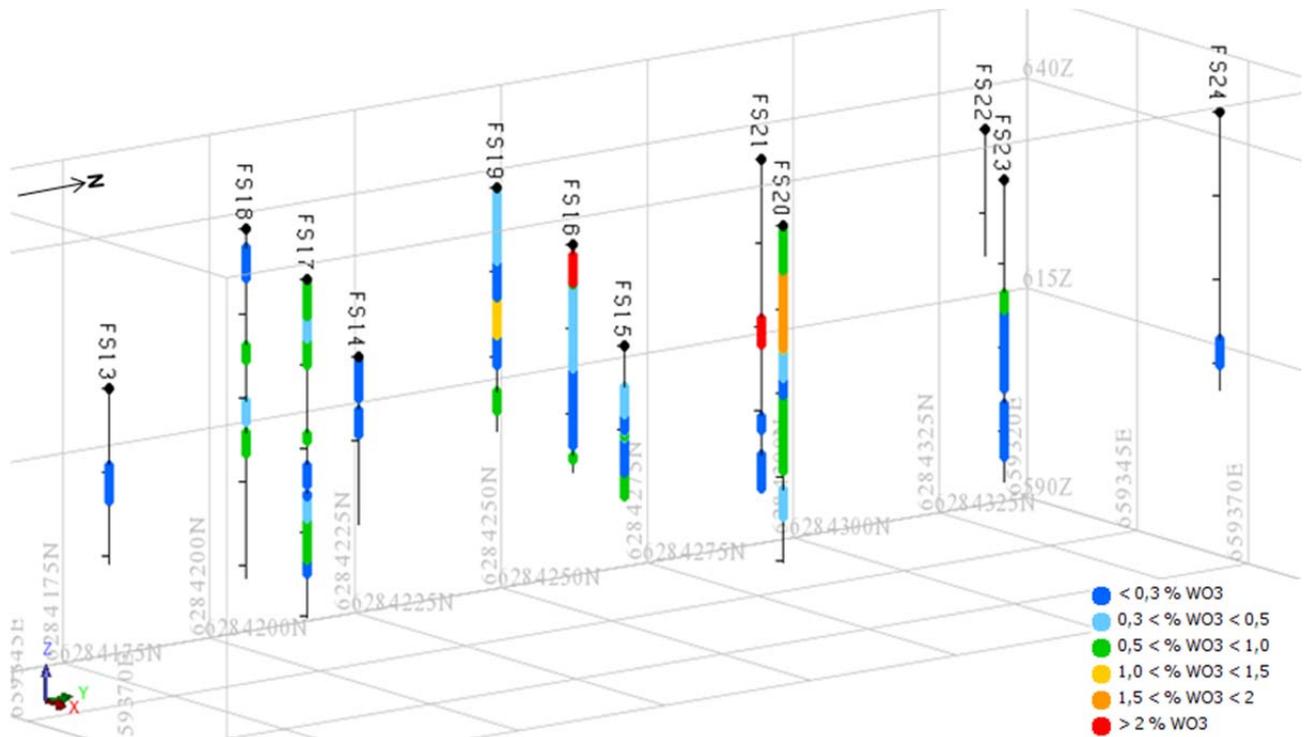


Figure 31 : Visualisation des échantillons composites sur Fumade superficiel, classés suivant la teneur en WO<sub>3</sub> (grille 25 x 25 x 25 m).

Les teneurs des échantillons composites présentent une moyenne de 0,53 %  $WO_3$  avec un écart-type de 0,53. L'histogramme des teneurs dans ce fichier composite présente une répartition relativement homogène (Figure 32).

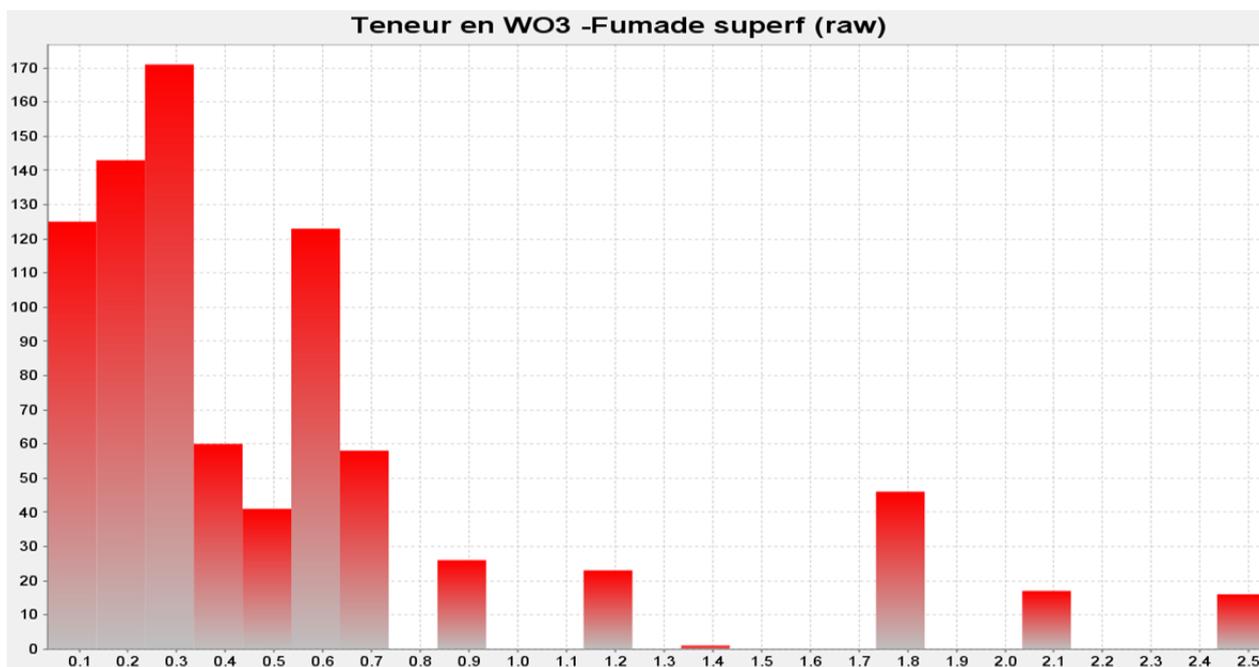
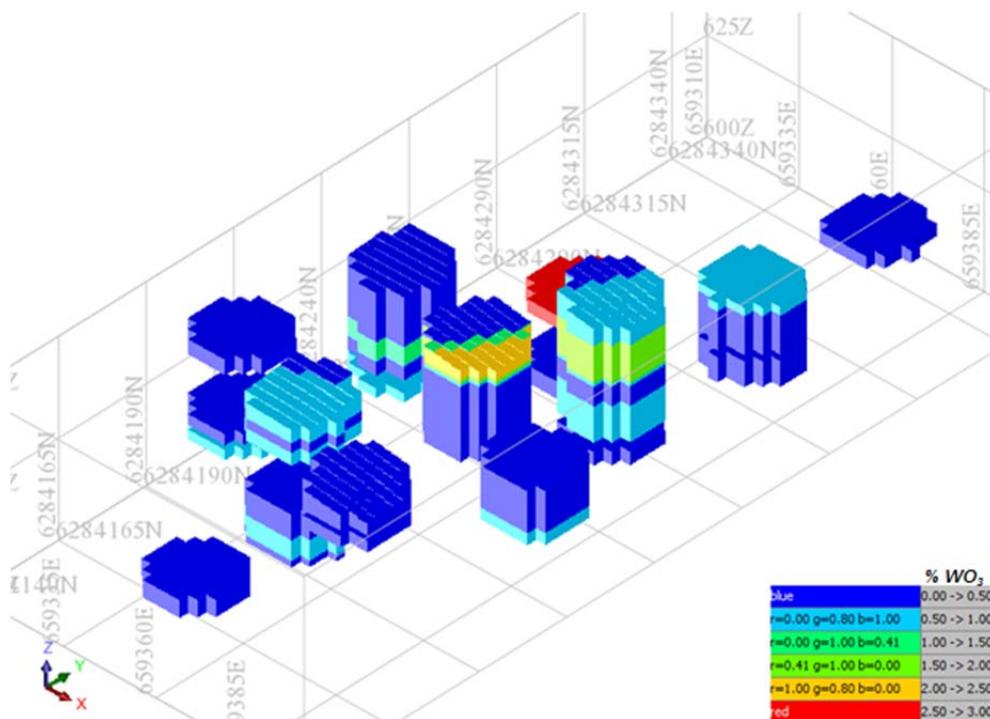


Figure 32 : Histogramme de répartition des teneurs en  $WO_3$  dans le fichier composite Fumade superficiel.

Les teneurs en  $WO_3$  ont ainsi été estimées dans le modèle de bloc de Fumade superficiel par deux méthodes géostatistiques : l'inverse du carré de la distance et la méthode du plus proche voisin. Ces estimations ont été moyennées (teneur\_wo3\_moy\_meth) et utilisées pour définir l'enveloppe de la minéralisation économique avec une teneur de coupure de 0,10 %  $WO_3$  en se basant sur l'hypothèse d'une valorisation par exploitation à ciel ouvert (Figure 33).



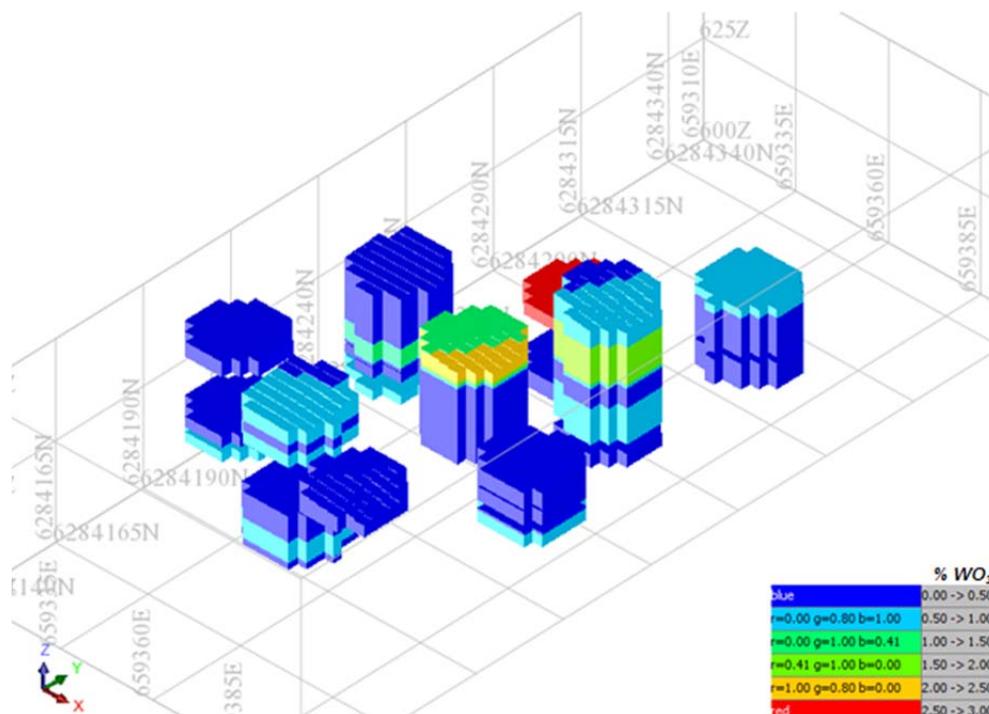


Figure 33 : Répartition de la teneur en WO<sub>3</sub> (moyenne des méthodes géostatistiques) dans les niveaux de skarns de Fumade superficiel (haut) et identification de la minéralisation économique pour un cut off de 0,10 % WO<sub>3</sub> (bas) (y indique le nord, x indique l'est).

À partir de cette étude, une nouvelle estimation des ressources sur la cible de Fumade superficiel peut être proposée en considérant une densité *in situ* de 3,0, une puissance minimale de 2 m et une teneur de coupure de 0,10 % WO<sub>3</sub> :

- à partir du BM : 143,1 kt à 0,53 % WO<sub>3</sub> ;
- réajustement du tonnage pour rendre compte de l'écart entre le BM et le modèle solide (-0,8 %), soit des ressources réajustées estimées à **141,9 kt à 0,58 % WO<sub>3</sub>**, ce qui représente **653 t de tungstène métal contenu**.

De la même manière que pour le gisement principal de Fumade, ces ressources peuvent être qualifiées **d'inférées au regard des standards actuels de classification** (code australien JORC ou canadien NI 43-101).

Contrairement aux autres cibles, la réévaluation des ressources sur Fumade superficiel a abouti à un résultat moins optimiste que celui de 1985 (360 kt à 0,43 % WO<sub>3</sub>) mais qui est comparable à une autre estimation rapportée sur la zone (Anonyme) qui avait conclu à la valorisation possible de 140 kt à 0,50 % WO<sub>3</sub> à partir de test sur les tranchées. En 1987, Prouhet évalue le potentiel de cette cible de surface à environ 200 kt à 0,50 % WO<sub>3</sub>.

Rappelons néanmoins que la définition de l'enveloppe de minéralisation a été extrêmement conservatrice en ne considérant une zone d'influence que de 10 m autour des sondages minéralisés, alors que celle-ci a été étendue à 40 m sur les autres cibles modélisées. De plus, la méthode utilisée en 1985 pour estimer le potentiel de cette zone n'est pas connue, il n'est donc pas possible de comparer les paramètres pris en compte dans ces deux études parallèles.



## 7. Conclusion et perspectives économiques du prospect

La réévaluation des ressources, au niveau inféré, à l'aide d'outils modernes de modélisation 3D et de méthodes géostatistiques a conduit à une revue à la hausse du potentiel du secteur de Fumade :

- Fumade profond : **2,301 Mt** à **0,70 % WO<sub>3</sub>**, soit 12,8 kt de tungstène contenu ;
- La Fédial : **770,4 kt** à **1,41 % WO<sub>3</sub>**, soit 8,6 kt de tungstène contenu ;
- Fumade superficiel : **141,9 kt** à **0,58 % WO<sub>3</sub>**, 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 (voir tableau en Annexe 7). Les ressources de ces projets sont placées dans un graphique tonnage-teneur (Figure 34).

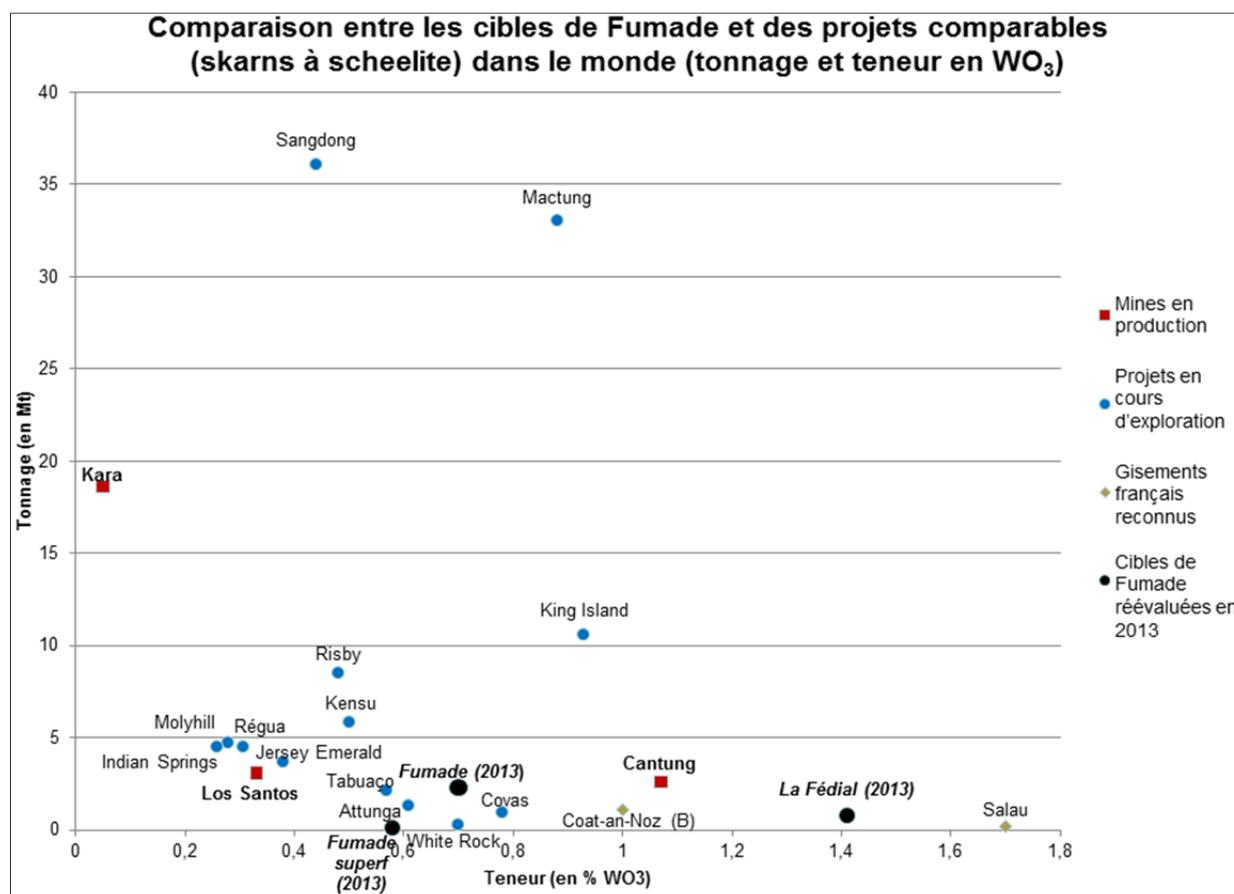


Figure 34 : Couple tonnage-teneur des principaux sujets miniers de skarns à scheelite (d'après Audion et Labbé (2012), Raw Material Data et les sites web des compagnies).

La cible de Fumade profond se place clairement **dans l'enveloppe des projets actuellement en cours d'exploration avancée**. 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 suggérer 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 (100-300 m), une exploitation des deux gisements à partir d'un seul ouvrage d'accès pourrait être envisagée (Prouhet, 1987).

Les ressources inférées globales de ces skarns profonds sont ainsi évaluées à **3,071 Mt à 0,88 % WO<sub>3</sub>**.

Afin de mieux définir la géométrie des niveaux minéralisés, d'évaluer leur continuité en termes de puissance et de teneur et de tester les probables extensions de la structure de Fumade vers le nord et vers le sud, des travaux miniers apparaissent nécessaires. Ils permettront ainsi de mieux contraindre le modèle géologique et de certifier des ressources avec un degré de confiance supérieur (ressources indiquées ou mesurées).

De plus, les premiers tests minéralurgiques réalisés sur des échantillons de carottes de Fumade ont montré la possibilité d'obtenir un concentré marchand par broyage, séparation gravimétrique puis flottation. Des tests complémentaires sur de plus gros volumes apparaissent nécessaires, afin de définir le flow-sheet optimal de traitement et d'en estimer les coûts opératoires.

D'autre part, le secteur d'étude se situe dans une zone rurale à proximité immédiate des fermes de Fumade, La Fédial et Cadoul. Aucune autre infrastructure importante n'est localisée dans un rayon d'1 km, outre les routes d'accès aux hameaux. La zone d'étude est située dans le Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc (2012), sans autre contrainte environnementale majeure.

L'ensemble de ces informations souligne le fort potentiel du gisement de Fumade - La Fédial et justifie de nouveau son placement dans les priorités 1 du potentiel minier métallique français.

## 8. Bibliographie

**Anonyme** - Historique de la recherche minière dans la région du Sidobre et sur le prospect de Fumade (81), 5 p., annexes manquantes.

**Audion A.-S., Labbé J.-F.**, avec la collaboration extérieure de la Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS) (2012) - Panorama 2011 du marché du tungstène. BRGM/RP 60461-FR, 109 p., 29 fig., 17 tabl.

**Bertrand G., Dupuy J.-J., Melleton J., Tourlière B., Cassard D., Audion A.-S., Angel J.-M., Gloaguen E., Husson Y. et Berthier H.** (2013) - Réévaluation du potentiel français en ressources minérales : retraitement des données géochimiques de l'Inventaire et établissement de fiches de cibles minières. Rapport final. BRGM/RP-62960-FR, 63 p., 31 fig., 4 tabl., 2 ann.

**Béziat P.** (1978) - Résultats d'études : analyses physico-chimiques de tranchées, SGN/MGA 78/1043, septembre 1978, 2 p.

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

**Béziat P., Coulomb J.J., Gentilhomme P., De Gramont X.** (1990) - Les gisements de tungstène en France : Situation en 1990 – Étude réalisée par le BRGM sous l'égide du Comité de l'Inventaire des Ressources Minières métropolitaines, 1990, 107 p.

**Bouteloup R., Dumas J.P.** (1985) - Fiche systématique de perspectives économiques d'indice minéralisé : Fumade (France, Tarn), SNEA(P) DAM/OP et DAM/PM, mars 1985, 8 p.

**Bros B., Garnaud F.** (1985) - Projet de reconnaissance du gisement de Fumade par travaux miniers, SNEA(P), Direction Mines et ENSTIMA (Mines d'Alès), juin 1985, 61 p. et 1 annexe.

**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, 126 p., 41 fig., 3 tabl., 2 ann., DVD-ROM.

**Couilloud D.** (1988) - Étude pétrographique, minéralogique et géochimique des skarns à tungstène de Fumade (Tarn, Montagne Noire) - Thèse présentée à l'Université Paul Sabatier de Toulouse (Sciences), juillet 1988, 179 p. et 49 p. annexes.

**Deschamps Y., Vadala P., Gentilhomme Ph.**, avec la collaboration de Y. Guillou, M. Joubert, C. Leduc, J.-L. Marroncle et C. Gateau (2002) - L'Inventaire Minier de la France Métropolitaine. BRGM/RP-51455-FR, CD-ROM.

**Desneulin J., Joubert J.B.** (1983) - Le skarn à tungstène de Fumade, Campagne de sondages 1982, synthèse des résultats, DM/Mines/MBF/J.D-cl/83-28 R, 20 p., 21 annexes.

**Lebret P., Graviou P., Courbouleix S., Rigollet C., Scherr P.** (2008) - « Géothèque de référence », activité 2008. Rapport final, BRGM/RP-57347-FR, Décembre 2008, 56 p., 4 ann.

**Michard A.G.** (1990) - Synthèse Montagne Noire, BRGM/RR-30358-FR (R 30 358 DEX-DAM-90), 324 p., 6 vol., 24 pl. ht., 45 cartes.

**Mirabail H., Safa P.** (1985) - Perspectives du prospect de Fumade à la fin des travaux de 1984, SNEA(P). Direction mines, Département Métaux de Base (EP/S/MIN/MBA/H.M.-cr/85-76RTT), 4 p. et 1 annexe.

**Prouhet J.P.** (1987) - Note J-P Prouhet à DAM/OP4 sur Fumade, BRGM/DAM/DL/T, mai 1987, 15 p.

**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, p. 39-51.

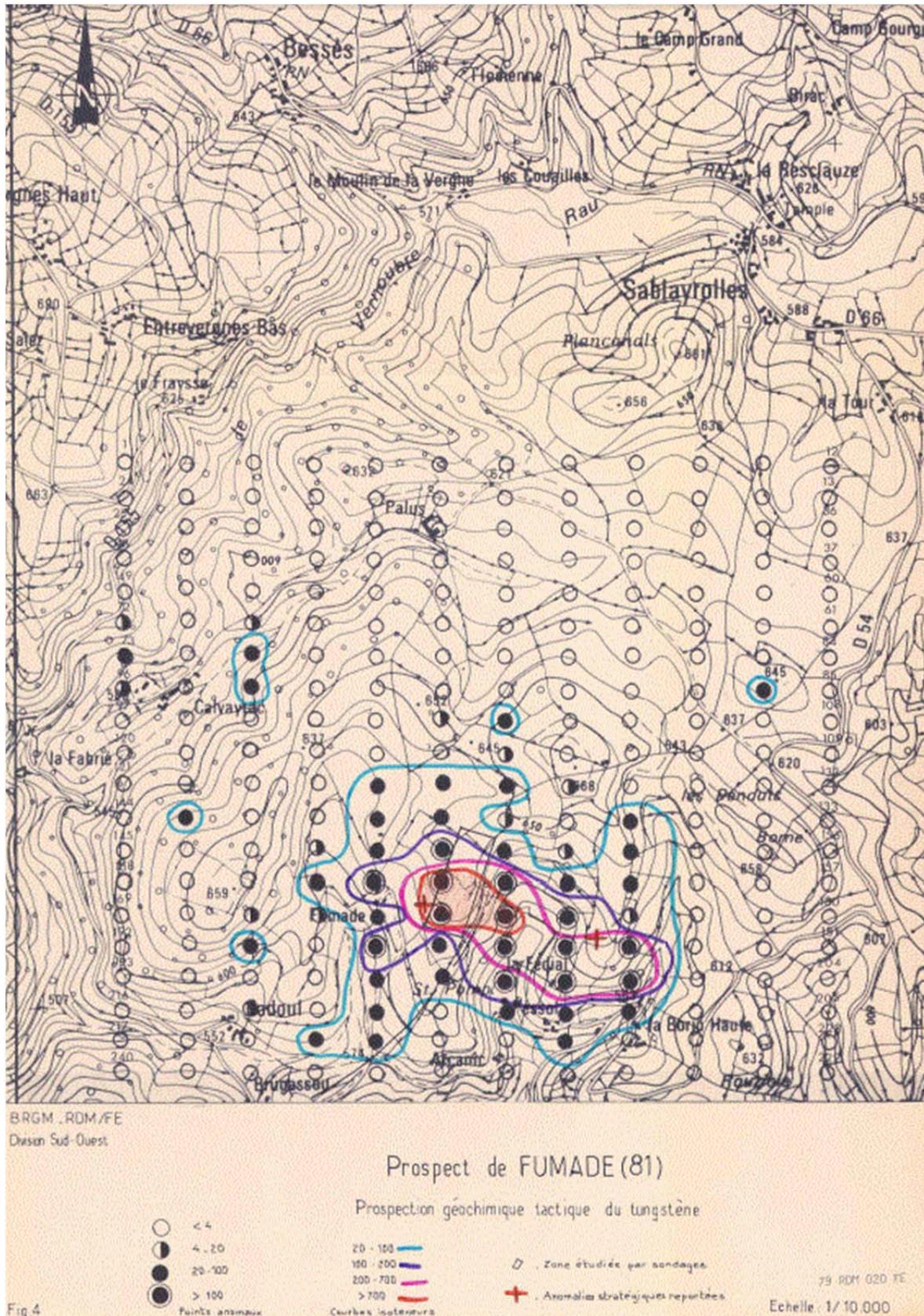
**Safa P., Reverdy F.** (1985) - PER de Fumade (Tarn) : État du prospect à l'issue de la campagne de sondages de 1984, SNEA(P). Direction mines, Département Métaux de Base (EP/S/MIN/MBA/PhS.-F.R.-cr/85-58RTT).

**Severac J.L.** (1982) - Étude géologique, minéralogique et géochimique des minéralisations en tungstène de Fumade (Tarn), Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle présentée à l'Université Paul Sabatier, Toulouse, 144 p.

**Tessier B.** (1989) - Mise en place, pétrographie, géochimie et minéralogie des granites associés aux skarns minéralisés en tungstène de Fumade (Tarn, France) - École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne - Thèse présentée à l'Université Pierre et Marie Curie Paris VI, octobre 1989, 348 p.

## **Annexe 1**

### **Résultat de la géochimie sol 1978**



Prospection géochimique tactique (100 x 200 m) sur Fumade (d'après Béziat, 1979).

## **Annexe 2**

### **Caractéristiques générales des sondages**

Le tableau ci-dessous liste les sondages réalisés entre 1969 et 1985 sur les trois cibles testées sur le prospect de Fumade. Les sondages « positifs » ont recoupé au minimum un niveau minéralisé de puissance au moins métrique avec des teneurs  $\geq 0,30$  %  $WO_3$ . S'ils ont recoupé des zones minéralisées sans satisfaire aux conditions minimales de puissance et de teneur (ou s'ils n'ont pas été analysés), la minéralisation est qualifiée de « traces ». Un sondage négatif n'a pas recoupé de niveau porteur de scheelite.

L'identifiant de la Banque de Données du Sous-Sol (BSS) est également donné. Lorsqu'un sondage ne possède pas de fiche BSS propre mais que des informations le concernant peuvent être obtenues sur la fiche d'un autre sondage, l'identifiant est présenté entre parenthèses. Il est en effet assez fréquent de trouver un grand nombre de logs de sondages différents dans les documents numérisés attachés à un unique sondage.

Ces informations ont été relayées à l'équipe BSS au BRGM afin que cela soit rectifié.

Cible testée	Sondage	Type	Opérateur	Année de réalisation	Identifiant BSS	Profondeur atteinte (m)	Minéralisation
Fumade profond	S1_1969	carotté	BRGM	1969	09868X0007	136,75	négatif
	S2_1969	carotté	BRGM	1969	09868X0008	239,35	négatif
	S3_1969	carotté	BRGM	1969	09864X0006	301,74	négatif
	S1	carotté	BRGM	1978	09864X0008	51	<b>positif</b>
	S2	carotté	BRGM	1978	09864X0046	40	<b>positif</b>
	S3	carotté	BRGM	1978	09864X0047	50,5	traces
	S4	carotté	BRGM	1978	09864X0048	60	traces
	S5	carotté	BRGM	1978	09864X0049	54	négatif
	S6	carotté	BRGM	1978	09864X0050	26	négatif
	S7	carotté	BRGM	1978	09864X0051	60	négatif
	S8	carotté	BRGM	1978	09864X0052	33	négatif
	S9	carotté	BRGM	1978	09864X0053	21	négatif
	S10	carotté	BRGM	1978	09864X0054	57	traces
	S11	carotté	BRGM	1978	09864X0055	65	<b>positif</b>
	S12	carotté	BRGM	1978	09864X0056	50	négatif
	FU1	carotté	SNEA(P)	1981	(09864X0012)	138,26	négatif
	FU1B	carotté	SNEA(P)	1981	09864X0012	403	négatif
	FU2	carotté	SNEA(P)	1981	(09864X0012)	350	<b>positif</b>
	FU3	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0065	384,83	négatif
	FU4	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0066	477	<b>positif</b>
	FU5	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0067	209,34	<b>positif</b>
	FU6	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0068	242,45	<b>positif</b>
	FU7	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0069	212,4	négatif
	FU8	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0070	232,94	traces
FU9	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0071	148,33	négatif	
FU10	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0015	74,02	négatif	
FU11	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0072	216,33	négatif	
FU12	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0073	123,75	négatif	

Cible testée	Sondage	Type	Opérateur	Année de réalisation	Identifiant BSS	Profondeur atteinte (m)	Minéralisation
	FU13	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0074	179,37	négatif
	FU14	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0075	172,67	<b>positif</b>
	FU15	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0076	202,46	négatif
	FU16	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0077	379,9	<b>positif</b>
	FU17	carotté	SNEA(P)	1982	09864X0078	422,59	<b>positif</b>
	FU18	carotté	SNEA(P)	1983	09864X0084	211,46	<i>traces</i>
	FU19	carotté	SNEA(P)	1983	09864X0016	210,46	<i>traces</i>
	FU20	carotté	SNEA(P)	1983	(09864X0016)	257,22	<b>positif</b>
	FU21	carotté	SNEA(P)	1983	(09864X0016)	274,1	<b>positif</b>
	FU22	carotté	SNEA(P)	1983	(09864X0016)	192,09	<b>positif</b>
	FU23	carotté	SNEA(P)	1983	09864X0085	134,28	négatif
	FU24	carotté	SNEA(P)	1983	(09864X0016)	220,75	<i>traces</i>
	FU25	carotté	SNEA(P)	1983	(09864X0016)	199,6	négatif
	FU26	carotté	SNEA(P)	1983	(09864X0016)	203,75	négatif
	FU27	carotté	SNEA(P)	1983	(09864X0016)	202,55	négatif
	FU28	carotté	SNEA(P)	1983-1985	09864X0086	296	<b>positif</b>
	FU29	carotté	SNEA(P)	1983	(09864X0016)	175	<b>positif</b>
	FU30	carotté	SNEA(P)	1983	(09864X0016)	257,15	<b>positif</b>
	FU31	carotté	SNEA(P)	1983	(09864X0016)	381,9	<i>traces</i>
	FU32	carotté	SNEA(P)	1984	(09864X0018)	261,3	négatif
	FU33	carotté	SNEA(P)	1984	(09864X0018)	307,4	<b>positif</b>
	FU34	carotté	SNEA(P)	1984	(09864X0018)	259,45	<i>traces</i>
	FU35	carotté	SNEA(P)	1984	09864X0018	355,1	<b>positif</b>
	FU36	carotté	SNEA(P)	1984	(09864X0018)	292,55	<b>positif</b>
	FU37	carotté	SNEA(P)	1984	(09864X0018)	267,05	négatif
	FU38	carotté	SNEA(P)	1984	(09864X0018)	142,3	<i>traces</i>
	FU39	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	281,95	<b>positif</b>
	FU40	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	241,9	<i>traces</i>
	FU41	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	162,95	négatif
	FU41B	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	330	<i>traces</i>
	FU42	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	297,45	<b>positif</b>
	FU43	carotté	SNEA(P)	1985	09864X0022	428,8	<i>traces</i>
	FU44	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	319,1	négatif
	FU45	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	249	négatif
	FU46	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	285,75	<b>positif</b>
	FU47	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	173,65	négatif
	FU48	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	315,5	<b>positif</b>
	FU49	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0022)	345,7	<i>traces</i>
<b>La Fédial</b>	FL1	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	250,55	<b>positif</b>

Cible testée	Sondage	Type	Opérateur	Année de réalisation	Identifiant BSS	Profondeur atteinte (m)	Minéralisation
	FL2	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	376,35	<b>positif</b>
	FL3	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	400,85	négatif
	FL4	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	280,4	<b>positif</b>
	FL5	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	388,4	<b>positif</b>
	FL6	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	278,7	<b>positif</b>
	FL7	carotté	SNEA(P)	1985	09864X0083	347,45	<i>traces</i>
	FL8	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	236,65	<b>positif</b>
	FL9	carotté	SNEA(P)	1985	09864X0081	369,55	<b>positif</b>
	FL10	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	302,4	<i>traces</i>
	FL11	rotatif	SNEA(P)	1985	09864X0082	83,1	négatif
	FL12	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	324	<i>traces</i>
	FL13	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	374,85	<i>traces</i>
	FL14	carotté	SNEA(P)	1985	09864X0017	512,7	négatif
	FL15	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	269,85	<i>traces</i>
	FL16	carotté	SNEA(P)	1985	(09864X0017)	270,3	<b>positif</b>
	<b>Fumade superficiel</b>	FS13	rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	20,9
FS14		rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	20	<i>traces</i>
FS15		rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	18,15	<b>positif</b>
FS16		rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	27,15	<b>positif</b>
FS17		rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	40,4	<b>positif</b>
FS18		rotatif	SNEA(P)	1985	09864X0021	33,55	<b>positif</b>
FS19		rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	29	<b>positif</b>
FS20		rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	40,2	<b>positif</b>
FS21		rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	39,3	<b>positif</b>
FS22		rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	15,25	négatif
FS23		rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	36,25	<b>positif</b>
FS24		rotatif	SNEA(P)	1985	(09864X0021)	33,55	<i>traces</i>

## **Annexe 3**

### **Caractéristiques du block model sur Fumade profond**

Gemcom Software International  
Type

Dec 09, 2013

	Y	X	Z
Minimum Coordinates	6283482.338	658506.697	302.741
Maximum Coordinates	6284742.338	659166.697	556.141
User Block Size	20	20	0.2
Min. Block Size	10	10	0.1
Rotation	0.000	0.000	0.000

Total Blocks 1330497  
Storage Efficiency % 93.68

Attribute Name	Type	Decimals	Background	Description
densite	Real	1	3	Densité du minerai, fixée à 3.0
material	Character	-	non skarn	Skarn minéralisé inclus dans les enveloppes des 5 niveaux
niv_miner	Character	-		Niveau porteur de la minéralisation (avec cut off à 0,3 % W03)
ore_cutoff_0.3	Character	-	waste	Minéralisation économique à un cut off de 0,3 % W03
teneur_wo3_id2	Real	2	0	Estimation de la teneur en W03 par l'inverse du carré de la distance
teneur_wo3_moy_meth	Calculated	-	-	(teneur_wo3_id2+teneur_wo3_nn+teneur_wo3_ok)/3
teneur_wo3_nn	Real	2	0	Estimation de la teneur en W03 par la méthode du plus proche voisin
teneur_wo3_ok	Real	2	0	Estimation de la teneur en W03 par krigage ordinaire

Block Model Summary  
mineralisation\_fumade\_ss\0\_bm\_fumade\_profond.mdl

Block Model Summary

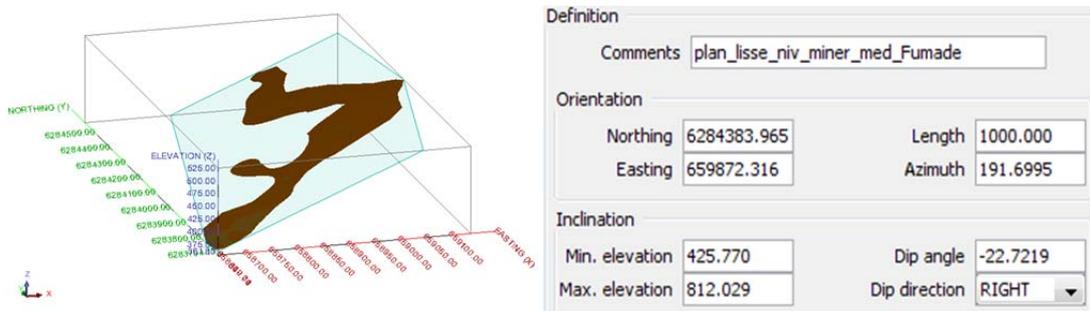
1/1

## **Annexe 4**

### **Définition de l'ellipsoïde de référence sur le BM de Fumade profond**

La série sédimentaire présente une orientation générale N020 plongeant de 30 à 45° vers le nord-ouest (Prouhet, 1987).

Afin d'obtenir une orientation plus précise des niveaux minéralisés, le plan moyen contenant le niveau médian a été créé (figure ci-après).

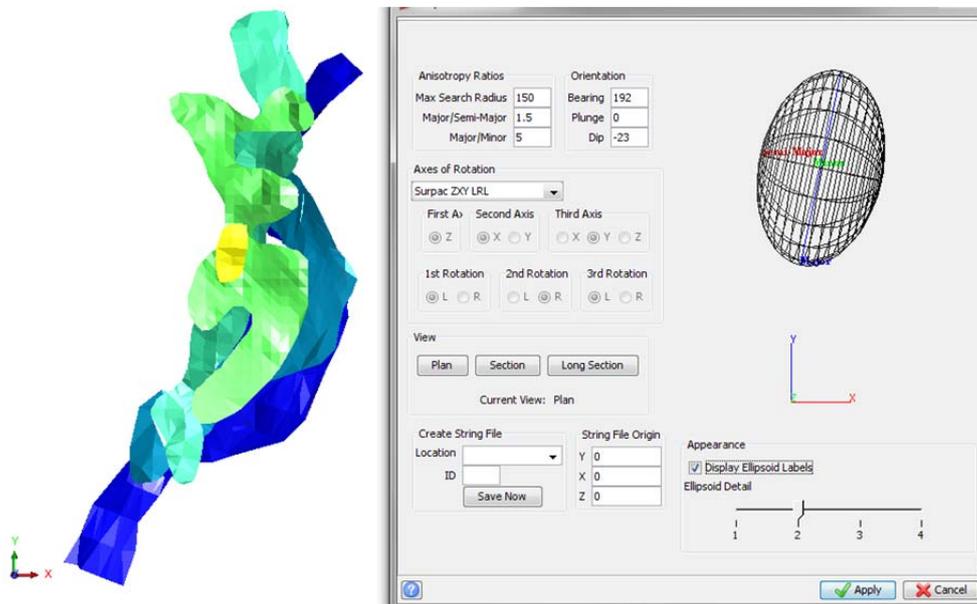


*Définition du plan moyen contenant le niveau minéralisé médian.*

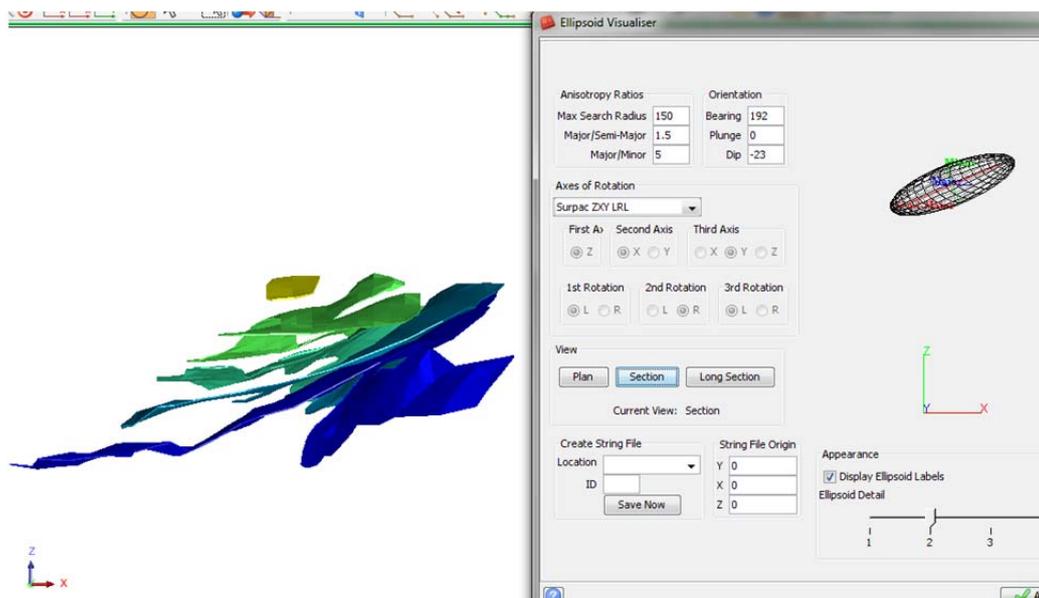
Les paramètres de ce plan moyen sont utilisés afin de définir l'ellipsoïde de référence sur la minéralisation de Fumade : **bearing 192, plunge 0, dip -23** selon la convention « Surpac ZXY LRL ». Les directions de continuité de la minéralisation (axe majeur, semi-majeur et mineur) peuvent ainsi être définis avec des ratios d'anisotropie fixés à :

- 1 : 1,5 entre l'axe majeur (NNE-SSW) et le l'axe semi-majeur (WNW-ESE) ;
- 1 : 5 entre l'axe majeur et l'axe mineur (puissance des niveaux)

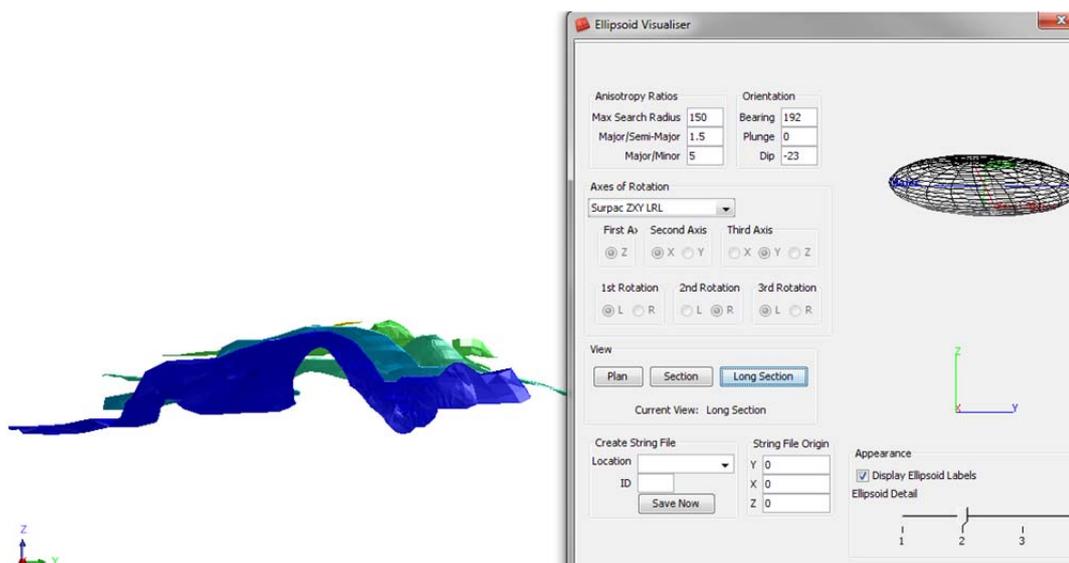
L'adéquation de cet ellipsoïde avec la structure minéralisée est vérifiée suivant les trois modes d'observation (plan, section, et long section), et validée.



*Validation de l'ellipsoïde de référence sur Fumade profond en plan (x indique l'est, y indique le nord et z l'élévation).*



Validation de l'ellipsoïde de référence sur Fumade profond en section (x indique l'est, y indique le nord et z l'élévation).



Validation de l'ellipsoïde de référence sur Fumade profond en long section (x indique l'est, y indique le nord et z l'élévation).



## **Annexe 5**

### **Caractéristiques du block model sur La Fédial**

Gemcom Software International  
Type

Dec 10, 2013

	Y	X	Z
Minimum Coordinates	6283996.439	659407.36	286.825
Maximum Coordinates	6284456.439	659767.36	453.625
User Block Size	20	20	0.2
Min. Block Size	10	10	0.1
Rotation	0.000	0.000	0.000

Total Blocks 226605  
Storage Efficiency % 91.79

Attribute Name	Type	Decimals	Background	Description
density	Real	1	3	Densité du minerai, fixée à 3.0
material	Character	-	non skarn	Skarn minéralisé inclus dans les enveloppes des 8 niveaux
ore_cutoff_0.3	Character	-	waste	Minéralisation économique à un cutoff de 0,3 % W03
teneur_wo3_id2	Real	2	0	Estimation de la teneur en W03 par l'inverse du carré de la distance
teneur_wo3_moy_meth	Calculated	-	-	(teneur_wo3_id2+teneur_wo3_nn)/2
teneur_wo3_nn	Real	2	0	Estimation de la teneur en W03 par la méthode du plus proche voisin

Block Model Summary

mineralisation\_la\_federal\0\_bm\_la\_federal.mdl

Block Model Summary

1/1

## **Annexe 6**

### **Caractéristiques du block model sur Fumade superficiel**

Dec 13, 2013

Gemcom Software International  
Type

	Y	X	Z
Minimum Coordinates	6284145.389	659311.351	602.015
Maximum Coordinates	6284345.389	659396.351	642.015
User Block Size	5	5	0.2
Min. Block Size	2.5	2.5	0.1
Rotation	0.000	0.000	0.000

-----  
Total Blocks 97990  
Storage Efficiency % 90.99

Attribute Name	Type	Decimal s	Background	Description
densite	Real	1	3	Densité du minerai, fixée à 3,0
material	Character	-	non skarn	Skarn minéralisé inclus dans les enveloppes des 19 recoupes
ore_cutoff_0.10	Character	-	waste	Minéralisation économique à un cut off de 0,10 % WO3
ore_cutoff_0.15	Character	-	waste	Minéralisation économique à un cut off de 0,15 % WO3
teneur_wo3_id2	Real	2	0	Estimation de la teneur en WO3 par l'inverse du carré de la distance
teneur_wo3_moy_meth	Calculated	-	-	(teneur_wo3_id2+teneur_wo3_nn)/2
teneur_wo3_nn	Real	2	0	Estimation de la teneur en WO3 par la méthode du plus proche voisin

Block Model Summary  
mi neral i sati on\_fumade\_superf\0\_bm\_fumade\_superf.mdl

Block Model Summary

1/1

## **Annexe 7**

### **Principaux projets miniers sur des skarns à scheelite**

Les ressources en tungstène des principaux projets miniers comparables à Fumade du point de vue géologique (skarns à scheelite) en cours d'exploration, de développement ou d'exploitation sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Projet	Pays	Status	Société	Ressources en tungstène		
				Tonnage (Mt)	Teneur WO <sub>3</sub> (%)	W contenu (kt)
<b>Mactung</b>	Canada	Pré-faisabilité	North American Tungsten	33	0,88	230,3
<b>Sangdong</b>	Corée du S.	Faisabilité (réouverture)	Woulfe Mining	36,1	0,44	126,0
<b>King Island</b>	Australie	Faisabilité (réouverture)	King Island Scheelite Ltd	10,6	0,93	78,2
<b>Risby</b>	Canada	Conceptuel	Playfair Mining	8,5	0,48	32,4
<b>Kensu</b>	Kirghizstan	Conceptuel	Saryjaz Mineral & Mining Co	5,849	0,5	23,2
<b>Cantung</b>	Canada	Production	North American Tungsten	2,6	1,07	22,1
<b>Fumade</b>	France	Inactif	ex-SNEA(P)	2,301	0,7	12,8
<b>Jersey Emerald</b>	Canada	Faisabilité (réouverture)	Sultan Minerals	3,7	0,38	11,2
<b>Régua</b>	Portugal	Conceptuel	W Resources	4,46	0,308	10,9
<b>Molyhill</b>	Australie	Faisabilité	Thor Mining	4,71	0,28	10,5
<b>Tabuaço</b>	Portugal	Conceptuel	Colt Resources	2,1	0,57	9,49
<b>Indian Springs</b>	Etats-Unis	Conceptuel	Galway Resources	4,5	0,26	9,28
<b>Coat-an-Noz (B)</b>	France	Inactif	ex-SNEA(P)	1,1	1	8,72
<b>La Fédiat</b>	France	Inactif	ex-SNEA(P)	0,77	1,41	8,61
<b>Los Santos</b>	Espagne	Production	Almonty Industries	3,1	0,33	8,11
<b>Kara</b>	Australie	Production	Tasmania Mines, Itochu	18,6	0,05	7,38
<b>Attunga</b>	Australie	Conceptuel	Peel Mining	1,3	0,61	6,29
<b>Covas Tungsten</b>	Portugal	Conceptuel	Avrupa Minerals	0,923	0,78	5,71
<b>Salau</b>	France	Inactif (ancienne mine)	ex-Société des Mines d'Anglade	0,2	1,7	2,70
<b>White Rock</b>	Australie	Conceptuel	Paradigm Metals Ltd	0,26	0,7	1,44
<b>Fumade superf</b>	France	Inactif	ex-SNEA(P)	0,143	0,58	0,658
<b>Currais Novos</b>	Brésil	Production	Largo Resources	4,27	-	-
<b>Xushan</b>	Chine	Production	SASAC of Jiangxi province	22,7	-	-
<b>Yaoling</b>	Chine	Production	Guangdong Rising Nonferrous Metals Group	47,2	-	-

*Ressources en tungstène (tonnage et teneur) des principaux projets comparables du point de vue géologique avec Fumade (d'après Audion et Labbé (2012), RMD et sites des compagnies).*

À titre de comparaison, le gisement de Salau en Ariège, dernière mine française en activité pour le tungstène possédait avant sa mise en production en 1971 des ressources estimées à 600 kt à 1,21 % WO<sub>3</sub> sur le secteur de Bois d'Anglade et de 500 kt à 2,0 % WO<sub>3</sub> sur le secteur de Véronique. À sa fermeture en 1986 pour des raisons économiques (chute du cours du tungstène), le gisement détenait encore des réserves évaluées à 200 kt à 1,7 % WO<sub>3</sub>.

## **Annexe 8**

### **Fichiers présents sur le CD-rom annexe**

Sur le CD-rom fourni en annexe du rapport, sont présents les fichiers suivants :

- la base de données au format Access© compilant les informations des sondages réalisés dans le secteur. Cette base de données est formatée afin de pouvoir être directement ouverte dans Surpac© : « fumade\_databse.mdb » ;
- des extractions, au format html, des modèles 3D réalisés :
  - « Modele\_geologique\_3D\_secteur.html » présentant l'ensemble du modèle géologique (légende : voir Figure 18),
  - « Niveaux\_mineralises\_Fumade\_profond.html » présentant les cinq niveaux porteurs de la minéralisation à tungstène sur la cible de Fumade sens strict (légende : voir Figure 19),
  - « Niveaux\_mineralises\_3\_cibles.html » présentant les enveloppes des niveaux porteurs de la minéralisation pris en compte pour le calcul de ressources sur les cibles de Fumade (profond et superficiel) et de La Fédial (légende : voir les figures 19, 20 et 21).

Les fichiers .html s'ouvrent dans un navigateur internet dans lequel ils pourront être visualisés et manipulés (zoom, rotation, etc.).

**Avertissement :** à l'ouverture de l'un de ces fichiers dans le navigateur, un message d'avertissement peut apparaître. Il suffit d'autoriser le contenu ActiveX bloqué (ou d'autoriser l'installation d'ActiveX si celui-ci n'est pas présent sur votre ordinateur).



**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](http://www.brgm.fr)